

# 心脏核磁共振检查在临床实践中的实效性研究\*

陈曦<sup>1</sup>, 张庆<sup>1△</sup>, 孙家瑜<sup>2</sup>, 裴国元<sup>1</sup>, 程巍<sup>2</sup>, 段雪飞<sup>1</sup>, 刘新<sup>3</sup>, 钟耀祖<sup>3</sup>, 陈玉成<sup>1</sup>

1. 四川大学华西医院 心内科(成都 610041); 2. 四川大学华西医院 放射科(成都 610041);

3. 中国科学院 深圳先进技术研究院(深圳 518055)

**【摘要】** 目的 探讨心脏核磁共振(CMR)在临床诊疗过程中的应用现状。方法 连续纳入 344 例符合 CMR 检查指征的患者,收集患者 CMR 图像及诊断描述,并利用 CMR 图像对心脏结构、功能指标及钆延迟强化(LGE)等指标进行测量及分析。结果 本组资料中,因心力衰竭和心肌病进行 CMR 检查的患者最多,共有 164 例,占患者总数的 47.7%,其次是冠状动脉疾病(79 例,23.0%)和室性心律失常(65 例,18.9%)。进一步对图像质量清晰的 319 例(92.7%)患者的心肌结构及功能进行定量分析,发现 208 例(65.2%)患者存在左心室扩大,46 例(14.4%)患者存在右心室扩大。并且 197 例(57.3%)患者通过 CMR 检查证实了最初诊断,73 例(21.2%)患者通过 CMR 检查修正了最初诊断,另外仍有 74 例(21.5%)患者不能仅依靠 CMR 检查明确诊断。结论 患者进行 CMR 检查的适应征为评估患者的心脏结构和功能。该检查还可辅助鉴别其他影像学检查未能识别的心脏异常表现,从而为患者明确诊断、制定治疗方案以及判断预后提供更多有价值的信息。

**【关键词】** 心脏磁共振成像 适应征 临床诊断

**Clinical Application of Cardiac Magnetic Resonance Imaging in a Tertiary Referral Hospital in China** CHEN Xi<sup>1</sup>, ZHANG Qing<sup>1△</sup>, SUN Jia-yu<sup>2</sup>, PEI Guo-yuan<sup>1</sup>, CHEN Wei<sup>2</sup>, DUAN Xue-fei<sup>1</sup>, LIU Xin<sup>3</sup>, ZHONG Yao-zu<sup>3</sup>, CHEN Yu-cheng<sup>1</sup>. 1. Department of Cardiology, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China; 2. Department of Radiology, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China; 3. Shenzhen Institutes of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen 518055, China

△ Corresponding author, E-mail: qzhang2000cn@yahoo.com

**【Abstract】** **Objective** To review clinical application of cardiac magnetic resonance (CMR) imaging in a tertiary hospital. **Methods** A total of 344 medical records were reviewed in relation to the use of CMR imaging over one year period in a tertiary hospital in China. Data regarding indications for CMR imaging, cardiac structure and function, late gadolinium enhancement (LGE), and diagnoses made from CMR imaging were extracted and examined. **Results** Detection of heart failure and cardiomyopathies was the most common reason for CMR imaging requests [164 (47.7%) of requests], which was followed by diagnoses of coronary artery disease [79 (23.0%) of requests] and ventricular arrhythmia [65 (18.9%) of requests]. Quantitative analyses were made in 319 (92.7%) cases, with 208 (65.2%) patients being identified with ventricular dilatation and 46 (14.4%) patients being identified with right ventricular dilatation. Apart from 74 (21.5%) cases for which a confirmed diagnosis could not be obtained, CMR imaging assessment corrected 21.2% (73 patients) and confirmed 57.3% (197 patients) of initial referral diagnoses. **Conclusion** CMR imaging is mainly used for structural and functional assessments of hearts, which can help identify abnormalities that are not detected by other imaging modalities. It can provide incremental diagnostic, therapeutic, and prognostic information.

**【Key words】** Cardiac magnetic resonance imaging Indication Diagnosis

近年来心脏核磁共振(cardiac magnetic resonance, CMR)已经成为心血管疾病的重要影像学诊断工具。CMR 不仅可以精确地对心脏的结构和功能进行定量分析,还可以通过不同的显像技术

发现特征性的组织学异常,例如钆延迟强化成像(late gadolinium enhancement, LGE)等技术<sup>[1-4]</sup>。CMR 检查的适应征主要包括冠状动脉疾病(coronary artery disease, CAD)、心肌病、先天性心脏病、瓣膜性心脏病、心肌炎及心包炎等<sup>[5-6]</sup>。作为一个迅速发展的影像学诊断工具,CMR 检查目前已在临床广泛应用。本研究旨在探讨 CMR 在临床应用中的适应征及各种心血管疾病的核磁共振影像学

\* 国家自然科学基金面上项目(No. 81571638、No. 81271531)

资助

△ 通信作者, E-mail: qzhang2000cn@yahoo.com

特征。

## 1 对象与方法

### 1.1 研究对象

本研究是在中国一家三级甲等医院开展的横断面研究。在1年内连续纳入344例具有行CMR检查适应征的患者,患者的平均年龄为(48±19)岁,男性患者占63.1%(217/344)。所有患者均无行CMR检查的禁忌症。禁忌症包括体内有植入性金属装置,未进行规律透析的肾功能不全,意识障碍及幽闭恐惧症等。所有患者均在行CMR检查前签署了该研究的知情同意书。

### 1.2 检查设备及成像参数

所有患者CMR检查均由3.0T的核磁共振成像系统完成。患者取仰卧位,采用4通道或8通道相控阵线圈置于患者胸前进行扫描。在所有行CMR检查的患者中,327例(95.1%)患者能够屏住呼吸配合心电门控扫描获取满意的图像。患者均采用相同的CMR成像方案,包括静息灌注成像、电影功能和LGE。

对于存在心力衰竭、缺血性心脏病、心肌炎,以及怀疑有心肌病的患者,加做T2加权成像序列扫描,以检测患者是否合并存在心肌水肿。对于怀疑血色病的患者,使用1.5T磁共振扫描仪(Avanto; Siemens),T2\*序列扫描并测量T2\*值。本研究均采用超导MR仪(Magnetom Trio 3.0T,德国西门子子公司),所采用的CMR成像的详细参数如下:最大梯度50 mT/m,最大梯度切换率200 mT/(m·ms)。应用12通道体部线圈,心电门控采用核磁共振兼容的无线矢量心电门控板。常规心脏冠状、矢状、横断定位像。电影成像采用短轴真实稳态自由进动,范围包括心室舒张末期左、右心室,基线平行于二尖瓣和三尖瓣连线,层厚8 mm,层内分辨率2.5 mm×1.9 mm,重复时间(time of repetition, TR)2.9 ms,回波时间(time of echo, TE)1.0 ms,反转角度(flip angle, FA)50°。首过灌注造影剂采用钆剂显影,在首过灌注后12~15 min行T1加权扫描,获取最佳心肌反转恢复时间以达到最佳的正常心肌信号抑制。根据获取最佳T1时间进行心肌延迟强化扫描。延迟强化分别于心室短轴、四腔心、左心室长轴、三腔心切面进行扫描。延迟强化采用西门子特有的相位敏感反转恢复(phase-sensitive inversion recovery, PSIR)快速梯度回波序列,扫描短轴位置复制心脏功能成像的位置,层厚

8 mm,无间隔,TR 3.4 ms,TE 1.2 ms,FA 20°。对于部分心律失常患者或严重屏气困难者,采用单点PSIR平衡稳态进动序列进行不屏气的延迟心肌显像。

### 1.3 磁共振图像后处理分析

CMR图像分析采用Qmass软件进行半自动化处理。在心脏舒张末期和收缩末期左心室短轴图像上,分别描记出左心室心肌内膜和外膜,并由软件自动计算出左心室容积、心肌质量和功能。左心室质量指数则由心室肌体积乘以1.05 g/mL再除以体表面积计算得出。同样,在心脏舒张末期和收缩末期的右心室短轴图像上,描记出右心室心肌内膜计算右心室容积和功能。本研究根据目前研究结果及指南将左心室收缩功能不全定义为左心室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF) < 55%,右心室收缩功能不全定义为右心室射血分数(right ventricular ejection fraction, RVEF) < 50%。节段性室壁运动异常和心肌延迟强化的评估由两位具有丰富CMR阅片经验的高年资医师完成,阅片医生并不知道患者的临床资料、实验室检查以及心脏彩超检查结果。

## 2 结果

### 2.1 CMR检查的适应征

患者的临床及人口学资料详见表1。对患者的心律进行分析发现,319例(92.7%)患者为窦性心律,其中16例(4.7%)患者在CMR扫描期间出现频发室性早搏。另外25例(7.3%)患者为房颤心律。患者的临床表现主要为呼吸困难(138例,40.1%),其次依次为心悸/心律不齐(84例,24.4%)、胸痛(75例,21.8%)、无自主症状(29例,8.4%)、晕厥(9例,2.6%)、水肿(5例,1.5%)和其他(4例,1.2%)。由表2可见,对于心力衰竭和心肌病的评估是CMR最常见的检查适应征,其次是冠心病和室性心律失常。15例(4.3%)疑诊心肌淀粉样变性的患者被单独分组,因为考虑到这种疾病是一种特殊形式的心肌浸润性疾病。法洛四联症是先天性心脏病行CMR检查的主要原因。其他行CMR检查的原因包括:心脏肿瘤(7例,2.0%),缩窄性心包炎(4例,1.2%),心包积液(4例,1.2%),心脏瓣膜病(3例,0.9%)及心房纤颤(3例,0.9%)。

### 2.2 CMR评估心肌重塑及心脏功能

所有患者中共319例患者能进行心肌重塑和功能的量化分析,见表3。其中208例(65.2%)患者存

在左心室扩大, 59 例(18.5%)患者存在左心室肥厚, 156 例(48.9%)患者存在左心室收缩功能不全。另外还有 46 例(14.4%)患者存在右心室扩大, 132 例(41.4%)患者存在右室收缩功能不全。

表 1 患者临床资料分析( $n=344$ )

Characteristic	$\bar{x} \pm s$ or case (%)
Age/yr.	48 $\pm$ 19
Male	217 (63.1)
Body mass/kg	61 $\pm$ 13
Hypertension	53 (15.4)
Diabetes	20 (5.8)
Smoking	44 (12.8)
NYHA class	
I	101 (29.4)
II	197 (57.3)
III	38 (11.0)
IV	8 (2.3)
Systolic blood pressure/mmHg	117 $\pm$ 18
Diastolic blood pressure/mmHg	73 $\pm$ 10
Heart rate/min <sup>-1</sup>	77 $\pm$ 16
Heart rhythm	
Sinus	319 (92.7)
Atrial fibrillation	25 (7.3)

NYHA: New York Heart Association

表 2 CMR 检查者的适应征( $n=344$ )

Table 2 Symptoms and indications for CMR imaging requests ( $n=344$ )

Indications	Case (%)
HF and cardiomyopathies	164 (47.7)
HCM or LVH	48 (14.0)
New onset HF	38 (11.0)
Myocarditis	26 (7.6)
Myocardial infiltration	25 (7.3)
Amyloidosis	15 (4.3)
DCM	15 (4.3)
ARVC	11 (3.2)
LVNC	1 (0.3)
Coronary artery disease	79 (23.0)
Ventricular arrhythmia	65 (18.9)
Congenital heart disease	15 (4.3)
Others	21 (6.1)

HF: Heart failure; HCM: Hypertrophic cardiomyopathy; LVH: Left ventricular hypertrophy; DCM: Dilated cardiomyopathy; ARVC: Arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy; LVNC: Left ventricular non-compaction cardiomyopathy

### 2.3 CMR 钆延迟强化成像

共 334 例(97.1%)患者进行了钆剂注射, 共有 157 例(47.0%)患者存在心室延迟强化, 其中存在右室延迟强化的患者有 21 例(13.4%)。在 157 例存在心室强化显影的患者中, 43 例(27.4%)患者表

现为典型的缺血灶, 其他患者则表现为各种原因导致的非缺血性改变。

表 3 心肌重构及心脏功能参数( $n=344$ )

Table 3 Cardiac remodeling and functions ( $n=344$ )

CMR imaging parameter	$\bar{x} \pm s$
LV end-diastolic dimension/mm	54 $\pm$ 10
LV end-systolic dimension/mm	40 $\pm$ 13
LV end-diastolic volume index/(mL/m <sup>2</sup> )	93 $\pm$ 43*
LV end-systolic volume index/(mL/m <sup>2</sup> )	50 $\pm$ 41*
LV ejection fraction/%	51 $\pm$ 15*
LV interventricular septum thickness/mm	11 $\pm$ 5
LV posterior wall thickness/mm	8 $\pm$ 2
LV mass index/(g/m <sup>2</sup> )	71 $\pm$ 32*
RV end-diastolic volume index/(mL/m <sup>2</sup> )	81 $\pm$ 42*
RV end-systolic volume index/(mL/m <sup>2</sup> )	44 $\pm$ 37*
RV ejection fraction/%	49 $\pm$ 13*

LV: Left ventricular; RV: Right ventricular. \* Data obtained for 319 patients in whom image tracing feasible

### 2.4 CMR 成像的影像学诊断

在所有患者中, 共 40 例(11.6%)患者 CMR 成像心脏呈现正常的结构、功能、灌注并且钆延迟强化亦呈阴性。另有 74 例(21.5%)患者不能仅凭 CMR 成像确诊, 其中 50 例(14.5%)患者的 CMR 成像仅表现出心脏结构和功能的轻度异常, 并不能提示某种心脏疾病, 剩余 24 例(7.0%)患者的 CMR 图像支持心脏疾病的诊断但不能确诊。能通过 CMR 确诊心脏疾病的类型主要包括肥厚型心肌病 52 例(15.1%), CAD 43 例(12.5%), 特发性扩张型心肌病 32 例(9.3%), 浸润型心肌病 24 例(7.0%), 先天性心脏病 21 例(6.1%), 致心律失常性右室心肌病 17 例(4.9%), 心肌炎 12 例(3.5%), 心包积液和缩窄性心包炎 8 例(2.3%), 限制性心肌病 6 例(1.7%), 心脏肿瘤 5 例(1.5%), 瓣膜性心脏病 5 例(1.5%), 左室心肌致密化不全 2 例(0.6%), 血色病 1 例(0.3%), Takotsubo 心肌病 1 例(0.3%), 左心室血栓形成 1 例(0.3%)。最终, 本研究发现, 在 344 例患者中, 有 74 例(21.5%)患者未能通过 CMR 检查确诊, 73 例(21.2%)患者的 CMR 诊断与最初诊断不同, 另外 197 例(57.3%)患者的 CMR 结果与最初诊断相同, 进一步证实了最初诊断。

## 3 讨论

### 3.1 CMR 检查结果在心脏疾病诊断中的应用

本研究是目前为数不多的关于 CMR 成像在临床应用中的研究, 是 CMR 成像在中国一家三级甲等医院应用的初始经验。研究由心脏科医生和放射

科医生组成的跨学科团队共同负责纳入患者并完成CMR的扫描和图像解读。通过该研究我们发现心力衰竭和心肌病、CAD、室性心律失常是CMR检查的3个主要的临床适应征,呼吸困难、心悸/心律不齐、胸痛则是行CMR检查患者最常见的临床表现。虽然本研究中有大约1/5的患者未能通过CMR检查明确诊断,但是仍有21.2%的患者通过CMR检查修正了最初诊断,并且有57.3%的患者验证了最初诊断并最终确诊。

常规的抗心衰治疗在心力衰竭患者中应用非常普遍,如果从复杂的临床综合征中找出病因并通过特异性的治疗方式予以纠正,则能更好地改善患者的最终结局。所以,一旦确立了心衰的诊断,通过多样化的心脏影像学检查找出潜在病因,对患者的治疗和预后都有重要意义<sup>[7]</sup>。心脏彩超能够提供关于心腔大小、心室肌功能、室壁厚度、瓣膜功能、血流动力学的直观信息,可行性好,价格相对低廉,因此所有确诊或考虑心衰的患者都推荐心脏彩超检查。但对于心脏彩超无法获得满意图像或者无法通过心脏彩超获得充分信息患者,CMR仍是重要的检查手段,因为CMR有不受角度限制并且能够提供心脏组织学特性等优势<sup>[1,7]</sup>。本研究中存在新发心衰并且有心脏彩超证据提示左室扩大和功能不全的患者,CMR能够鉴别心肌梗死、心脏结节病、心肌炎、血色素沉着心肌病与特发性扩张型心肌病,从根本上为制定治疗方案提供帮助,这是心脏彩超不能做到的。

### 3.2 CMR检查指征在临床实践中的应用

由于CMR检查能通过非侵入性的检查方式提供心脏形态、功能、组织学特性等较为全面的信息,它的适应征也迅速扩大。美国和亚洲心脏病协会提出的CMR检查的适应征标准分别将17条和24条临床指征列为“适合”(平均评分7~9),将7条和18条指征列为“不确定”(平均评分4~6),将9条和18条指征列为“不适合”(平均评分1~3)<sup>[5-6]</sup>。本研究中CMR检查指征主要用于评估心室肌和瓣膜功能或心脏内外结构,全部符合上述“适合”的标准。评估特异性心肌病,如浸润型心肌病、肥厚型心肌病、致心律失常右室心肌病,也是最近研究中CMR检查的重要指征<sup>[5-6,8]</sup>。心肌淀粉样变作为一种心肌浸润性疾病,表现为典型的双心室弥漫性肥厚,以及完全的心内膜下延迟强化。CMR成像作为一种非侵入性检查手段,近年来常被用来替代心内膜心肌活检,并且CMR结果对心肌淀粉样变性的危险

分层也有重要意义<sup>[9]</sup>。

### 3.3 CMR在心脏疾病预后判断中的价值

对于有症状的、运动负荷试验可疑阳性或疑诊CAD的患者,指南推荐行CMR检查以确诊CAD<sup>[8-9]</sup>,但由于在最初的成像方案中并未包括磁共振血管造影和负荷灌注显像,本研究纳入的CAD患者均不符合以上标准。本研究中CAD患者包括冠状动脉正常的急性冠脉综合症和急性ST段抬高性心肌梗死延迟行冠状动脉介入治疗者,均符合最近指南推荐的指征<sup>[5-6]</sup>。在冠状动脉正常的急性冠脉综合症患者中,CMR通过心肌水肿、延迟强化特征等信息,协助鉴别心肌炎、坏死心肌及正常心肌,从而为制定治疗方案和提示预后提供帮助<sup>[10-11]</sup>。在急性ST段抬高性心肌梗死延迟行冠状动脉介入治疗者中,LGE提示的心肌梗死范围、透壁程度、瘢痕位置均能够预测后续的心血管事件。

目前指南认为,对室性心律失常的患者需要鉴别其可能存在的结构性心脏病,可以进行CMR检查<sup>[12]</sup>。虽然CMR检查的确切适应征并不包括评估“孤立”的室性心律失常,但之前的研究均反映了CMR在该方面的独特价值<sup>[12-13]</sup>。如本研究所示,在室性心律失常和消融术后心律正常的患者中,约2/3患者行CMR检查后发现心脏结构、功能、组织学特性等方面的异常,而这些异常均是之前心脏彩超或其他检查未能发现的。另有研究发现,在持续性室性心动过速或心源性猝死复苏后的患者中,CMR检查能鉴别出恶性心动过速的基础病变<sup>[13]</sup>。在一些研究中,CMR在诊断方面表现出比其他检查手段更有价值,能为发现潜在的的心脏疾病和修正临床诊断提供更多的信息<sup>[13]</sup>。正如之前报道过的,CMR检查结果能为室性心律失常患者提供更多的预后价值并引导治疗策略。无论对于缺血性或非缺血性心肌病的患者,LGE所能识别的心肌瘢痕和纤维化均与诱发心律失常、心血管事件和死亡率有关。对于植入心律转复除颤器患者,LGE的值能够较好地预测与潜在病因无关的心律失常事件<sup>[14]</sup>。此外,对于存在左束支阻滞的频发室性早搏患者,CMR检查为风险分层提供了有效的信息<sup>[15]</sup>。

### 参 考 文 献

- [1] KARAMITSOS TD, FRANCIS JM, MYERSON S, *et al.* The role of cardiovascular magnetic resonance imaging in heart failure. *J Am Coll Cardiol*, 2009, 54(15): 1407-1424.
- [2] GREEN JJ, BERGER JS, KRAMER CM, *et al.* Prognostic value of late gadolinium enhancement in clinical outcomes for

- hypertrophic cardiomyopathy. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2012,5(4):370-377.
- [3] KWONG RY, SATTAR H, WU H, *et al.* Incidence and prognostic implication of unrecognized myocardial scar characterized by cardiac magnetic resonance in diabetic patients without clinical evidence of myocardial infarction. *Circulation*,2008,118(10):1011-1020.
- [4] YOKOKAWA M, MUELLER G, BOGUN F. Role of imaging in ablation therapy of ventricular arrhythmias. Focus on cardiac magnetic resonance imaging. *Circ J*,2012,76(6):1292-1298.
- [5] HENDEL RC, PATEL MR, KRAMER CM, *et al.* ACCF/ACR/SCCT/SCMR/ASNC/NASCI/SCAI/SIR 2006 appropriateness criteria for cardiac computed tomography and cardiac magnetic resonance imaging; a report of the American College of Cardiology Foundation Quality Strategic Directions Committee Appropriateness Criteria Working Group, American College of Radiology, Society of Cardiovascular Computed Tomography, Society for Cardiovascular Magnetic Resonance, American Society of Nuclear Cardiology, North American Society for Cardiac Imaging, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, and Society of Interventional Radiology. *J Am Coll Cardiol*,2006,48(7):1475-1497.
- [6] KITAGAWA K, CHOI BW, CHAN C, *et al.* ASCI 2010 appropriateness criteria for cardiac magnetic resonance imaging; a report of the Asian Society of Cardiovascular Imaging cardiac computed tomography and cardiac magnetic resonance imaging guideline working group. *Int J Cardiovasc Imaging*,2010,26(Suppl 2):173-186.
- [7] MCMURRAY JJ, ADAMOPOULOS S, ANKER SD, *et al.* ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure 2012; The Task Force for the Diagnosis and Treatment of Acute and Chronic Heart Failure 2012 of the European Society of Cardiology. Developed in collaboration with the Heart Failure Association (HFA) of the ESC. *Eur Heart J Fail*,2012,14(8):803-869.
- [8] MCDERMOTT S, O' NEILL AC, RIDGE CA, *et al.* Investigation of cardiomyopathy using cardiac magnetic resonance imaging part 1: Common phenotypes. *World J Cardiol*,2012,4(4):103-111.
- [9] VOGELSBURG H, MAHRHOLDT H, DELUIGI CC, *et al.* Cardiovascular magnetic resonance in clinically suspected cardiac amyloidosis; noninvasive imaging compared to endomyocardial biopsy. *J Am Coll Cardiol*,2008,51(10):1022-1030.
- [10] STENSAETH KH, FOSSUM E, HOFFMANN P, *et al.* Clinical characteristics and role of early cardiac magnetic resonance imaging in patients with suspected ST-elevation myocardial infarction and normal coronary arteries. *Int J Cardiovasc Imaging*,2011,27(3):355-365.
- [11] AGEWALL S, EURENIUS L, HOFMAN-BANG C, *et al.* Myocardial infarction with angiographically normal coronary arteries. *Atherosclerosis*,2011,219(1):10-14.
- [12] ZIPES DP, CAMM AJ, BORGGREFE M, *et al.* ACC/AHA/ESC 2006 Guidelines for Management of Patients With Ventricular Arrhythmias and the Prevention of Sudden Cardiac Death; a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force and the European Society of Cardiology Committee for Practice Guidelines (writing committee to develop Guidelines for Management of Patients With Ventricular Arrhythmias and the Prevention of Sudden Cardiac Death); developed in collaboration with the European Heart Rhythm Association and the Heart Rhythm Society. *Circulation*,2006,114(10):e385-e484.
- [13] WHITE JA, FINE NM, GULA L, *et al.* Utility of cardiovascular magnetic resonance in identifying substrate for malignant ventricular arrhythmias. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2012,5(1):12-20.
- [14] GAO P, YEE R, GULA L, *et al.* Prediction of arrhythmic events in ischemic and dilated cardiomyopathy patients referred for implantable cardiac defibrillator; evaluation of multiple scar quantification measures for late gadolinium enhancement magnetic resonance imaging. *Circ Cardiovasc Imaging*,2012,5(4):448-456.
- [15] AQUARO GD, PINGITORE A, STRATA E, *et al.* Cardiac magnetic resonance predicts outcome in patients with premature ventricular complexes of left bundle branch block morphology. *J Am Coll Cardiol*,2010,56(15):1235-1243.

(2016-04-19 收稿,2016-05-28 修回)

编辑 余琳