

单次屏气 TGRAPPA 及 TmSENSE 技术对左右心功能测量的应用研究

张雅颖, 陈翎翎, 恽虹, 杨姗, 曾蒙苏, 金航

【摘要】 目的:对比评价单次屏气 TGRAPPA、TmSENSE 与多次屏气 GRAPPA 技术结合 true FISP 电影在评价左右心室功能中的价值。**方法:**对 37 例行心脏 MRI 检查的患者,进行真实稳态自由进动采集全心短轴位电影检查,检查序列包括多次屏气 GRAPPA 结合 true FISP 电影检查及单次屏气 TGRAPPA 及 TmSENSE。测量并比较各种序列的扫描时间、左右心室射血分数(EF)、舒张末期容积指数(EDVI)、收缩末期容积指数(ESVI)及心搏量(SV)。选取乳头肌水平图像进行图像质量评价及 CNR 分析。**结果:**多次屏气 GRAPPA、单次屏气 TGRAPPA 及 TmSENSE 的扫描时间(189 ± 57 ; 17 ± 5 ; 17 ± 5 s)具有显著统计学差异($P < 0.01$);测得的左室功能参数 EF(53.6 ± 17.1 、 53.8 ± 17.2 、 $53.7 \pm 17.4\%$)、EDVI(80.4 ± 33.2 、 79.9 ± 33.4 、 79.5 ± 33.7 mL/m²)、ESVI(41.7 ± 35.8 、 41.6 ± 36.3 、 41.1 ± 35.9 mL/m²)、SV(38.7 ± 10.2 、 38.2 ± 10.7 、 38.3 ± 10.8 mL/m²);右心室功能参数 EF(52.0 ± 15.6 、 52.7 ± 15.7 、 $52.5 \pm 15.7\%$)、EDVI(69.8 ± 23.9 、 69.1 ± 23.9 、 69.1 ± 23.5 mL/m²)、ESVI(34.9 ± 21.2 、 34.2 ± 21.5 、 34.2 ± 21.1 mL/m²)、SV(34.9 ± 12.7 、 34.9 ± 12.6 、 34.9 ± 12.9 mL/m²);经统计学分析,三种方法的结果差异均无显著性意义($P > 0.05$)。从图像质量上评价,相较于传统的多次屏气方法,TGRAPPA、TmSENSE 技术的 CNR 会下降($P < 0.05$),但 TGRAPPA 的 CNR 及图像质量评分高于 TmSENSE。**结论:**单次屏气 TGRAPPA、TmSENSE 技术能够完成左右心功能的评价,相较于传统 GRAPPA 技术,明显缩短了采集时间,达到快速扫描的目的,TGRAPPA 图像质量优于 TmSENSE。

【关键词】 磁共振成像; 心功能; 对比研究

【中图分类号】 R445.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2018)07-0694-06

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2018.07.008

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Application of single breath hold TGRAPPA and TmSENSE technique in left and right function analysis

ZHANG Ya-ying, CHEN Yin-yin, YUN Hong, et al. Department of Radiology, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China

【Abstract】 Objective: The purpose of this study was to assess the clinical application value of single-breath-hold TGRAPPA, TmSENSE and multi-breath-hold GRAPPA with true FISP cine sequences for the evaluation of left and right ventricular function. **Methods:** Thirty-seven patients underwent true FISP cine MRI on ventricular short axis to assess left and right ventricular function, including multi-breath-hold GRAPPA, single-breath-hold TGRAPPA and TmSENSE technique. Meanwhile, the acquisition time of these three sequences was recorded. The documented ventricular function parameters included ejection fraction (EF), end-diastolic volume index (EDVI), end-systolic (ESVI), stroke volume (SV) of both left and right ventricle. Contrast-to-noise (CNR) was measured and image quality was assessed on the cine MR images obtained at the level of papillary muscle. **Results:** The acquisition time of GRAPPA, TGRAPPA and TmSENSE (189 ± 57 ; 17 ± 5 ; 17 ± 5 s) has significant statistical difference. The left ventricle function parameters for multi-breath-hold GRAPPA, single-breath-hold TGRAPPA and TmSENSE cine respectively were listed as follows: EF (53.6 ± 17.1 , 53.8 ± 17.2 , $53.7 \pm 17.4\%$), EDVI (80.4 ± 33.2 , 79.9 ± 33.4 , 79.5 ± 33.7 mL/m²), ESVI (41.7 ± 35.8 , 41.6 ± 36.3 , 41.1 ± 35.9 mL/m²) and SV (38.7 ± 10.2 , 38.2 ± 10.7 , 38.3 ± 10.8 mL/m²) and the right

作者单位: 200032 上海, 复旦大学附属中山医院放射科; 上海市影像医学研究所; 复旦大学上海医学院影像学系

作者简介: 张雅颖(1990-), 女, 江苏镇江人, 硕士研究生, 主要从事心脏 MR 诊断工作。

通讯作者: 金航, E-mail: jin.hang@zs-hospital.sh.cn

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(81701643); 复旦大学附属中山医院青年科学基金(2017ZSQN24)

ventricle function index includes EF ($52.0 \pm 15.6, 52.7 \pm 15.7, 52.5 \pm 15.7\%$), EDVI ($69.8 \pm 23.9, 69.1 \pm 23.9, 69.1 \pm 23.5 \text{ mL/m}^2$), ESVI ($34.9 \pm 21.2, 34.2 \pm 21.5, 34.2 \pm 21.1 \text{ mL/m}^2$), SV ($34.9 \pm 12.7, 34.9 \pm 12.6, 34.9 \pm 12.9 \text{ mL/m}^2$). No significant statistic difference was observed for left and right ventricle among three techniques ($P > 0.05$). The SNR of single-breath-hold TGRAPPA and TmSENSE true FISP cine images were lower compared with that of multi-breath-hold GRAPPA ($P < 0.05$), but the image quality of TGRAPPA was better than that of TmSENSE. **Conclusion:** Cardiac function can be successfully assessed with single-breath-hold TGRAPPA and TmSENSE true FISP cine in shorter time, compared with GRAPPA, while the TGRAPPA technique is superior to TmSENSE in term of image quality.

【Key words】 Magnetic resonance imaging; Cardiac function; Comparative study

准确并可重复的测量左心室功能参数对冠脉综合征、原发性心肌病等的诊断、病情分级、治疗计划及预后具有重要的参考价值。先天性心脏病、肺部疾病、肺血管疾病会引起肺动脉高压,造成心室功能及结构的改变,对于这类疾病来说,右心室功能的评估亦非常重要^[1-2],这也促使着许多影像技术在右心室功能上的不断进步。超声心动图是目前临床运用最广泛的心功能测量手段,二维超声测量评估心功能临床应用简易、便捷,但是由于心室形态的不规则性,尤其右心室指标的准确性通常受很大影响,心脏磁共振可以多平面成像,对左右心室的功能的测量更加准确,磁共振检查已成为无创心功能公认的金标准^[3-4],因其准确性高、重复性可靠,得到临床的认可,但由于心脏 MR 检查成像时间较长,临床应用受到一定限制,因此,心脏 MR 快速成像技术具有较高的研究价值以及广阔的临床应用前景。本研究探讨单次屏气时间调整全局自动校准部分并行采集(time-adaptive generalized autocalibrating partially parallel acquisition, TGRAPPA)和时间调整改良敏感性编码(time-adaptive modified sensitizing encoding, TmSENSE)技术在心功能评价中的应用价值,并与传统多次屏气逐层扫描(true fast imaging with steady state free precession, trueFISP)电影结合全局自动校准部分并行采集(generalized autocalibrating partially parallel acquisition, GRAPPA)技术进行对照分析。

材料与方法

1. 研究对象

随机选取于本院放射科行心脏磁共振检查的患者 37 例,男 17 例,女 20 例,平均年龄(42 ± 17)岁,包括 16 例无明显器质性心脏病的患者、5 例扩张性心肌病、4 例肥厚性心肌病、2 例致心律失常性右室心肌病、4 例肺动脉高压、4 例心肌梗死和 2 例心肌淀粉样变性。所有研究对象均无磁共振检查禁忌症,检查前进行屏气训练,签署知情同意书。

2. 检查设备与方法

采用 Siemens MAGNETOM Area 1.5T 超导 MR 仪,梯度场强 45 mT/m,梯度切换率 200 mT/m·ms,成像线圈为脊柱线圈和 18 通道相控阵线圈,心电门控采用磁共振兼容的无线矢量心电门控板。采用头先进仰卧位扫描,先获取两腔心、四腔心及短轴图像,所有患者均行多次屏气 true FISP 电影结合 GRAPPA 技术、单次屏气 true FISP 电影分别结合 TGRAPPA 及 TmSENSE 检查,3 种序列的扫描时间差异有统计学意义($P = 0.00$),TGRAPPA 及 TmSENSE 检查能够明显缩短检查时间(表 1)。不同受试者根据心脏大小调整扫描层数(6~10 层),均覆盖全心,同一病例均采用相同层厚及层数。在 MR 扫描过程中,发现患者存在心律不齐时,针对四腔心层面完成传统 GRAPPA 电影以及 TGRAPPA 和 TmSENSE 电影扫描,以初步分析优化实时并行采集(temporal parallel acquisition technique, TPAT)在心律失常患者中的应用。

3. 图像分析

①心功能分析:所有左右心室短轴电影由心功能专用分析软件(Argus Syngo MR 2004V)进行分析,由 2 名影像科医师独立完成。经人工干预和软件自动相结合,确定舒张末期和收缩末期时相,再描绘出两期各层面心内膜边界,乳头肌属于心腔内结构,左室基底部包扩主动脉瓣以下的左室流出道部分,右室基底部包括肺动脉瓣以部分^[5]。由软件自动计算左右室射血分数(ejection factor, EF),舒张末期容积指数(end-diastolic volume index, EDVI)和收缩末期容积指数(end-systolic volume index, ESVI)和心脏搏出量(stroke volume, SV)。

②图像对比噪声比(contrast-to-noise ratio, CNR):选择乳头肌层面,测量并计算各个序列图像的对比噪声比, $CNR = (SIB - SIM) / SD_{noise}$, SIB 和 SIM 分别代表心腔和心肌的信号强度, SD_{noise} 为背景噪声信号强度的标准差。

③图像质量评分:2名影像科医师独立完成图像的质量评价,出现分歧时共同分析以取得一致意见,评分标准如下:4分,图像质量为优秀,无伪影;3分,图像质量为良好,轻微伪影;2分,图像质量为中等,中度伪影;1分,图像质量为差,严重伪影。

4. 统计学分析

采用 SPSS 22.0 进行统计学分析,分别对同一个体 3 种方法所获得的左右心室 EF、EDVI、ESVI、SV 采用配伍组设计方差分析,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。对 2 位医师所测得的心功能指标进行组内相关系数(ICC)的检测,其值越接近 1,2 位医师的测量结果一致性越好。三种图像的 CNR 评价采用配伍组设计方差分析,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义;多次屏气 true FISP 电影结合 GRAPPA 技术和单次屏气 true FISP 电影分别结合 TGRAPPA 及 TmSENSE 检查间等级数据资料的对比,采用 friedman 秩和检验,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 心功能测试结果

37 例患者均完成各种序列的检查,各序列测得的心功能数据见表 2、3。

经统计学分析,多次屏气 true FISP 电影结合 GRAPPA 技术和单次屏气 true FISP 电影分别结合

TGRAPPA 及 TmSENSE 技术测得的左、右心功能指标间差异均无统计学意义($P > 0.05$),测量的结果具有较好的一致性。2 位放射科医师所测得左右心功能指标相关性高(ICC 接近 1)。

2. 图像 CNR 比较

CNR 在各组间的差异具有统计学意义($P < 0.01$),其中多次屏气 true FISP 电影结合 GRAPPA 技术的 CNR 最高,为 188.8 ± 55.2 ,单次屏气 true FISP 电影分别结合 TGRAPPA 及 TmSENSE 技术的 CNR 有所下降,分别是 111.7 ± 28.7 及 77.3 ± 19.7 ,两两比较后 true FISP 电影结合 TmSENSE 技术的 CNR 较 TGRAPPA 下降更加明显。

3. 图像质量评分

三种成像序列所得的图像,心内膜均清晰可辨。多次屏气 true FISP 电影结合 GRAPPA 的评分为 3.9 ± 0.4 、单次屏气 true FISP 电影结合 TGRAPPA 为 3.7 ± 0.7 及 TmSENSE 的评分为 3.0 ± 1.0 ,评分的差异具有统计学意义($P < 0.01$),两两比较后发现,单次屏气 TGRAPPA 的图像质量与多次屏气 true FISP 电影结合 GRAPPA 无明显差异($P > 0.05$);单次屏气 TmSENSE 技术的图像质量次于单次屏气 TGRAPPA 及多次屏气 GRAPPA 电影(P 值 = 0.02),见图 1、2。在心率失常患者的检查中,多次屏气 true FISP 电影结合 GRAPPA 技术所获得的图像伪影较多,图像

表 1 序列参数

成像参数	GRAPPA	TGRAPPA	TmSENSE
TR(ms)	42.40	39.24	39.24
TE(ms)	1.11	0.94	0.94
翻转角($^{\circ}$)	80	80	80
FOV(mm 2)	340×340~360×360	340×340~360×360	340×340~360×360
加速因子	2	3	3
层厚(mm)	8	8	8
层数	6~10	6~10	6~10
phase	25	20	20
空间分辨率(mm 3)	1.8×1.8×8.0	2.8×2.8×8.0	2.8×2.8×8.0
时间分辨率(ms)	320	50	50
采集时间(s)	189±57	17±5	17±5

表 2 左心功能各指标

指标	GRAPPA	TGRAPPA	TmSENSE	F	P	ICC
LVEF(%)	53.6±17.1	53.8±17.2	53.7±17.4	0.089	0.915	0.993
EDVI(mL/m 2)	80.4±33.2	79.9±33.4	79.5±33.7	1.641	0.201	0.996
ESVI(mL/m 2)	41.7±35.8	41.6±36.3	41.1±35.9	2.921	0.060	0.999
SV(mL/m 2)	38.7±10.2	38.2±10.7	38.3±10.8	0.964	0.386	0.975

表 3 右心功能各指标

指标	GRAPPA	TGRAPPA	TmSENSE	F	P	ICC
RVEF(%)	52.0±15.6	52.7±15.7	52.5±15.7	2.085	0.132	0.991
EDVI(mL/m 2)	69.8±23.9	69.1±23.9	69.1±23.5	0.991	0.376	0.988
ESVI(mL/m 2)	34.9±21.2	34.2±21.5	34.2±21.1	2.271	0.111	0.993
SV(mL/m 2)	34.9±12.7	34.9±12.6	34.9±12.9	0.005	0.995	0.984

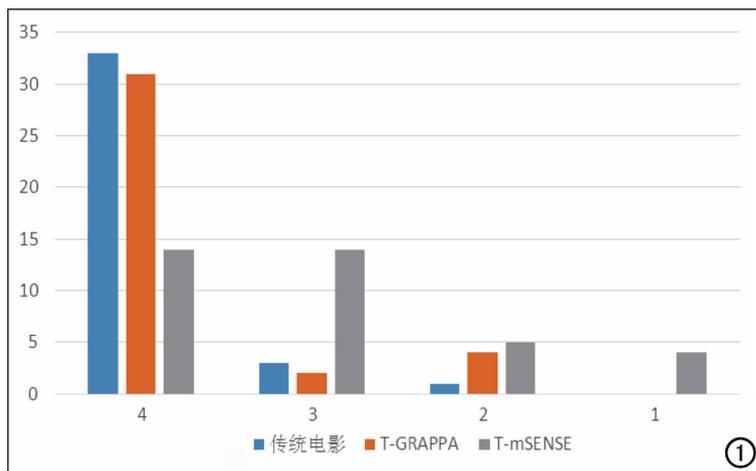


图 1 三种成像方法图像质量评分情况。

质量差, TGRAPPA 所获得的图像质量较好(图 3)。

讨 论

心脏 MR 有着出色的时间及空间分辨力, MR 是当前公认测量心功能的金标准。临床常用单层真实稳态自由进动采集电影成像序列, 需多次屏气逐层扫描才能完成心功能的分析, 应用 GRAPPA 并行采集技术可以缩短检查时间, 但是时间缩短有限, 仍然不能达

到一次屏气完成全心的扫描的要求, 需要多次屏气, 这会造成因频繁屏气引起的层面偏差及屏气疲劳所致的呼吸伪影, 特别是老年人及危重患者^[6], 本文旨在探寻一种更高效、更快捷的心功能成像方法。

提高 MR 的成像速度, 以前主要依靠提高场强梯度及切换率, 但是由于硬件及生理上的限制, 发展的空间有限, 因此, 并行采集技术具有广阔的应用前景, 也是目前的研究热点。MRI 并行采集图像重建算法主要分为 2 类: 一类是基于图像域的重建方法, 如敏感性编码 (sensitivity encoding, SENSE) 和 PILS, 这类方法对先对各个线圈的 k-空间数据分别进行快速傅里叶反变换 (fast fourier transform inverse, IFFT), 得到各个线圈有卷褶伪影的图像, 再利用不同方法对卷褶的图像进行展开, 以得到一副全 FOV 无卷褶图像, SENSE 提高了 MRI 的采集速度, 但是以牺牲图像的信噪比为代价^[7], 改良敏感性编码 (modified sensitivity encoding, mSENSE) 为自动校正的 SENSE 算法, 运用了自动校正线圈敏感度估计方法, 它无需进行预扫描; 另一类是基于 k-空间重建方

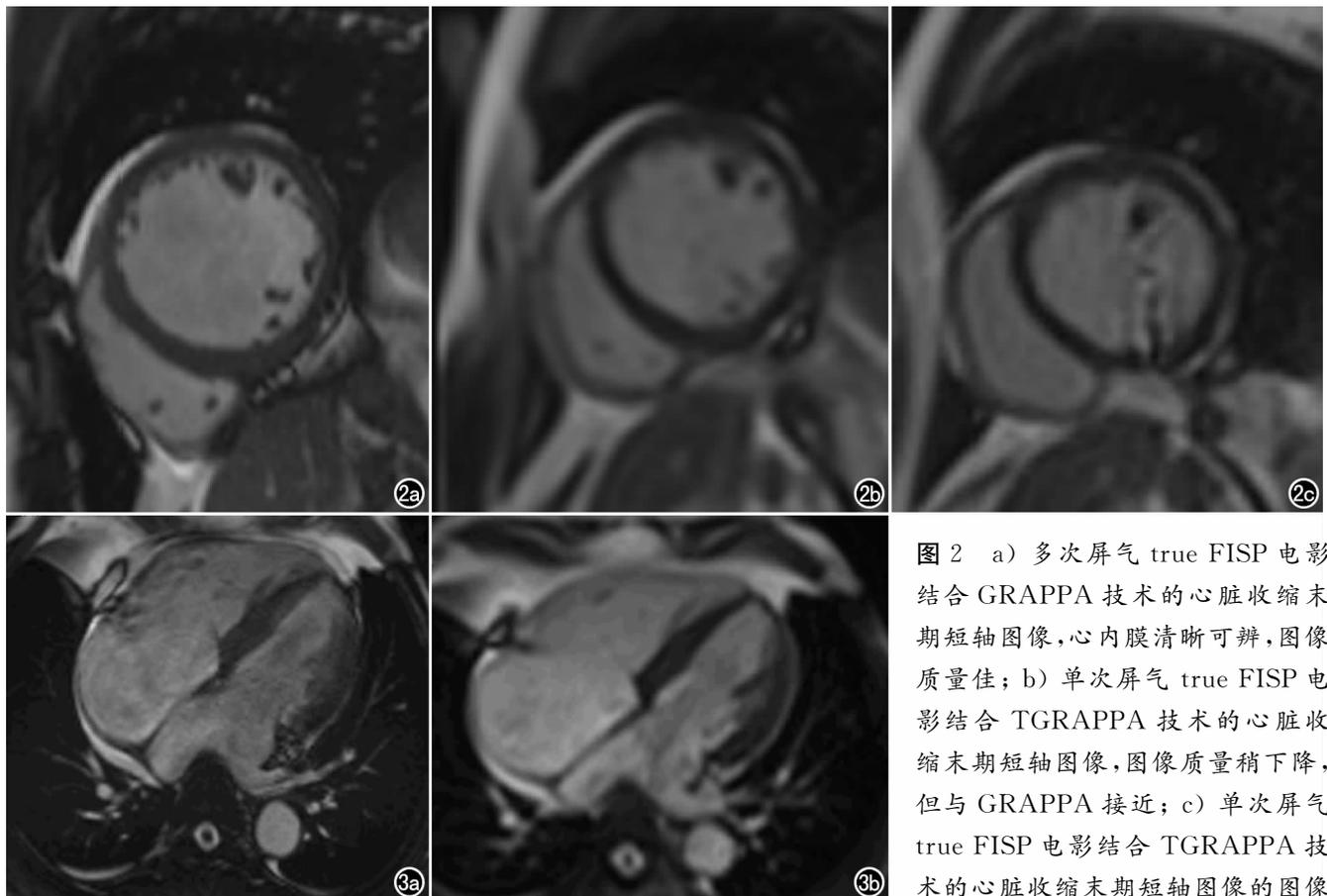


图 2 a) 多次屏气 true FISP 电影结合 GRAPPA 技术的心脏收缩末期短轴图像, 心内膜清晰可辨, 图像质量佳; b) 单次屏气 true FISP 电影结合 TGRAPPA 技术的心脏收缩末期短轴图像, 图像质量稍下降, 但与 GRAPPA 接近; c) 单次屏气 true FISP 电影结合 TGRAPPA 技术的心脏收缩末期短轴图像的图像

伪影明显增多, 图像质量下降较明显。图 3 心率失常患者。a) 传统 GRAPPA 的四腔心图像可见心律不齐导致的伪影, 心内膜显示欠清; b) TGRAPPA 技术所得的图像, 伪影较少, 心内膜清晰可辨。

法,如 GRAPPA,这类方法首先利用多个线圈的欠采样数据,对 k-空间未采集的数据进行恢复,得到完整空间数据后,再进行 IFFT 重建得到图像。GRAPPA 同样运用了自动校正线圈敏感度估计方法,它可以解决基于 K 空间重建算法的相位错误,信噪比降低等问题^[8]。动态线圈敏感度校正法首先运用于去除傅立叶编码在时间上的重叠(unaliasing by fourier-encoding the overlaps in the temporal dimension, UNFOLD)技术,后运用于 TGRAPPA^[9]及 TmSENSE^[10],进一步提高了图像的时间分辨力,尤其适用于需动态采集的检查,例如心脏 MR, TmSENSE 是 mSENSE 的改进型。TPAT 技术具有以下优点:①和自动校正线圈敏感度校正相比,动态线圈敏感度校正法不需要额外扫描时间;②线圈位置的移动对线圈敏感值的估计影响比较小。有学者^[11]将 GRAPPA 和 mSENSE 技术的图像质量进行比较,发现 GRAPPA 技术的图像质量优于 mSENSE,本研究发现 TGRAPPA 的图像质量好于 TmSENSE,可能与两种技术的重建方式有关。采用 TPAT 技术以后,可在一次屏气周期中快速准确完成心功能分析所需的 6~10 层心室短轴切面的扫描,极大的减少了检查时间,降低患者频繁屏气所致的层面偏移和屏气疲劳所致的呼吸伪影,提高了成像的效率和图像的质量,这与先前的报道相符^[12-14]。

目前心脏 MR 尚难以临床广泛开展的原因之一为成像时间长,因此快速成像技术具有不可估量的潜在应用价值。本研究中使用 TPAT 技术能在短短十几秒内获得全心的图像,并能准确得到心功能数据,比传统电影节约了大量时间成本,相较于心超的耗时也毫不逊色,并且测量结果更加准确。特别是大型的综合医院,心脏 MR 的成像时间长与庞大的患者数量形成了突出的矛盾,急需一种解决方案。虽然 TPAT 技术对磁共振仪器以及配套软件有一定的要求,但是一般的大型综合医院基本可以满足,对于小型医院,如果磁共振性能和配套软件能够满足要求,也是能够使患者和医院同时受益的。所以联合 TPAT 技术能够在单次屏气内完成覆盖全心的短轴位电影扫描,对于临床应用来说,特别是患者较大的综合性医院来说,是十分有利的。本研究发现传统稳态自由进动采集的电影成像方法,在患者心律整齐、能很好屏住呼吸的情况下,毋庸置疑,可获得非常出色的总体图像质量以及心肌/血池图像对比,但是多次屏气操作繁琐,对患者依从性要求高,对于不能耐受多次屏气的患者,图像质量会受影响,此外,如果患者出现频发的心律不齐,将严重干扰传统的采用回顾性心电门控的电影成像序列。联合 TPAT 技术后,虽然 CNR 有所下降,但是心内膜还是清晰可辨的,本组实验中具体测得的心功能参数

EF、EDVI、ESVI 及 SV 在各组序列间无明显差异, TPAT 技术单次屏气心功能结果与标准的多次屏气序列的一致性良好。理论上来说,联合应用 TPAT 技术后,患者可以在自由呼吸状态下完成心功能电影扫描,有文献^[15]报道自由呼吸下 TSENSE 技术获得的图像具有诊断意义,但是考虑到自由呼吸状态下,心房心室的容积可能与屏气状态有所差异,因此本研究采用屏气状态,尽量与传统的成像序列保持一致,增加可比性。本研究还观察到,在心率不齐的患者中,发现 TGRAPPA 的图像质量明显高于标准多次屏气序列,伪影较少,还可以观察到期前收缩,这可能与采用前瞻性心电门控,空间敏感性信息按帧实时自动纠正有关,所以 TPAT 技术适用于不能耐受屏气,严重心率不齐的患者,可以提高图像质量,更好的评估心功能。本研究发现,从主观评分来说, TmSENSE 图像的伪影比较多, TGRAPPA 的图像质量比 TmSENSE 更胜一筹,临床工作中选择 TPAT 模式时,推荐使用 TGRAPPA。

在左心功能的指标中,有报道^[16]认为标准多次屏气序列所测得的部分指标有可能较单次屏气 TPAT 序列的值大,可能是标准序列采用的是回顾性心电门控,信号采集窗覆盖整个心动周期。然而, TPAT 并行采集序列运用的是前瞻性心电门控,信号采集窗覆盖心动周期的 80%~90%,可能会对心功能指标产生影响,使相应指标变低。在本研究中,心室功能指标中没有观察到相应现象($P>0.05$),推测单次屏气 TPAT 电影成像中,大部分患者的舒张末期和收缩末期已经涵盖在数据采集,也有可能这种差异本身较小,本研究的样本量不够大,还不能检测出来。由于前瞻性门控可能存在上述的问题,后期需要扩大样本量,根据患者心率等情况进一步分组,深入研究在何种情况下,前瞻性门控单次屏气成像心功能分析的指标会偏小。本研究旨在寻找适合临床应用的高效电影扫描序列,三种序列都应用了平行采集,在分析 CNR 时,难以估算线圈几何因子的影响,这会使测量值与真实值之间可能存在一定偏差,但是在图像主观评价时,也能够观察到 TPAT 对图像 CNR 的影响,与本研究中 CNR 客观数据比较结果一致。TGRAPPA 及 TmSENSE 技术除了在心功能评价方面发展空间较大,在心肌首过灌注血管对比增强动态扫描、主要实质脏器,如肺、肝、肾及心血管介入方面也有很大的价值^[17],值得进一步发展及挖掘。

总之, TPAT 技术可大幅度提高心脏 MR 的成像效率,应用 TGRAPPA 及 TmSENSE 均可在单次屏气过程中完成左右心功能的评价,获得相应数据, TGRAPPA 图像质量优于 TmSENSE, TPAT 技术有

望克服心脏 MR 成像时间长的缺点,达到快速扫描的目的,促进心脏 MR 成像的普及,使之能在临床得到更广泛的应用,更好的服务于临床使更多患者受益。

参考文献:

- [1] Mc Laughlin VV, Shah SJ, Souza R, et al. Management of pulmonary arterial hypertension[J]. J Am Coll Cardiol, 2015, 65(18): 1976-1997.
- [2] Montani D, Gunther S, Dorfmüller P, et al. Pulmonary arterial hypertension[J]. Orphanet J Rare Dis, 2013, 8:97.
- [3] Alfakih K, Plein S, Thiele H, et al. Normal human left and right ventricular dimensions for MRI as assessed by turbo gradient echo and steady-state free precession imaging sequences[J]. J Magn Reson Imaging, 2003, 17(3):323-329.
- [4] Rathi VK, Biederman RW. Imaging of ventricular function by cardiovascular magnetic resonance[J]. Curr Cardiol Rep, 2004, 6(1): 55-61.
- [5] Lorenz CH, Walker ES, Morgan VL, et al. Normal human right and left ventricular mass, systolic function, and gender differences by cine magnetic resonance imaging[J]. J Cardiovasc Magn Reson, 1999, 1(1):7-21.
- [6] Moon JC, Lorenz CH, Francis JM, et al. Breath-hold FLASH and FISP cardiovascular MR imaging; left ventricular volume differences and reproducibility[J]. Radiology, 2002, 223(3):789-797.
- [7] Pruessmann KP, Weiger M, Scheidegger MB, et al. SENSE: sensitivity encoding for fast MRI[J]. Magn Reson Med, 1999, 42(5): 952-962.
- [8] Griswold MA, Jakob PM, Heidemann RM, et al. Generalized autocalibrating partially parallel acquisitions (GRAPPA) [J]. Magn Reson Med, 2002, 47(6):1202-1210.
- [9] Breuer FA, Kellman P, Griswold MA, et al. Dynamic autocalibrated parallel imaging using temporal GRAPPA (TGRAPPA) [J]. Magnetic Resonance in Medicine, 2005, 53(4):981-985.
- [10] Kellman P, Epstein FH, McVeigh ER. Adaptive sensitivity encoding incorporating temporal filtering (TSENSE) [J]. Magn Reson Med, 2001, 45(5):846-852.
- [11] Hunold P, Maderwald S, Ladd ME, et al. Parallel acquisition techniques in cardiac cine magnetic resonance imaging using TrueFISP sequences; Comparison of image quality and artifacts [J]. J Magnetic Resonance Imaging, 2004, 20(3):506-511.
- [12] Theisen D, Sandner TA, Bamberg F, et al. High-resolution cine MRI with TGRAPPA for fast assessment of left ventricular function at 3T [J]. Eur J Radiol, 2013, 82(5):e219-e224.
- [13] Young AA, Cowan BR, Schoenberg SO, et al. Feasibility of single breath-hold left ventricular function with 3 Tesla TSENSE acquisition and 3D modeling analysis [J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2008, 10:24.
- [14] Krumm P, Keuler JD, Mangold S, et al. Single-breath-hold evaluation of cardiac function with use of time-resolved parallel cardiac magnetic resonance [J]. Tex Heart Inst J, 2017, 44(4):252-259.
- [15] 杨姗, 曾蒙苏, 张志勇, 等. 单次屏气及自由呼吸 TSENSE 技术对心功能测量及图像质量的评价 [J]. 放射学实践, 2007, 22(7): 714-717.
- [16] 陆敏杰, 赵世华. MR 并行采集技术及其在心脏 MR 检查中的应用 [J]. 中华放射学杂志, 2008, 42(12):1345-1347.
- [17] Rogers T, Ratnayaka K, Khan JM, et al. CMR fluoroscopy right heart catheterization for cardiac output and pulmonary vascular resistance; results in 102 patients [J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2017, 19(1):54.

(收稿日期:2017-11-12)

下期要目

肾脏肿瘤磁共振专题

乳腺化生性癌的 MRI 表现及临床病理特点

静息态功能连接张量在睁眼闭眼状态下的对比上矢状窦生理流动模式的相位对比磁共振研究

儿童主动脉憩室的 CT 影像学表现

脑梗死继发皮质脊髓束 Wallerian 变性的 DTI 动态研究

MR T₂WI 直方图分析在评价髓母细胞瘤复发风险中的应用

γ-H2AX 免疫荧光分析技术对 CT 辐射损伤的实验研究
256 层 iCT 低剂量扫描联合迭代重建技术在头颈部 CTA 的应用

应更加重视伏隔核:基于 MRI 早期 PSD 患者核团体积及形态改变