

磁共振延迟强化在肥厚型心肌病中的临床应用价值研究

刘洪, 余建群, 彭礼清

【摘要】 目的:探讨 3.0T 心脏磁共振成像(CMRI)延迟强化(LGE)序列对肥厚型心肌病(HCM)的诊断价值。**方法:**搜集 2014 年 1 月—2016 年 7 月在华西医院确诊为 HCM 的 121 例患者的临床资料和 CMR 图像。将患者的临床资料包括性别、年龄、有无心悸、胸闷、胸痛、呼吸困难、晕厥和心脏杂音及纽约心功能分级(NYHA)等纳入分析。采用心脏功能分析软件对 CMRI 图像进行后处理,测量左室壁最大厚度(LVMWT)、左、右心室舒张末期容积(EDV)、收缩末期容积(ESV)、射血分数(EF)、每搏输出量(SV)和左心室心肌质量(LVMM)。根据美国心脏病协会左室壁 17 节段分析方法,对 121 例患者的 2057 个心肌节段进行评价。比较有 LGE 组和无 LGE 组的临床资料及 CMRI 参数的差异,评价 LGE 节段数与 LVMWT 和心功能分级的相关性。**结果:**121 例 HCM 患者中 LGE(+)91 例(75.2%)共 456 个节段(456/2057);LGE(+)最常见于节段 2 和 8,分别占 11.6%(53/456)和 11.4%(52/456)。LGE 形态:表现为局限性强化 70 例(70/91),弥漫性强化 21 例(21/91)。LGE(+)组较 LGE(-)组患者的年龄偏小[分别为(48.59±14.80)和(58.93±12.79)岁]、胸痛症状出现率更低(分别为 22.0%和 27.3%)、LVMWT 值更大[分别为(2.42±0.64)和(2.05±0.37)cm],差异均有统计学意义($P<0.05$)。LGE(+)节段数与 LVMWT、NYHA、LVMM 和 LVESV 均呈正相关(r 值分别为 0.437、0.544、0.267 和 0.245, P 值分别为 0.000、0.000、0.003 和 0.007),与患者年龄、LVEF 和 RVEF 呈负相关(r 值分别为 -0.231、-0.244 和 -0.184, P 值分别为 0.011、0.007 和 0.043)。**结论:**3.0T 心脏 MRI 有助于 HCM 患者的诊断和心功能的评估。

【关键词】 磁共振成像; 对比增强扫描; 心肌病, 肥厚性; 心功能

【中图分类号】 R445.2; R542.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2017)12-1271-06

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2017.12.014

Clinical application: late gadolinium enhancement cardiac magnetic resonance imaging in hypertrophic cardiomyopathy LIU Hong, YU Jian-qun, PENG Li-qing. Department of Radiology, the West China Hospital of Sichuan University, Chengdu 610041, China

【Abstract】 Objective: Qualitative and quantitative methods of 3.0T cardiac magnetic resonance imaging (CMRI) late gadolinium enhancement (LGE) sequences were used to assess the relationship between myocardial LGE and clinical manifestations, left ventricular structure and function in patients with hypertrophic cardiomyopathy (HCM). **Methods:** The clinical data and CMRI data of 121 HCM patients were collected from January 2014 to July 2016 in West China Hospital. The clinical data of patients including gender, age, the existence of heart palpitations, chest tightness, chest pain, dyspnea, syncope, heart murmur and the grade of heart function according to the New York Heart Function Assessment (NYHA). Left ventricular maximum wall thickness (LVMWT) was analyzed on the CMR images. Cardiac function analysis software was used to measure the data and the CMRI parameters including end diastolic volume (EDV), end systolic volume (ESV), ejection fraction (EF), stroke volume (SV) of left (LV) and right ventricular (RV) and the left ventricular myocardial mass (LVMM) were obtained. According to the analysis method for left ventricular wall in 17 segments of the American Heart Association (AHA), the 2057 myocardial segments among 121 patients were evaluated. The position of LGE was confirmed. The differences between LGE(+) group and LGE(-) group in clinical and CMRI parameters were compared, and the relationship between number of myocardial LGE segment and LVMWT as well as cardiac function was evaluated. **Results:** Among the 121 HCM cases, 91 cases were LGE(+), accounting for 75.2% (91/121); LGE(+) segment number was 456, accounting for 22.2% (456/2057), with average number of (3.77±3.45); the most common section with LGE(+) was 2, followed by section 8, accounting for 11.6% (53/456) and 11.4% (52/456) respectively. In LGE(+) group, 70 cases showed localized enhancement, accounting for 76.9% (70/91); 21 cases showed diffuse enhancement, accounting for 23.1% (21/91). Compared with LGE(-) group, in the LGE(+) group the patients were younger, with less chest pain and thicker LVMWT [(48.59±14.80) vs (58.93±12.79) years old, 22.0% vs 27.3%, (2.42±0.64) vs (2.05±0.37)cm; all $P<0.05$]. The number of LGE(+) segments was positively correlated with LVMWT, NYHA, LVMM and LVESV ($r=0.437, 0.544, 0.267$ and 0.245 ; $P=0.000, 0.000, 0.003$ and 0.007 , respectively), and the number of LGE(+) segments was negatively correlated with the age of the patient, LVEF and RVEF ($r=-0.231, -0.244$ and -0.184 ; $P=0.011,$

作者单位: 610041 成都, 四川大学华西医院放射科(刘洪、余建群、彭礼清); 610031 成都, 成都市第三人民医院放射科(刘洪)

作者简介: 刘洪(1978-), 男, 四川崇州人, 硕士, 主治医师, 主要从事心胸及腹部影像诊断工作。

通讯作者: 余建群, E-mail: cjr_yujianqun@vip.163.com

0.007 and 0.043, respectively). **Conclusion:** LGE was able to be qualitatively and quantitatively detected in HCM patients with 3.0T CMRI. The patients with LGE(+) were younger and had fewer chest pain, but their NYHA were higher. The thicker the LVMWT or the higher the NYHA, the more LGE segments would be. With the increase of the number of LGE segments, LVMM and LVESV increased in patients with HCM, and left and right ventricular systolic function decreased.

【Key words】 Magnetic resonance imaging; Contrast-enhanced scan; Cardiomyopathy, hypertrophic; Heart function

肥厚型心肌病(hypertrophic cardiomyopathy, HCM)是最常见的遗传性心血管疾病,普通人群的发病率约 1/500^[1-2],其特点为左心室肥厚不能用其它系统性疾病或心脏病解释。多数患者病程缓慢,可以与普通人群的预期寿命相当^[3],少数患者可出现生活方式受限制、甚至心功能衰竭等不良后果^[4],最严重的后果是出现心源性猝死(sudden cardiac death, SCD)^[1]。所以,正确诊断和评价 HCM 患者心脏结构和功能的异常,对 HCM 的治疗和预后尤为关键。诊断 HCM 的传统方法为临床评估和经胸超声心动图检查。因 MRI 在心脏的应用,尤其是钆对比剂延迟强化(late gadolinium enhancement, LGE)能在活体内无创性的对心肌纤维化进行定位和定量分析,已成为评价心肌纤维化最为有效的影像方法^[5]。但是对于 HCM 的心肌纤维化程度及其在左心室各段的分布是否与心功能相关,目前的研究报道尚不多见。既往对 HCM 的研究多为对心肌 LGE 面积或体积与心功能关系进行评价^[4,6-8],而依据美国心脏病协会(American Heart Association, AHA)左室壁 17 节段的分析方法,对 HCM 患者 LGE 具体节段进行分析的文献报道较少^[9]。本文拟研究 HCM 患者 LGE 的有无与其临床表现和左室结构、功能表现的关系,并分析 LGE 节段数与左室壁增厚程度和心功能的关系。

材料与方法

1. 基本资料

将华西医院 2014 年 1 月~2016 年 7 月经临床确诊并行心脏磁共振成像(cardiac magnetic resonance, CMRI)检查的 121 例 HCM 患者纳入研究。其中男 60 例,女 61 例,年龄 14~79 岁,平均(51.16±14.96)岁。所有患者符合 2014 年肥厚型心肌病诊断及治疗指南中制订的 CMRI 诊断标准:并非完全由心脏负荷异常引起的左心室心肌某节段或多个节段室壁厚度≥15 mm;或者有明确 HCM 家族史并且左心室壁的最大厚度≥13 mm^[10]。

2. 心脏磁共振扫描

使用 Siemens Trio Tim 3.0T 磁共振扫描仪和梯度场的最大转换速率 200 mT/(m·ms),最大梯度强度 50 mT/m。使用心脏专用双向门控线圈,结合 ECG 心电门控和呼吸门控技术。患者取仰卧位,在患者屏

气状态时连续采集图像。主要扫描序列和参数如下。

①短轴位和四腔心位电影序列:采用 Turbo-FLASH 序列,TR 154.38 ms,TE 1.07 ms,翻转时间 90 ms,翻转角 10°,层厚 10 mm,矩阵 106×192,视野 270 mm×460 mm,层厚 8 mm,扫描范围自心尖至心底,每一心动周期采集 25 帧连续动态电影图像。②对比增强扫描序列:采用 T₁WI Turbo-FLASH 序列,TR 6.0 ms,TE 3.0 ms,翻转时间 90 ms,翻转角 50°,层厚 10 mm,矩阵 256×256,视野 270 mm×360 mm。对比剂采用钆贝葡胺(0.5 mmol/mL);先进行左心室短轴位首过灌注扫描,对比剂剂量 0.2 mL/kg,注射速率 2.5~3.0 mL/s,对比剂注入后以相同流率注入生理盐水 20 mL,延迟时间 0s,自心底至心尖扫描 6~8 层;随后以相同流率再次注入钆对比剂(0.1 mmol/kg)和生理盐水 20 mL,延迟 15 min 启动 LGE 序列的扫描,包括左心室短轴位及二腔心、四腔心位。

3. 图像后处理

全部数据上传到 Siemens Leonardo 工作站,采用 cmr-42 后处理软件(Circle Cardiovascular Imaging Inc., Calgary, Canada)进行后处理。在短轴位电影序列图像中,通过人工干预和软件自动识别相结合的方法确定各心腔的收缩末期和舒张末期图像,随后从心底部向心尖部在各层图像上人工勾画各心腔的心内膜和心外膜,后处理软件即可自动计算出各项心功能参数值,包括左、右心室舒张末期容积(end-diastolic volume, EDV)、收缩末期容积(end-systolic volume, ESV)、射血分数(ejection fraction, EF)、每搏输出量(stroke volume, SV)和左心室心肌质量(left ventricular myocardial mass, LVMM)。根据 AHA 心脏 17 节段划分方法,后处理软件自动将心底部及中间部划分为 6 个区域,包括前间隔、后间隔、前壁、前外侧壁、下外侧壁及外侧壁;将心尖部划分为 4 个区域,包括室间隔、前壁、外侧壁和下壁;随后可自动计算出各节段中心壁的舒张末期厚度,从而获得舒张末期左室壁最大厚度(Left ventricular maximum wall thickness, LVMWT)。

4. 图像分析和评估

采用 AHA 左室壁 17 节段划分方法分析图像,由两位放射科医师共同阅片,若意见分歧则协商讨论取得一致意见。根据 LVMWT 将心肌分为轻、中、重度

肥厚(<2.0 cm 为轻度,≥2.0 cm 且<3.0 cm 为中度,≥3.0 cm 为重度)。记录所有患者的性别、年龄、临床症状、纽约心功能评级(the New York Heart Function Assessment, NYHA)、体征(有无心脏杂音等)以及 LGE 的有无、形态和节段分布。将 LGE 的形态分为两种类型。(1)弥漫性强化:左室壁心肌可见多发散在斑片状强化,在不同层面均可见此表现;(2)局限性强化:小片或团块状强化,以累及左心室壁中层为主^[11]。

5. 统计学处理

采用 SPSS 22.0 软件进行统计学分析。计量资料采用均数±标准差($\bar{x} \pm s$)或中位数(P50)与四分位数间距(P75-P25)表示,有 LGE 组和无 LGE 组间各指标的比较采用两独立样本 *t* 检验、校正 *t* 检验(方差不齐)或秩和检验;计数资料的比较采用卡方检验。LGE 节段数与计量资料、等级资料的相关性分析分别采用 Pearson 或 Spearman 相关性分析。以 *P*<0.05 差异有统计学意义。

结 果

1. LGE(+)患者的临床特点

121 例 HCM 患者中有 LGE 的患者 91 例,无 LGE 的患者 30 例,两组患者的临床资料及统计分析结果见表 1。与无 LGE 组比较,有 LGE 组中患者的

年龄更小,出现胸痛症状的患者比例更低,两组间差异有统计学意义(*P*<0.05);而两组间其它临床指标间的差异无统计学意义(*P*>0.05)。

2. 左室壁 LGE 的特点及分布

按照 17 节段分析法,91 例患者(2057 个节段)中可见 LGE 的节段数为 456 个,占 22.2%(456/2057),每例患者的平均节段数为 3.77±3.45。LGE 形态:70 例呈局限性强化(图 1),占 76.9%(70/91);21 例呈弥漫性强化(图 2),占 23.1%(21/91)。LGE 最常见于第 2 和第 8 节段,分别占 11.6%(53/456)和 11.4%(52/456)。

3. 两组患者的 CMRI 心功能参数值

两组患者的 CMRI 心功能参数值及统计分析结果见表 2。有 LGE 组的 LVMWT 大于无 LGE 组,差异有统计学意义(*P*<0.05)。其它各心功能参数值在两组间的差异无统计学意义(*P*>0.05)。

对有 LGE 组中数据进行相关性分析(图 3),结果显示 LGE 节段数与 LVMM 和 LVESV 呈正相关(*r*=0.267 和 0.245, *P*=0.003 和 0.007),与 LVEF 和 RVEF 呈负相关(*r*=-0.244 和 -0.184, *P*=0.007 和 0.043);与 LVEDV、RVEDV、RVESV、LVSV 和 RVSV 无显著相关性(*P*>0.05)。LGE 节段数与心室壁肥厚程度的箱形图(图 4)显示,重度肥厚组 LGE

表 1 HCM 患者 LGE 阳性组与阴性组的临床资料比较

指标	合计	有 LGE 组	无 LGE 组	统计值	<i>P</i> 值
年龄(岁)	51.16±14.96	48.59±14.80	58.93±12.79	<i>t</i> =-3.394	0.001*
男性(例)	60(49.6%)	47(51.6%)	13(43.3%)	$\chi^2=0.624$	0.430
心悸(例)	35(28.9%)	30(33.0%)	5(16.7%)	$\chi^2=2.916$	0.088
胸闷(例)	29(24.0%)	21(23.1%)	8(26.7%)	$\chi^2=0.160$	0.690
胸痛(例)	33(27.3%)	20(22.0%)	13(43.3%)	$\chi^2=5.188$	0.023*
呼吸困难(例)	48(39.7%)	34(37.4%)	14(46.7%)	$\chi^2=0.816$	0.366
晕厥(例)	20(16.5%)	14(15.4%)	6(20.0%)	$\chi^2=0.348$	0.555
心脏杂音(例)	63(52.1%)	46(50.5%)	17(56.7%)	$\chi^2=0.496$	0.481
家族史(例)	13(10.7%)	12(13.2%)	1(3.3%)	$\chi^2=1.372$	0.241
心律失常(例)	28(23.1%)	21(23.1%)	7(23.3%)	$\chi^2=0.001$	0.997
病程(年)	P50=2.25 (P75-P25=5.58)	P50=2.00 (P75-P25=5.58)	P50=3.00 (P75-P25=5.37)	<i>Z</i> =-0.250	0.803

注:* 差异有统计学意义(*P*<0.05)。

表 2 HCM 患者 LGE 阳性组与 LGE 阴性组的 CMR 参数比较

变量	所有 HCM 患者 (<i>n</i> =121)	LGE(+) (<i>n</i> =91)	LGE(-) (<i>n</i> =30)	统计值	<i>P</i> 值
LVMWT(cm)	2.33±0.60	2.42±0.64	2.05±0.37	<i>t</i> =3.850	0.000*
LVEF(%)	61.71±15.59	60.13±14.59	66.46±17.70	<i>t</i> =-1.947	0.054
LVEDV(mL)	129.86±39.81	131.02±41.80	126.34±33.43	<i>t</i> =0.556	0.579
LVESV(mL)	51.05±26.42	51.77±27.81	48.84±21.93	<i>t</i> =0.525	0.601
LVSV(mL)	81.29±27.21	81.55±29.46	80.52±19.24	<i>t</i> =0.179	0.858
LVMM(g)	181.99±82.90	185.18±90.59	172.39±53.73	<i>t</i> =0.730	0.467
RVEF(%)	58.93±14.01	58.39±15.22	60.56±9.41	<i>t</i> =-0.733	0.465
RVEDV(mL)	100.78±34.72	102.09±34.58	96.79±35.43	<i>t</i> =0.724	0.470
RVESV(mL)	39.77±16.85	40.39±17.74	37.89±13.88	<i>t</i> =0.702	0.484
RVSV(mL)	62.19±23.84	62.71±23.78	60.63±24.37	<i>t</i> =0.413	0.680

注:* 差异有统计学意义。

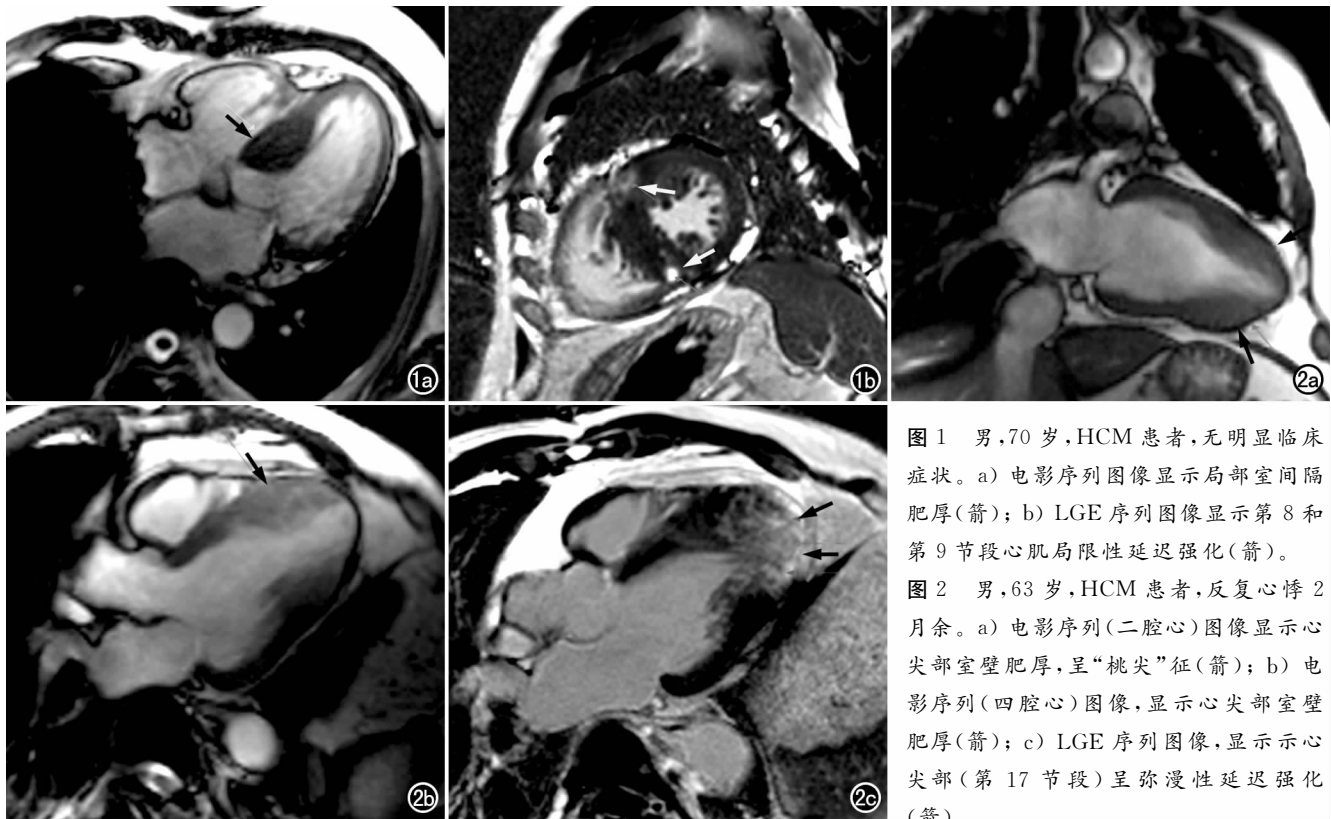


图 1 男,70 岁,HCM 患者,无明显临床症状。a) 电影序列图像显示局部室间隔肥厚(箭); b) LGE 序列图像显示第 8 和第 9 节段心肌局限性延迟强化(箭)。
图 2 男,63 岁,HCM 患者,反复心悸 2 月余。a) 电影序列(二腔心)图像显示心尖部室壁肥厚,呈“桃尖”征(箭); b) 电影序列(四腔心)图像,显示心尖部室壁肥厚(箭); c) LGE 序列图像,显示示心尖部(第 17 节段)呈弥漫性延迟强化(箭)。

节段数较多,中度肥厚组居中,轻度肥厚组较少。

4. LGE 与纽约心功能分级的关系

两组患者心功能 NYHA 分级情况见表 3。有 LGE 组患者的心功能较差,NYHA 分级较高;无 LGE 组中无心功能 IV 级的患者。两组患者的 NYHA 分级的差异有统计学意义($Z=-3.670,P=0.000$)。对有 LGE 组数据进行箱形图分析(图 5),结果显示 LGE 节段数随着 NYHA 分级的增高呈逐渐增多的趋势。

表 3 两组患者的纽约心功能分级情况 (例)

组别	NYHA 分级			
	I 级	II 级	III 级	IV 级
有 LGE	6	33	40	12
无 LGE	9	13	8	0
合计	15	46	48	12

讨 论

1. LGE 的病理学基础

LGE 的病理基础是急性心肌细胞损伤、慢性心肌梗死或纤维化致心肌细胞外间隙扩大,对比剂进入扩大的间隙并延迟排出^[2-3]。钆可缩短组织的 T₁ 值,细胞外间隙的扩张将使得局部组织保持较高浓度的钆,在 T₁ WI 翻转恢复序列上表现为高信号,而正常心肌则呈相对低信号,为 LGE 的检测提供最佳的视觉对比^[12]。LGE 相关的精确病理生理机制目前仍未阐明。Hoey 等^[13]根据影像学和组织学的对照研究,推测 LGE 的发生机制为结构异常的壁冠状动脉引起病

理生理串联的微血管缺血反复发作,导致心肌细胞死亡,并以修复性纤维化的形式替代。

2. HCM 患者不同 LGE 表现与其临床指标间的关系

Maron 等^[14]的研究中发现,年轻 HCM 患者的心肌肥厚程度大于年龄偏大者。本研究中,有 LGE 组中患者的发病年龄比无 LGE 组偏小($P=0.001$)、心肌肥厚程度更高,与上述文献结果相似。有 LGE 组患者的平均发病年龄较小这一结果,能更好地解释既往文献中报道的 HCM 患者发生 SCD 者多为年轻人^[15-16]。

Gerbaud 等^[17]报道,胸痛的最常见病因为急性心肌梗死(28.5%)。本研究中无 LGE 组中出现胸痛的患者比例高于有 LGE 组。笔者认为胸痛症状主要与微小血管的急性缺血、心肌的微小梗死有关,而此类患者可无反映心肌纤维化的 LGE 表现。

3. HCM 患者左心室 LGE 特征分析

HCM 患者的 LGE 特征是在增厚的心肌内、非冠状动脉分布区出现片状或点状强化^[18]。本研究中 76.9% 的 LGE 病灶呈局限性点状或结节样强化,23.1% 呈弥漫性斑片状强化。Maron 等^[19]的研究结果显示,LGE 强化部位与病理显示的纤维化区域具有很好的相关性,强化部位最常发生于室间隔和左室游离壁。本研究中 LGE 最常见于第 2 和第 8 节段,与前者的研究结果类似。说明 HCM 患者 LGE 多见于室间隔。发生于室间隔外的 LGE 则是 SCD 的一个独立

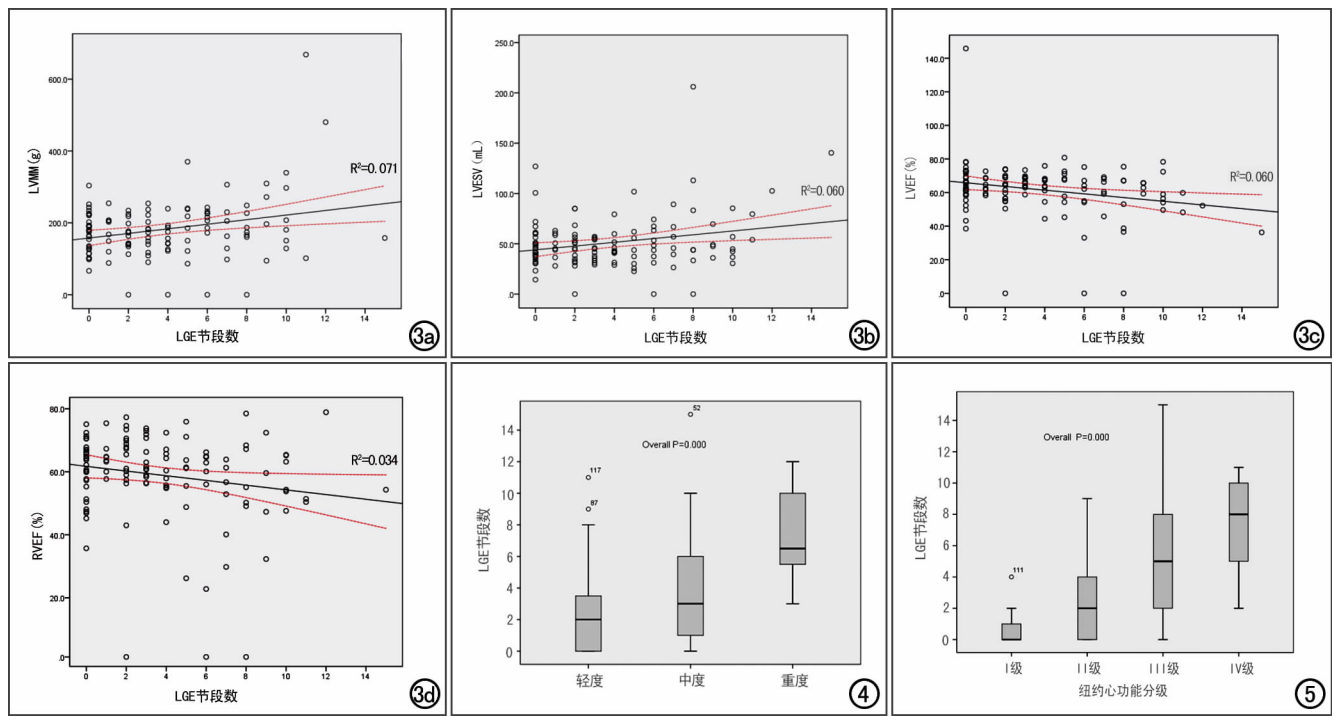


图 3 相关性分析散点图。a) LGE 节段数与 LVMM 呈正相关关系；b) LGE 节段数与 LVESV 呈正相关关系；c) LGE 节段数与 LVEF 呈负相关关系；d) LGE 节段数与 RVEF 呈负相关关系。图 4 LGE 节段数与左室壁增厚程度关系的箱形图。

图 5 LGE 节段数与纽约心功能分级关系的箱形图。

预测因子^[20]，如心尖部 LGE 阳性在 HCM 患者中提示预后不良^[21]。所以，LGE 的位置和分布对 HCM 患者的预后可能有重要意义。

4. LGE 与左心室壁肥厚程度的关系

Hen 等^[22]将 HCM 患者按照心肌肥厚程度进行分组，并对 LGE 进行评分，发现在严重肥厚组中 LGE 评分最高。本研究中则发现随着心肌肥厚程度 (LVMWT) 的增加出现 LGE 的节段数增多，两者间呈正相关。笔者认为 HCM 患者的 LVMWT 值越大，即心肌越肥厚，左室结构异常越明显，更易发生微血管的损伤，导致心肌缺血、梗死和纤维化的程度更重。已有学者提出，LVMWT ≥ 30 mm 是 HCM 患者发生 SCD 的四大风险因子之一^[2,9]。

5. LGE 与 HCM 患者心功能的关系

本研究结果显示，LGE 节段数与 LVMM 呈正相关 ($r=0.267, P=0.003$)。典型的 HCM 都有左室壁肥厚和 LVMM 的增加^[23]。据文献报道^[24]，一例 16 岁男孩突发 SCD，心脏解剖发现心肌细胞的排列非常紊乱，但无 LVMM 的增加或 LVMWT 的增大。此例患者有 HCM 家族史，且健在的亲人均有左室壁肥厚，尸检结果为患者死因为 HCM。据此，我们应认识到 HCM 患者虽未出现 LVMM 的增加，但仍可出现 HCM 最严重的后果——SCD。

Funada 等^[6]认为在伴有收缩功能障碍的 HCM 患者中，LGE 体积可作为严重心脏事件的独立预测因

子，能精确预测发病率和致死率。一项 Meta 分析结果显示，LGE 的存在及其程度与 SCD 风险、心衰发病率的增加具有显著相关性；LGE 面积每增加 10%，发生 SCD 的风险将增加 36%^[4]。而广泛的 LGE 被认为是一种新的风险因子，有助于临床医师识别需进行植入型心律转复除颤器治疗的高危患者。本研究中发现患者的心功能越差 (NYHA 分级越高)，左室壁出现 LGE 的节段数越多。

有文献报道，LGE 与代表心脏舒张功能不全的指标——峰值充盈率之间具有负相关关系^[25]。HCM 组各室壁节段的收缩期峰值应变率均显著低于正常对照组 ($P<0.01$)^[26]，提示左室局部心肌收缩功能受损。本组数据显示 LGE 节段数与 LVEF 和 RVEF 呈负相关，与 LVESV 呈正相关，进一步验证了 LGE 节段数越多，患者的心功能越差。

总之，CMRI 能对 HCM 患者心肌 LGE 的有无和节段数进行定性和定量检测。心肌的 LGE 多见于年轻患者，胸痛症状不明显，但心功能较差，应当引起临床重视。LGE 节段数随 LVMWT 的增加或患者心功能 NYHA 分级的增高而增多。随着 LGE 节段数增加，LVMM 和 LVESV 增大，提示左、右心室收缩功能降低。

参考文献：

- [1] Kamal MU, Riaz IB, Janardhanan R. Cardiovascular magnetic resonance imaging in hypertrophic cardiomyopathy: current state of

- the art[J]. *Cardiol J*, 2016, 23(3): 250-263.
- [2] Hoey ET, Teoh JK, Das I, et al. The emerging role of cardiovascular MRI for risk stratification in hypertrophic cardiomyopathy[J]. *Clin Radiol*, 2014, 69(3): 221-230.
- [3] Bogaert J, Olivetto I. MR imaging in hypertrophic cardiomyopathy; from magnet to bedside[J]. *Radiology*, 2014, 273(2): 329-348.
- [4] Weng Z, Yao J, Chan RH, et al. Prognostic value of LGE-CMR in HCM: a Meta-analysis [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2016, 9(12): 1392-1402.
- [5] O'Hanlon R, Grasso A, Roughton M, et al. Prognostic significance of myocardial fibrosis in hypertrophic cardiomyopathy[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2010, 56(11): 867-874.
- [6] Funada A, Kanzaki H, Noguchi T, et al. Prognostic significance of late gadolinium enhancement quantification in cardiac magnetic resonance imaging of hypertrophic cardiomyopathy with systolic dysfunction[J]. *Heart Vessels*, 2015, 31(5): 758-770.
- [7] Briasoulis A, Mallikethi-Reddy S, Palla M, et al. Myocardial fibrosis on cardiac magnetic resonance and cardiac outcomes in hypertrophic cardiomyopathy: a meta-analysis [J]. *Heart*, 2015, 101(17): 1406-1411.
- [8] Neilan TG, Farhad H, Mayrhofer T, et al. Late gadolinium enhancement among survivors of sudden cardiac arrest[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2015, 8(4): 414-423.
- [9] Chiribiri A, Leuzzi S, Conte MR, et al. Rest perfusion abnormalities in hypertrophic cardiomyopathy: correlation with myocardial fibrosis and risk factors for sudden cardiac death[J]. *Clin Radiol*, 2015, 70(5): 495-501.
- [10] Elliott PM, Anastakis A, Borger MA, et al. 2014 ESC Guidelines on diagnosis and management of hypertrophic cardiomyopathy; the Task Force for the Diagnosis and Management of Hypertrophic Cardiomyopathy of the European Society of Cardiology (ESC)[J]. *Eur Heart J*, 2014, 35(39): 2733-2779.
- [11] 赵世华. 心血管病磁共振诊断学(第 1 版)[M]. 北京: 人民军医出版社, 2011: 106.
- [12] Everett RJ, Stirrat CG, Semple SI, et al. Assessment of myocardial fibrosis with T₁ mapping MRI[J]. *Clin Radiol*, 2016, 71(8): 768-778.
- [13] Hoey ET, Elassaly M, Ganeshan A, et al. The role of magnetic resonance imaging in hypertrophic cardiomyopathy[J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2014, 4(5): 397-406.
- [14] Maron BJ, Piccininno M, Casey SA, et al. Relation of extreme left ventricular hypertrophy to age in hypertrophic cardiomyopathy[J]. *Am J Cardiol*, 2003, 91(5): 626-628.
- [15] Maron BJ, Rowin EJ, Casey SA, et al. What do patients with hypertrophic cardiomyopathy die from[J]. *Am J Cardiol*, 2016, 117(3): 434-435.
- [16] Maron BJ, Doerer JJ, Haas TS, et al. Sudden deaths in young competitive athletes: analysis of 1866 deaths in the United States, 1980-2006[J]. *Circulation*, 2009, 119(8): 1085-1092.
- [17] Gerbaud E, Harcaut E, Coste P, et al. Cardiac magnetic resonance imaging for the diagnosis of patients presenting with chest pain, raised troponin, and unobstructed coronary arteries[J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2012, 28(4): 783-794.
- [18] Hansen MW, Merchant N. MRI of hypertrophic cardiomyopathy (part I): MRI appearances[J]. *AJR*, 2007, 189(6): 1335-1343.
- [19] Maron MS. Clinical utility of cardiovascular magnetic resonance in hypertrophic cardiomyopathy[J/OL]. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2012, 14: 13. DOI: <http://www.jcmr-online.com/content/14/1/13>.
- [20] Klopotoski M, Kukula K, Malek LA, et al. The value of cardiac magnetic resonance and distribution of late gadolinium enhancement for risk stratification of sudden cardiac death in patients with hypertrophic cardiomyopathy[J]. *J Cardiol*, 2016, 68(1): 49-56.
- [21] 冉玲平, 黄璐, 赵培君, 等. RSNA 2016 心脏 MRI/CT[J]. *放射学实践*, 2017, 32(1): 3-7.
- [22] Hen Y, Iguchi N, Utanohara Y, et al. Extent of late gadolinium enhancement on cardiac magnetic resonance imaging in Japanese hypertrophic cardiomyopathy patients[J]. *Circ J*, 2016, 80(4): 950-957.
- [23] Giesbrandt KJ, Bolan CW, Shapiro BP, et al. Diffuse diseases of the myocardium: MRI-pathologic review of no dilated cardiomyopathies[J]. *AJR*, 2013, 200(3): 266-273.
- [24] M0aron BJ, Kragel AH, Roberts WC. Sudden death in hypertrophic cardiomyopathy with normal left ventricular mass[J]. *Br Heart J*, 1990, 63(5): 308-310.
- [25] Motoyasu M, Kurita T, Onishi K, et al. Correlation between late gadolinium enhancement and diastolic function in hypertrophic cardiomyopathy assessed by magnetic resonance imaging[J]. *Circ J*, 2008, 72(3): 378-383.
- [26] 刘娅妮, 邓又斌, 陆永萍, 等. 肥厚型心肌病左室局部心肌收缩功能的应变率成像研究[J]. *放射学实践*, 2005, 20(12): 1097-1099.

(收稿日期: 2017-05-18 修回日期: 2017-07-12)