

论 著

# 探讨PSIR MoCo序列在CMR延迟增强扫描中的优势——与TurboFLASH及TrueFISP对比\*

1.广东省香港大学深圳医院医学影像部放射科 (广东 深圳 518053)  
2.上海西门子医疗系统有限公司 (上海 201318)

陈燕<sup>1</sup> 罗琳<sup>1</sup> 何健龙<sup>1</sup>  
马玉佩<sup>1</sup> 杨国辉<sup>1</sup> 周晶月<sup>2</sup>  
沈新平<sup>1</sup>

**【摘要】目的** 探讨相位敏感反转恢复运动校正序列(PSIR MoCo)在心脏磁共振延迟增强(LGE)扫描中,扫描时间、图像伪影及图像质量方面的优势。**方法** 收集本院100例患者及健康志愿者,分别采用Turbo FLASH、PSIR MoCo、TrueFISP序列行LGE扫描,比较三种序列的图像采集时间、图像伪影、图像质量是否存在差异( $P < 0.05$ )。**结果** 1. PSIR MoCo序列的图像采集时间( $187 \pm 43$ )s比Turbo FLASH序列( $636 \pm 144$ )s明显缩短,  $P < 0.05$ 。2. PSIR MoCo序列图像的伪影评分( $3.8 \pm 0.24$ )高于Turbo FLASH序列( $3.3 \pm 0.44$ )和TrueFISP序列( $3.5 \pm 0.33$ ),  $P < 0.05$ 。3. PSIR MoCo序列图像的质量评分( $2.9 \pm 0.08$ )高于TrueFISP序列( $2.4 \pm 0.23$ ),  $P < 0.05$ 。**结论** PSIR MoCo序列在显著缩短LGE采集时间的同时,可获得伪影较少而质量较高的图像,在心失常、屏气欠佳的患者中更具优势。

**【关键词】** 心脏核磁共振; 延迟强化; 相位敏感反转恢复运动校正序列

**【中图分类号】**

**【文献标识码】** A

**【基金项目】** 深圳市科技创新委员会深圳市科技研发资金基础研究项目(JCYJ20150331142757386)

DOI: 10. 3969/j. issn. 1672-5131. 2020. 07. 018

通讯作者: 沈新平

# Explore the Advantages of PSIR MoCo Sequence in CMR Late Gadolinium Enhancement Scan — Compare with the TurboFLASH and TrueFISP\*

CHEN Yan, LUO Lin, HE Jian-long, et al., Department of Radiology, University of Hong Kong-Shenzhen Hospital, Shenzhen 518053, China

**[Abstract] Objective** To study the phase sensitive inversion recovery with motion correction sequence (PSIR MoCo) in cardiac magnetic resonance delayed enhancement scan. **Material and Methods** To collect 100 cases of patients or healthy volunteers from our hospital underwent CMR LGE scan with turbo FLASH PSIR, PSIR MoCo, single shot true FISP PSIR sequence respectively, compare image acquisition time, image artifacts, and diagnostic image quality ( $P < 0.05$ ). **Results** 1. Acquisition time of PSIR MoCo sequence ( $187 \pm 43$ )s is significantly shorter than that of Turbo FLASH ( $636 \pm 144$ )s,  $P < 0.05$ . 2. The image artifact scoring of PSIR MoCo sequence ( $3.8 \pm 0.24$ ) is higher than that of Turbo FLASH ( $3.3 \pm 0.44$ ) and TrueFISP sequence ( $3.5 \pm 0.33$ ),  $P < 0.05$ . 3. The image quality scoring of PSIR MoCo sequence ( $2.9 \pm 0.08$ ) is higher than that of TrueFISP sequence ( $2.4 \pm 0.23$ ),  $P < 0.05$ . **Conclusion** PSIR MoCo sequence could shorten the LGE acquisition time significantly, meanwhile reducing artifact and remaining high image quality. It is more advantageous in patients with arrhythmia or poor breath hold.

**[Key words]** Cardiac Magnetic Resonance; Late Gadolinium Enhancement; Phase Sensitive Inversion Recovery with Motion Correction Sequence

钆延迟增强(Late gadolinium enhancement, LGE)是心脏磁共振(Cardiac Magnetic Resonance, CMR)检查中不可或缺的常规扫描序列,可用于显示不同病理状态下心肌组织特性,对判断心肌活性<sup>[1]</sup>、心肌病及心脏占位性病变的诊断及鉴别诊断等方面<sup>[2]</sup>有非常重要的价值。

目前, LGE图像的获得主要通过以下两种扫描方式: 1. 常规分段扫描: 采用多次屏气k空间填充快速扰相梯度回波相位对比反转恢复序列(segment turbo FLASH PSIR, 以下简称Turbo FLASH), 优点是空间分辨率高, 延迟强化病灶显示较确切<sup>[3]</sup>, 与病理组织有良好对照, 被认为是LGE的“金标准”, 但其扫描耗时长、单次屏气只能采集一副图像, 对呼吸伪影及心率波动非常敏感, 尤其对心率不齐及闭气不佳患者, 此扫描应用受限<sup>[4]</sup>。2. 单次激发扫描: 采用单次屏气单次激发相位对比反转恢复序列(single shot true FISP PSIR, 以下简称TrueFISP), 优点是单次屏气可完成多层图像采集, 可显著缩短扫描时间<sup>[5-6]</sup>, 但同时也降低了空间分辨率, 且不能有效克服所有运动伪影。鉴于此, 相位敏感反转恢复运动校正序列(phase sensitive inversion recovery with motion correction sequence, 以下简称PSIR MoCo)应运而生。它在原有single shot序列基础上采用了运动校正技术, 在进一步提升图像分辨率的同时, 又保留了快速扫描的优点, 理论上具有更广阔的应用前景。针对PSIR MoCo序列, 本研究试图解决以下三个问题: ①该序列能否有效缩短扫描时间? ②该序列能否有效减少图像伪影? ③在缩短扫描时间及减少图像伪影的同时, 该序列能否获得较高的图像质量以满足诊断需求?

## 1 资料与方法

**1.1 前瞻性研究** 研究通过本院伦理委员会批准。纳入标准：行LGE扫描的病人及健康志愿者，并签署心脏MRI增强扫描知情同意书。排除标准：1. 受试者仅行平扫或未完成全部LGE扫描；2. 增强扫描后，心肌与血池对比欠佳(在magnitude图上心肌与血池的信号强度比值 $<3$ ，如图1)的LGE图像不予分析。

**1.2 扫描方法及流程** 采用1.5T Siemens Avanto超导磁共振扫描仪，梯度场强45mT/m，最大梯度切换率200mT/(m·ms)。采用6通道表面相控阵线圈，MR兼容的无线矢量心电图门控板以及便于和患者或志愿者沟通的MR适用降噪耳机。扫描层厚8mm，间隔2mm。先行定位图及心脏电影扫描，再注入钆造影剂(0.1mmol/kg)，8分钟后依次行TurboFLASH、PSIR MoCo、TrueFISP序列的LGE，且每种序列均依次行左室短轴位(心底到心尖)、两腔心、三腔心、四腔心扫描。

### 1.3 结果变量

1.3.1 图像采集时间：由MR

图像上提供的实际扫描时间信息来推算得出。

1.3.2 图像伪影评分：采用Likert量表，将LGE图像伪影分为4等级：4分，无运动、呼吸及心率不齐伪影，强化区与非强化区清晰区分；3分，极少运动、呼吸及心率不齐伪影，强化区与非强化区可以区分；2分，有运动、呼吸及心率不齐伪影，强化区与非强化区不能准确区分；1分，有严重的运动、呼吸及心率不齐伪影，强化区与非强化区无法区分。

1.3.3 图像质量评分：当TurboFLASH图像的伪影评分大于或等于3分时，以其作为“金标准”，仍采用Likert量表，将PSIR MoCo与TrueFISP的图像质量分为3等级：3分：图像质量优秀，与“金标准”相当或接近，完全可行影像诊断；2分：图像质量良好，比“金标准”稍差，仍可行影像诊断；1分：图像质量太差，远不及“金标准”，无法行影像诊断。

1.3.4 由两名具有国际心血管磁共振学会(Society of Cardiovascular MR, SCMR)二级

认证的放射科医师在不知晓图像扫描参数及临床资料的情况下分别对图像伪影及图像质量做独立评分，并将分数平均，作为最终得分。

**1.4 统计学分析** 采用SPSS17.0软件进行ANOVA方差分析，比较TurboFLASH、PSIR MoCo、TrueFISP三种序列的图像采集时间、图像伪影评分、图像质量评分是否存在差异，当 $P$ 值 $<0.05$ 时，有统计学意义。

## 2 结果

从2016年6月至2017年4月，共收集本院100例(男性68例，女性32例)心脏MR的LGE图像，其中健康志愿者34例，肥厚型心肌病20例，扩张型心肌病11例，缺血性心脏病5例，高血压14例，其他疾病16例。在100例中，心率失常患者占18例，闭气不佳者2例。剔除对比欠佳的图像后，共6361幅图像参与评价。

**2.1 图像采集时间** PSIR MoCo的图像采集时间( $187 \pm 43$ s)较TurboFLASH序列( $636 \pm 144$ s)显著缩短， $P < 0.001$ ；但与TrueFISP( $164 \pm 37$ s)相比，无统计学差异， $P > 0.05$ 。

**2.2 图像伪影评分** PSIR MoCo的图像伪影最少、伪影评分高于TurboFLASH及TrueFISP， $P < 0.05$ 。而TurboFLASH与TrueFISP的图像伪影评分无统计学差异， $P > 0.05$ 。见表1及图2-7。

**2.3 图像质量评分** 以TurboFLASH为“金标准”(表2及图8-13)，PSIR MoCo图像质量高于TrueFISP， $P < 0.05$ 。

## 3 讨论

表1 TurboFLASH、PSIR MoCo、TrueFISP图像伪影评分的比较

	TurboFLASH	PSIR MoCo	TrueFISP	F值	P值
SA	3.5 ± 0.31 <sup>#</sup>	3.8 ± 0.31	3.6 ± 0.42 <sup>#</sup>	21.039	< 0.001
2 CH	3.1 ± 0.66 <sup>#</sup>	3.6 ± 0.45	3.5 ± 0.51 <sup>#</sup>	26.110	< 0.001
3 CH	3.1 ± 0.65 <sup>#</sup>	3.7 ± 0.34	3.3 ± 0.54 <sup>#</sup>	14.145	< 0.001
4 CH	3.3 ± 0.52 <sup>#</sup>	3.8 ± 0.34	3.5 ± 0.48 <sup>#</sup>	10.442	< 0.001
Total	3.3 ± 0.44 <sup>#</sup>	3.8 ± 0.24	3.5 ± 0.33 <sup>#</sup>	11.028	< 0.001

注：SA表示左室短轴位连续层面LGE扫描，2CH表示两腔心LGE扫描，3CH表示三腔心LGE扫描。标#的两组之间无统计学差异， $P > 0.05$ 。

表2 PSIR MoCo与TrueFISP图像质量评分的比较

	PSIR MoCo	TrueFISP	F值	P值
SA	2.9 ± 0.11	2.6 ± 0.36	23.284	< 0.001
2 CH	2.8 ± 0.16	2.5 ± 0.37	25.338	< 0.001
3 CH	2.8 ± 0.14	2.3 ± 0.40	27.495	< 0.001
4 CH	2.9 ± 0.08	2.4 ± 0.33	32.282	< 0.001
Total	2.9 ± 0.08	2.4 ± 0.23	32.147	< 0.001

SA表示左室短轴位连续层面LGE扫描，2CH表示两腔心LGE扫描，3CH表示三腔心LGE扫描。

### 3.1 优化LGE图像的关键点 主要是降低运动伪影和提高图像质量

以往的单次屏气TrueFISP序列仅能提高扫描速度,但与分段扫描的TurboFLASH序列类似,不能有效克服运动伪影(表1),常需重复扫描,无形中延长了扫描时间。而PSIR MoCo可明显减少运动伪影(图2-7),同时可获得良好的图像质量,与“金标准”TurboFLASH更接近(表2),与以往文献报道类似<sup>[7]</sup>。尤其对于心率失常或闭气不佳的患者,PSIR MoCo扫描成功率大大提高,可减少重复扫描概率,实际上进一步缩短了扫描时间。

### 3.2 本实验具备以下创新点:

3.2.1 首次定义了LGE对比欠佳的量化标准:实际扫描流程中,由于TI时间选择误差等原因,常不能获得具有良好对比的LGE图像,肉眼无法准确判断是否存在LGE。根据经验多次尝试,笔者将magnitude图上心肌与血池信号强度比<3的图像从评价体系中剔除,从而保证参与评价的所有图像均具有诊断意义。这一点在现有文献中未曾提及。

3.2.2 以往关于LGE序列的对比研究:多是PSIR MoCo与TurboFLASH或TrueFISP的单一对比<sup>[7-9]</sup>,本研究首次将三种序列同时对比,更能体现出PSIR MoCo序列的综合优势。

3.2.3 本研究设计不局限于单一病种:虽已有文献针对缺血及非缺血心肌病的类似对比研究<sup>[10]</sup>,但本研究纳入了多个病种及健康志愿者,且结果显示:对于多种心脏病患者及拟排查心脏疾患的人群,PSIR MoCo序列具有普遍优势。

3.3 本研究局限性 首先,心率失常或闭气不佳的受试者数

目仍有限,期待以后积累更多样本。其次,三种序列图像不是按照随机顺序获取,每名受试者均依次行TurboFLASH、PSIR MoCo、TrueFISP扫描,而造影剂在血池及心肌内的分布随时间逐渐减少,可能造成结果偏倚。实际扫描中,操作者应尽可能熟练定位并扫描,且根据图像及扫描经验实时修正TI值<sup>[11]</sup>,以期达到最佳对比增强效果。

综上所述,PSIR MoCo序列在节省LGE图像采集时间、减少图像伪影的同时,可获得更接近“金标准”的图像质量、满足诊断需求。尤其对心率失常及闭气不佳患者,该序列扫描成功率大大提高,有望纳入CMR常规扫描方案,拥有广阔的临床应用前景。

### 参考文献

[1] Laura Jimenez Juan, Andrew M. Crean, Bernd J. Wintersperger, et al. Late Gadolinium Enhancement Imaging in Assessment of Myocardial Viability Techniques and Clinical Applications. *Radiol Clin N Am*, 2015, 53: 397-411.  
 [2] 赵世华. 心血管病磁共振诊断学. 人民军医出版社, 2011. 5: 44.  
 [3] Peter Kellman, Andrew E. Arai, Elliot R. McVeigh, et al. Phase-sensitive inversion recovery for detecting myocardial infarction using gadolinium-delayed hyperenhancement. *Magnetic Resonance in Medicine*, 2002, 47: 372-383.  
 [4] Sievers B, Rehwald WG, Albert TS, et al. Respiratory motion and cardiac arrhythmia effects on diagnostic accuracy of myocardial delayed-enhanced MR imaging in canines. *Radiology*. 2008, 247(1): 106-140.  
 [5] Elgeti Thomas MD, Abdel-Aty, Hassan MD, Wagner Moritz, et al. Assessment of Late Gadolinium Enhancement in Nonischemic Cardiomyopathy: Comparison of a Fast Phase-Sensitive Inversion Recovery Sequence (PSIR) and a Conventional Segmented 2D

Gradient Echo Recall (GRE) Sequence—Preliminary Findings. *Investigative Radiology*, 2007, 42(10): 671-675.

[6] Fabian Muehlberg, Kristin Arnhold, Stephanie Funk, et al. Equivalence of conventional and fast late gadolinium enhancement (LGE) techniques for quantitative evaluation of fibrosis in ischemic and non-ischemic cardiac disease - Save the Time! *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*, 2016, 18(S1): Q64.  
 [7] 程巍, 蔡舒, 孙家瑜, 等. 3.0T磁共振single shot PSIR与segmented PSIR序列在心肌梗死评价中的对比研究. *四川大学学报(医学版)*, 2015, 46(3): 463-466.  
 [8] Lu Lin, Yining Wang, Jian Cao, et al. 3.0T motion-corrected single-shot phase sensitive inversion recovery (PSIR) late gadolinium enhancement (LGE) in free-breathing patients compared with conventional segmented breath-held LGE. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*, 2015, 17(S1): 061.  
 [9] Fabian Muehlberg, Kristin Arnhold, Simone Fritschi, et al. Comparison of fast multislice and standard segmented techniques for detection of late gadolinium enhancement in ischemic and non-ischemic cardiomyopathy - a prospective clinical cardiovascular magnetic resonance trial. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*, 2018, 20: 13.  
 [10] John Stirrat, Sebastien Xavier Joncas, Michael Salerno, et al. Influence of phase correction of late gadolinium enhancement images on scar signal quantification in patients with ischemic and non-ischemic cardiomyopathy. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*, 2015, 17: 66.  
 [11] Peter Kellman, Andrew E. Arai, Elliot R. McVeigh, et al. Phase-sensitive inversion recovery for detecting myocardial infarction using gadolinium-delayed hyperenhancement. *Magnetic Resonance in Medicine* 2002, 47: 372-383.

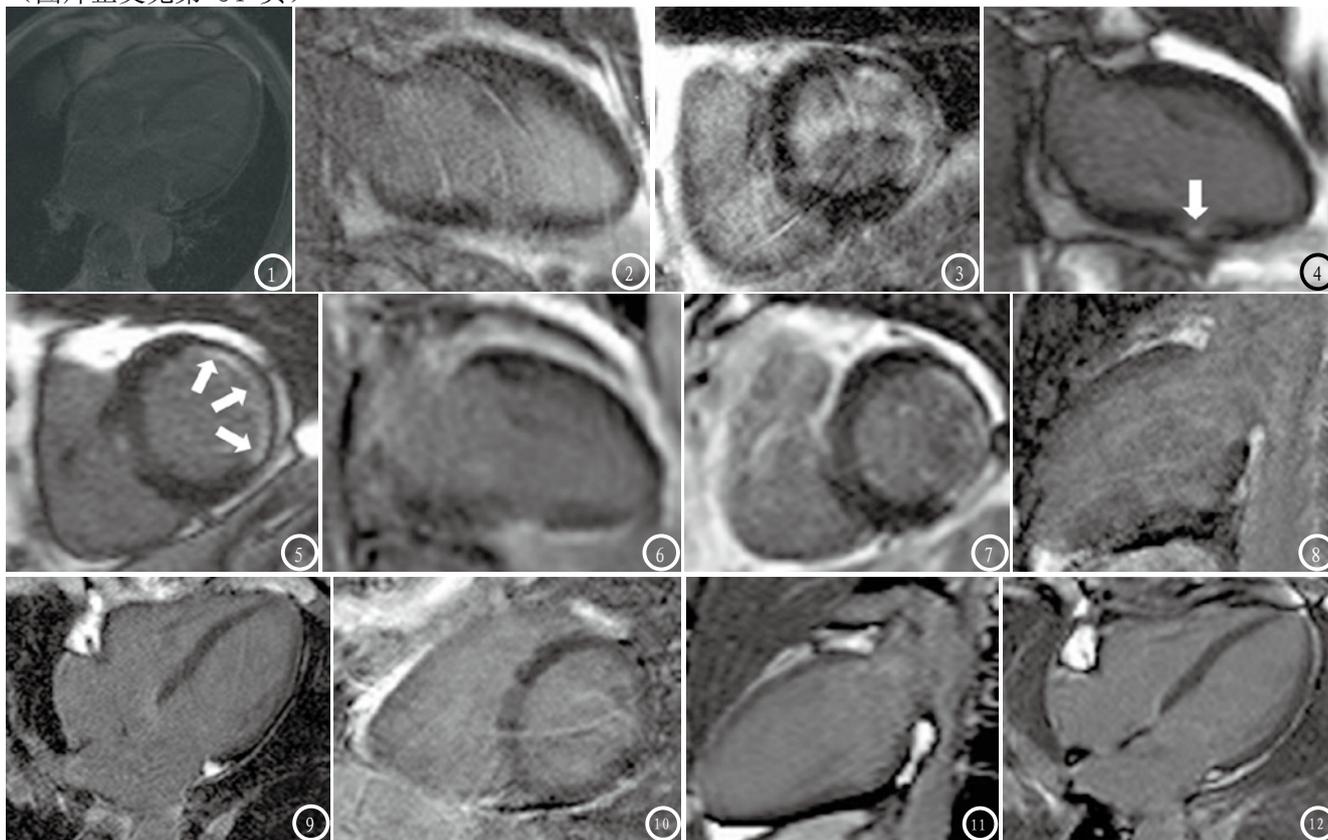
(本文图片见封二)

(本文编辑: 汪兵)

【收稿日期】2019-08-25

# 探讨PSIR MoCo序列在CMR延迟增强扫描中的优势——与TurboFLASH及TrueFISP对比\*

(图片正文见第 54 页)



**图1** 排除标准。Magnitude图示心肌与血池的信号强度比值 $<3$ ，对比度差，该图像被剔除；**图2-7** PSIR MoCo与TurboFLASH、TrueFISP序列的LGE图像伪影对比。男，45岁，心肌梗死，心前区疼痛。扫描过程中心率不稳、呼吸配合欠佳。图2-3、4-5、6-7分别为该患者的TurboFLASH、PSIR MoCo及TrueFISP序列的两腔心、左室中段短轴位LGE图像。该患者左室中段前壁及下壁可见点片状内膜下强化灶(白箭)，未透壁；三种序列图像对比，PSIR MoCo序列图像最清晰、无运动伪影(图4-5)，评分为4分、4分；而TrueFISP序列图像(图6-7)有少量运动伪影，评分为3分、3分；TurboFLASH序列图像(图2-3)运动伪影最明显，评分为2、2分；**图8-13** PSIR MoCo与TurboFLASH序列的图像伪影及图像质量对比。女性，45岁，健康志愿者，无自觉症状，扫描过程中心率及呼吸均平稳。图8-10 分别为TurboFLASH序列LGE两腔心、四腔心、左室中段短轴位图像，部分图像有运动伪影，但基本清晰，伪影评分分别为2、3、3分；图11-13 分别为该志愿者的PSIR MoCo序列相同位置的图像，图像清晰无伪影，伪影评分均为4分。因图A的伪影评分 $<3$ 分，故不能作为“金标准”，仅用图9-10作为“金标准”评价，图11、12、13的图像质量评分均为3分，可满足诊断，均未见异常强化灶。