

• 胸部影像学 •

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

杨姗, 曾蒙苏, 张志勇, 金航, 陈财忠, 沈继章, 李轶晨, 张利军

【摘要】 目的:评价 TSENSE 技术在不同加速因子及自由呼吸状态下测量心功能的准确性及图像质量。**方法:**15 例患者真实稳态自由进动(trueFISP)全心短轴位电影检查。检查序列包括多次屏气 trueFISP 结合 GRAPPA, 不同加速因子(2~4)单次屏气 TSENSE 和自由呼吸 TSENSE($R=3$)。测量并比较各种序列所测心脏射血分数(EF)、舒张末期容积(EDV)和收缩末期容积(ESV)。结合乳头肌水平图像的对比噪声比(CNR)对各序列图像质量进行评价。**结果:**与 GRAPPA 相比, TSENSE 各序列所测心功能指标差异无显著性意义($P>0.05$), 两者结果具有一致性。各序列图像均具有诊断性, 以 GRAPPA 和 $R=2$ 时 TSENSE 图像质量最佳。**结论:**单次屏气和自由呼吸 TSENSE 技术全心扫描能准确评价左心室容积大小, 以 $R=3$ 时 TSENSE 序列最适合临床运用。

【关键词】 磁共振成像; 平行采集; 心脏, 容量

【中图分类号】 R445.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2007)07-0714-04

Single Breathhold and Free Breathing TSENSE Technique in the Evaluation of Cardiac Volumetry Image Quality YANG Shan, ZENG Meng-su, ZHANG Zhi-yong, et al. Department of Radiology, Zhongshan Hospital of Fudan University, Shanghai 200032, P. R. China

【Abstract】 Objective: To assess the impact of TSENSE technique underwent various acceleration factors and free breathing in the accuracy of cardiac volumetric measurement and image quality. **Methods:** Fifteen patients underwent steady-state free precession (SSFP) cine MRI for short axis images of global heart scans. Pulse sequences used included true fast imaging with steady-state precession (trueFISP) combined with GRAPPA, true FISP with TSENSE of various acceleration factors ranged from $R=2$ to 4, single breathhold, and free breathing real time TSENSE ($R=3$). Volumetric assessment including ejection fraction (EF), end-diastolic volume (EDV) and end-systolic volume (ESV) was performed and measured in each sequence. Contrast-to-noise ratio (CNR) of the image at the position of papillary muscle was used to assess the imaging quality. **Results:** Compared with GRAPPA, no significant statistic difference of these TSENSE sequences in the measurement of EF, EDV and ESV was observed ($P>0.05$). Images of all pulse sequences could be used for diagnosis, among which, the quality of GRAPPA and TSENSE ($R=2$) were the best. **Conclusion:** A single breathhold or free breathing SSFP cine-MRI with TSENSE can precisely evaluate the cardiac volumetry. SSFP cine MRI with TSENSE ($R=3$) was the optimal technique for routine clinical application.

【Key words】 Magnetic resonance imaging; Parallel imaging; Cardiac volume

左心室容积大小及收缩功能对心脏疾病的诊断和预后判断有重要参考价值。随着 MR 线圈及快速扫描序列的开发, MR 在心室容积测量方面具有独特优势, 其准确性高、重复性可靠, 已被临床广泛接受, 并有望成为评价心功能的无创性金标准。笔者通过多次屏气真稳态自由进动(true fast imaging with steady state, trueFISP)电影结合 GRAPPA (generalized autocalibrating pairtrally panallel aqsrtions) 技术作为标准, 评价单次屏气 trueFISP 电影结合 TSENSE (time-

adaptire sensitiring encoding) 技术在不同加速因子及自由呼吸状态下 TSENSE (RT-TSENSE) 所测心室容积指标是否有差异并比较各序列的图像质量, 旨在为临床提供快速可靠的 MR 电影测定心室功能的方法。

材料与方法

选择 2005 年 10 月~2006 年 7 月行心脏磁共振检查患者 15 例, 男 12 例, 女 3 例, 年龄 13~78 岁, 平均 58.5 岁。其中无器质性疾病者 2 例, 心肌梗死患者 10 例, 心肌病患者 3 例。所有研究对象均签署知情同意书。

采用超导 1.5T (Magnetom Avanto, Siemens AG, Erlangen, Germany) 磁共振成像仪, 梯度场强 45 mT/m,

作者单位: 200032 上海, 复旦大学附属中山医院放射科 复旦大学上海医学院医学影像科

作者简介: 杨姗 (1979-), 女, 湖南人, 博士研究生, 主要从事心脏 MR 研究工作。

通讯作者: 张志勇 E-mail: zhangzy@shaphc.org

切换率 200 mT/(m·s)。信号采集使用 1 个 6 通道表面线圈和 2 个脊柱相控阵线圈单元,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。常规横断面扫描基础上平行于室间隔定左室长轴位(两腔心),在两腔心图像上经心尖二尖瓣口水平确定四腔心扫描方向,再在四腔心切面垂直于室间隔获得从心底至心尖的左室短轴位图像。检查者均行屏气 GRAPPA、不同加速因子 TSENSE(R=2,3,4)及自由呼吸 RT-TSENSE 结合 trueFISP 左室短轴电影。不同受检者根据心脏大小及屏气时间长短调整扫描层数(6~10 层)及层厚,均覆盖全心,同一病例采用相同层厚及层数。各序列扫描参数见表 1。

表 1 电影扫描各序列扫描参数

成像参数	GRAPPA	TSENSE	RT-TSENSE
TR(ms)	47.7	42.9	68.3
TE(ms)	1.13	1.43	1.05
翻转角(°)	80	70	55
接收矩阵	109×192	89×192	86×192
K 空间节段数	18	15	—
带宽	930	965	1302
加速因子	2	2、3、4	3

所有左室短轴电影由心功能专用分析软件(Argus Syngo MR 2004V)进行分析。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的心内膜边界,乳头肌属心腔内结构,左室基底段包括左室流出道部分。由软件自动计算左室射血分数(ejection fractor, EF),舒张末期容积(end-diastolic volume, EDV)和收缩末期容积(end-systolic volume, ESV)。

选择乳头肌层面,测量各个序列图像的对比噪声比(contrast noise ratio,CNR)

$$CNR = \frac{SI_{\text{心腔}} - SI_{\text{心肌}}}{SD_{\text{noise}}} \quad (1)$$

SI_{心腔}和 SI_{心肌}分别代表心腔和心肌的信号强度,

采用舒张末与收缩末期平均值;SD_{noise}指背景噪声的信号强度标准差。CNR 下降幅度主要指 TSENSE 技术中,R 为 3、4 或自由呼吸时的 CNR 值与 R 为 2 时的差值,再与 CNR_(R=2) 的比值。

由两位具有心血管 MR 诊断经验者对图像质量进行评分,评分标准如下。3 分:图像无伪影,无明显噪声,图像整体质量很好;2 分:伪影、噪声均较轻(不影响诊断),图像整体质量好;1 分,伪影、噪声均中度(部分影响诊断),图像质量可以诊断;0 分,伪影明显(不能诊断),噪声轻度(不影响诊断),图像质量差不能诊断。

分析所测心功能参数值,采用随机区组设计方差分析。5 种序列使用 SPSS 11.5 软件,P<0.05 为差异有统计学意义。

结 果

1. 心功能测量结果

15 例患者均完成各种检查。5 种扫描序列时 3 项心功能参数的测量结果见表 2。

经统计学分析,结果显示各种序列所测量的 EF, EDV 和 ESV 值差异均无显著性意义(P>0.05),测量结果具有较好的一致性。

2. 图像质量分析

各序列图像上,心肌和心腔的信号强度和图像对比噪声比测量结果见表 3。

本组结果显示,心肌信号强度在各组中无明显差异(P>0.05)。血流信号强度、心肌血流信号强度比存在组间差异,两两比较后发现 T₁WI RT-TSENSE 与其他组差异,有显著性意义(P<0.05),余组间差异无统计学意义。而 CNR 在 R=3,R=4 及 RT-TSENSE 组间无差异外,余各组差异具有显著性,其中的 GRAPPA 序列图像 CNR 最高,而在 TSENSE 序列中随加速因子增加,图像 CNR 下降(图 1、2)。

表 2 各种序列心功能参数测量结果

指标	GRAPPA	TSENSE(R=2)	TSENSE(R=3)	TSENSE(R=4)	RT-TSENSE	P 值
EF	0.461±0.199	0.457±0.190	0.455±0.191	0.457±0.177	0.442±0.190	0.173
EDV	124.871±35.091	122.664±34.246	124.129±31.536	120.45±34.150	122.007±35.221	0.225
ESV	71.771±40.190	71.043±38.303	62.943±34.628	69.743±37.316	72.036±37.627	0.479

表 3 各种序列信号强度及 CNR 结果

指标	GRAPPA	TSENSE(R=2)	TSENSE(R=3)	TSENSE(R=4)	RT-TSENSE	P 值
心肌信号强度	79.47±16.83	79.08±17.51	80.94±21.40	83.06±22.38	85.07±15.21	0.078
心腔血液信号强度	340.19±52.54	348.35±53.72	347.39±56.50	345.83±50.40	325.03±60.36	<0.001
心肌/血液信号差异	260.72±45.26	269.27±50.78	266.45±52.48	262.77±47.96	239.96±58.94	<0.001
CNR	149.80±51.52	53.60±12.18	35.04±9.50	25.16±7.3	32.93±7.92	<0.001
CNR 下降幅度	—	—	34.63%	53.06%	38.56%	—

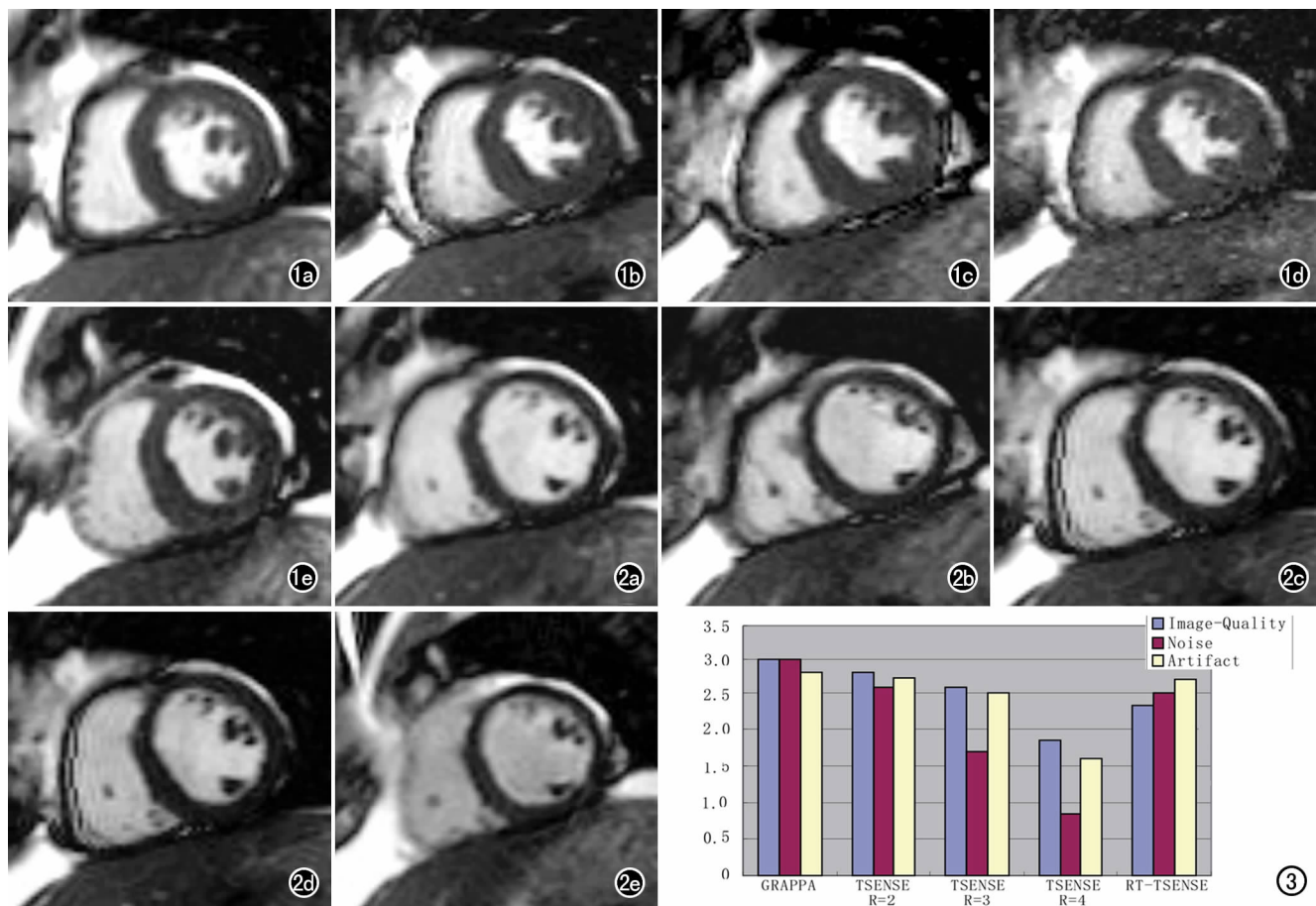


图 1 同一患者不同扫描序列收缩末期图像,显示所有序列图像上心内膜和心外膜均清晰可辨;GRAPPA 图像上噪声和伪影最少,R=2 时 TSENSE 图像整体质量与 GRAPPA 接近;R=4 时 TSENSE 图像噪声增加,R=3 和 4 时图像上可见伪影;RT-TSENSE 图像上心肌与心腔对比略差。a) GRAPPA; b) R=2; c) R=3; d) R=4; e) RT-TSENSE。图 2 同一患者不同扫描序列舒张末期图像,显示所有序列图像上心内膜和心外膜均清晰可辨;GRAPPA 图像上噪声和伪影最少,R=2 时 TSENSE 图像整体质量与 GRAPPA 接近;R=4 时 TSENSE 图像噪声增加,R=3 和 4 时图像上可见伪影;RT-TSENSE 图像上心肌与心腔对比略差。a) GRAPPA; b) R=2; c) R=3; d) R=4; e) RT-TSENSE。图 3 图像质量评分条形图,示各序列中以 GRAPPA 图像质量最值,R=4 时的 TENSE 序列图像质量最差。

图像质量的评分结果显示,所有序列均有诊断性能,即图像上心内膜可辨。综合评价以 GRAPPA 和加速因子为 2 时 TSENSE 序列图像质量最好,自由呼吸 TSENSE 图像的对比略差,在呼吸幅度较大时其图像质量下降(图 3)。

讨 论

尽管目前的心脏电影序列具有高空间和时间分辨力,如 trueFISP 序列结合 GRAPPA 技术单层屏气扫描仅需 6~8 s,但单次屏气采集扫描层数有限,完成全心扫描需多次屏气,这可能造成因频繁屏气引起层面偏移及屏气疲劳所致的呼吸伪影^[1,2]。能否进一步提高成像速度,使单次屏气能完成全心扫描?

提高 MRI 成像速度,传统方法主要增加梯度场强

和切换率,但其受技术成本限制及 SAR(specific absorption rate)提高的影响。并行采集技术是近几年发展起来的最新技术,以线圈阵列结合相应的成像方法,进一步提高成像速度,明显缩短了采集时间,其主要分为(simultaneous acquisition of sparial hamonics, SMASH)技术和 SENSE 技术。两种重建算法的最大不同在于:SMASH 是基于 K 空间域进行重建而 SENSE 基于图像域进行重建。GRAPPA 是 SMASH 技术的扩展,它能避免以往基于 K 空间重建算法的相位错误,信噪比低以及由于拟合问题的欠优化造成的图像质量下降等问题^[3-5]。TSENSE 即 time-adaptive SENSE,是 SENSE 技术的改进型,采用时间上交叉填充 K 空间编码线技术(K 空间的奇数和偶数相位编码线在不同时间交替采集)并结合重建后图像的时域低

通滤波消除图形混迭伪影。TSENSE 技术进一步提升了图像的时间分辨力,其优势在于:线圈敏感性信息,当身体运动或层面改变时无需再次采集相关信息,而自动校正;时间低通滤波技术,可抑制因小视野采集所致的混迭伪影;线圈敏感性信息与图像同时采集并参与 MR 图像重建,可节省时间^[6,7]。

在本组研究中,TSENSE 单次屏气完成全心扫描在 R=2 时扫描时间约 20 s,R=3 时为 13 s 左右,R=4 时小于 10 s。由此可见单次屏气完全可以完成全心扫描。而采用 GRAPPA 序列行短轴位扫描,需要屏气 6~8 次,对于屏气不佳者易疲劳,特别是老年及危重患者不易配合,易出现部分层面的图像有呼吸伪影。

本组中测量心功能相关指标参数在各序列间无明显差异,说明两种算法所测结果的一致性很好,和以往文献报道相似^[8]。从图像 CNR 及主观评分来看,GRAPPA 和 TSENSE(R=2)图像质量最佳。随着加速因子的提高,图像信号噪声比(signal-noise rate, SNR)降低,影响图像质量。此外,本组研究结果显示,尽管 R=4 时图像噪声增多,但心内膜仍清楚可辨,故所测心功能指标参数与其他序列一致性好,而其采集时间明显缩短,多在 10 s 内。有研究^[8]表明当 R>4 时,图像 CNR 将下降 50%以上,所测 EF 和 EDV 值将减小,推测随着图像 SNR 下降,心内膜不易清楚显示,而舒张末期心肌壁最薄,受影响最大,故 EDV 测量不准。自由呼吸状态下心脏电影扫描在心功能测量方面与其他检查无差异,但主观阅片发现心脏收缩活动度显示欠佳,与采集的节段数及患者心率有关。

本研究主要目的在于探寻适合临床应用的全心扫描序列,采用的参数大多是对该序列厂家设置好的最优组合,本研究保证同一患者层厚相同外,带宽及矩阵设置上存在一定差异。且 CNR 值没有完全考虑线圈几何因子的影响,低估了平行采集中的噪声,但确切的几何因子的测量需对机器内部细致检测^[9],所测 CNR 值与实际会存在一定偏差,因此本研究采取结合主观评分进行综合评价。考虑到研究中多为心梗患者,为减少屏气次数,故加速因子仅做到 4,此外 R>4 时图像质量明显下降,故没有进一步研究。本研究样本量

较小,需在以后工作中补充。

由此可见,采用 TSENSE 技术后全心短轴位电影扫描可以在单次屏气和自由呼吸的情况下完成,所取得的心功能指标可靠。从图像质量及扫描时间综合评价,建议临床扫描时加速因子设定为 3 比较可取。而对不能屏气或屏气不佳的患者,可采用自由呼吸的或 R=4 时 TSENSE 扫描。由于 TSENSE 电影采用前瞻性心电门控,空间敏感性信息按帧实时自动纠正,对心律失常患者仍适用;此外,其在心肌灌注扫描及磁共振心血管介入方面也具有很大潜在价值^[5,7]。

参考文献:

- [1] Barkhausen J, Goyen M, Ruhm SG, et al. Assessment of Ventricular Function with Single Breathhold Real-time Steady-state Free Precession Cine MR Imaging[J]. AJR, 2002, 178(3): 731-735.
- [2] Moon JC, Lorenz CH, Francis JM, et al. Breathhold FLASH and FISP Cardiovascular MR Imaging: Left Ventricular Volume Differences and Reproducibility[J]. Radiology, 2002, 223(3): 789-797.
- [3] 陈武凡. 平行磁共振成像的回顾、现状与发展前景[J]. 中国生物医学工程学报, 2005, 24(6): 649-652.
- [4] 王秀彬, 胡振民. 磁共振成像矩阵线圈及平行成像技术[J]. 医疗卫生装备, 2005, 26(6): 19-21.
- [5] Niendorf T, Sodickson DK. Parallel Imaging in Cardiovascular MRI: Methods and Applications[J]. NMR Biomed, 2006, 19(3): 325-341.
- [6] Kellman P, Epstein FH, McVeigh ER. Adaptive Sensitivity Encoding Incorporating Temporal Filtering (TSENSE)[J]. Magn Reson Med, 2001, 45(5): 846-852.
- [7] Guttman MA, Kellman P, Dick AJ, et al. Real-time Accelerated Interactive MRI with Adaptive TSENSE and UNFOLD[J]. Magn Reson Med, 2003, 50(2): 315-321.
- [8] Kunz RP, Oellig F, Krummenauer F, et al. Assessment of Left Ventricular Function by Breath-hold Cine MR Imaging: Comparison of Different Steady-state Free Precession Sequences[J]. J Magn Reson Imaging, 2005, 21(2): 140-148.
- [9] Reeder SB, Wintersperger BJ, Dietrich O, et al. Practical Approaches to the Evaluation of Signal-to-noise Ratio Performance with Parallel Imaging: Application with Cardiac Imaging and a 32-channel Cardiac Coil[J]. Magn Reson Med, 2005, 54(3): 748-754.

(收稿日期: 2006-10-26 修回日期: 2007-01-24)