

论 著

自由呼吸DISCO-Star序列在动态增强肝脏MRI中的可行性研究

张茗城 尹 伟*

海军军医大学附属长海医院放射诊断科
(上海 200433)

【摘要】目的 本研究旨在比较自由呼吸条件下的DISCO-Star序列与屏气时的LAVA序列在肝脏成像中的图像质量，并探讨DISCO-Star序列在肝脏扫描中的应用潜力。方法 本研究回顾性分析了2023年12月至2024年3月期间，同时接受自由呼吸DISCO-Star序列及屏气LAVA序列检查的20名患者。两种序列的图像质量通过5点评分法进行评价。评价内容包括两位观察者的一致性、运动伪影、肝脏边缘的清晰度、扫描时机和总体图像质量。结果 两位观察者在总体图像质量上显示出较高的一致性($K=0.814$)。屏气LAVA序列图像在运动伪影、肝脏边缘清晰度、扫描时机方面以及图像总体质量的评分优于自由呼吸DISCO-Star序列图像，两组间的差异有统计学意义(P 值均 <0.05)。两组图像的可诊断性评分差异无统计学意义($P=1$)。结论 DISCO-Star序列在不需要患者屏气的情况下提供了与LAVA序列相媲美的图像质量，对于那些无法进行屏气操作的患者具有重要的临床意义，值得进一步推广应用。

【关键词】磁共振成像；肝脏；自由呼吸；屏气

【中图分类号】R445.2

【文献标识码】A

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2024.10.030

Feasibility Study of Free-Breathing DISCO-Star Sequence in Dynamic Contrast-Enhanced Hepatic MRI

ZHANG Ming-cheng, YIN Wei*

Department of Radiology, Changhai Hospital, The Navy Military Medical University, Shanghai 200433, China

ABSTRACT

Objective This study aimed to compare the image quality of the free-breathing DISCO-Star sequence with the breath-hold LAVA sequence in hepatic imaging and explore the application potential of the DISCO-Star sequence in liver scans. **Methods** This study retrospectively analyzed 20 patients who underwent examinations with both the free-breathing DISCO-Star sequence and the breath-hold LAVA sequence between December 2023 and March 2024. The image quality was evaluated using a 5-point scoring system. Evaluation content included the consistency of two observers, motion artifacts, clarity of liver edges, timing of scans, and overall image quality. **Results** The two observers showed high consistency in overall image quality ($K=0.814$). The breath-holding LAVA sequence images scored better than the free breathing DISCO-Star sequence images in terms of motion artifacts, clarity of liver edges, timing of the scan, and overall image quality, with statistically significant differences between the two groups (P values all <0.05). There was no significant difference in the diagnostic ability scoring between the two groups ($P=1$). **Conclusion** The DISCO-Star sequence offers image quality comparable to the LAVA sequence without necessitating breath-holds, holding substantial clinical relevance for patients incapable of breath-holding and meriting broader clinical adoption.

Keywords: Magnetic Resonance Imaging; Liver; Free-Breathing; Breath-Holding

磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)是一种对运动极为敏感的成像技术，任何运动都可能导致图像出现伪影。特别是在进行动态增强MRI(DCE-MRI)的肝脏成像时，呼吸运动引起的伪影干扰尤为显著^[1]。目前，主要有两个研究方向致力于解决这一问题：一是提升MR扫描速度，在单次屏气期间完成更多期相的扫描，以快速采集技术获取至少一组伪影较少或无伪影的图像^[2-3]。该研究方向主要采用了包括并行采集技术、压缩感知技术、部分K空间填充技术以及同时多层激发技术等在内的多种技术手段；另一研究方向则是开发自由呼吸下的扫描序列成像技术^[4-6]，涉及的主要技术包括径向K空间采样、膈肌导航采集以及呼吸导航采集技术。通常采用呼吸门控结合呼吸导航的策略来获取无需屏气的三维梯度回波序列，然而，这种方法存在采集时间过长的缺陷，且在扫描时机的把握上存在不足。DISCO-Star是一种先进的堆栈技术^[7]，相较于使用笛卡尔采样K空间的LAVA序列，它对呼吸运动的适应性更强。这项技术使得无法进行屏气配合的患者也能进行自由呼吸状态下的检查，甚至包括动态增强扫描。本研究旨在通过比较常规屏气LAVA序列与自由呼吸DISCO-Star序列在肝脏MR动态增强成像中的图像质量，从而评估自由呼吸序列在动态增强肝脏MRI中的可行性。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集了2023年12月至2024年3月期间，在海军军医大学第一附属医院接受腹部MRI检查的20名患者资料，包括11名男性和9名女性。年龄37-78岁，平均年龄(60.2 ± 10.8)岁。这些患者中，有1例肝脏转移瘤、3例肝脏血管瘤、11例肝囊肿和2例肝脏结节。

纳入标准设定为：患者同时接受了屏气和自由呼吸下的动态增强肝脏MRI检查，目的是评估肝脏疾病。排除标准：使用了钆塞酸二钠(Primovist®, Bayer HealthCare)评估肝脏病变的检查以及其他有MR检查禁忌证的患者。

1.2 检查方法 采用美国GE公司生产的3.0T MRI扫描仪(型号：SIGNA Premier)，配备30通道体部相控阵线圈进行扫描。检查前需禁食禁水至少4小时。患者双手上举行仰卧位，脚先进检查。扫描序列以及参数见表1，对比剂注射方案如下：使用钆特酸葡胺注射液(Gd-DTPA)作为对比剂，剂量为0.1mmol Gd/kg，通过肘静脉以2mL/s的流速注射，注射完毕后随即推注20mL生理盐水。在LAVA序列组中，分别在注射对比剂后25秒(动脉期)、45秒(门脉期)和180秒(平衡期)进行扫描。而在DISCO-Star序列组中，从对比剂注射开始后15秒启动扫描，并持续3分钟。

1.3 主观评估 本研究中，图像质量的主观评分由两位具有超过五年诊断经验的主治医师独立完成，采用双盲方法以增强评分的客观性。评分体系基于一个5分制^[8]量表，对两组图像的运动伪影、肝脏边缘清晰度、扫描时机和总体图像质量进行评估。具体评分标准如下：运动伪影评分：1分，不可诊断，具有明显伪影的非诊断性图像；2分，严重，存在极端伪影并高度干扰肝脏内结构的图像；3分，中度，存在中度伪影并干扰肝脏内结构的图像；4分，轻度，存在轻度伪影，但不干扰肝脏内结构的图像；5分，无伪

【第一作者】张茗城，男，初级职称，主要研究方向：磁共振技术。E-mail: 17821397554@163.com

【通讯作者】尹 伟，男，中级职称，主要研究方向：CT和磁共振技术。E-mail: yinwei_0816@163.com

影。肝脏边缘清晰度评分：1分，不可诊断，具有明显的模糊伪影；2分，严重，严重干扰肝脏边缘，边界极度模糊；3分中度，肝脏边缘的中度模糊；4分，轻度，不干扰肝脏边缘的轻度模糊；5分为无模糊。总体图像质量评分：1分，不可接受；2分，差；3分，可接受；4分，良好；5分，优秀。运动伪影的定义为相位编码方向的模糊，并延伸到整个感兴趣区，不同于从肝脏边界或腹壁快速减少的截断伪影。总体图像质量≥3分为可以满足诊断要求。取2名医师评分的均值为主观评分结果。

1.4 统计学方法 采用SPSS 26.0软件进行统计学分析。Cohen's Kappa系数用于评估观察者间在图像质量评估上的一致性，其中Kappa值<0.4表示一致性差，0.4~0.6为中等，0.6~0.8为良好，>0.8为优秀。Wilcoxon配对样本秩和检验用于分析两组图像主观评分的统计学差异，P值小于0.05被认为具有统计学意义。

表1 MRI扫描参数对比		
参数	屏气LAVA	DISCO-Star
呼吸控制	吸气呼气后屏气扫描	自由呼吸扫描
TR(ms)	3.2	3.5
TE(ms)	1.5	1.6
翻转角度(degree)	12	12
视野(cm²)	36×36	36×36
体素大小(mm³)	1.12×1.50×2.5	1.38×1.38×2.5
并行采集因子	2.0(phase)/1.5(slice)	2.0(phase)/1.5(slice)
压缩感知因子	N.A.	2.0
层厚(mm)	2.5	2.5
层间隔(mm)	0	0
层数	76	76
采集时间	单次采集16秒	所有相位3分钟

注：TR:重复时间,TE:回波时间,N.A.=不适用。

2 结 果

本研究共纳入20例同时采集了屏气LAVA序列和自由呼吸DISCO-Star序列的动态对比增强肝脏MRI检查。

2.1 观察者评价一致性 两位观察者对图像的主观评分见表2。两位观察者对运动伪影、肝脏边缘清晰度、扫描时机以及图像总体图像质量主观评估的Kappa值分别为0.778、0.893、0.620和0.814。表明主观评价具有较好的一致性。

2.2 主观评价结果 两组检查动脉期图像运动伪影、肝脏边缘清晰度、扫描时机以及图像总体质量的主观评分见表3。屏气LAVA序列图像在运动伪影、肝脏边缘清晰度、扫描时机方面以及图像总体质量的评分优于自由呼吸DISCO-Star序列图像，两组间的差异有统计学意义(P值均<0.05)，然而，在可诊断比例的评估上，两者的差异无统计学意义(P=1)。图1展示了一位41岁女性患者使用屏气LAVA序列和自由呼吸DISCO-Star序列进行动态增强肝脏成像的结果对比。两组图像均达到了满足诊断要求的质量。

表2 动脉期图像定性分析的一致性评估					
参数	屏气LAVA		DISCO-Star		K值(R1 vs R2)
	R1	R2	R1	R2	
运动伪影	5(5-5)	5(5-5)	5(5-5)	5(5-5)	0.778
肝脏边缘清晰度	5(5-5)	5(5-5)	4(4-5)	4(4-5)	0.893
扫描时机	2(1.25-3)	2(1.25-2.75)	2(1-2)	2(1-2)	0.620
图像总体质量	5(5-5)	5(5-5)	4(4-4)	4(4-4)	0.814

表3 动脉期图像主观评分对比				
参数	屏气LAVA	DISCO-Star	Z值	P值
运动伪影	4.95±0.22	4.80±0.52	-2.449	0.014
肝脏边缘清晰度	4.90±0.31	4.35±0.67	-3.554	0.000
扫描时机	2.08±0.77	1.80±0.77	-2.296	0.022
图像总体质量	4.90±0.31	4.15±0.49	-4.405	0.000
可诊断数(%)	100(20/20)	100(20/20)	0.000	1.000

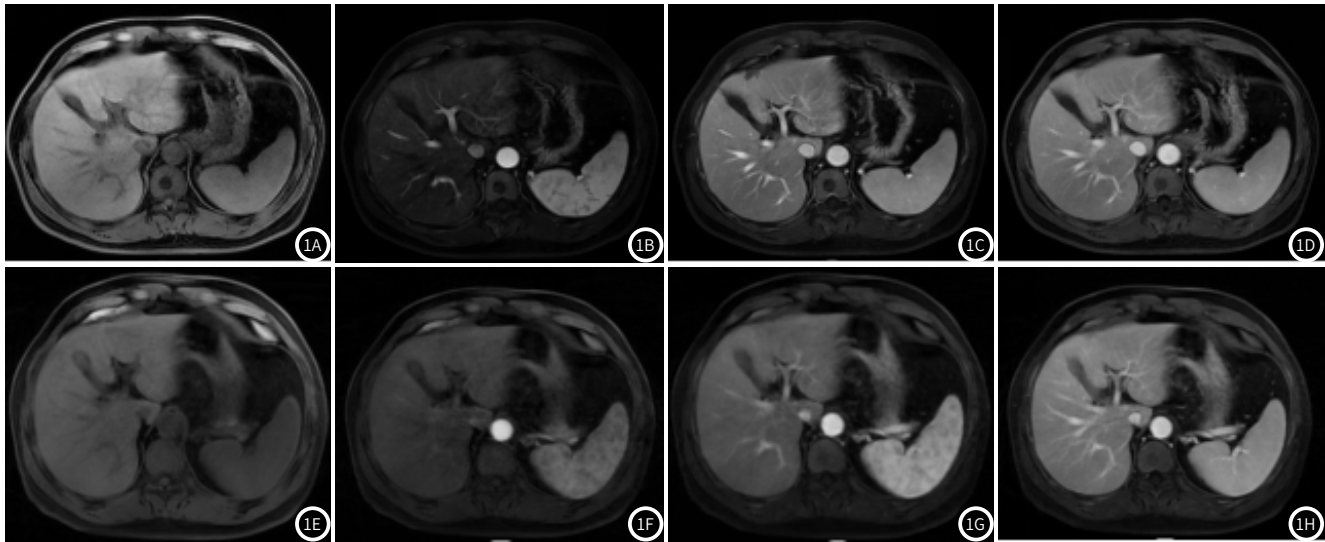


图1A-图1H 女，41岁，同时采用屏气LAVA序列与自由呼吸DISCO-Star序列的动态增强肝脏成像对比图。其中1A-1D分别为屏气LAVA序列的平扫期、动脉期、门脉期以及延迟期横断位图像。1E-1H分别为自由呼吸DISCO-Star序列的平扫期、动脉期、门脉期以及延迟期横断位图像。图像显示，尽管屏气LAVA序列在某些参数上评分较高，但自由呼吸DISCO-Star序列同样能够提供可用于临床诊断的图像。

3 讨 论

本研究评估了DISCO-Star技术在动态对比增强磁共振成像(DCE-MRI)中的应用，该技术结合了三种主要成像技术：DISCO、STAR和LAVA。首先是基于笛卡尔采集的K空间共享三维容积快速动态成像技术(differential sub-sampling with

cartesian ordering, DISCO)，通过K空间共享显著提升了时间分辨率，使得多时相动态对比增强成像成为可能。DISCO技术在血管成像和肿瘤良恶性评估中已证实其有效性^[9-10]，特别在腹部成像中^[11]，通过多期成像，该技术能有效减少或消除由患者运动引

起的伪影。其次是黄金角星状堆叠技术(golden angle stack-of-stars),简称STAR技术,该技术在z轴方向进行笛卡尔采样而在xy平面进行径向采样^[12],提供了高空间分辨率,并对运动具有较低的敏感度。尽管其成像时间较长,通常是腹部自由呼吸采集的首选技术^[7,13]。第三是基于梯度回波的肝脏容积加速采集序列(liver acquisition with volume acceleration, LAVA)。该序列通常要求屏气时间超过15秒。对于难以长时间屏气的患者,如幼儿或状态不佳的个体,屏气时长通常不超过10秒。为了提高时间分辨率,常采用加速技术,并在动脉期通过短时多期扫描来补偿图像质量^[11]。通过综合这些技术,我们能够在自由呼吸状态下实现肝脏的动态增强扫描。本研究发现,DISCO-Star技术能够提供与屏气扫描序列相媲美的图像质量。两位评估者对图像质量的评分显示出高度的一致性,整体图像质量的一致性评分为0.814,这证实了我们评分标准的高可靠性和一致性,与先前的研究结果相一致。尽管基于屏气LAVA序列的图像质量(主观评分 4.90 ± 0.31)略优于基于DISCO-Star序列的图像质量(主观评分 4.15 ± 0.49),但DISCO-Star序列的图像在主观评分上均超过了3分,表明其图像质量满足临床诊断要求,且两组间的可诊断率比较显示没有统计学差异。

在磁共振成像(MRI)过程中,对于呼吸屏气能力较差的患者,我们采取了一系列策略以减轻由此导致的图像伪影问题。在患者端,我们常采用的策略是让患者家属参与协助,通过辅助屏气来提高图像的稳定性。在设备端,针对老年人和幼儿等特殊群体,当辅助屏气仍不能满足检查要求时,我们调整扫描参数以提升时间分辨率。目前,加快磁共振T1成像扫描速度的常用方法包括减少编码次数、并行成像技术、压缩感知技术、同时多层成像技术以及钎孔技术等^[3,14]。对于完全无法配合屏气的患者,则采用自由呼吸采集序列,该技术对磁共振硬件的要求较高,需配合更高级的成像序列^[15-16]。以往的研究,徐琦等^[16]的研究则基于多次激励结合并行采集的CAIPIRINHA(鸡尾酒技术),成功降低了腹部呼吸运动伪影,尽管成像时间达到了158秒。李武超^[17]等的研究采用Star VIBE序列实现了肝脏MR的自由呼吸成像,但成像时间长达123秒。这些研究的时间分辨率较低,限制了它们在动态增强成像中的应用,通常只能用于平扫期和延迟期成像^[18]。相比之下,本研究采用的基于DISCO-Star序列的自由呼吸成像技术,具有较高的时间分辨率,能够在减少呼吸运动伪影的同时,获取动脉期、门脉期和延迟期的高质量图像,且整体图像质量不亚于基于屏气的常规LAVA序列。这与Ichikawa S等^[7]的研究一致,该研究也证实了DISCO-Star序列在获取动脉期和门脉期图像时的可诊断比例与屏气LAVA序列相比并无劣势。

本研究存在若干局限性:首先,作为一项单中心的回顾性研究,样本量有限,可能导致选择偏差,未来的研究需要扩大样本量以更全面地评估两种序列间的差异;其次,本研究中肝脏病变的案例数量有限,未能评估病灶的检出率和准确性;第三,DISCO-Star序列采用的K空间填充技术结合了笛卡尔采集和径向采样,但径向采样的数量不足可直接导致放射状条纹伪影。本研究仅评估了MR设备系统自带的扫描参数,DISCO-Star序列参数的优化需要进一步研究。

综上所述,基于DISCO-Star技术的动态对比增强成像可在受检者自由呼吸条件下完成肝脏MRI检查,技术提供了较高的图像稳定性和质量,对于临床上难以配合屏气、无法完成常规检查的患者具有重要的临床意义,值得进一步的推广和应用。

参考文献

- [1] Kaltenbach B, Bucher AM, Wichmann JL, et al. Dynamic liver magnetic resonance imaging in free-breathing feasibility of a cartesian T1-weighted acquisition technique with compressed sensing and additional self-navigation signal for hard-gated and motion-resolved reconstruction[J]. Invest Radiol, 2017, 52(11): 708-714.
- [2] 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.
- [3] Kabasawa H, Kiryu S. Pulse sequences and reconstruction in fast MR imaging of the liver, Magn[J]. Magn Reson Med Sci, 2023, 22(2): 176-190.
- [4] Kraus MS, Coblenz AC, Deshpande VS, et al. State-of-the-art magnetic resonance imaging sequences for pediatric body imaging[J]. Pediatr Radiol, 2023, 53(7): 1285-1299.
- [5] 杨凯华, 陈志平, 尹世庚, 等. 3D自由呼吸Star VIBE序列在儿童腹部增强MR中的应用[J]. 中国医学影像技术, 2019, 35(4): 4.
- [6] 袁颖, 任浩, 钟朝辉, 等. LAVA-Flex序列结合膈肌导航技术在肝脏T₂WI中的应用[J]. 中国临床医学影像杂志, 2023, 34(2): 123-126.
- [7] S. Ichikawa, U. Motosugi, T. Wakayama, et al. An intra-individual comparison between free-breathing dynamic MR imaging of the liver using stack-of-stars acquisition and the breath-holding method using cartesian sampling or view-sharing[J]. Magn Reson Med Sci, 2023, 22: 221-231.
- [8] S. Y. H. C. Szklaruk. Free-breathing radial volumetric interpolated breathhold examination vs breath-hold cartesian volumetric interpolated breath-hold examination magnetic resonance imaging of the liver at 1.5T[J]. 世界放射学杂志: 英文版(电子版), 2016.
- [9] T. Yamada, T. Masui, M. Sasaki, et al. Time resolved DCE-MRI of the kidneys: evaluation of the renal vasculatures and tumors using F-DISCO with and without compressed sensing in normal and wide-bore 3T systems[J]. Medicine (Baltimore), 2022, 101: e29971.
- [10] Y. Hu, Y. Wang, S. Cao, et al. Customizing anterolateral thigh flap with magnetic resonance angiography differential subsampling with cartesian ordering imaging for individualized reconstruction of extremity defects[J]. J Surg Res, 2023, 283: 733-742.
- [11] S. Ichikawa, U. Motosugi, K. Sato, et al. Transient respiratory-motion artifact and scan timing during the arterial phase of gadoxetate disodium-enhanced MR imaging: the benefit of shortened acquisition and multiple arterial phase acquisition[J]. Magn Reson Med Sci, 2021, 20: 280-289.
- [12] Saranathan M, Rettmann DW, Hargreaves BA, et al. Differential subsampling with cartesian ordering (DISCO): a high spatio-temporal resolution dixon imaging sequence for multiphasic contrast enhanced abdominal imaging[J]. Journal of Magnetic Resonance Imaging, 2012.
- [13] S. H. Park, J. H. Yoon, J. Y. Park, et al. Performance of free-breathing dynamic T1-weighted sequences in patients at risk of developing motion artifacts undergoing gadoxetic acid-enhanced liver MRI[J]. Eur Radiol, 2023, 33: 4378-4388.
- [14] 唐鹤茜, 魏毅, 邓莉萍, 等. 钆氨酸二钠肝脏增强多动脉期DISCO成像技术评价动脉晚期采集和图像质量与单动脉期对比研究[J]. 中华放射学杂志, 2019, 53(12): 1071-1075.
- [15] L. Feng. Golden-angle radial MRI: basics, advances, and applications[J]. J Magn Reson Imaging, 2022, 56: 45-62.
- [16] 徐琦, 何永胜, 罗潇, 等. 多激励次数自由呼吸T1VIBE序列在肝脏MR中的应用[J]. 中国CT和MRI杂志, 2020, 18(4): 89-90, 152.
- [17] 李武超, 王颀, 郑念华, 等. 常规三维容积内插屏气检查序列与自由呼吸StarVIBE序列T₂WI肝脏图像质量对比[J]. 中国医学影像技术, 2018, 34(7): 1094-1098.
- [18] 张坤林, 邹玉坚, 王刚, 等. 探讨Star-VIBE序列在肺癌MR成像中的应用价值[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21(6): 67-69.

(收稿日期: 2024-05-13)

(校对编辑: 姚丽娜)