

·临床研究·

多模态超声心动图分析 Brugada 综合征隐匿性心肌机械功能异常

吕函璐, 刘英梅

(中山大学孙逸仙纪念医院心血管内科, 广东 广州 510120)

摘要:【目的】应用多模态超声心动图技术分析 Brugada 综合征(BrS)患者的心肌机械功能特征,为 BrS 隐匿性心肌机械异常的临床评估提供影像学依据。【方法】纳入 2020 年 1 月至 2023 年 12 月于中山大学孙逸仙纪念医院确诊的 BrS 患者。采用斑点追踪超声心动图(STE)检测左室整体纵向应变(LV-GLS)、右室游离壁纵向应变(RVFW-LS)、右室整体纵向应变(RV-GLS)以及相应的机械离散度(LV-MD, RVFW-MD, RV-MD);通过组织多普勒成像(TDI)计算左室、右室心肌做功指数(LV-MPI, RV-MPI)。【结果】本中心 5 例 BrS 患者的常规心室收缩功能参数均在正常范围,而多模态超声参数存在明显个体差异:兼具自发性 1 型 Brugada 心电图与 SCN5A 基因突变的高危表型患者,可出现心肌做功指数升高(LV-MPI 最高 0.53, RV-MPI 最高 0.67)或机械离散度增加(LV-MD 最高 61 ms)。【结论】BrS 患者存在常规超声无法识别的隐匿性心肌机械功能异常。心肌做功指数联合 STE 多参数检测可揭示其亚临床心室功能及收缩同步性改变,提示多模态超声心动图对 BrS 亚临床心肌损伤评估具有潜在的影像学价值。

关键词:Brugada 综合征;斑点追踪超声心动图;心肌应变;机械离散度;心肌做功指数

中图分类号:R54 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-3554(2026)04-0709-06

DOI:10.11714/jssu.med.YX20260056

Multimodal Echocardiography for Subclinical Myocardial Mechanical Dysfunction in Brugada Syndrome

LÜ Hanlu, LIU Yingmei

(Department of Cardiology, Sun Yat-sen Memorial Hospital, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510120, China)

Correspondence to: LIU Yingmei; E-mail: liuyingm@mail.sysu.edu.cn

Abstract:【Objective】This study aimed to evaluate the myocardial mechanical characteristics in patients with Brugada syndrome (BrS) using multimodal echocardiography, to provide imaging evidence for the assessment of occult myocardial mechanical abnormalities in BrS.【Methods】Patients diagnosed with BrS in Sun Yat-sen Memorial Hospital between January 2020 and December 2023 were enrolled. Speckle-tracking echocardiography (STE) was performed to measure left ventricular global longitudinal strain (LV-GLS), right ventricular free wall longitudinal strain (RVFW-LS), and right ventricular global longitudinal strain (RV-GLS), as well as corresponding mechanical dispersion parameters (LV-MD, RVFW-MD, RV-MD). Left and right ventricular myocardial performance indices (LV-MPI, RV-MPI) were calculated using tissue Doppler imaging (TDI).【Results】All five BrS patients had normal conventional ventricular systolic function, while marked individual differences were observed in multimodal echocardiographic parameters. Patients with high-risk phenotype, characterized by both spontaneous type 1 Brugada electrocardiogram and SCN5A gene mutation, exhibited elevated myocardial performance indexes (maximum LV-MPI 0.53, maximum RV-MPI 0.67) or increased mechanical dispersion (maximum LV-MD 61 ms).【Conclusion】Patients with BrS present subclinical myocardial mechanical dysfunction undetectable by conventional echocardiography. Combined assessment of myocardial performance

收稿日期:2026-04-11

录用日期:2026-06-07

作者简介:吕函璐,第一作者,研究方向:超声心动图在心血管疾病中的应用,E-mail:lvhanlu3@mail.sysu.edu.cn;刘英梅,通信作者,副主任医师,E-mail:liuyingm@mail.sysu.edu.cn

index and multi-parameter STE can identify subtle impairments in ventricular function and systolic synchronicity. Multimodal echocardiography has valuable potential for the assessment of subclinical myocardial injuries in BrS.

Key words: Brugada syndrome; speckle tracking echocardiography; myocardial strain; mechanical dispersion; myocardial performance index

[J SUN Yat-sen Univ(Med Sci), 2026, 47(4): 709-714]

Brugada 综合征(Brugada syndrome, BrS)是一种以特征性心电图改变和心源性猝死风险增高为特点的遗传性离子通道病^[1]。传统观点认为,BrS 为单纯性心电异常疾病。然而,近年来心脏磁共振特征追踪、斑点追踪超声心动图(speckle tracking echocardiography, STE)等无创影像学技术的研究提示,BrS 患者可存在隐匿性心室功能异常,包括心肌应变降低和机械收缩不同步,并与致心律失常基质相关^[2-4]。本研究通过多模态超声心动图评估一组 BrS 患者的双心室功能及机械离散度(mechanical dispersion, MD)特征,并结合现有文献进行对比分析,旨在深入认识该疾病的超声表型,为 BrS 隐匿性心肌机械异常提供影像学依据。

1 材料与方法

1.1 研究对象

本项观察性研究纳入 2020 年 1 月至 2023 年 12 月在中山大学孙逸仙纪念医院诊断为 BrS 的患者。诊断标准:参考 2016 年《J 波综合征专家共识》中 BrS 的评分标准,总分 ≥ 3.5 ,诊断为 BrS^[5-6]。排除标准:导管消融术后,缺血性或结构性心脏病,肺动脉高压,超声图像质量差。本研究获得中山大学孙逸仙纪念医院医学伦理委员会的批准(伦理号 SYSKY-2023-1069-01)。所有患者均签署知情同意书。

1.2 超声心动图采集及分析

使用 Vivid E95 超声系统(GE Healthcare, USA)进行标准的经胸超声心动图检查。将采集的图像导入 EchoPAC 工作站(Version204, GE Healthcare)进行分析。分别选择标准的左室心尖切面(包括心尖四腔、两腔以及三腔切面)以及聚焦右室的心尖四腔切面,启动斑点追踪模块,描记双心室心内膜边界生成感兴趣区域,并进行手动调整以确保最佳追踪效果,分别获得左室/右室心肌各节段的时间-纵向应变曲线,并计算相应的参数。

左室整体纵向应变(left ventricular global longitudinal strain, LV-GLS)、右室游离壁纵向应变(right ventricular free wall longitudinal strain, RVFW-LS)、右室整体纵向应变(right ventricular global longitudinal strain, RV-GLS)分别为左室全部节段、右室游离壁节段、右室游离壁+室间隔所有节段收缩期纵向峰值应变的平均值。左室机械离散度(left ventricular mechanical dispersion, LV-MD)、右室游离壁机械离散度(right ventricular free wall mechanical dispersion, RVFW-MD)、右室整体机械离散度(right ventricular mechanical dispersion, RV-MD),分别为左室所有节段、右室游离壁节段、右室游离壁+室间隔所有节段纵向应变达峰时间的标准差。所有应变参数均以绝对值形式呈现。

此外,应用组织多普勒成像(tissue Doppler imaging, TDI)将取样容积分别置于室间隔二尖瓣环、右室游离壁三尖瓣环,通过频谱计算:(等容收缩时间+等容舒张时间)/射血时间,获得心肌做功指数(myocardial performance index, MPI),又称 Tei 指数,是反映心室收缩和舒张功能的综合指标。包括左室心肌做功指数(left ventricular myocardial performance index, LV-MPI)、右室心肌做功指数(right ventricular myocardial performance index, RV-MPI)。

1.3 统计学方法

本组计量资料为小样本数据,采用描述性统计,结果以最小值~最大值(min-max)表示。采用相对平均值法对 MPI 及 STE 参数进行标准化处理,以量化各参数偏离组内均值的程度,并基于标准化结果绘制雷达图,用于多参数特征的可视化分析。

2 结果

2.1 基本临床特征

本研究最终纳入 5 例 BrS 患者,其中男性 4 例,

女性1例,年龄范围(min-max)为32岁~63岁。患者均有晕厥或恶性心律失常病史,其基本临床特征见表1。

2.2 常规超声心动图参数特征

5例BrS患者的常规超声心动图参数见表2。其中,左室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)、右室面积变化分数(fractional area change, FAC)及三尖瓣环收缩期位移(tricuspid

annular plane systolic excursion, TAPSE)等反映双心室收缩功能的常规指标均未见明显异常。

2.3 心肌做功指数及斑点追踪参数特征

5例患者LV-MPI、RV-MPI的范围(min-max)分别为0.33~0.53、0.32~0.67。应变方面,5例BrS患者LV-GLS、RVFW-LS及RV-GLS的范围(min-max)分别为18%~20%、25%~30%及19%~23%。MD方面, LV-MD、RVFW-MD及RV-MD的范围

表1 5例Brugada综合征患者的临床特征
Table 1 Clinical characteristics of 5 patients with Brugada syndrome

Patients No.	Age/years	Gender	Electrocardiogram	Syncope or malignant arrhythmic events	Family history	SCN5A screening
1	63	Male	Spontaneous type 1	Yes	No	Not performed
2	49	Male	Induced type 1	Yes	No	Negative
3	54	Female	Spontaneous type 1	Yes	No	SCN5A mutation
4	58	Male	Spontaneous type 1	Yes	Yes	SCN5A mutation
5	32	Male	Spontaneous type 1	Yes	No	SCN5A mutation

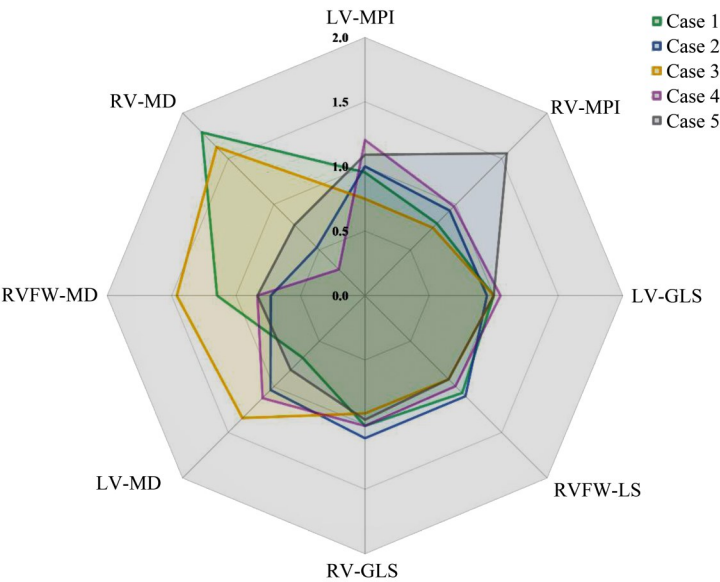
表2 5例Brugada综合征患者的常规超声心动图参数
Table 2 Conventional echocardiographic parameters in 5 patients with Brugada syndrome

Variables	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
Left heart					
IVSd/mm	9	8	7	10	8
LVPWd/mm	9	8	7	10	8
LVDd/mm	48	52	40	47	46
LVEF/%	64	63	69	67	63
Mitral E/A ratio	0.9	0.6	0.9	0.7	1.3
Mean mitral annular e'/(cm/s)	11	9	8	7	12
Mean mitral E/e' ratio	8	12	9	7	7
Right heart					
RAD/mm	35	37	27	36	37
RVD/mm	36	39	26	38	36
FAC/%	43	41	41	38	38
TAPSE/mm	20	21	19	20	21
Tricuspid annular s'/(cm/s)	12	12	9	9	12
Tricuspid E/A ratio	1.0	1.5	1.5	0.8	1.6
Tricuspid annular e'/(cm/s)	10	10	7	7	10
Tricuspid E/e' ratio	4	6	7	7	5

FAC: fractional area change; IVSd: interventricular septal thickness in diastole; LVDd: left ventricular dimension in diastole; LVEF: left ventricular ejection fraction; LVPWd: left ventricular posterior wall thickness in diastole; RAD: right atrial diameter; RVD: right ventricular diameter; TAPSE: tricuspid annular plane systolic excursion.

(min-max)分别为31 ms~61 ms、7 ms~14 ms及7 ms~44 ms,其中RV-MD个体间异质性较大。值得注意的是,病例3的LV-MD明显升高为61 ms,

病例4的LV-MPI明显升高为0.53,病例5的RV-MPI明显升高为0.67。基于标准化参数绘制的多参数特征雷达图见图1。



All parameters were normalized by the relative mean method to eliminate the influence of different units and value ranges. Radial axes display unitless normalized ratios calculated as raw value divided by the corresponding group mean, where a radial value of 1.0 corresponds to the cohort average of each parameter. For strain parameters (LV-GLS, RV-GLS and RVFW-LS), values near the outer perimeter indicate better myocardial function. For MD (LV-MD, RV-MD, RVFW-MD) and MPI (LV-MPI, RV-MPI), values closer to the chart center indicate better cardiac status. GLS: global longitudinal strain; LS: longitudinal strain; LV: left ventricular; MD: mechanical dispersion; MPI: myocardial performance index; RV: right ventricular; RVFW: right ventricular free wall.

图1 Brugada 综合征患者多参数特征雷达图

Fig. 1 Radar chart of multi-parameter characteristics in patients with Brugada syndrome

3 讨论

本研究综合运用了TDI衍生的MPI和STE衍生的心肌应变与MD,对5例BrS患者进行多模态超声心动图分析,发现部分个体存在MPI升高或MD增加等亚临床改变。这种多参数评估方法有助于更全面地揭示BrS患者可能存在的异常电机械基质。尽管样本量有限,但这些个体化特征与近年来关于BrS存在隐匿性心肌功能异常的研究趋势相吻合。

2023年*Circulation* 一篇文章提出“心外膜下心肌病”新概念,指出BrS患者的心外膜下心肌,尤其是右心室流出道(right ventricular outflow tract, RVOT)区域,常存在微结构异常,表现为心肌纤维脂肪替代、炎性细胞浸润等心肌病样改变^[7-8]。这些改变为解释本研究及文献中通过超声心动图所检测到的亚临床机械功能异常提供了病理生理基础。

STE能够无创、定量地评估心肌形变与收缩同步性,是探索BrS亚临床心肌功能障碍的重要工具^[9]。目前共检索到4项关于BrS双心室应变及其MD的研究,相关结果存在显著异质性。Mitroi等^[4]纳入71例BrS患者(其中54.9%为自发性1型Brugada心电图,36.6%接受植入式心律转复除颤器治疗)与25例健康对照,结果显示BrS患者RVFW-LS[(26.7±4.2)% vs. (31.9±4.6)%,*P*<0.001]及RV-GLS[(21.6±3.1)% vs. (25.3±3.0)%,*P*<0.001]较对照组显著降低,但RV-MD差异无统计学意义,该研究未报道LV-GLS、LV-MD及RVFW-MD等参数。此外,该研究还发现BrS患者的RV-MPI显著升高(0.45±0.06 vs. 0.36±0.05,*P*<0.001)。Scheirlynck等^[10]的大样本研究纳入175例BrS患者(其中24%为自发性1型心电图,11%合并危及生命的室性心律失常)与82例对照,发现BrS患者不仅RVFW-LS降低[(24.4±5.4)% vs.

($25.6\pm 3.7\%$, $P=0.04$), LV-GLS [$(18.1\pm 2.6)\%$ vs. ($18.8\pm 2.0\%$, $P=0.01$)]、LV-MD [(38 ± 11) ms vs. (33 ± 8) ms, $P=0.001$]及RVFW-MD [$(15(8-25)$ ms vs. $11(6-19)$ ms, $P=0.03$]均显著异常,提示双心室机械功能及同步性受损。与之形成对比的是D'Ascenzi等^[11]的研究,该研究严格筛选了22例无症状、心内电生理检查阴性且全部为自发性1型心电图的BrS患者(23%携带SCN5A突变)与20例对照,结果显示左室及右室的应变参数(LV-GLS、RVFW-LS、RV-GLS)、MD参数(LV-MD、RVFW-MD、RV-MD)在两组间差异无统计学意义。此外,Iacoviello等^[12]的早期研究纳入25例BrS患者与25例对照(未详细报告人群特征),仅报道了LV-GLS及RVFW-LS,其中仅RVFW-LS在BrS患者中显著降低 [$(28.5\pm 2.3)\%$ vs. $(31.4\pm 3.5)\%$, $P<0.05$],而LV-GLS无明显差异。

上述研究结果的不一致性主要源于2个方面:①研究人群的异质性,包括症状状态、心电图表型(自发性或药物诱发性)、基因背景(SCN5A突变与否)以及用药史等混杂因素,均可能影响结果。例如,在严格筛选的无症状且心内电生理检查阴性的低危BrS患者中,应变参数可能未见显著异常,而在包含高危症状患者的队列中则可能观察到改变。这种对比提示,超声所揭示的机械功能异常可能与疾病的临床严重程度相关,在高危患者中更易被检出。②致心律失常基质的区域性。BrS的电生理基质通常高度集中于RVOT^[13-14]。Mitroi等^[4]创新性地将STE分析聚焦于RVOT,发现BrS患者RVOT应变水平显著降低,经过中位7.3年的随访证实,RVOT应变降低是心律失常事件的预测因子。另一项基于心脏磁共振的研究也显示,BrS患者右室功能异常的程度与电解剖标测所显示的心律失常基质范围相关^[2]。因此,针对整个右心室的整体参数(如RV-GLS)敏感性可能不足,这解释了为何部分研究未发现显著异常。

关于BrS左心室是否受累,目前研究结论尚未统一。Scheirlynck等^[10]的研究报告了BrS患者除RVFW-LS及其MD异常外,同时存在LV-GLS及其MD的改变;而本研究及多数文献未发现LV-GLS显著降低,但本研究观察到个例LV-MD显著升高(61 ms)。Ciabatti等^[15]在2021年欧洲心脏病学会(European Society of Cardiology, ESC)年会摘要中报道,对18例BrS患者进行超声心动图与心内电生

理标测对照分析,结果显示LV-MD ≥ 40 ms的患者单极标测低电压区范围更大、心律失常诱发率更高,提示LV-MD可作为反映BrS患者心律失常基质范围的无创影像标志物。此外,病理学研究通过系统的组织学分析发现,BrS患者虽以右心室受累为主,同时亦存在左室心肌胶原含量增加等改变^[16-17]。因此,超声表型的异质性很可能反映了BrS患者心肌受累范围与程度的差异,即从单纯的RVOT局灶性异常到更广泛的双心室微结构改变,且这种差异与其临床表型(如症状严重程度、心电图表型、基因背景)密切相关。

除STE技术外,MPI作为整合收缩与舒张功能的综合指标,在本研究的个例及部分文献中呈现异常。Murata等^[18]的研究显示,对于基线为2型或3型Brugada样心电图表现的患者,使用钠通道阻滞剂激发出1型Brugada波后,RV-MPI和LV-MPI均明显升高,提示BrS患者可存在心室工作效率异常或室内运动不同步。因此,MPI虽然在评估某些疾病的早期亚临床损伤时敏感性有限,但其在BrS中的异常升高,结合STE参数,仍可能为识别整体心肌功能失调提供线索。

值得注意的是,本研究中5例BrS患者均有晕厥或恶性心律失常病史,其中出现参数明显异常的病例(病例3的LV-MD、病例4的LV-MPI以及病例5的RV-MPI明显升高),其共同特征是兼具自发性1型心电图与SCN5A基因突变,这与已知的高危表型特征一致^[19-21]。同时,本研究中BrS患者所表现出的MPI及MD异常,与部分包含高危患者的文献报道一致,而与专注于无症状低危人群的研究结果不同。这提示,超声所揭示的机械功能异常可能与BrS的疾病严重程度及高危表型密切相关,有望成为BrS心律失常风险评估的潜在指标。

本研究存在局限性,主要为小样本横断面研究,个体差异大,统计效能有限,且无法建立参数与远期事件的因果关系。未来需要大样本、前瞻性研究,以验证超声多模态参数在BrS危险分层中的确切价值。

综上所述,联合应用MPI与STE多模态超声心动图技术,可有效检出BrS患者常规超声难以发现的隐匿性心肌机械功能异常,对BrS亚临床心肌损伤的早期评估具有潜在的影像学价值。尽管目前相关的临床研究证据存在异质性,但现有的结果已充分表明,BrS是一种兼具电活动紊乱与潜在心肌机械基质异常的疾病。

参考文献

- [1] Brugada J, Campuzano O, Arbelo E, et al. Present status of Brugada syndrome: JACC state-of-the-art review [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2018, 72(9): 1046–1059.
- [2] Pappone C, Santinelli V, Mecarocci V, et al. Brugada syndrome: new insights from cardiac magnetic resonance and electroanatomical imaging [J]. *Circ Arrhythm Electrophysiol*, 2021, 14(11): e010004.
- [3] Hohnneck A, Overhoff D, Rutsch M, et al. Risk stratification of patients with Brugada syndrome: the impact of myocardial strain analysis using cardiac magnetic resonance feature tracking[J]. *Hellenic J Cardiol*, 2021, 62(5): 329–338.
- [4] Mitroi C, García-Izquierdo E, García-Lunar I, et al. Right ventricular function and dyssynchrony in Brugada syndrome: highlighting the importance of the mechanical substrate in the right ventricular outflow tract [J]. *Int J Cardiol*, 2021, 333: 233–238.
- [5] Antzelevitch C, Yan G, Ackerman MJ, et al. J-wave syndromes expert consensus conference report: emerging concepts and gaps in knowledge[J]. *Europace*, 2017, 19(4): 665–694.
- [6] Charles Antzelevitch, 严干新, Ackerman Michael J, 等. J波综合征专家上海共识: 概念与认知的更新[J]. *临床心电学杂志*, 2016, 25(03): 161–179.
Antzelevitch C, Yan GX, Ackerman MJ, et al. Shanghai expert consensus on J-wave syndrome: updated concepts and cognition[J]. *J Clin Electrocardiol*, 2016, 25(3): 161–179.
- [7] Miles C, Boukens BJ, Scrocco C, et al. Subepicardial cardiomyopathy: a disease underlying J-wave syndromes and idiopathic ventricular fibrillation [J]. *Circulation*, 2023, 147(21): 1622–1633.
- [8] Yonezu K, Shinohara T, Yamasaki H, et al. Association between epicardial adipose tissue characteristics and ventricular fibrillation in Brugada syndrome [J]. *Heart Rhythm*, 2026. doi: 10.1016/j.hrthm.2026.01.039.
- [9] 吕函璐, 刘英梅. 超声心动图多参数评估特发性室颤患者的心肌功能[J]. *中山大学学报(医学科学版)*, 2024, 45(4): 622–630.
Lv HL, Liu YM. Multiparametric echocardiographic assessment for myocardial function in idiopathic ventricular fibrillation patients [J]. *J Sun Yat-sen Univ (Med Sci)*, 2024, 45(4): 622–630.
- [10] Scheirlynck E, Van Malderen S, Motoc A, et al. Contraction alterations in Brugada syndrome; association with life-threatening ventricular arrhythmias [J]. *Int J Cardiol*, 2020, 299: 147–152.
- [11] D'Ascenzi F, Sanz-De La Garza M, Anselmi F, et al. Electromechanical delay by speckle-tracking echocardiography: a novel tool to distinguish between Brugada syndrome and isolated right bundle branch block [J]. *Int J Cardiol*, 2020, 320: 161–167.
- [12] Iacoviello M, Forleo C, Puzzovivo A, et al. Altered two-dimensional strain measures of the right ventricle in patients with Brugada syndrome and arrhythmogenic right ventricular dysplasia/cardiomyopathy [J]. *Eur J Echocardiogr*, 2011, 12(10): 773–781.
- [13] Okada J, Washio T, Hisada T, et al. Low expression levels of sodium channels in the right ventricular outflow tract underly the genesis of the characteristic electrocardiogram waveform in Brugada syndrome [J]. *Circ J*, 2025, 90(1): 78–87.
- [14] Behr ER, Ben-Haim Y, Ackerman MJ, et al. Brugada syndrome and reduced right ventricular outflow tract conduction reserve: a final common pathway? [J]. *Eur Heart J*, 2021, 42(11): 1073–1081.
- [15] Ciabatti M, Nesti M, Reccia M, et al. Mechanical dispersion identifies patients with extensive electroanatomic abnormalities in Brugada syndrome [J]. *Eur Heart J*, 2021, 42(Supplement 1): ehab269–ehab724.
- [16] Miles C, Asimaki A, Ster I C, et al. Biventricular myocardial fibrosis and sudden death in patients with Brugada syndrome [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2021, 78(15): 1511–1521.
- [17] Nademanee K, Raju H, de Noronha SV, et al. Fibrosis, connexin-43, and conduction abnormalities in the Brugada syndrome [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2015, 66(18): 1976–1986.
- [18] Murata K, Ueyama T, Tanaka T, et al. Right ventricular dysfunction in patients with Brugada-like electrocardiography: a two dimensional strain imaging study [J]. *Cardiovasc Ultrasound*, 2011, 9: 30.
- [19] Kan KY, Van Wyk A, Paterson T, et al. Beyond the type 1 pattern: comprehensive risk stratification in Brugada syndrome [J]. *J Interv Card Electrophysiol*, 2025, 68(8): 1771–1790.
- [20] Okamura S, Ochi H, Nakashima M, et al. Clinical features of Brugada syndrome patients with SCN5A variants [J]. *J Cardiovasc Electrophysiol*, 2025, 36(6): 1223–1233.
- [21] Narasimhan B, Na J, Monasky MM, et al. Brugada syndrome [J]. *Nat Rev Dis Primers*, 2025, 11(1): 38.

(编辑 孙慧兰)