

• 胸部影像学 •

电影磁共振成像和超声心动图评价右心室功能的对比研究

王翔, 夏黎明

【摘要】 目的:了解 Balanced FFE 电影磁共振成像进行右心室功能分析的价值和限度。**方法:**分别用 Balanced FFE 电影磁共振和二维超声、实时三维超声心动图对 25 例健康志愿者进行右心室舒张末期容积、收缩末期容积、每搏输出量以及射血分数等功能指标的测定,并比较其测量值。**结果:**Balanced FFE 电影磁共振测量 25 例健康志愿者右心室舒张末期容积为 (101.32 ± 6.77) ml,收缩末期容积为 (54.37 ± 6.41) ml,每搏输出量 (52.47 ± 2.98) ml,射血分数为 $(65.44 \pm 5.17)\%$,与实时三维超声心动图测量值相关性良好(r 值在 $0.74 \sim 0.98$)。**结论:**Balanced FFE 电影磁共振能够准确测量右心室容积变化情况,对右心室功能评价具有很高价值。

【关键词】 心室功能,右;磁共振成像;超声心动图;对比研究

【中图分类号】 R445.2; R540.45; R331.31 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2005)01-0024-04

Evaluation of the Right Ventricular Function with the Balanced FFE Cine MR Imaging: Compared with Echocardiography

WANG Xiang, XIA Li-ming, Department of Radiology, Tongji Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430030, P. R. China

【Abstract】 Objective: To investigate the value and limitation of the balanced FFE cine MR imaging in analyzing right ventricular function. **Methods:** 25 healthy volunteers were examined by balanced FFE cine MR imaging, 2D echocardiography and real-time 3D echocardiography. The function features measured by different ways were compared with each other. **Results:** EDV, ESV, SV and EF of the right ventricle measured by balanced FFE cine MR imaging were (101.32 ± 6.77) ml, (54.37 ± 6.41) ml, (52.47 ± 2.98) ml, $(65.44 \pm 5.17)\%$. And the results proved to have good relativity with those from 2DE and RT3DE ($r=0.74 \sim 0.98$). **Conclusion:** Balanced FFE cine MR imaging has shown great value in measuring right ventricular function.

【Key words】 Ventricular function, right; Magnetic resonance imaging; Echocardiology; Comparative study

传统测量右心室容积的影像学方法包括 X 线双平面对比法心室造影和放射性核素心室造影。门控平衡法核素造影一度被认为是评价右心室容积和射血分数的“金标准”^[1,2]。近年来,二维超声心动图(two-dimensional echocardiography, 2DE)和最新的实时三维超声心动图(real-time three-dimensional echocardiography, RT-3DE),能够较准确的测量右心室壁厚度以及心腔大小,并反映右室整体或局部收缩、舒张运动的幅度,是目前应用最广、安全易行且较为成熟的右心室形态及功能评价方法^[3-7]。

磁共振成像应用于心脏成像已有十余年的经验,MR 检查对左心室形态功能的评价具有很高的准确性^[8]。Balanced FFE 是一种新的快速扫描序列, Balanced FFE Cine MR 技术应用于心脏扫描能提供较以往其它序列更高的空间分辨率和时间分辨率,从而能更好的反映右心室在心动周期中不同相位的形态变化。本研究将 Balanced FFE Cine MR 用于测量右心

室容积,并与 2DE 及 RT-3DE 进行对照研究,旨在评价其准确性及临床应用价值。

材料与方法

选择健康志愿者 25 例,其中男 16 例,女 9 例,年龄 24~46 岁,平均 34.6 岁;无心肺疾病相关症状和体征,经胸部平片及心电图检查排除心肺疾病。所有志愿者对此项研究均知情同意。

MR 设备及检查方法:采用 Philips 公司 Intera 1.5T 超导磁共振仪,体部相控阵线圈,心电向量触发技术。Balanced FFE 序列扫描参数:TR 3.1 ms, TE 1.6 ms, 翻转角 50° , 矩阵 192×256 , 图像采集次数 1。被检者于深吸气末屏气 16~20s, 采集 18~27 个相位的心脏图像。层厚 6~8 mm, 扫描 6~8 层多层多相位的右室短轴面和四腔面图像(图 1、2)。扫描范围:右心膈面至漏斗部。在四腔面图像上逐层手动勾画右心室内膜,避开腱索和肌小梁等结构,获得右心室时间-容积曲线(图 3)。用随机心脏分析软件包计算右心室舒张末期容积(end diastole volume, EDV)、收缩末期容积(endsystole volume, ESV)、每搏输出量(stroke

volume, SV) 及射血分数(eject fraction, EF)。在右心室短轴多层多相位图像上手动勾画右心室内壁和外壁, 计算右心室壁增厚率(图 4)。

超声设备及检查方法: 采用 Philips Sonos 7500 型彩色超声诊断仪, 融合频率探头(2~4MHz), 并配有三维图像处理工作站。患者取平卧或左侧卧位, 取心尖四腔心切面行二维超声检查, 启动 AQ(Acoustic Quantification)系统, 完整显示右室内膜, 并用 ROI 键固定, 观察并记录舒张末期容积(EDV)、收缩末期容积(ESV)、每搏输出量(SV)、射血分数(EF)、峰值射血率(PFR)、快速峰值充盈率(PRFR)等指标。启动 CK(Color Kinesis)功能, 观测并记录右心室各阶段的收缩期及舒张期彩阶位移幅度。

实时三维超声检查时启动“Full Volume”功能之采图键, 嘱患者屏气, 心电图自动触发采集四个相邻的 $15^\circ \times 60^\circ$ 的“瓜瓣图”立体图像依次叠加形成室面的 $60^\circ \times 60^\circ$ 的“金字塔”样的三维数据库。在工作站上, 将右心室置于参考平面中央, 采取 8 平面法逐点勾画心内膜边缘, 计算右室 EDV、ESV、SV 及 EF。

统计方法: 应用 SPSS 10.0 软件进行数据的统计处理。对 Balanced FFE Cine MR 及 2DE、RT-3DE 所测量的 EDV、ESV、SV、EF 等指标的比较, 应用随机区组方差分析进行显著性检验, 应用一元线性回归相

关分析确定各方法间的相关系数。

结 果

25 例健康志愿者由 Balanced FFE Cine MR 和 2DE、RT-3DE 测得右心室的功能指标见表 1。

表 1 三种方法测定右心室功能指标比较($\bar{x} \pm s$)

心功能指标	2DE	RT-3DE	Balanced FFE Cine MR
EDV(ml)	91.03 $\pm$ 18.2	93.10 $\pm$ 9.61	107.32 $\pm$ 6.77
ESV(ml)	51.44 $\pm$ 10.67	49.41 $\pm$ 5.47	54.37 $\pm$ 6.41
SV(ml)	51.41 $\pm$ 9.84	45.33 $\pm$ 3.42	52.47 $\pm$ 2.98
EF(%)	62.64 $\pm$ 4.1	67.31 $\pm$ 3.83	65.44 $\pm$ 5.17

经统计学分析, 2DE、RT-3DE 和 Balanced FFE Cine MR 所测得的 EDV、ESV、SV 等指标均值比较差异无显著性意义, 具有良好的相关性(r 值 0.74~0.98), 但 2DE 和 RT-3DE 测得的 EDV、ESV、SV 等指标均值同 Balanced FFE Cine MR 相比低估 11% 左右。由 2DE CK 技术检测 25 例健康志愿者的右心室壁运动幅度, 结果见表 2。

表 2 右心室收缩末期心内膜移动距离 (mm)

心室壁	心尖段	中间段	基底段	平均
游离壁	6.93 $\pm$ 0.75	7.09 $\pm$ 1.27	7.12 $\pm$ 1.09	7.06 $\pm$ 1.17
室间壁	3.39 $\pm$ 0.71	3.63 $\pm$ 0.84	3.54 $\pm$ 0.75	3.43 $\pm$ 0.84

注: 不同部位室间隔与游离壁心内膜活动度比较, $P < 0.05$, 说明室间隔移动度明显低于游离壁。

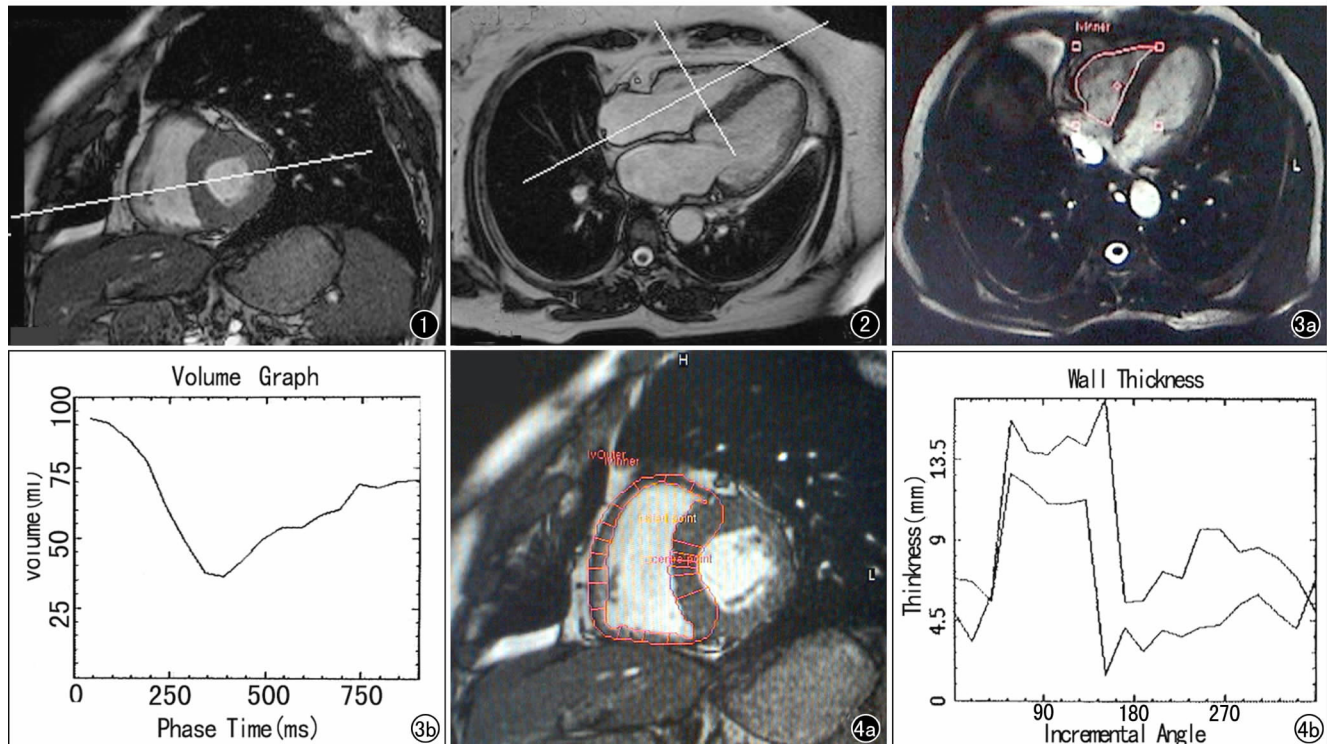


图 1 在左室短轴像图像上垂直于室间隔定位四腔心扫描平面。图 2 于四腔心面图像上观察右心室形态。图 3 右心室容积测量。a) 手动逐层勾画右心室内膜, 获得各层面右心室容积数据; b) 累计各层面数值, 经计算获得右心室时间-容积曲线。图 4 右心室厚度测量。a) 手动勾画右心室外壁和内膜, 计算右心室厚度; b) 正常志愿者右心室时间-厚度曲线, 可计算右心室壁增厚率。

Balanced FFE Cine MR 计算右心室游离壁在舒张末期最大厚度和最小厚度分别为 4.68 ± 1.36 和 1.42 ± 0.98 , 收缩末期最大厚度和最小厚度分别为 7.32 ± 1.02 和 3.26 ± 1.17 。随机软件计算右心室总体增厚率为 $(238.42 \pm 9.68)\%$ 。

讨 论

超声心动图是目前右心室功能评价应用最广,也是最为成熟的影像学方法^[5]。除能测定右心室腔内径和右室壁厚度外,还可以通过对三尖瓣及肺动脉瓣收缩期和舒张期不同时相的血流时间、血流速度、加速度以及时间-流速积分,测算出反映右室收缩及舒张功能的相关指标,并同测量肺动脉压力来反映右心室压力负荷的情况^[9]。然而,右心室形态不规则呈新月状,流入道和流出道不在同一层面,右室壁心肌较薄,腔内小梁较多,心内膜面不规则,超声心动图空间分辨力不足,确定心内膜面准确性较差,从而影响了其右心室内径测量的准确性^[10]。据国外文献报道,2DE 的测量值与心室造影比较,低估约 $20\% \sim 30\%$ ^[11]。此外,超声心动图(特别是 RT-3DE)探头的“窄角”,使显示宽度受限,难以显示右室腔全貌。RT-3DE 计算心室容积仍采取几何体积假定,依靠计算机插入像素,其 8 平面测量法,心室腔的 8 个测量平面间的角度高达 22.5° ,极易产生“室壁残缺”,从而低估右心室的容积^[4]。以上不足,决定了超声心动图对右心室容积测量的准确性存在先天不足。

Balanced FFE 技术即快速梯度回波稳态自由进动(steady state free precession, SSFP)扫描序列, Siemens 公司称之为 Segmented True FISP (fast imaging with steady-state precession)^[12]。这项 MR 技术已存在多年,直到最近才用于心脏检查。这得益于 MR 梯度场和切换率的进一步提高。与以往常规 T_1 WI 和 T_2 WI 不同, Balanced FFE 技术成像的基础是组织 T_2 值与 T_1 值之比。血液以其极高的 T_2/T_1 值,在图象上呈高信号,与心肌组织和心包脂肪具有极佳的对比。在 Balanced FFE 技术获取的心脏各断面图像上,能够清晰显示心肌的轮廓、瓣膜及小梁、腱索等结构,从而准确勾画心内膜,为右心室容积测量准确性提供了保证。此外, Balanced FFE 技术采用小翻角和极短的 TR 时间,使采集速度大为提高,能够在 $16 \sim 20$ s 屏气时间内采集心动周期内 $18 \sim 27$ 个相位的图像,避免了心脏搏动和呼吸运动的伪影,并减少了由于心脏位置改变,扫描层面位置移动所带来的测量误差^[13]。因此, Balanced FFE 较 MR 其他序列能更好

地显示右心室的形态和运动功能变化。国外学者比较 Balanced FFE 与其他扫描技术(如 Turbo FLASH 等),认为其图像质量显著提高(评分为 $4.1/3.0$)^[10]。另有学者进行动物试验,测量狗离体心脏右心室容积变化和室壁质量,并与 Balanced FFE Cine MR 测量结果进行比较,其相关性良好^[14]。Balanced FFE(或称 True FISP)已被认为是右心室容积测量之标准方法。

本研究采用 Balanced FFE Cine MR 对右心室进行多层多相位扫描。扫描范围由右心膈面至漏斗部,避免了对右心室显示的遗漏。在各层面、各相位的图像上能够清晰的辨认心室壁、乳头肌、小梁和瓣膜结构,对右心室的形态和运动能够全面显示。在心向量触发的基础上加用局部匀场,有效避免了心脏搏动的影响。训练受检者在深吸气末屏气采集,避免了呼吸运动的干扰。本研究获得的右心室收缩末期,舒张末期容积和射血分数等指标,与国外学者测量值近似^[15]。由于人种差异以及所用仪器、检测方法等的差别,尚难评价准确性高低。本研究中 Balanced FFE Cine MR 的测量结果与 2DE 的测值较 RT-3DE 偏大, 3 种方法相关性尚好。然而,如前所述,超声心动图本身存在低估容积的问题,这从另一方面说明应用 Balanced FFE Cine MR 测量右心室容积较为准确、可靠。由于评价右心室容积和功能的方法不多,目前尚缺乏“金标准”。两种方法孰优孰劣还需要进行大宗例数的对比研究。国外学者对比 16 层 CT 核素扫描与 Cine MRI,发现三者相关良好性^[16,17]。因此,有理由相信, Balanced FFE Cine MR 测量右心室容积较 RT-3DE 有更高的准确性。

此外,本研究中发现, Balanced FFE Cine MR 所测量的右心室室壁运动幅度和增厚率与超声心动图,特别是 2DE CK 技术所获得的测值有较大差异。CK 技术即彩色室壁动力分析技术,以不同的彩色编码标志在心动周期不同时相心内膜的移动,用于评价室壁运动的幅度和时间^[18]。本研究采用美国超声学会推荐的 6 节段划分法(图 5),分别测定室壁各节段的位移幅度,其分析结果见表 2。Balanced FFE Cine MR 误差产生的原因在于右心室的运动方式与左心室截然不同。左室不同节段室壁总体上呈较为均匀的向心性收缩-舒张运动。而右心室呈偏心性收缩,其游离壁和室间隔的运动幅度相关可达 2 倍之多。而本研究中计算机分析软件只是简单套用针对左室壁的分析方法,计算总体平均增厚率,因而不够准确,当然,这只是计算机分析软件的缺陷,并不足以否认 Balanced FFE Cine MR 评价右心室功能的价值。

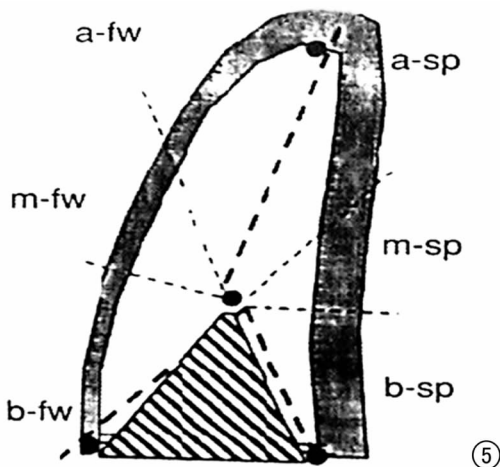


图 5 右心室节段划分模式。a-fw 游离壁心尖段 (apical free wall), m-fw 游离壁中间段 (middle free wall), b-fw 游离壁基底段 (basal free wall), a-sp 室间隔心尖段 (apical septum), m-sp 室间隔中间段 (middle septum), b-sp 室间隔基底段 (basal septum)

综上所述, Balanced FFE Cine MR 应用于右心室容积测量和功能分析, 成像快捷, 图像质量良好, 容积测量准确, 代表了磁共振心脏应用技术的最新成就, 与其他影像学方法相比具有不可替代的优越性。

参考文献:

- [1] 张金谷, 郑柏洁, 王铁, 等. 肺心病患者核素左右室收缩与舒张功能变化 125 例临床观察[J]. 中华核医学杂志, 1991, 11(5): 233-234.
- [2] Farred Khja MD, Mohsin Alam MD, Sindy Goldstein MD, et al. Diagnosis Value of Visualization of the Right Ventricular Using Tallium-201 Myocardial Imaging[J]. Circulation, 1979, 59(1): 182.
- [3] Scaliu GM, Greenberg HL, McCarthy PM, et al. Noninvasive Assessment of the Invasive Assessment of the Ventricular Time Constant (τ) in Humans by Echocardiography[J]. Circulation, 1997, 95(1): 151-155.
- [4] 颜紫宁, 黄定九, 陈邦俊, 等. 三维超声心动图对肺心病患者心功能的研究[J]. 中国超声医学杂志, 1994, 10(1): 1-5.
- [5] Schinder ST, Mehwald PS, Sahn DL, et al. Accuracy of Real-time Three-dimensional Echocardiography for Quantifying Right Ventricular Volume; Static and Pulsatile Flow Studies in an Anatomic in Vitro Model[J]. J Ultrasound Med, 2002, 21(4): 1069-1075.
- [6] Kisslo J, Fitek B, Cta T, et al. Real-time, Volumetric Echocardiography: the Technology and the Possibilities [J]. Echocardiography, 2002, 21(3): 1069-1075.

- [7] Habib GB, Zoghbi WA. Doppler Assessment of Right Ventricular Filling Dynamics in Systemic Hypertension: Comparison with Left Ventricular Filling[J]. Am Heart J, 1992, 124(5): 1313.
- [8] Glockner JF, Johnston DL, McGee KP. Evaluation of Cardiac Valvular Disease With MR Imaging: Qualitative and Quantitative Techniques[J]. Radiographics, 2003, 23(3): 686.
- [9] Ribal CS, Nisbimuna RA, Hatce LK, et al. Systolic and Diastolic Dysfunction in Patients with Clinic Diagnosis of Dilated Cardiomyopathy: Relation to Symptoms and Prognosis [J]. Circulation, 1994, 90(6): 2772-2779.
- [10] Cohen GI, Pretrombgo JF, Thomas JD, et al. A Practical Guide to Assessment of Ventricular Diastolic Function Using Doppler Echocardiography[J]. J Am Coll Cardiol, 1996, 27(3): 1753-1760.
- [11] Kircher B, Abbott JA, Pau S, et al. Left Atrial Volume Determination by Biplane Two-dimension Echocardiography: Validation by Cine Computed Tomography[J]. Am Heart J, 1991, 121(11): 864-871.
- [12] Pereles FS, Kapoor V, Carr JC, et al. Usefulness of Segment True FISP Cardiac Pulse Sequence in Evaluation of Congenital and Acquired Adult Cardiac Abnormalities[J]. AJR, 2001, 177(7): 1155-1160.
- [13] Higgins CB, Sakuma H. Heart Disease: Functional Evaluation with MR Imaging[J]. Radiology, 1996, 199(5): 307-315.
- [14] Shor SM, Fung CW, Francois CJ, et al. Accurate Quantification of Right Ventricular Mass at MR Imaging by Using Cine True Fast Imaging with Steady-State Precession: Study in Dogs[J]. Radiology, 2004, 230(2): 383-388.
- [15] Turbull LW, Pidgway JP, Biernacki W, et al. Assessment of the Right Ventricular by Magnetic Resonance Imaging in Chronic Obstructive Lung Disease[J]. Thorax, 1990, 45(8): 597-601.
- [16] Grude M, Juergens KU, Wichter T, et al. Valuation of Global Left Ventricular Myocardial Function with Electrocardiogram-gated Multidetector Computed Tomography: Comparison with Magnetic Resonance Imaging[J]. Invest Radiol, 2003, 38(10): 653-661.
- [17] Freiberg J, Hove JD, Kofoed KF, et al. Absolute Quantitation of Right Ventricular Wall and Cavity Parameters Using ECG-gated PET[J]. J Nucl Cardiol, 2004, 11(1): 38-46.
- [18] Koch R, Lang RM, Garcia MJ, et al. Objective Evaluation of Regional Left Ventricular Wall Motion During Dobutamine Echocardiographic Studies Using Segmental Analysis of Color Kinesis Imaging[J]. J Am Coll Cardiol, 1999, 34(2): 409-419.

(收稿日期: 2004-06-23)