

❖ 心脏、血管影像学

Extracellular volume fraction based on cardiac MR for predicting major adverse cardiovascular event in patients with left ventricular noncompaction

XUE Runjie¹, GAO Yan², WANG Wenxian³, ZHU Runze³, YANG Xianglin⁴, CHANG Na⁵, WANG Ximing^{1,2*}

(1. Department of Medical Imaging, Binzhou Medical University, Yantai 264003, China; 2. Department of Radiology, Shandong Provincial Hospital, Jinan 250021, China; 3. College of Radiology, Shandong First Medical University, Jinan 250117, China; 4. Department of Medical Integration and Practice Center, Shandong University, Jinan 250012, China; 5. Department of Medical Technology, Jinan Nursing Vocational College, Jinan 250021, China)

[Abstract] **Objective** To observe the value of extracellular volume fraction (ECV) based on cardiac MR (CMR) for predicting major adverse cardiovascular event (MACE) in patients with left ventricular noncompaction (LVNC). **Methods**

Totally 118 patients with LVNC were retrospectively enrolled who underwent regularly follow-up until June 30, 2025, and whether MACE occurred was recorded. Univariate and multivariate Cox regression analyses were performed on clinical data and CMR parameters to screen the independent predictors for occurrence of MACE. The optimal cutoff value of ECV for predicting the occurrence of MACE in LVNC patients was obtained through receiver operating characteristic curve, and then patients were divided into high-ECV and low-ECV groups based on it. The cumulative MACE-free survival rate was compared between groups, also those with or without myocardial late gadolinium enhancement (LGE). **Results** The median follow-up time was 33.5 months. During follow-up period, 27 cases experienced MACE (MACE group), while 91 cases did not (non-MACE group). Among CMR parameters, left ventricular ejection fraction, ECV and the percentage of LGE myocardium in left ventricular mass were all independent predictors of MACE ($HR=0.92, 1.14, 1.06$, all $P<0.05$). The cutoff value of ECV for predicting MACE in LVNC patients was 32.10. There were 40 cases in high-ECV group and 78 cases in low-ECV group. The cumulative MACE-free survival rate in high-ECV group was lower than that in low-ECV group. Moreover, the cumulative MACE-free survival rate in patients with high ECV, no matter LGE (+) or LGE (-), was lower than in those with low ECV (all $P<0.05$). **Conclusion** ECV based on CMR could effectively predict the risk of MACE in patients with LVNC.

[Keywords] left ventricle; isolated noncompaction of the ventricular myocardium; cardiac magnetic resonance; extracellular volume fraction; prognosis

DOI:10.13929/j.issn.1003-3289.2026.03.003

基于心脏 MR 细胞外体积分数预测左心室致密化不全患者发生主要不良心血管事件

薛润洁¹, 高艳², 王文先³, 朱润贻³, 杨祥琳⁴, 常娜⁵, 王锡明^{1,2*}

(1. 滨州医学院医学影像学院, 山东烟台 264003; 2. 山东省立医院影像科, 山东济南 250021; 3. 山东第一医科大学放射学院, 山东济南 250117; 4. 山东大学医学融合与实践中心, 山东济南 250012; 5. 济南护理职业学院医学技术系, 山东济南 250021)

[摘要] **目的** 观察基于心脏 MR(CMR)细胞外体积分数(ECV)预测左心室致密化不全(LVNC)患者发生主要不良心

[第一作者] 薛润洁(2000—),女,山东济南人,在读硕士。研究方向:心脏 MRI 诊断。E-mail: 1589246392@qq.com

[通信作者] 王锡明,滨州医学院医学影像学院,264003;2. 山东省立医院影像科,250021。E-mail: wxming369@163.com

[收稿日期] 2025-11-06 [修回日期] 2026-01-17

血管事件(MACE)的价值。**方法** 回顾性收集 118 例 LVNC,均接受规律随访至 2025 年 6 月 30 日,记录期间是否发生 MACE。以单因素及多因素 Cox 回归分析临床资料及 CMR 参数,筛选 MACE 的独立预测因子;绘制受试者工作特征曲线,获取 ECV 预测 LVNC 患者发生 MACE 的最佳截断值,据此划分高 ECV 组与低 ECV 组,比较组间累积无 MACE 生存率差异,并基于有、无心肌钆对比剂延迟强化(LGE)进行分析。**结果** 中位随访时间 33.5 个月,期间 27 例发生 MACE (MACE 组)、91 例未发生 MACE(非 MACE 组)。CMR 参数中,左心室射血分数、ECV 及 LGE 心肌占左心室质量百分比均为 MACE 独立预测因子($HR=0.92,1.14,1.06, P$ 均 <0.05)。ECV 预测 LVNC 患者发生 MACE 的截断值为 32.10,故将 40 例 $ECV \geq 32.10$ 者归为高 ECV 组、78 例 $ECV < 32.10$ 为低 ECV 组。高 ECV 组累积无 MACE 生存率低于低 ECV 组;且无论 LGE(+)或 LGE(-)的高 ECV 者的累积无 MACE 生存率均低于低 ECV 者(P 均 <0.05)。**结论** 基于 CMR 的 ECV 能有效预测 LVNC 患者发生 MACE 风险。

[关键词] 左心室;孤立性心室心肌致密化不全;心脏磁共振;细胞外体积分数;预后

[中图分类号] R54; R445.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2026)03-0331-05

左心室致密化不全(left ventricular noncompaction, LVNC)属罕见心肌病变,可致心源性死亡、心力衰竭或室性心律失常等。左心室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)及晚期钆对比剂延迟强化(late gadolinium enhancement, LGE)是 LVNC 预后的主要影响因素^[1-3];而 LVEF 存在波动性,LGE 则无法用于评估心肌弥漫性纤维化^[4]。心脏 MR(cardiac MR, CMR)参数中的细胞外体积分数(extracellular volume fraction, ECV)能有效反映心肌细胞外空间扩张状态,可用于检测心肌早期纤维化^[5]。本研究观察 ECV 对于 LVNC 患者发生主要不良心血管事件(major adverse cardiovascular event, MACE)的预测价值。

1 资料与方法

1.1 研究对象 回顾性收集 2017 年 5 月—2023 年 3 月山东省立医院 118 例 LVNC,男 85 例、女 33 例,年龄 20~76 岁、中位年龄 44.0 岁。纳入标准:①二维经胸超声心动图检查提示符合诊断 LVNC 的 Jenny 标准^[6],其后 CMR 检查显示满足诊断 LVNC 的 Petersen 标准^[7]和 Jacquier 标准^[8];②伴左心室收缩功能降低($LVEF < 50\%$),且无高血压、冠心病、瓣膜病、先天性心脏病、心肌炎等可致继发性小梁增多疾患。排除标准:①急性冠脉综合征、心脏介入治疗后、急性心衰发作期;②心房颤动、室性心律失常、遗传性或获得性心肌病;③影像学及临床资料不全。本研究经医院伦理委员会批准(SWYX; NO. 2025-740),检查前患者均知情同意。

1.2 仪器与方法 采用 Siemens Prisma 3.0T MR 系统、18 通道体部线圈,以心电门控技术行 CMR。先以平衡稳态自由进动序列采集两腔心、三腔心、四腔心及连续短轴层面图像,TR 3.26 ms,TE 1.43 ms,FA 80°,矩阵 208×139,像素 1.6 mm×1.6 mm,层厚 8 mm;再以改良 Look-Locker 反转恢复序列采集基底

部、中层及心尖部短轴层面的 native T1 mapping,TR 2.44 ms,TE 1.01 ms,FA 20°,层厚 8 mm;延迟 10~15 min 以相位敏感反转恢复序列行 LGE 成像,TR 3.0 ms,TE 1.4 ms,FA 25°,矩阵 256×144,像素 1.4 mm×1.4 mm,层厚 8 mm。

1.3 分析图像 应用 CVI42 软件(版本 5.12.1)分析 CMR。由 2 名具有 5 年相关经验的主治医师采用盲法于平衡稳态自由进动电影图像中手动绘制心外膜及心内膜轮廓(排除乳头肌),测量左心室舒张末期内径(left ventricular end-diastolic diameter, LVEDD)及 LVEF,并以体表面积进行校准,获得左心室心脏指数(left ventricular cardiac index, LVCI)、左心室质量指数(left ventricular mass index, LVMI)、左心室舒张末期容积指数(left ventricular end-diastolic volume index, LVEDVI)及左心室收缩末期容积指数(left ventricular end-systolic volume index, LVESVI)。于基底部、中层及心尖部短轴层面 native 及 post T1 mapping 中避开乳头肌、血管及伪影,在心内膜与心外膜之间勾画面积 30~50 mm²的 3 个心肌 ROI,并于降主动脉内勾画 80~150 mm²的血池 ROI,软件自动生成心肌及血池的 T1 值;计算 ECV: $ECV = (1 - Hct) \times (\Delta R1_{\text{心肌}} / \Delta R1_{\text{血池}}) \times 100\%$,其中 Hct 指红细胞压积(CMR 检查前、后 24 h 内测得), $\Delta R1$ 代表注射对比剂前、后 R1 值之差($R1 = 1/T1$),由此获得 ECV 伪彩图及相应 ECV 牛眼图,取 3 个层面 ECV 均值为最终结果。于 LGE 图像中手动绘制心内膜和心外膜边界,评估有无心肌 LGE(+),并以远离强化区正常心肌为参照量化心肌 LGE 范围,将信号强度比正常心肌平均值高至少 3 个标准差的心肌定义为 LGE 心肌,计算 LGE 心肌占左心室总质量百分比。以上 CMR 参数均取以 2 名医师测值的均值进行

分析。

1.4 随访 完成 CMR 检查后每半年规律随访一次,截至 2025 年 6 月 30 日,记录是否发生 MACE 及其时间;发生需接受心脏相关治疗的心力衰竭、心律失常(如心室颤动、持续性室速、需植入心律转复除颤器、休克)或心源性死亡则终止随访。

1.5 统计学分析 采用 R 4.5.1 统计软件分析。以 $\bar{x} \pm s$ 表示服从正态分布的计量资料,以中位数(上下四分位数)表示偏态分布者,行 t 检验或 Mann-Whitney U 检验。采用 χ^2 检验比较分类变量。以单因素 Cox 回归分析临床资料与 CMR 参数,剔除存在共线性变量之一后,利用多因素 Cox 回归分析筛选 LVNC 患者发生 MACE 的独立预测因子。绘制受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线,获得 ECV 预测 LVNC 患者发生 MACE 的最佳截断值,据之划分高 ECV 组与低 ECV 组。以 Kaplan-Meier 生存曲线分析组间 MACE 差异,基于心肌 LGE 与否进行亚组分析,行对数秩检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

对 118 例随访 6~96 个月,中位随访时间 33.5 (22.7, 49.1)个月;期间 27 例(27/118, 22.88%)发生 MACE(MACE 组,包括心力衰竭、心室颤动、持续性室速及心源性死亡)、91 例(91/118, 77.12%)未发生 MACE(无 MACE 组);MACE 组发生不良事件时间为 CMR 检查后 13.1(10.3, 16.0)个月。

2.1 临床资料及 CMR 参数比较 相比无 MACE 组, MACE 组 LVEDD、LVEDVI、LVESVI、native T1 值、ECV 及 LGE 心肌占左心室质量百分比均升高,而 LVEF 及 LVCI 均降低(P 均 < 0.05);组间临床资料差异均无统计学意义(P 均 > 0.05)。见表 1。

2.2 LVNC 患者发生 MACE 的独立预测因子 单因素 Cox 回归分析显示, LVEDD、LVEF、LVCI、LVEDVI、LVESVI、native T1、ECV 及 LGE 心肌占左心室质量百分比均为 LVNC 患者发生 MACE 的预测因子(P 均 < 0.05 , 表 2)。剔除存在多重共线性的 LVEDD、LVCI 及 LVESVI 后,多因素 Cox 回归分析显示, LVEF、ECV 及 LGE 心肌占左心室质量百分比均为独立预测因子(P 均 < 0.05 , 表 3)。

2.3 生存分析 以 ECV 预测 LVNC 患者发生 MACE 的曲线下面积为 0.862,最佳截断值为 32.10;据此划分为高 ECV 组 40 例($ECV \geq 32.10$)及低 ECV 组($ECV < 32.10$)78 例。高 ECV 组累积无 MACE 生存率低于低 ECV 组($\chi^2 = 48.389, P < 0.001$);且无论 LGE(+)或 LGE(-),高 ECV 者累积无 MACE 生存率均低于低 ECV 者($\chi^2 = 35.376, 9.799, P$ 均 < 0.01)。见图 1、2。

3 讨论

LVNC 临床症状具有高度异质性,可无症状或出现典型心血管症状、甚至进展为心源性猝死;半数以上 LVNC 患者存在左心室扩张且收缩功能受损^[3]。LVNC 患者无论是否存在心肌过度小梁化及其程度如

表 1 比较发生与未发生 MACE 的 LVNC 患者临床资料及 CMR 参数

组别	年龄(岁)	性别(例)		糖尿病(例)	饮酒史(例)	吸烟史(例)	家族史(例)	ACEI/ARB 治疗(例)
		男	女					
MACE 组($n=27$)	41.0(37.0, 56.5)	20	7	2	10	12	7	9
无 MACE 组($n=91$)	44.0(34.0, 57.0)	65	26	15	41	43	30	36
$t/Z/\chi^2$ 值	-0.410	0.001		0.752	0.268	0.001	0.208	0.129
P 值	0.682	0.980		0.386	0.605	0.970	0.648	0.719
组别	β 受体阻滞剂治疗(例)	利尿剂治疗(例)	LVEDD(cm)	LVEF(%)	LVCI [L/(min·m ²)]	LVMI(g/m ²)		
MACE 组($n=27$)	5	13	7.07±0.90	22.00(18.50, 28.50)	2.28(1.75, 2.97)	88.79(70.23, 101.48)		
无 MACE 组($n=91$)	32	54	6.08±0.95	43.00(33.50, 56.50)	3.01(2.38, 3.54)	75.25(60.81, 97.39)		
$t/Z/\chi^2$ 值	1.963	0.656	4.822	-5.953	-2.889	1.851		
P 值	0.161	0.418	<0.001	<0.001	0.004	0.064		
组别	LVEDVI (ml/m ²)	LVESVI (ml/m ²)	native T1(ms)	ECV(%)	心肌 LGE(+)(例)	LGE 心肌占左心室质量百分比(%)		
MACE 组($n=27$)	148.90 (115.38, 193.87)	121.11 (90.20, 152.47)	1 335.89 (1 279.08, 1 364.14)	36.64 (32.80, 39.42)	23	6.76 (1.31, 16.65)		
无 MACE 组($n=91$)	98.74 (79.58, 127.18)	53.72 (35.45, 81.71)	1 264.32 (1 231.09, 1 295.85)	29.33 (26.98, 31.34)	65	1.49 (0.4, 2.6)		
$t/Z/\chi^2$ 值	4.113	5.484	4.331	5.705	1.416	3.259		
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.234	0.001		

注:ACEI:血管紧张素转化酶抑制剂(angiotensin converting enzyme inhibitors);ARB:血管紧张素受体拮抗剂(angiotensin receptor blocker)

表 2 单因素 Cox 回归分析 LVNC 患者发生 MACE 的预测因子

变量	HR 值(95%CI)	P 值
年龄(岁)	1.01(0.98,1.04)	0.596
性别男	0.92(0.39,2.17)	0.841
糖尿病	0.43(0.10,1.83)	0.256
饮酒史	0.77(0.35,1.68)	0.514
吸烟史	0.87(0.41,1.86)	0.724
家族史	0.76(0.32,1.81)	0.541
ACEI/ARB 治疗	0.79(0.35,1.76)	0.561
β受体阻滞剂治疗	0.47(0.18,1.25)	0.133
利尿剂治疗	0.68(0.32,1.44)	0.310
LVEDD(cm)	2.15(1.53,3.02)	<0.001
LVEF(%)	0.91(0.88,0.95)	<0.001
LVCI[L/(min·m ²)]	0.52(0.33,0.83)	0.005
LVMI(g/m ²)	1.01(1.00,1.03)	0.075
LVEDVI(ml/m ²)	1.01(1.01,1.02)	<0.001
LVESVI(ml/m ²)	1.02(1.01,1.02)	<0.001
native T1(ms)	1.01(1.01,1.01)	<0.001
ECV(%)	1.20(1.14,1.27)	<0.001
心肌 LGE(+)	2.26(0.78,6.55)	0.132
LGE 心肌占左心室质量百分比(%)	1.09(1.06,1.13)	<0.001

表 3 多因素 Cox 回归分析 LVNC 患者发生 MACE 的独立预测因子

变量	HR 值(95%CI)	P 值
LVEF(%)	0.92(0.87,0.97)	0.002
LVEDVI(ml/m ²)	1.00(0.99,1.01)	0.628
native T1(ms)	1.00(1.00,1.01)	0.363
ECV(%)	1.14(1.06,1.23)	0.001
LGE 心肌占左心室质量百分比(%)	1.06(1.01,1.11)	0.028

何,心肌纤维化和整体收缩功能均可用于预测预后^[1]。LVNC 患者心肌纤维化多呈弥漫性分布而非局限性瘢痕;传统 LGE 成像仅能识别心肌纤维化程度较重、对比剂显著滞留区域,而单一 LGE 成像易致漏诊。在病程早期,多数 LVNC 患者 LVEF 处于正常范围^[9];此时心肌纤维化已发生进展,而 LVEF 无法识别潜在风险。心肌 native T1 值延长具有多方面原因,包括心肌纤维化、水肿等。ECV 基于整体心肌 T1 值改变而获得,即使轻度、弥漫性细胞外基质增多也可基于 ECV

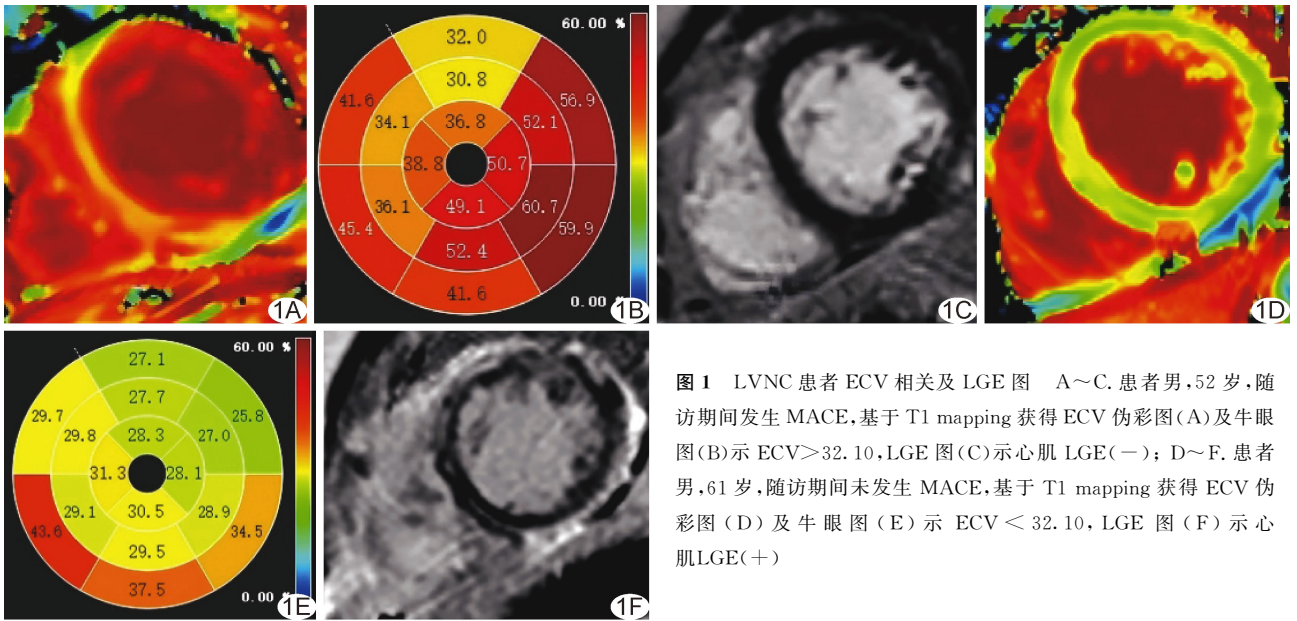


图 1 LVNC 患者 ECV 相关及 LGE 图 A~C. 患者男,52 岁,随访期间发生 MACE,基于 T1 mapping 获得 ECV 伪彩图(A)及牛眼图(B)示 ECV>32.10,LGE 图(C)示心肌 LGE(-); D~F. 患者男,61 岁,随访期间未发生 MACE,基于 T1 mapping 获得 ECV 伪彩图(D)及牛眼图(E)示 ECV<32.10,LGE 图(F)示心肌 LGE(+)

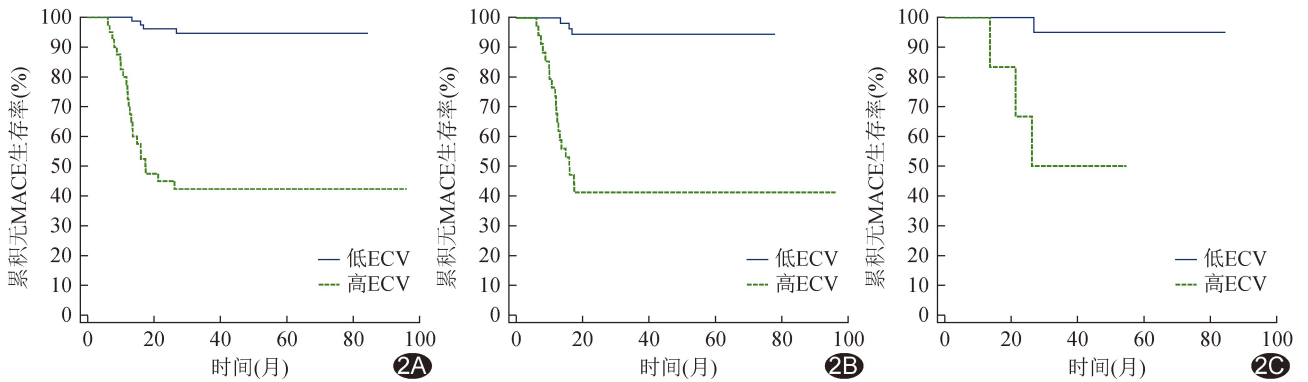


图 2 高、低 ECV 患者累积无 MACE 生存率 Kaplan-Meier 曲线 A. 全部 LVNC 患者; B. LGE(+); C. LGE(-)者

变化而被检出;对于 LVEF 正常的早期 LVNC,通过 ECV 可检出纤维化负荷升高。多项研究^[5,10-11]证实,ECV 对于缺血及非缺血性心肌病预后均具有预测价值。

既往研究^[12-13]显示,CMR 参数中,LVEF 及心肌 LGE 均为预测 LVNC 预后的重要指标。本研究通过增强前、后心肌 T1 值获得 ECV,并对血池 T1 值的干扰进行校正,能精准区分 LVNC 患者心肌纤维化(ECV 升高)与单纯肌小梁水肿(native T1 值升高而 ECV 正常);LVEF、ECV 及 LGE 心肌占左心室质量百分比均为 LVNC 患者发生 MACE 的独立预测因子,高 ECV 组累积无 MACE 生存率低于低 ECV 组,且 LGE(+)及 LGE(-)的高 ECV 患者的累积无 MACE 生存率均低于低 ECV 者,与文献^[14]结果相符,提示 ECV 能有效评估心肌弥漫性纤维化,可作为预测 LVNC 患者发生 MACE 的可靠指标,为临床决策提供参考依据。

综上,基于 ECV 可有效预测 LVNC 患者发生 MACE 风险。但本研究为单中心、回顾性分析,且未涉及不同扫描参数、MR 设备场强等对 ECV 结果的影响,有待后续通过开展多中心研究进一步完善。

利益冲突:全体作者声明无利益冲突。

作者贡献:薛润洁查阅文献、研究实施、图像和数据分析、撰写和修改文章;高艳研究实施、图像分析;王文先、朱润贻、杨祥琳和常娜图像处理、数据分析;王锡明指导、审阅文章。

[参考文献]

- [1] GRIGORATOS C, BARISON A, IVANOV A, et al. Meta-analysis of the prognostic role of late gadolinium enhancement and global systolic impairment in left ventricular noncompaction[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2019,12(11 Pt 1):2141-2151.
- [2] CASAS G, LIMERES J, ORISTRELL G, et al. Clinical risk prediction in patients with left ventricular myocardial noncompaction[J]. J Am Coll Cardiol, 2021,78(7):643-662.
- [3] CARDOSO B, JEEWA A, MINN S, et al. Left ventricular noncompaction cardiomyopathy: Left ventricular dilation and dysfunction at baseline portend the risk of death or heart transplantation[J]. Can J Cardiol, 2022,38(6):754-762.
- [4] GROTHOFF M, PACHOWSKY M, HOFFMANN J, et al. Value of cardiovascular MR in diagnosing left ventricular non-compaction cardiomyopathy and in discriminating between other cardiomyopathies[J]. Eur Radiol, 2012,22(12):2699-2709.
- [5] LI S, ZHOU D, SIRAJUDDIN A, et al. T1 mapping and extracellular volume fraction in dilated cardiomyopathy: A prognosis study[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2022,15(4):578-590.
- [6] VAIDYA V R, LYLE M, MIRANDA W R, et al. Long-term survival of patients with left ventricular noncompaction[J]. J Am Heart Assoc, 2021,10(2):e015563.
- [7] PETERSEN S E, SELVANAYAGAM J B, WIESMANN F, et al. Left ventricular non-compaction: Insights from cardiovascular magnetic resonance imaging[J]. J Am Coll Cardiol, 2005,46(1):101-105.
- [8] JACQUIER A, THUNY F, JOP B, et al. Measurement of trabeculated left ventricular mass using cardiac magnetic resonance imaging in the diagnosis of left ventricular non-compaction[J]. Eur Heart J, 2010,31(9):1098-1104.
- [9] 陈晓荣,舒锦尔,潘浩浩,等.原发性扩张型心肌病与孤立性左心室心肌致密化不全的 MRI 特征[J].中国医学影像技术,2017,33(8):1139-1142.
- [10] DI MARCO A, BROWN P F, BRADLEY J, et al. Extracellular volume fraction improves risk-stratification for ventricular arrhythmias and sudden death in non-ischaeamic cardiomyopathy[J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2023,24(4):512-521.
- [11] BLACK N, BRADLEY J, SCHELBERT E B, et al. Remote myocardial fibrosis predicts adverse outcome in patients with myocardial infarction on clinical cardiovascular magnetic resonance imaging [J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2024,26(2):101064.
- [12] AUNG N, DOIMO S, RICCI F, et al. Prognostic significance of left ventricular noncompaction: Systematic review and meta-analysis of observational studies[J]. Circ Cardiovasc Imaging, 2020,13(1):e009712.
- [13] GREGOR Z, KISS A R, GREBUR K, et al. MR-specific characteristics of left ventricular noncompaction and dilated cardiomyopathy[J]. Int J Cardiol, 2022,359:69-75.
- [14] HUANG W, SUN R, LIU W, et al. Prognostic value of late gadolinium enhancement in left ventricular noncompaction: A multicenter study[J]. Diagnostics (Basel), 2022,12(10):2457.