

MOCO-PSIR 在扩张型心肌病心肌纤维化 瘢痕评价中的应用价值*

程巍¹, 王思梦¹, 何帅¹, 吴韬¹, 潘雪琳¹, 孙家瑜¹, 陈玉成², 余建群^{1△}

1. 四川大学华西医院放射科(成都 610041); 2. 四川大学华西医院心内科(成都 610041)

【摘要】目的 研究运动校正相位敏感反转恢复序列(MOCO-PSIR)在扩张型心肌病(DCM)致心力衰竭患者心肌纤维化瘢痕评价中的应用价值。**方法** 前瞻性纳入2017年6月至2018年11月进行心脏磁共振(CMR)增强扫描的患者60例,其中临床诊断为DCM的患者38例,正常对照组22例;所有患者均同时采用segmented-PSIR(seg-PSIR)、single-shot-PSIR、MOCO-PSIR 3种延迟强化(LGE)评价序列,对比分析3组图像质量的主观评分(4级)和正常及异常心肌的图像信噪比(SNR,客观评价);并记录3种扫描技术的延迟强化检出节段数(即是否存在心肌瘢痕组织)和图像采集时间。**结果** 图像质量主观评分:在DCM患者中,评分由高到低为MOCO-PSIR>single-shot-PSIR>seg-PSIR($P<0.05$);在正常对照者中,3种不同序列间评分差异无统计学意义。客观评价:在DCM患者和正常对照者中,SNR由高到低均为seg-PSIR>MOCO-PSIR>single-shot-PSIR($P<0.05$)。在DCM患者的646个节段评价中,seg-PSIR无法评价的节段占比最高(25.5%),MOCO-PSIR占比最低(1.4%),3组序列间比较差异有统计学意义($P<0.001$);在正常对照者374个节段评价中,3组序列无法评价的节段占比比较差异无统计学意义。3组序列采集左室全程时间分别为:seg-PSIR(5.6 ± 1.7)min;single-shot-PSIR(0.4 ± 0.2)min;MOCO-PSIR(4.5 ± 1.1)min,三者间比较差异有统计学意义($P<0.001$)。**结论** MOCO-PSIR-LGE在DCM致心力衰竭患者心肌纤维化瘢痕评价方面具有较大的临床意义,其图像质量和延迟强化检出率高于常规的延迟强化扫描序列。

【关键词】 扩张型心肌病 心脏磁共振 延迟强化 心肌纤维化 运动校正

Application Value of Motion-correction Phase Sensitive Inversion Recovery (MOCO-PSIR) to Evaluate Myocardial Fibrosis in Patients with Heart Failure Caused by Dilated Cardiomyopathy CHENG Wei¹, WANG Si-meng¹, HE Shuai¹, WU Tao¹, PAN Xue-lin¹, SUN Jia-yu¹, CHEN Yu-cheng², YU Jian-qun^{1△}. 1. Department of Radiology, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China; 2. Department of Cardiology, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China

△ Corresponding author, E-mail: cjr.yujianqun@vip.163.com

【Abstract】Objective To study the application value of motion-correction phase sensitive inversion recovery (MOCO-PSIR) to evaluate myocardial fibrosis in the patients with heart failure caused by dilated cardiomyopathy (DCM). **Methods** A prospective study included 60 patients who underwent cardiac MRI enhanced scan from June 2017 to November 2018, including 38 patients who were clinically diagnosed with DCM and 22 patients in the normal control group. All patients were scanned with three late gadolinium enhancement (LGE) sequences: segmented-PSIR, single-shot-PSIR, MOCO-PSIR at the same time. The subjective quality score (level 4) and image signal-to-noise ratio (objective evaluation) of normal and abnormal myocardium were analyzed and compared in three scanning technique groups. The detection rate of myocardial fibrosis and image acquisition time of the three scanning techniques were recorded. **Results** In the normal control group (sinus rhythm), subjective score showed no statistical significance. Subjective scoring results in the patients with DCM: MOCO-PSIR > single-shot-PSIR > segmented-PSIR ($P<0.05$). SNR results PSIR-LGE images in DCM patients as well as control group: segmented-PSIR > MOCO-PSIR > single-shot-PSIR ($P<0.05$). In the whole 646 segments analysis of DCM patients, the ratio unable to judge in segmented-PSIR was up to 25.5%, but only 1.4% in MOCO-PSIR. Significant difference was found in the three groups. While in the 374 segments of control group, no statistical difference was found in comparison of incapability to judge. Acquisition time covered left ventricular: (5.6 ± 1.7) min in segmented-PSIR,

* 国家自然科学基金(No. 81571638, No. 81520108014, No. 81771800, No. 81829003)、国家科技部重大项目(No. 2016YFA0201401)和四川省科技厅国际合作项目(No. 2017HH0045)资助

△ 通信作者, E-mail: cjr.yujianqun@vip.163.com

(0.4 ± 0.2) min in single-shot-PSIR and (4.5 ± 1.1) min in MOCO-PSIR. Pairwise comparison of acquisition time among three scanning techniques was statistically significant ($P < 0.001$). **Conclusion** MOCO-PSIR-LGE has better clinical significance than conventional delayed enhanced scan sequences in the diagnosis of myocardial fibrosis in the patients with heart failure caused by dilated cardiomyopathy.

【Key words】 Dilated cardiomyopathy (DCM) Cardiac MRI Late gadolinium enhancement (LGE) Myocardial fibrosis Motion-corrected

心脏磁共振作为心肌纤维化和瘢痕组织形成的重要诊断方法,在临床心脏病诊断中扮演着重要角色^[1-2],常规的心脏磁共振(cardiac magnetic resonance, CMR)-延迟强化(late gadolinium enhancement, LGE)成像方法虽然是心肌纤维化瘢痕诊断的金标准,但在扩张型心肌病(dilated cardiomyopathy, DCM)患者中常因心力衰竭致心律不齐或闭气不良导致心脏运动伪影,很难准确预测心肌纤维化和瘢痕程度,因此我们提出新的LGE成像序列——运动校正相位敏感反转恢复序列(motion-correction phase sensitive inversion recovery, MOCO-PSIR)作为这一类患者的补充检查技术,该技术可以对采集的影像进行运动校正。本研究拟探讨MOCO-PSIR-LGE技术在DCM致心力衰竭患者心肌纤维化瘢痕评价中的应用价值。

1 对象与方法

1.1 研究对象

前瞻性纳入2017年6月至2018年11月在我院临床诊断为DCM致心力衰竭并进行心脏磁共振增强扫描的患者38例,其中男性18例,女性20例,年龄24~70岁,平均年龄(46.2 ± 12.4)岁;身高(167.1 ± 9.5)cm;体质量(63.9 ± 12.1)kg;心率(78.4 ± 12.3) min^{-1} 。正常对照组22例,均为窦性

心律,其中男性13例,女性9例,年龄24~72岁,平均年龄(44.5 ± 15.7)岁;身高(162.4 ± 11.2)cm;体质量(58.9 ± 16.3)kg;心率(72.4 ± 15.8) min^{-1} 。两组基本资料比较差异无统计学意义。患者经询问无起搏器、过敏史、肾功能衰竭等磁共振和对比剂禁忌症,并签署知情同意书。生物医学伦理批准号:2015年审(304)号。

1.2 扫描方法

所有患者心脏扫描均在西门子3.0T磁共振(Magnetom Trio 3.0 T, Siemens Medical Solutions, Germany)上完成。使用32通道相控阵表面线圈,按手册指导方式正确连接心电门控、脉搏门控及呼吸门控。头先进,仰卧位,训练患者呼吸至平静呼吸下能够正常闭气20s左右(部分患者由于心功能较差不能闭气可不作要求)。按照标准CMR扫描方案,在功能/电影序列扫描完成后即给药后12~25min内[对比剂使用钆喷酸葡胺(Bayer Schering Pharma Germany),高压注射器推注,0.3mmol/kg],根据美国心脏协会(AHA)17节段分析法,完成短轴及长轴4腔的LGE扫描,LGE扫描按照segmented-PSIR(seg-PSIR)/single-shot-PSIR/MOCO-PSIR 3种扫描方式进行,3种LGE方法分别在心脏短轴基底、中部、远端及4腔长轴切面上采集数据。扫描参数见表1。

表1 3种扫描方法的参数

Table 1 Scanning parameters in three methods

Parameter	Seg-PSIR	Single-shot-PSIR	MOCO-PSIR
Sequence type	GRE	True FISP	True FISP
TR/ms	677	739	693
TE/ms	3.4	1.1	1.4
Slice thickness/mm	8	8	8
Voxel size/mm ³	0.9×0.9×8.0	0.9×0.9×8.0	0.9×0.9×8.0
Band width/Hz	287	1 532	965

TR: Repetition time; TE: Echo time

1.3 图像分析

1.3.1 图像质量主观评价 由两位有经验的医师对图像质量行主观评分。4分:图像清晰无伪影,心肌轮廓分明,强化区域明显;3分:图像少许伪影,心

肌轮廓和强化区域可分辨;2分:图像伪影明显,心肌轮廓和强化区域不能明确判定;1分:图像伪影严重,心肌轮廓不清晰,无法确定心肌是否强化。

1.3.2 图像质量客观评价 通过信号强度(signal

intensity, SI) 与噪声水平即标准差 (standard deviation, SD) 的比值计算信噪比 (signal to noise ratio, SNR)。测量方法: 使用专用的图像处理软件 E-film, 勾画心脏短轴基底、中段、远端和四腔层面的圆形兴趣区, 面积大小约 $0.2 \sim 0.3 \text{ mm}^2$, 记录区域内 SI 和标准差 (SD)。

1.4 统计学方法

图像质量主观评价和客观标准 (SNR) 的组间比较采用多组数据方差分析 (ANOVA), 两两比较

采用配对 t 检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

所有研究对象均成功完成序列扫描。

2.1 图像质量的评价

3种扫描序列中, 窦性心律且闭气良好时图像质量均良好 (图1), 无法屏气或心律不齐时, MOCO-PSIR 图像质量均好于另外两种序列 (图2、图3)。主观评分比较结果显示 (表2), 在 DCM 组

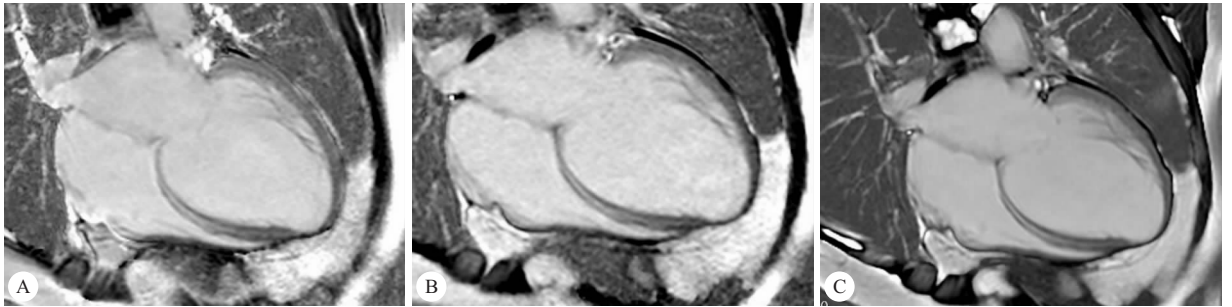


图1 患者窦性心律且闭气良好状态下, 3种序列图像评分均为4分

Fig 1 Images of three groups in patients with sinus and breath-hold well that score 4 can accurately be judged

A: Seg-PSIR; B: Single-shot-PSIR; C: MOCO-PSIR

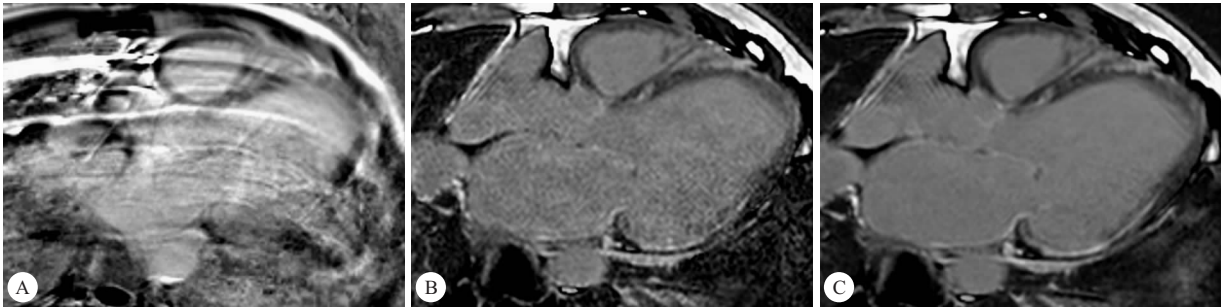


图2 患者无法屏气时, seg-PSIR 图像伪影严重, 无法诊断 (A); single-shot-PSIR 噪声偏重 (B); MOCO-PSIR 主观评价4分 (C)

Fig 2 Artifacts was too heavy to judge in seg-PSIR when breath-hold failed (A). Noise was evident in single-shot-PSIR (B), while image quality was still good in MOCO-PSIR (C)

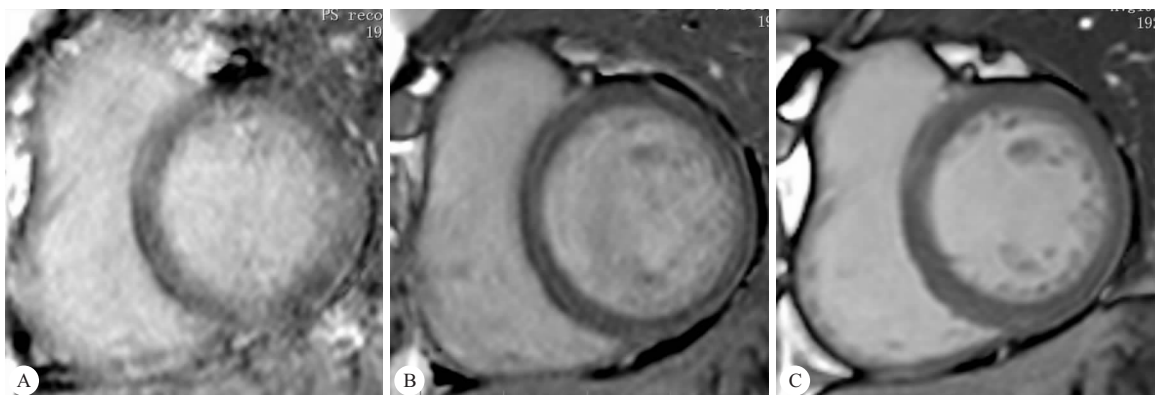


图3 心律不齐患者, seg-PSIR (A) 与 single-shot-PSIR (B) 图像模糊无法判断心肌是否强化; MOCO-PSIR (C) 图像清晰

Fig 3 Ambiguous images in seg-PSIR (A) and single-shot-PSIR (B), while distinguished image in MOCO-PSIR (C) when arrhythmia occurs

中,评分差异有统计学意义($P < 0.001$),MOCO-PSIR > single-shot-PSIR > seg-PSIR;在正常对照组中,评分差异无统计学意义。3种扫描序列间 SNR

比较结果显示(表 3),在 DCM 组和正常对照组中,SNR 差异均有统计学意义($P < 0.001$),seg-PSIR > MOCO-PSIR > single-shot-PSIR。

表 2 3种扫描技术的图像质量主观评分比较
Table 2 Comparison of scores in three methods

Group	<i>n</i>	Segment	Seg-PSIR	Single-shot-PSIR	MOCO-PSIR	<i>P</i>
DCM	38	152	2.81 ± 0.94	3.44 ± 0.68	3.79 ± 0.58	<0.001
Normal	22	88	3.21 ± 0.72	3.54 ± 0.48	3.76 ± 0.42	>0.05

表 3 3种扫描技术的 SNR 比较

Table 3 Comparison of SNR in three methods

Group	<i>n</i>	Segment	Seg-PSIR	Single-shot-PSIR	MOCO-PSIR	<i>P</i>
DCM	38	152	77.96 ± 30.86	49.02 ± 20.63	51.52 ± 18.42	<0.001
Normal	22	88	73.16 ± 27.24	64.69 ± 26.42	62.24 ± 24.75	<0.001

2.2 瘢痕组织的评价

结果见表 4。在 DCM 组中,由于心律不齐或闭气不佳造成的 seg-PSIR 图像模糊,使 25.5% 的图像节段无法判断是否存在强化的心肌瘢痕组织,该比例高于 single-shot-PSIR 和 MOCO-PSIR 序列

($P < 0.001$),single-shot-PSIR 序列无法诊断的图像节段比例高于 MOCO-PSIR 序列($P < 0.001$)。而在正常对照组中,3种序列间无法诊断的图像节段比例差异无统计学意义。

2.3 采集时间的比较

表 4 延迟强化诊断结果

Table 4 Results of delay enhancement in the two groups

Group	Segment	Capable to judge/case (%)		Incapable/case (%)
		Negative	Positive	
DCM group				
Seg-PSIR	646	426 (65.9)	55 (8.5)	165 (25.5) *·#
Single-shot-PSIR	646	551 (85.3)	61 (9.4)	34 (5.3) *
MOCO-PSIR	646	583 (90.2)	54 (8.4)	9 (1.4)
Normal group				
Seg-PSIR	374	324 (86.6)	32 (8.6)	18 (4.8)
Single-shot-PSIR	374	332 (88.8)	36 (9.6)	6 (1.6)
MOCO-PSIR	374	334 (89.3)	38 (10.2)	2 (0.5)

* $P < 0.001$, vs. MOCO-PSIR; # $P < 0.001$, vs. single-shot-PSIR

结果见表 5。seg-PSIR 序列扫描时需屏气后扫描,单层扫描需 8~10 个心动周期完成,且由于心律不齐可造成某些心动周期延长,而 MOCO-PSIR 序列单层需同层采集 8 次,再进行加权平均,因此采集时间同样需要 10~12 s 以上,相比 single-shot-PSIR 序列时间较长。3种序列比较,seg-PSIR > MOCO-PSIR > single-shot-PSIR($P < 0.01$)。

表 5 图像采集时间的比较

Table 5 Comparison of acquisition time in three methods

PSIR	<i>n</i>	Single slice/s	Cover of LV/min
Seg-PSIR	60	10.2 ± 1.1	5.6 ± 1.7
Single-shot-PSIR	60	0.95 ± 0.32	0.35 ± 0.20
MOCO-PSIR	60	8.6 ± 1.8	4.5 ± 1.1

LV: Left ventricular

3 讨论

CMR-LGE 是研究心肌纤维化瘢痕形成的重要方法,也被认为是诊断局灶性心肌纤维化的活检替代方法^[3]。在理想状态下(心脏节律整齐,闭气良好),经典的 seg-PSIR-LGE 可得到理想的心肌延迟强化图像^[4];但在临床实际检查过程中,心律不齐和扫描过程中闭气差引起的运动伪影十分常见,常致心肌信号差别难以准确显示,给心肌纤维化的诊断造成困难^[5];为改善这类情况,single-shot-PSIR-LGE 和 MOCO-PSIR-LGE 两种序列相继被开发和应用,前者在一个心动周期内可完成单层图像的采集,成像速度快,但图像 SNR 降低,如果采集时 R-R 间期太短,则不能完全克服运动伪影;而 MOCO-

PSIR-LGE 序列由于图像经过 8 个心动周期多次平均,图像 SNR 大大提高。图像质量的影响因素有空间分辨率、SNR、图像伪影等,为评价各种序列的影响因素,本研究采用统一的图像空间分辨率,评价其 SNR、图像伪影等差异。

3.1 seg-PSIR

seg-PSIR 是延迟强化扫描的常规序列,本研究结果显示 DCM 组和正常对照组其 SNR 分别为 77.96 ± 30.86 和 73.16 ± 27.24 ,在 3 种序列中均最高,可见 SNR 为序列的固有特性,不易受到其他因素的影响。DCM 患者常发生心力衰竭而致心律失常^[6],心律失常的患者扫描时相邻 R-R 间期差异很大,无法满足在同一图像的采集时心脏保持最佳舒张期;另外,心力衰竭患者屏气困难,无法在 segmented 的 8~10 个心动周期内保证心脏处于同一位置,因此运动伪影常出现在 segmented 扫描中。本研究正常对照组超过 95% 的图像可判断心肌纤维化情况,而在 DCM 组,该序列的图像 25.5% 无法判断心肌纤维化情况,说明伪影对图像质量影响较大。

3.2 single-shot-PSIR

single-shot-PSIR 采集时只需一个心动周期即可采集一幅图像,所以只要采集时 R-R 间期足够宽,则可以完成采集,不受屏气不良的影响^[2];但研究发现仍存在一些不足,即 R-R 间期过短,导致在心脏运动时采集图像,可能出现图像模糊,此即 single-shot 图像模糊,无法判断是否强化的原因之一^[7]。而且 single-shot 是以牺牲 SNR 为代价解决心律失常的情况而开发的技术,其产生的低 SNR 也带来一定的诊断困难。本研究结果显示,该序列在 3 种技术中 SNR 最低,因此 single-shot 不宜作为延迟强化扫描的首选,但其扫描时间短,可作为患者不能耐受长时间检查的替代方法,尤其在心衰患者(如 DCM)的扫描中优于 segmented 序列。

3.3 MOCO-PSIR

MOCO-PSIR 序列是在 single-shot 基础上嵌入运动校正技术(MOCO)^[8-10],一次采集同一层面 8 幅图像,并自动选择其中较优的 4 幅进行图像配比与降噪处理,可有效降低图像模糊的概率,在获得较高的 SNR 的同时,也能克服心律不齐带来的模糊伪影,在患者无法屏气时,仍能获得较好的图像。既往研究发现,当心律正常时,segmented 与 single-shot 均能发挥其长处,single-shot 采集时间短,虽 SNR 低但心肌瘢痕评价尚能与 segmented 匹配,但发生

心律不齐时效果不甚理想^[11-12];MOCO-PSIR 也已证明在心律正常情况下,成像质量符合诊断需求^[13]。本研究对 DCM 心力衰竭的患者 3 种扫描技术的比较结果显示,MOCO-PSIR 在 segmented 与 single-shot 均表现不佳的情况下,仍能获得较高的图像质量(盲法主观评分可达 3.79 ± 0.58 ,SNR 也高于 single-shot)。在 DCM 组中图像无法判断的比例也仅有 1.4%。最新的研究也进一步说明^[14-15],运动校正技术正发展迅速,前景优越,甚至很快将会实现 3D 运动校正。此外,本研究还发现,与 segmented 不同,MOCO-PSIR 基础序列是自由稳态旋进(trufisp),在 3.0T 磁共振扫描时,产生磁敏感伪影的可能性大,在扫描中偶尔出现 MOCO-PSIR 严重伪影的情况,但一般可通过调整 delta 频率的方式解决。

综上,由于 DCM 患者大多伴有心力衰竭和心律不齐,在进行 CMR 检查时,seg-PSIR 扫描技术在心肌延迟强化的诊断中受到心律不齐及呼吸屏气好坏影响明显,序列 single-shot 由于较低的 SNR 和图像模糊伪影其应用也受到限制,两者的成像效果不佳;而 MOCO-PSIR 序列则能弥补以上不足,在心律不齐或无法屏气时均可能得到较高 SNR 的图像,有效降低模糊图像产生的比例,是一种较为理想的扫描技术,可作为 DCM 心力衰竭患者的心脏 MR 扫描的主要成像技术内容。

参 考 文 献

- [1] SALERNO M, KRAMER CM. Prognosis in hypertrophic cardiomyopathy with contrast-enhanced cardiac magnetic resonance; the future looks bright. *J Am Coll Cardiol*, 2010, 56(11):888-889.
- [2] HUBER A, HAYES C, SPANNAGL B, *et al.* Phase-sensitive inversion recovery single-shot balanced steady-state free precession for detection of myocardial infarction during a single breath hold. *Acad Radiol*, 2007, 14(12):1500-1508.
- [3] HUNOLD P, SCHLOSSER T, VOGT FM, *et al.* Myocardial late enhancement in contrast-enhanced cardiac MRI: distinction between infarction scar and non-infarction-related disease. *AJR Am J Roentgenol*, 2005, 184(5):1420-1426.
- [4] KELLMAN P, ARAI AE, MCVEIGH ER, *et al.* Phase-sensitive inversion recovery for detecting myocardial infarction using gadolinium-delayed hyperenhancement. *Magn Reson Med*, 2002, 47(2):372-383.
- [5] PIEHLER KM, WONG TC, PUNTIL KS, *et al.* Free-breathing, motion-corrected late gadolinium enhancement is robust and extends risk stratification to vulnerable patients.

- Circ Cardiovasc Imaging, 2013, 6(3):423-432.
- [6] KLEM I, SHAH DJ, WHITE RD, *et al.* Prognostic value of routine cardiac magnetic resonance assessment of left ventricular ejection fraction and myocardial damage: an international, multicenter study. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2011, 4(6):610-619.
- [7] MUEHLBERG F, ARNHOLD K, FRITSCHI S, *et al.* Comparison of fast multi-slice and standard segmented techniques for detection of late gadolinium enhancement in ischemic and non-ischemic cardiomyopathy — a prospective clinical cardiovascular magnetic resonance trial. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2018, 20(1):13.
- [8] OLIVIERI L, CROSS R, O' BRIEN KJ, *et al.* Free-breathing motion-corrected late gadolinium enhancement imaging improves image quality in children. *Pediatr Radiol*, 2016, 46(7):983-990.
- [9] KELLMAN P, LARSON AC, HSU LY, *et al.* Motion-corrected free-breathing delayed enhancement imaging of myocardial infarction. *Magn Reson Med*, 2005, 53(1):194-200.
- [10] XUE H, GREISER A, ZUEHLSDORFF S, *et al.* Phase-sensitive inversion recovery for myocardial T1 mapping with motion correction and parametric fitting. *Magn Reson Med*, 2013, 69(5):1408-1420.
- [11] GABRIELLA C, ILARIA L, YANG Y, *et al.* Motion-corrected free-breathing LGE delivers high quality imaging and reduces scan time by half: an independent validation study. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2019 [2019-05-23]. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10554-019-01620-x>. doi:10.1007/s10554-019-01620-x.
- [12] 程 巍, 陈玉成, 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.
- [13] 樊红霞, 尹 刚, 杨新令, 等. 运动相位纠正技术与节段法相位技术在磁共振心肌延迟增强中的对比研究. *中国循环杂志*, 2017, 32(9):908-912.
- [14] CRUZ G, JAUBERT O, SCHNEIDER T, *et al.* Rigid motion-corrected magnetic resonance fingerprinting. *Magn Reson Med*, 2019, 81(2):947-961.
- [15] XU Z, YE H, LYU M, *et al.* Rigid motion correction for magnetic resonance fingerprinting with sliding-window reconstruction and image registration. *Magn Reson Imaging*, 2019, 57:303-312[2019-05-23]. <https://doi.org/10.1016/j.mri.2018.11.001>.

(2019-04-28 收稿, 2019-05-27 修回)

编辑 余琳