

· 心血管影像学 ·

心脏 MRI 检查中自由呼吸单次激发 FIESTA 序列的应用

李帆, 程流泉, 方芳, 牛广明, 姜琨, 王利东

【摘要】 目的:研究 SS-SSFP 序列在心脏 MRI 检查中从图像质量和扫描时间方面与 IR-FGRE、3D IR-FGRE 序列的优势。**方法:**本文搜集疑似或确诊心脏病患者 52 例进行心脏 MRI 检查,延迟期扫描采用 SS-SSFP、IR-FGRE、3D IR-FGRE 序列。通过测量扫描时间和图像质量相关参数评价新序列与传统序列的差别。**结果:**SS-SSFP 序列(24~36s)和 3D IR-FGRE 序列(27~35s)扫描时间明显低于 IR-FGRE 序列(116~154s),两者有统计学差异($P<0.001$)。统计学结果显示 SS-SSFP 序列图像质量、异常强化体积及百分比与 IR-FGRE 序列相比较无差异,而心肌信噪比、强化心肌与心肌对比信噪比有差异,SS-SSFP 序列高于 IR-FGRE 序列($P<0.001$)。3D IR-FGRE 序列的所有测量值均高于 IR-FGRE 序列,由于有更多的呼吸运动伪影,二者在图像质量方面有统计学差异($P<0.001$)。**结论:**SS-SSFP 序列加快扫描时,由于其较高的信噪比、对比信噪比,且图像质量与 IR-FGRE 序列无统计学差异,SS-SSFP 序列更适合患有严重心脏病和不能屏气的患者。

【关键词】 诊断技术,心血管; 体层摄影术,X 线计算机; 磁共振成像

【中图分类号】 R540.4; R814.42; R445.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2017)10-1032-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2017.10.008

Myocardial delayed enhancement using a single shot free-breathing FIESTA sequence LI Fan, CHENG Liu-quan, FANG Fang, et al. Imaging Center, Inner Mongolia International Hospital, Huhehaote 010065, China

【Abstract】 Objective: To study the steady-state free precession (SS-SSFP) sequence in the MRI examination of the heart and to study its advantages in image quality and scanning time as compared to IR-FGRE and 3D IR-FGRE. **Methods:** Cardiac MRI examination data of 52 patients with suspected or confirmed heart disease were collected. For the delayed phase the SS-SSFP sequence, the ir-fgre sequence, and the 3D ir-fgre sequence were used. The difference between the new sequence and the traditional sequence was evaluated by measuring the time of the scan and the quality of the image. **Results:** The scanning time of the SS-SSFP sequence (24~36s) and 3D IR-FGRE (27~35s) were significantly lower than that of the IR-FGRE sequence (116~154s), with statistical differences ($P<0.001$); The statistical results showed that the SS-SSFP sequence image quality, anomalous enhanced volume and percentage were not different from the IR-FGRE sequence. However, the signal noise ratio of myocardium, enhanced myocardium and myocardial contrast to noise ratio were different, the CNR of SS-SSFP sequence is higher than that of the IR-FGRE sequence ($P<0.0001$). All measurements of the 3D IR-FGRE sequence were higher than that of the IR-FGRE sequence. Because of more respiratory artifacts, there was a statistical difference in image quality ($P<0.0001$). **Conclusions:** When the SS-SSFP sequence was used to speed up the scan time (27.6s), due to its higher SNR and CNR, and no statistical significant difference of image quality compared to IR-FGRE sequences, SS-SSFP sequence is more suitable for patients with severe heart disease and unable to breath-holding in clinical treatment.

【Key words】 Diagnostic techniques, cardiovascular; Tomography, X-ray computed; Magnetic resonance imaging

磁共振成像可以显示心脏解剖结构、功能及多种病理学瘢痕,更多的用于对心脏结构、功能和组织特性的评估^[1]。常用的经典序列有 CINE 亮血序列(steady-state free precession cine MRI, SSFP-CINE)、黑血序列(FSE T₂WI)、首过灌注及延迟增强扫描。通过细致分析心脏功能、灌注机细微结构特点,我们可以得出一个合理的判断,并诊断心脏病^[2]。利用 MR 对心

肌梗死病灶进行心肌延迟强化(myocardial delayed enhancement, MDE)的首例报道是 1993 年^[3]。随着 MRI 技术发展,更多的研究报道证实作为一种可视性观察心肌梗死方法,延迟强化有重要的临床应用价值^[4]。近几年来,因为高性能梯度回波序列的改进, MDE 成为判断心肌梗死标准可以快速判断心肌病变。MDE 不仅能判断心肌梗死,还可以观察各种心脏疾病,如心肌炎、感染、心肌病、心脏肿瘤、先天性或继发性心脏病^[5]。

在心脏 MRI 检查中最大的问题是扫描时间长,尤其患有严重心脏病不能屏气的患者更难耐受长时间的扫描。如果能缩短扫描时间,这部分患者将受益。

作者单位:010065 呼和浩特,内蒙古国际蒙医医院影像中心(李帆、姜琨、王利东);100853 北京,解放军总医院放射科(程流泉);841000 库尔勒,解放军 273 医院心血管内科(方芳);010050 呼和浩特,内蒙古医科大学附属医院放射科(牛广明)

作者简介:李帆(1982—),男,内蒙古呼和浩特人,主治医师,主要从事心血管影像学诊断工作。

通讯作者:王利东, E-mail: doctorlidong@163.com

基金项目:2013 年内蒙古卫生与计划生育委员会医疗卫生科研项目(201302025)

材料与方法

1. 研究对象

共搜集疑似或确诊心脏病 52 例,其中男 39 例,女 14 例,年龄 16~76 岁,平均(54±13.02)岁。所有受检者在行心脏 MRI 扫描前接受 12 导联心电图检查。本项研究通过伦理委员会同意,所有患者签署同意书。

2. 检查方法

使用 1.5T MRI 扫描仪(GE Medical Systems, USA)及 8 通道表面线圈,仰卧位,由心电门控检测心率(律),肘前静脉留置静脉留置针,使用 50 mL 注射器手推注入对比剂,对比剂使用钆喷酸葡胺(0.2 mmol/kg,最大剂量 30 mL,拜耳公司,德国)。

每位受检者在常规用双反转(double inversion recovery, DIR)或者三反转(third inversion recovery, TIR)快速自选回波(FSE)黑血对比序列(black blood sequence)、平衡稳态进动(steady-state free precession sequence, SSFP)序列二维电影成像序列扫描,位置采用短轴面(覆盖全部左心室)约 8~12 层,长轴面、三腔心及四腔心。然后经肘静脉手推注入对比剂钆喷酸葡胺,延迟 8~10 min 后观察心肌是否有延迟强化,延迟强化序列采用单次激发反转恢复序列(single-shot inversion recovery 2D steady-state free precession, SS-SSFP)序列、3D 反转恢复快速回波反转序列(segmented inversion recovery 3D fast gradient echo, 3D IR-FGRE)序列和 2D 反转恢复快速梯度回波反转序列(segmented inversion recovery 2D fast gradient echo, IR-FGRE)。SS-SSFP 扫描参数:2D 模式,TR 3.3 ms,TE 1.4 ms,prep time 250 ms,翻转角 35°~75°,带宽 125 Hz,层厚 8 mm,矩阵 192×160,激励次数 0.5~1,视野 350 mm。IR-FGRE 序列参数:2D 模式,TR 4.0 ms,TE 1.8 ms,翻转角 20°,带宽 62.5 Hz,层厚 8 mm,矩阵 192×160,激励次数 2,视野 350 mm。3D IR-FGRE 参数:3D 模式,TR 3.3 ms,TE 1.4,翻转角 15°,带宽 83.33 Hz,层厚 8 mm,矩阵 192×160,视野 350 mm。SS-SSFP 序列屏气 3~4 次,每次屏气得到 4 层图像。IR-FGRE 序列每次屏气得到 1 幅图像。3D IR-FGRE 每次屏气可得到 24~26 图像。扫描时需要呼吸与心电门控触发。IR-FGRE 序列每次屏气约有 12 次心脏搏动,每次心电门控触发是在 ECG 图 R 波的 25%时相^[6-7]。

3. 图像分析

质量评价:3 个序列中延迟强化心肌面积和百分比^[8]在 AW4.4 工作站上分析。MDE 图像质量分析时按以下 4 个条件确定:是否出现呼吸伪影,评价心脏运动伪影,心肌是否被充分抑制,没有强化的心肌信号

强度(黑色),邻近左心室心腔部分的心内膜是否锐利。由两位有经验放射学专家对异常心肌独立进行评分。

四个评分标准如下。①呼吸运动伪影。0 分:膈肌运动伪影显著,心脏大血管结构模糊不清,影响心脏结构辨认;1 分:受检者胸壁呈现少量层状呼吸伪影,但心脏大血管边缘轮廓尚可辨认,不影响诊断。2 分:受检者胸壁和膈肌无可辨认的运动伪影,心脏结构显示良好,边缘光滑锐利,轮廓清晰。②心脏搏动伪影。0 分:心脏结构显示模糊无法辨认,或相位编码方向的血流搏动伪影叠加在心肌上,范围大于或等于左室短轴位两个心肌节段^[9],叠加部位心肌信号显示明显受影响。1 分:心脏结构边缘轻度模糊,或者相位编码方向出现的少量搏动伪影叠加心肌范围小于两个心肌节段,叠加部位心肌信号显示未受明显影响。2 分:心脏结构显示清晰,边缘光滑锐利,无搏动伪影。③心肌抑制。0 分:心肌不能被抑制,心腔不能辨认。1 分:心肌未能被充分抑制,未梗死心肌信号没有充分变黑,但心脏结构可以辨认。2 分:心肌被充分抑制,未梗死心肌呈黑色,梗死心肌呈白色,心肌与心腔对比清晰。④心内膜心肌。0 分:心内膜下心肌信号与心腔及其周围组织对比差,结构不能辨认。1 分:心腔血流信号整体抑制不均匀,中央部被抑制,靠近心内膜下心肌有稍高信号,心肌与心腔对比存在,但分界模糊。2 分:心腔信号被充分抑制,心内膜下心肌没有高信号,心脏结构显示清晰,分界锐利。

信噪比和对比信噪比:测量心肌 SNR 值、CNR 值时,将感兴趣区(regions of interest, ROIs)置于(by W. L. D)左心室腔内血池、正常心肌、背景、肺组织和强化心肌来测量信号强度(intensity I)和标准差(SD)。ROI 被置于短轴位的每一层图像中,然后求其平均值。血池 SNR 值($SNR(bp) = I_b / SD_{bg}$)、心肌 SNR 值($SNR(myo) = I_{myo} / SD_{bg}$)、肺组织-背景 CNR 值($CNR(l/bg) = (I_l - I_{bg}) / SD_{bg}$)、血池-心肌 CNR 值($CNR(bp/myo) = (I_{bp} - I_{myo}) / SD_{bg}$)。结果使用 2 个独立样本非参数检验评价统计学结果。另外延迟强化的心肌 ROI 置于异常强化的心肌(em)。异常心肌-正常心肌 $CNR(em/myo) = (I_{em} - I_{myo}) / SD_{bg}$ 。

4. 统计学分析

统计 3 种序列平均耗用时间,评价 3 种序列图像质量,对各种扫描序列所得的图像与 IR-FGRE 序列进行比较,测量图像的信噪比、对比信噪比。采用 SPSS 17.0 软件分析,进行正态性检验(One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test),非正态分布数据进行非参数检验, $P < 0.05$ 有统计学差异。

结 果

1. 扫描时间和图像质量

扫描时间:记录 IR-FGRE 序列、SS-SSFP 序列和 3D IR-FGRE 序列扫描时间两两比较(表 1),统计学分析结果显示二者有统计学差异($P<0.05$)。SS-SSFP 序列需要 3~4 次屏气、IR-FGRE 需要 9~12 次、3D IR-FGRE 只需 1 次屏气。

评价 MDE 图像质量:比较在自由呼吸状态下 SS-SSFP 和 IR-FGRE 两种序列图像质量,统计学分析结果显示二者有统计学差异($P=0.000$)。比较屏气下 SS-SSFP、3D IR-FGRE 和 IR-FGRE 图像质量。与 IR-FGRE 相比统计学分析显示 SS SSFP 没有统计学差别($P=0.000$)。由于 3D IR-FGRE 1 次屏气时间长,大多数患者不能完全配合,有较多呼吸伪影,图像质量低(图 1~4),与 IR-FGRE 相比有统计学差异($P=0.000$ (表 1)。

2. 诊断效能

延迟强化质量和百分比测量:52 例成功行心脏

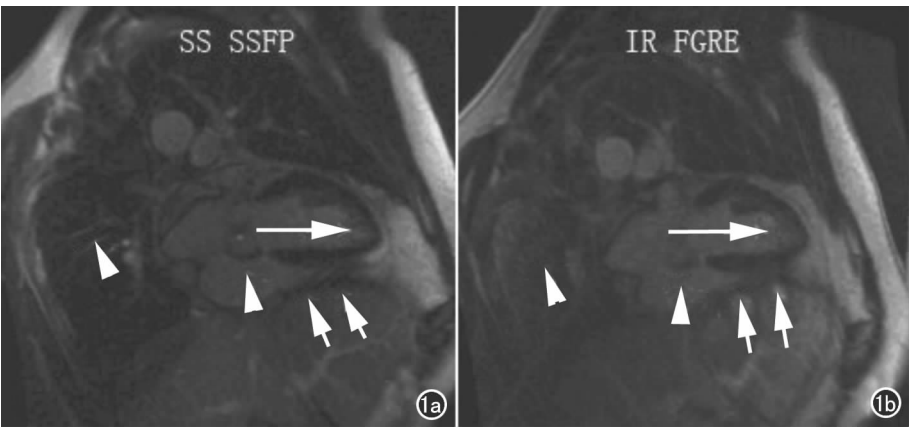


图 1 自由状态下 SS SSFP 和 IR-FGRE 序列图像质量。a) SS SSFP 序列; b) IR-FGRE 序列显示膈肌(短箭)、胸壁存在明显运动伪影、肺血管主干及分支(箭头)模糊不清;心肌(箭)不能被细致观察。

MRI 检查患者,24 例发现有心肌延迟强化。在 AW 4.4 工作站上使用 MASS 软件(另外购买安装于工作站)分析显示整个左心室强化心肌质量:SS-SSFP 为(25.4 ± 17.3)g,百分比(15.1 ± 9.2)%; 3D IR-FGRE 为(33.2 ± 19.1)g,百分比(21.9 ± 11.1)%; IR FGR 为(26.7 ± 17.2)g, (15.4 ± 9.7)%(图 1)。

心腔内血池和各段心肌信噪比:IR-FGRE 序列显示心腔内血池信噪比最高,3D IR-FGRE 显示各段心肌信噪比优于 IR-FGRE 和 SS SSFP。两种快速序列

表 1 三种延迟扫描序列扫描时间和图像质量评分比较

分组	SS SSFP	3D IR-FGRE	IR-FGRE	χ^2	P 值
自由呼吸图像质量	1.81 ± 0.18	/	0.69 ± 0.10	77.290	0.000
屏气时图像质量	3.82 ± 0.71^a	2.93 ± 0.94^b	3.85 ± 0.77^a	30.756	0.000
扫描时间(s)	27.62 ± 1.82^a	30.42 ± 3.60^b	146 ± 9.89^c	113.681	0.000

注:采用的统计方法为非参数检验,上标字母不同证明两者之间有差别。

表 2 左心室节段性心肌信噪比 3 组的比较

各左心室节段	SS SSFP	3D IR-FGRE	IR GRE	P
左心室腔血池	123 ± 67.7	54.7 ± 21.1	178.2 ± 55.7	$0.000\triangle 0.000 *$
ISEP	45 ± 38.1	88.1 ± 46.2	24.3 ± 12.2	$0.000\triangle 0.000 *$
ASEP	56.2 ± 48.8	85.9 ± 48.9	26.7 ± 12.9	$0.000\triangle 0.000 *$
ANT	48.3 ± 38.5	72.7 ± 56.1	23.6 ± 12.9	$0.000\triangle 0.000 *$
ALAT	39 ± 30.1	77.3 ± 33.6	21 ± 11.8	$0.000\triangle 0.000 *$
ILAT	42.5 ± 34.2	81.1 ± 37.9	21.4 ± 11.7	$0.000\triangle 0.000 *$
INF	43 ± 35.1	23.6 ± 12.1	94.3 ± 43.8	$0.000\triangle 0.000 *$
平均值	45.2 ± 35.8	84.1 ± 36.9	22.8 ± 10.4	$0.000\triangle 0.000 *$

注: $\triangle$ SS SSFP 与 IR GRE 相比的 P 值, * 3D IR-FGRE 与 IR GRE 相比的 P 值。

表 3 比较 3 组与各项参数的平均值及 SD

参数	SS SSFP	3D IR-FGRE	IR-FGRE	Diff * I	P
SNR(bp)	30.2 ± 14.1	83.8 ± 51	25.4 ± 11.7	$1.209\triangle 4.674 *$	$0.108\triangle 0.000 *$
SNR(myo)	7.2 ± 2.7	48.5 ± 48.7	7.6 ± 2.5	$0.886\triangle 4.754 *$	$0.412\triangle 0.000 *$
CNR(bp/myo)	23.1 ± 12.9	37 ± 14.8	17.9 ± 10.4	$1.209\triangle 3.949 *$	$0.108\triangle 0.000 *$
CNR(I/bg)	1.5 ± 1.7	8.1 ± 4.6	1.7 ± 2.8	$0.645\triangle 5.08 *$	$0.8\triangle 0.000 *$
CNR(em/myo)	21 ± 13.7	15.7 ± 13.8	36.7 ± 24.6	$2.605\triangle 5.16 *$	$0.000\triangle 0.000 *$
EM 质量(g)	25.4 ± 17.3	33.2 ± 19.1	26.7 ± 17.2	$0.8\triangle$	$0.2 *$
EM 百分比(%)	15.1 ± 9.2	21.9 ± 11.1	15.4 ± 9.7	$0.9\triangle$	$0.09 *$

注: $\triangle$ SS-SSFP 与 IR-GRE 相比的 P 值, * 3D IR-FGRE 与 IR-GRE 相比的 P 值。

与 IR-FGRE 相比统计学分析有显著性差异 ($P < 0.05$, 表 2)。信噪比和对比信噪比: 在信噪比和对比噪声比方面 IR-FGRE 序列和 SS SSFP 序列、3D IR-FGRE 序列相比较均有统计学差异 (表 3), IR-FGRE 显示延迟强化心肌尤其独到的优势。

讨 论

对比增强心脏磁共振 (cardiac magnetic resonance, CMR) 图像分辨率高可以很好显示急性或慢性心肌梗死^[10], 在临床中常作为判断微小心内膜下心梗、测量梗死大小的金标准^[11], 并能预测病变心肌功能恢复^[12]。评价发生急性心肌梗死患者坏死心肌有非常重要的临床价值, 能指导血管再通治疗并准确判

断患者病程进展^[13]。
由于心脏 MRI 扫描时间长, 限制了其临床应用, 特别是那些患有严重心脏病的患者。传统 IR-FGRE 序列是二维节段性屏气翻转恢复快速梯度回波序列, 全部信息在呼气末屏气收集。扫描整个左心室时需要重复扫描收集多组数据, 整个扫描时间长。另外屏气不能配合的患者不能获取满意的图像质量^[14]。

通过比较 SS-SSFP、3D IR-FGRE 和 IR-FGRE 序列的图像质量, 本研究显示 3 种序列在 MDE 成像中均可行。SS-SSFP 序列作为快速序列之一, 扫描时间为金标准 IR-FGRE 序列的 1/4, 但是显示梗死心肌的体积和百分比和 IR-FGRE 序列没有统计学差异, 与相关文献的结果一致^[15]。显示延迟强化心肌的体积

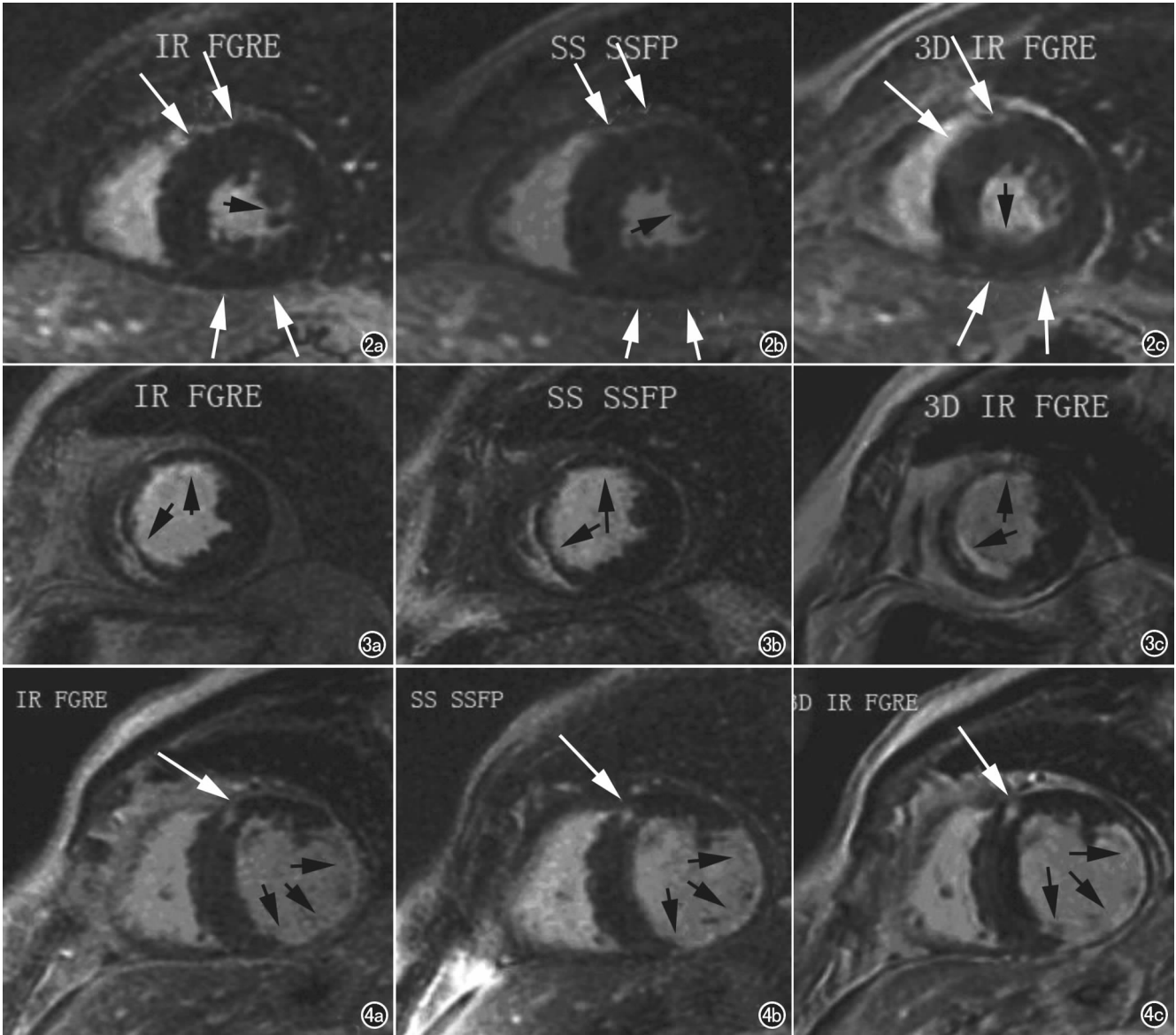


图 2 a) IR-FGRE; b) SS SSFP 序列清晰显示心外膜(白箭)、乳头肌(黑箭); c) 3D IR-FGRE 有明显伪影。 图 3 a) IR-FGRE; b) SS SSFP 序列相比; c) 3D IR-FGRE 序列可以清晰显示心内膜及心内膜下心梗(箭)。 图 4 a) IR-FGRE 序列; b) SS SSFP 序列; c) 3D IR-FGRE 序列比较心肌延迟强化的体积、大小, 室间隔前壁(箭)、左心室前壁(黑短箭)、侧壁及下壁心梗。

和百分比高,能更清晰显示心肌及病灶边缘。因为高 SNR 可以提高空间分辨率、缩短扫描时间,高 CNR 对于更好显示心肌边缘、心脏细微结构,可发现小病灶,所以高 SNR、CNR 对于心脏 MRI 非常重要^[16]。本研究显示心肌各段(ISEP、ASEP、ANT、ALAT、ILAT、INF)信噪比 SS SSFP 序列与 IR-FGRE 序列没有统计学差异。SNR_{myo}、SNR_{bp}、CNR_{rem-my} 及 CNR_{lung-background} 与 IR-FGRE 序列相比无统计学差异。

本研究结果显示两种快速扫描序列与其它文献相比明显缩短了扫描时间^[17]。与 IR-FGRE 及 SS-SSFP 序列相比尽管 3D IR-FGRE 序列扫描时间明显缩短,由于其呼吸运动伪影较多,在 3 种序列中图像质量平均分最低。但由于这一序列有较高心肌噪声、SNR 和 CNR,所以并不影响梗死大小结果显示,尤其是显示心内膜下心梗优于其它两个序列,从而做出正确诊断。虽然 3 种序列显示病变心肌体积及百分比无统计学差异,但 CNR_{bp/myo} 值以金标准 IR-FGRE 序列最高,其次为 SS-SSFP 序列,3D IR-FGRE 最低,与相关报道一致^[18]。

SS-SSFP 序列极大地加快了扫描时间,此序列还具有更高的 SNR、CNR 值,图像质量与 IR-FGRE 序列相比无统计学差异。显示异常强化心肌体积及百分比上 SS-SSFP、3D IR-FGRE 和 IR-FGRE 3 种序列无统计学差异。在临床中 SS-SSFP 序列更适合患有严重心脏病患者和不能耐受长时间屏气的呼吸功能障碍患者,能扩大心脏 MRI 检查的适应症。

参考文献:

- [1] 赵世华. 心脏 CT 和 MRI 如何选择[J]. 放射学实践, 2014, 29(7): 763-765.
- [2] Qi Yang, Kuncheng Li, PHD, et al. Contrast-enhanced whole-heart coronary magnetic resonance angiography at 3.0T[J]. J Am College of Cardiology, 2009, 54(1): 69-76.
- [3] Dulce MC, Duerinckx AJ, Hartiala J, et al. MR imaging of the myocardium using nonionic contrast medium: signal-intensity changes in patients with subacute myocardial infarction[J]. AJR, 1993, 160(5): 963-970.
- [4] Kim RJ, Fieno DS, Parrish TB, et al. Relationship of MRI delayed contrast enhancement to irreversible injury, infarct age, and contractile function[J]. Circulation, 1999, 100(19): 1992-2002.
- [5] Jens Vogel-Claussen, Carlos E. Rochitte, Katherine C, et al. Delayed enhancement MR imaging: utility in myocardial assessment[J]. RadioGraphics, 2006, 26(3): 795-810.

- [6] Gupta A, Lee VS, Chung YC, et al. Myocardial infarction: optimization of inversion times at delayed contrast-enhanced MR imaging[J]. Radiology, 2004, 233(3): 921-926.
- [7] Simonetti OP, Kim RJ, Fieno DS, et al. An improved MR imaging technique for the visualization of myocardial infarction[J]. Radiology, 2001, 218(1): 215-223.
- [8] Heiberg E, Ugander M, Engblom H, et al. Automated quantification of myocardial infarction from MR images by accounting for partial volume effects: animal, phantom, and human study[J]. Radiology, 2008, 246(2): 581-588.
- [9] Standardized myocardial segmentation and nomenclature for tomographic imaging of the heart[J]. Circulation, 2002, 105(5): 539-542.
- [10] Kim RJ, Fieno DS, Parrish TB, et al. Relationship of MRI delayed contrast enhancement to irreversible injury, infarct age, and contractile function[J]. Circulation, 1999, 100(19): 1992-2002.
- [11] Wagner A, Mahrholdt H, Holly TA, et al. Contrast-enhanced MRI and routine single photon emission computed tomography (SPECT) perfusion imaging for detection of subendocardial myocardial infarcts: an imaging study[J]. Lancet, 2003, 361(9355): 374-379.
- [12] Kim RJ, Wu E, Rafael A, et al. The use of contrast-enhanced magnetic resonance imaging to identify reversible myocardial dysfunction[J]. N Engl J Med, 2000, 343(20): 1445-1453.
- [13] Bear FM, Erdmann E. Methods of assessment and clinical relevance of myocardial hibernation and stunning. Assessment of myocardial viability[J]. Thorac Cardiovasc Surg, 1998, 46(suppl 2): 264-269.
- [14] Jahnke C, Gebker R, Manka R, et al. Navigator-gated 3D blood oxygen level-dependent CMR at 3.0T for detection of stress-induced myocardial ischemic reactions[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2010, 3(4): 375.
- [15] Li W, Li BS, Polzin JA, et al. Myocardial delayed enhancement imaging using inversion recovery single-shot steady-state free precession: initial experience[J]. J Magn Reson Imaging, 2004, 20(2): 327-330.
- [16] Wen H, Denison TJ, Singerman RW, et al. The intrinsic signal-to-noise ratio in human cardiac imaging at 1.5, 3, and 4T[J]. J Magn Reson, 1997, 125(1): 65-71.
- [17] Lene Rosendahl, Britt-Marie Ahlander, Per-Gunnar Björklund, et al. Image quality and myocardial scar size determined with magnetic resonance imaging in patients with permanent atrial fibrillation: a comparison of two imaging protocols[J]. Clin Physiol Funct Imaging, 2010, 30(2): 122-129.
- [18] Huber A, Schoenberg SO, Spannagl B, et al. Single-shot inversion recovery TrueFISP for assessment of myocardial infarction[J]. AJR, 2006, 186(3): 627-633.

(收稿日期: 2017-03-16 修回日期: 2017-06-19)