

· 临床研究 ·

[文章编号] 1007-3949(2016)24-08-0840-05

4D 心脏磁共振与 3D 心脏磁共振评价正常左心室功能的对比研究

郭立¹, 郭皓², 袁勇³, 曾维咏⁴, 袁曙光¹, 周晓雯¹, 杨楠¹, 艾李萍¹

(1.昆明医科大学第二附属医院放射科,云南省昆明市 650101;2.昆明医科大学第一附属医院心内科,云南省昆明市 650032;3.昆明医科大学第二附属医院急诊科,云南省昆明市 650101;4.云南农业大学学生处,云南省昆明市 650201)

[关键词] 4D 心脏磁共振; 3D 心脏磁共振; 左心室心功能

[摘要] 目的 通过 4D 心脏磁共振(4D MR)法和 3D 心脏磁共振(3D MR)法检测正常人左心室功能的对比,评价 4D MR 法检测左心室功能的优势。方法 采用 4D MR 法和 3D MR 法对 9 例正常志愿者的每搏输出量(SV)进行测量,并与相位对比磁共振法所测结果进行比较。结果 4D MR 法、3D MR 法测量左心室的收缩末期容积、舒张末期容积、SV 无明显差别。4D MR 法获取 SV 花费时间少,受操作者影响小。结论 4D MR 法具有准确性和可重复性高、花费时间短、直观等优点,可作为临床心功能检查的主要方法。

[中图分类号] R445

[文献标识码] A

A Comparative Study of Left Ventricular Function Measured by 4D Cardiac Magnetic Resonance and 3D Cardiac Magnetic Resonance in Healthy Volunteers

GUO Li¹, GUO Hao², YUAN Yong³, ZENG Wei-Yong⁴, YUAN Shu-Guang¹, ZHOU Xiao-Wen¹, YANG Nan¹, and AI Li-Ping¹

(1. Department of Radiology, the Second Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Kunming, Yunnan 650101, China; 2. Department of Cardiology, the First Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Kunming, Yunnan 650032, China; 3. Department of Emergency, the Second Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Kunming, Yunnan 650101, China; 4. Department of Student Affairs, Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201, China)

[KEY WORDS] 4D Cardiac Magnetic Resonance; 3D Cardiac Magnetic Resonance; Left Ventricular Function

[ABSTRACT] **Aim** To evaluate the advantage of 4D cardiac magnetic resonance (4D MR) in measuring the left ventricular function, through the comparison of left ventricular function measured by 4D MR and 3D cardiac magnetic resonance (3D MR) in healthy volunteers. **Methods** The stroke volumes (SV) of 9 normal volunteers were measured by 4D MR method and 3D MR method. The results were compared with those measured by phase contrast magnetic resonance method. **Results** There were no significant difference in left ventricular end-systolic volumes, end-diastolic volumes, SVs measured by 4D MR method and 3D MR method. SV got by 4D MR method is characterized with lower time-consumption, being less affected by the operator. **Conclusion** 4D MR method has the advantages of high accuracy, high repeatability, lower time-consumption, intuition and so on, and can be used as one of the main methods of clinical cardiac function examination.

左心室(left ventricle, LV)功能的准确测量对心血管疾病的诊断、治疗及预后判定有着非常重要的作用。多层左心室短轴位磁共振(magnetic

resonance, MR)电影法(又称为 2D MR 电影法、3D 心脏 MR 法,本文中简称 3D MR 法)是目前左心室功能测量最为准确的方法^[1-5]。该方法是通过心室

[收稿日期] 2014-05-12

[修回日期] 2015-05-06

[基金项目] 教育部博士点基金(新教师类 20115317120003);云南省应用基础项目(昆医联合专项 2012Z091)

[作者简介] 郭立,博士,副主任医师,研究方向为磁共振成像诊断,E-mail 为 guolidoc@163.com。通讯作者郭皓,博士,副主任医师,研究方向为心血管疾病诊治,E-mail 为 guohaodoc@163.com。袁勇,博士,副主任医师,研究方向为急诊外科学,E-mail 为 yuanyongdoc@163.com。

短轴位来获取心脏的容积,故难以准确勾画出心尖及心底部的心内缘轮廓,从而影响测量的结果。4D 心脏磁共振法(又称为 3D MR 电影法,本文中简称 4D MR 法)是在传统的 3D MR 法的基础上,增加了心室长轴位电影,这有助于心底及心尖部心脏轮廓的勾画。故本研究采用 4D MR 法和 3D MR 法对 9 例自愿者的每搏输出量(stroke volume, SV)进行测量,并与心动周期内通过主动脉起始部的净血流量(即:SV)进行比较,以验证 4D MR 法测量左心室功能的准确性。

1 资料与方法

1.1 一般资料

对 2013 年 1 月至 2013 年 12 月到我院体检中心进行健康体检的 9 名自愿者进行心血管 MR 检查。受检者中男 7 例,女 2 例,年龄 21~30 岁。上述受检者通过常规体检和胸部 MR 检查除外了心、血管方面的疾病。

1.2 常规胸部 MR 检查

扫描前对受检者进行呼气后屏气的训练。在清醒、空腹及静息状态下,采用 Siemens Sonata 1.5T 超导磁共振仪(梯度磁场为 40 mT/m,切换率为 200 mT/ms)及相控阵线圈行常规胸部扫描。

1.3 MR 心脏扫描及图像后处理

1.3.1 左心室短轴及长轴 MR 电影扫描 在横断、冠状、矢状心脏定位像的基础上,逐步获取心室各轴位图像:①“两腔心”:横轴定位像上,沿左心室尖部至二尖瓣中点的连线成像,获得平行于室间隔的左心室长轴位;②“四腔心”:在上述“两腔心”上定位,沿左心室心尖至二尖瓣中点连线成像,获得垂直于室间隔的左心室长轴位;③在上两步中获得的“两腔心”和“四腔心”上定位,并垂直于室间隔成

像,获得心室短轴位;④在短轴位上进一步定位,重复第②、③步 2~3 次来校正定位,获得“标准的两腔心”、“标准的四腔心”及从心尖至心底连续平面的心室短轴;⑤拷贝各层面心脏短轴位的位置,采集左心室短轴位 MR 电影(9~14 层);⑥拷贝心脏长轴位位置,分别获得垂直室间隔的左心室长轴位 MR 电影(1 层)、平行于室间隔的左心室长轴位 MR 电影(1 层)。对应于心脏每一截面各产生一组 MR 电影,每组 MR 电影包含 25 帧图像。MR 电影扫描参数:TR/TE = 34/1.4 ms,矩阵 192×192,视野(FOV)360 mm,层厚 6 mm。

1.3.2 3D MR 法的后处理 由 2 位具有 5 年以上工作经验的影像医师将逐层(9~14 层)的左心室短轴 MR 电影导入后处理软件 Syngo Argus 中。由软件半自动描记心内膜及心外膜轮廓,并经影像医师逐一核对、调整,获得心动周期各时间节点上左心室的轮廓图,其中轮廓最大的一帧对应着舒张末期,轮廓最小的一帧对应着收缩末期(图 1A、B);确认后,软件自动得出左心室舒张末期容积(end-diastolic volume, EDV)、收缩末期容积(end-systolic volume, ESV)、SV 等相关指标及心动周期内左心室容量变化的曲线(图 1C)。

1.3.3 4D MR 法的后处理 由上述两位影像医师将经过室间隔中间位置的左心室短轴位电影及上下间隔各一层的左心室短轴位电影(共 3 层)、垂直及平行于室间隔的左心室长轴位 MR 电影导入后处理软件 Syngo Argus 的 4D 软件包中。根据软件导航提示,选取心尖、心底位置及收缩末期、舒张末期的时相,由软件半自动描记心内膜及心外膜轮廓(图 2A),经影像医师逐一核对、调整后,软件自动生成左心室心动周期内的容量变化曲线(图 2B)及 EDV、ESV、SV 等心功能相关参数数据。

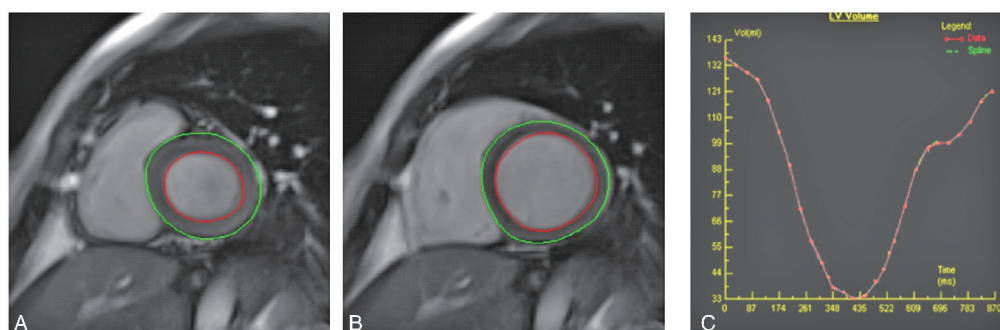


图 1. 3D MR 法获取 SV A 为收缩期心脏短轴位;B 为舒张期心脏短轴位;C 为左心室时间-容积曲线。

Figure 1. SV measured by the method of 3D MR

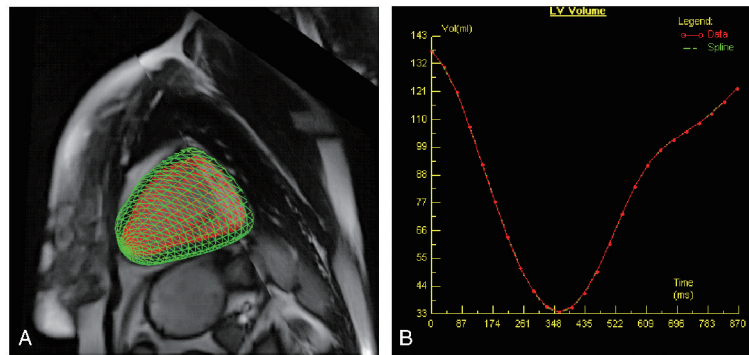


图 2. 4D MR 法获取 SV A:红色网格代表左心室内缘轮廓,绿色网格代表左心室外缘轮廓;B:左心室时间-容积曲线。

Figure 2. SV measured by the method of 4D MR

1.4 主动脉起始部 PC MR 法的扫描及图像后处理

1.4.1 主动脉起始部的 MR 法扫描 于心脏 MR 电影扫描前后随机行主动脉的相位对比磁共振(phase contrast magnetic resonance, PC MR)法扫描,其具体方法如下:常规胸部 MR 图像上定位,获得胸主动脉长轴位;距主动脉瓣口 3 cm 处,采用 PC MR 法序列垂直于升主动脉进行扫描(图 3A),获得相应截面相位重聚图像和相位对比图像各 1 组,每组电影图像各 30 帧。PC

MR 法序列的相关参数:视野 350~400 mm,矩阵 320×256,层厚 5 mm,TR/TE=55/3.2 ms,激励次数 3 次,速度编码(Venc)150 cm/s,心电门控。

1.4.2 PC MR 法的图像后处理 将 PC MR 法扫描所获得的图像导入流速分析软件。半自动勾画心动周期各时相上主动脉内缘轮廓(图 3B)后,软件自动生成升主动脉起始部的时间-净流量曲线(图 3C)及 SV。

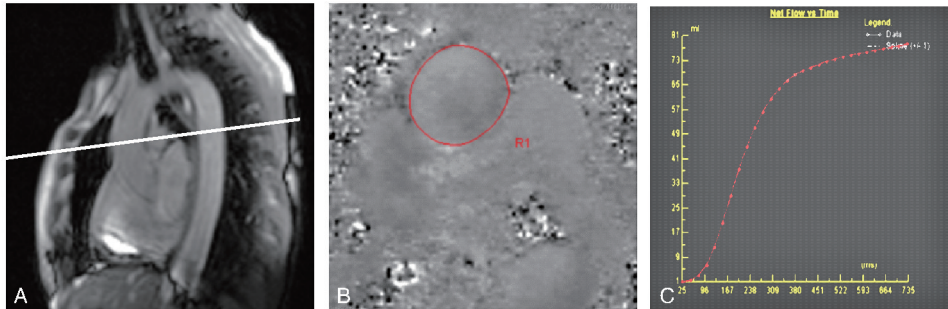


图 3. PC MR 法获取 SV A 为 PC MR 法测量主动脉血流的位置;B 为主动脉起始部的相位对比图,红线为勾画的主动脉内缘轮廓;C 为主动脉起始部的时间-净流量曲线。

Figure 3. SV measured by the method of PC MR

1.5 统计学方法

采用 SPSS 13.0 统计软件包和 MedCalc 11.4 进行分析,计量数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示。4D MR 及 3D MR 法所测量的 ESV 和 EDV(2 位影像医师前后 2 次测量的平均值)进行 *t* 检验。4D MR、3D MR 及 PC MR 三种方法所测 SV 进行 ANOVA 分析。通过 Pearson 相关和 Bland-Altman 分析来判断 3 种检查方法的一致性;通过变异度来评价 4D MR、3D MR 这两种技术受人为因素的影响情况(影像医师间及同一影像医师内)。4D MR 法及 3D MR 法扫描所花费的时间是按下面的标准进行统计:3D MR 法扫描所花费

的时间为第①~⑤步所用的时间;4D MR 法扫描所花费的时间为第①~⑥步所用的时间,其中第⑤步仅包含 3 层的心脏短轴位电影所花费的时间。对两种方法所花费的时间(扫描及后处理时间)进行 *t* 检验。 $P < 0.05$ 则认为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 3D MR 法测量左心室功能

左心室短轴位电影显示心脏的舒缩、瓣膜的启闭及血液的流动。随心动周期,其内的血液表现为

略有明暗变化的高信号影;心肌、瓣膜及大动脉管壁表现为相对的低信号(图 1)。左心室的时间-容积曲线图表现为一波峰朝下的曲线。对应心脏收缩期,表现为急剧向下的曲线;对应心脏舒张期,表现为略平缓向上的曲线(图 1)。该方法所测得的左心室 EDV、ESV、SV 见表 1。

表 1. 3D MR、4D MR 及 PC MR 法测量左心室的功能参数
Table 1. The function parameters of left ventricle measured by 3D MR, 4D MR, and PC MR

项 目	3D MR 法	4D MR 法	PC MR 法
LV-EDV (mL)	111.60±29.12	112.96±35.48	-
LV-ESV (mL)	39.01±21.06	38.29±22.34	-
SV (mL)	72.59±18.29	74.67±18.30	74.41±14.91
Pearson 系数	0.94	0.87	0.97

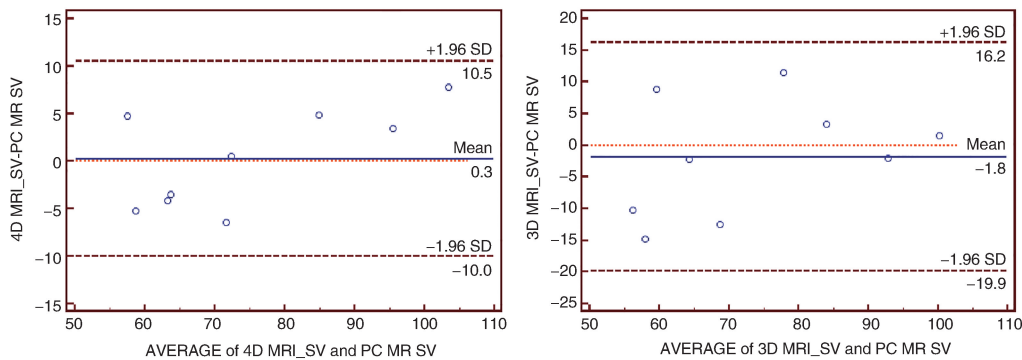


图 4. 3 种测量方法测量 SV 的 Bland-Altman 散点图 左图为 4D MR 法与 PC MR 法所测 SV 的比较;右图为 3D MR 法与 PC MR 法所测 SV 的比较。

Figure 4. The Bland-Altman scatter diagram of SV measured by three methods

2.5 3D MR、4D MR 法扫描及后处理花费时间比较

4D MR 法的扫描时间及后处理中所花费的时间均少于 3D MR 法(表 2)。

表 2. 3D MR、4D MR 法获取 SV 的扫描及后处理时间 (min)

Table 2. Time of scanning and post-processing for SV by 4D MR and 3D MR (min)

项 目	3D MR 法	4D MR 法	P 值
扫描时间	11.95±1.68	9.17±1.81	<0.05
后处理时间	20.12±1.72	16.81±2.21	<0.05

2.6 3D MR、4D MR 法受测量者的影响

在测量者内和测量者间,4D MR 法测量 SV 的变异度均小于 3D MR 法(表 3)。

2.2 4D MR 法测量左心室功能

4D MR 法获得的左心室容积曲线的形态(图 2B)与 3D MR 法所获曲线形态相似。4D MR 法测量左心室 EDV、ESV 和 SV 的值见表 1。

2.3 PC MR 法测量左心室功能

主动脉起始部的时间-净流量图呈逐渐上升曲线(图 3C)。对应于心脏的收缩期,表现为快速上升的曲线;对应于心脏的舒张期,表现为略微平缓向上的曲线。主动脉的时间-净流量图中曲线上的峰值即为 SV,其结果见表 1。

2.4 3D MR、4D MR 及 PC MR 法测量左心室 SV 结果比较

3D MR 法、4D MR 法所测左心室 EDV、ESV 无明显差别($P>0.05$)。3D MR 法、4D MR 法及 PC MR 法所测左心室 SV 无明显差别($P>0.05$;表 1、图 4)。

表 3. 3D MR、4D MR 法所测 SV 在测量者内及测量者间的变异度

Table 3. Degree of variation of SV measured by 3D MR and 4D MR intra- and inter-observer

项 目	3D MR 法	4D MR 法
测量者内	4.92%±5.13%	3.31%±3.62%
测量者间	5.66%±5.31%	3.73%±3.95%

3 讨 论

3.1 测量左心室功能的意义

左心室作为体循环的起始站和动力源,除将富含氧和各种营养物质的动脉血供给全身的各组织、脏器外,还将体内多种内分泌激素、因子等运输到全身的各靶细胞。故左心室的功能不仅仅与机体的生理状态有关,还与多种心、血管及组织脏器的

病变相关。因此,通过影像学的方法来评估左心室功能具有非常重要的价值。

3.2 3D MR 法测量左心室功能的原理及优缺点

3D MR 法不依赖于几何估测,其是通过 Simpson 原理(即任意形状物体的体积等于一定层厚的切面体积之和)来获取心脏容积,故能准确反映心脏实际形态和大小^[6]。3D MR 法在准确性和可重复性方面优于超声心动图,众多学者^[1-5]认为其是测量左心室形态及功能的“金标准”。

虽然 3D MR 法具有上述的优点,但该技术仍存在一些不足:①需多次屏气才能获取涵盖整个心脏多层面的数据。由于每次屏气的深浅不同、心率的快慢和收缩力大小都会引起对应时相上心脏容积和位置的变化,进而影响测量的结果。②该方法仅通过左心室短轴位电影来获取左心室容积的变化。但在心脏舒缩的过程中,心脏长轴的伸缩及部分容积效应的存在,常使测量者难以准确勾画左心室基底部和心尖部的轮廓,进而引起测量结果的不准。③连续较长时间的屏气和较长的检查时间常使受检者难于坚持而放弃检查。

3.3 4D MR 法测量左心室功能的原理及优势

鉴于 3D MR 法难于明确心底部和心尖处的心内缘轮廓这一不足,本研究采用的 4D MR 法是在 3D MR 法的基础上,增加了心脏长轴位(两腔心、四腔心)的电影,实现了多方位定位的作用。这一方法既保有了原 3D MR 法测量左心室容积的优点,又有充分发挥了心脏长轴位电影能清楚显示心尖及心底轮廓的优点,使测量的结果更为准确、客观。

本研究通过主动脉血流测量的“金标准”PC MR 法^[7-9]来测量心动周期内主动脉起始部的净血流量(SV),并与 3D MR 法和 4D MR 法所测的 SV 进行比较,来判别 3D MR 法和 4D MR 法测量左心室功能的有效性。结果显示 4D MR 法测量 SV 时,其结果的准确性与 3D MR 法所测结果无明显差别($P>0.05$),但 4D MR 法变异度小,受测量者的影响小。上述研究提示我们 4D MR 法更有利于诊治过程中监测左心功能的变化;并且,该方法也有益于临床研究中适量减少研究的样本量,从而有效减少研究中的资金和劳力的花费。由于 4D MR 法减少了扫描的层数,这不仅缩短了扫描和后处理的时间,提高了工作效率,还缩减了检查所需屏气的次数,缓减了受检者的痛苦,提高了检查的成功率。此外,4D MR 法还有助于心尖和心室底部异常情况的发现。因该方法引入了四维视角(几何的三维+

时间的维度)来直观、生动的显示左心室的心动变化,这不仅节省了医师判读和分析时间,还使经治医师与无医疗经验的患者之间的沟通更加容易。

3.4 本研究中的不足

4D MR 法虽能快速、准确、直观的获取心功能评价指标,但该方法仍是在多次屏气下完成的,同样存在 3D MR 法中的一些不足,如:呼吸、心率、心肌收缩力的不同所引起的心脏空间位置和大小偏移。目前,国内外学者^[10-11]正致力于实时、多层、高图像质量的 MR 序列的研发。相信随着相应序列的运用,有望能解决这一问题。其次,受到时间和人力的限制,使本研究所采集的样本量有限。此外,本研究仅对正常自愿者的心室功能进行评估,未将该技术应用于心血管病患者中,其有效性还有待进一步考证,我们也将通过后续的研究加以完善。

[参考文献]

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] James SH, Wald R, Wintersperger BJ, et al. Accuracy of right and left ventricular functional assessment by short-axis vs axial cine steady-state free-precession magnetic resonance imaging: intrapatient correlation with main pulmonary artery and ascending aorta phase-contrast flow measurements[J]. *Can Assoc Radiol J*, 2013, 64(3): 213-219.
- [4] Rehr RB, Malloy CR, Filipchuk NG, et al. Left ventricular volumes measured by MR imaging[J]. *Radiology*, 1985, 156(3): 717-719.
- [5] Messalli G, Palumbo A, Maffei E, et al. Assessment of left ventricular volumes with cardiac MRI: comparison between two semiautomated quantitative software packages[J]. *La Radiologia Medica*, 2009, 114(5): 718-727.
- [6] Teichholz LE, Kreulen T, Herman MV, et al. Problems in echocardiographic volume determinations: echocardiographic-angiographic correlations in the presence of absence of asynergy[J]. *Am J Cardiol*, 1976, 37(1): 7-11.
- [7] Hsiao A, Lustig M, Alley MT, et al. Evaluation of valvular insufficiency and shunts with parallel-imaging compressed-sensing 4D phase-contrast MR imaging with stereoscopic 3D velocity-fusion volume-rendered visualization[J]. *Radiology*, 2012, 265(1): 87-95.
- [8] Markl M, Chan FP, Alley MT, et al. Time-resolved three-dimensional phase-contrast MRI[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2003, 17(4): 499-506.
- [9] 刘明, 李彩英, 周立霞, 等. 二维相位对比 MRI 在稳态流体模型的定量测量[J]. *放射学实践*, 2009, 24(3): 247-250.
- [10] Uribe S, Muthurangu V, Boubertakh R, et al. Whole-heart cine MRI using real-time respiratory self-gating[J]. *Magn Reson Med*, 2007, 57(3): 606-613.
- [11] Sorensen TS, Korperich H, Greil GF, et al. Operator-independent isotropic three-dimensional magnetic resonance imaging for morphology in congenital heart disease: a validation study[J]. *Circulation*, 2004, 110(2): 163-169.

(此文编辑 曾学清)