

基于心脏磁共振成像的急性心肌梗死后心脏整体纵向应变的影响因素分析

刘科¹, 赵依晴¹, 马振岩¹, 阿鑫², 李丽³, 孔维然³, 赵蕾⁴, 张洪博⁴, 张颖¹, 钱赓^{1,5*}

¹解放军总医院第六医学中心心血管病医学部, 北京 100048; ²解放军总医院第二医学中心保健科, 北京 100853;

³解放军联勤保障部队第920医院急诊科、药剂科, 云南昆明 650032; ⁴首都医科大学附属北京安贞医院放射科,

北京 100029; ⁵解放军总医院第一医学中心心血管内科, 北京 100853

[中图分类号] R445.2 [文献标志码] A [DOI] 10.11855/j.issn.0577-7402.0149.2025.0911

[声明] 本文所有作者声明无利益冲突

[引用本文] 刘科, 赵依晴, 马振岩, 等. 基于心脏磁共振成像的急性心肌梗死后心脏整体纵向应变的影响因素分析[J]. 解放军医学杂志, 2025, 50(11): 1382-1389.

[收稿日期] 2025-01-24 [录用日期] 2025-03-26 [上线日期] 2025-09-11

[摘要] **目的** 分析急性ST段抬高型心肌梗死(STEMI)患者基于心脏磁共振成像(CMR)测量的心脏整体纵向应变(GLS)的影响因素。**方法** 回顾性收集2016年6月—2021年9月就诊于解放军总医院第一医学中心确诊的急性STEMI并行经皮冠状动脉介入治疗(PCI)的315例住院患者的临床资料。分析所有患者CMR图像后获得GLS等应变参数, 再根据GLS中位数将患者分为两组, 为平衡性别和年龄差异进行1:1倾向性匹配, 最终纳入206例[GLS>-11.3%组(表示GLS严重受损, $n=103$)与GLS≤-11.3%组($n=103$)]。对比两组患者基线资料、实验室检测指标、冠脉造影相关指标、心电图参数和CMR参数的差异, 分析差异有统计学意义的指标与GLS的相关性; 采用多因素logistic回归和多重逐步线性回归分析GLS受损的相关影响因素。**结果** 与GLS≤-11.3%组比较, GLS>-11.3%组的肌酸激酶同工酶(CK-MB)峰值和肌钙蛋白T(TnT)峰值明显增高($P<0.001$), 罪犯血管为前降支(LAD)的比例增大、为右冠状动脉的比例减小($P<0.001$), QRS波时限较长($P<0.001$)、病理性Q波发生比例增大($P=0.001$)。在CMR参数中, 与GLS≤-11.3%组比较, GLS>-11.3%组的整体周向应变(GCS)、梗死面积(IS)、左心室收缩末期容积(LVESV)更大, 整体径向应变(GRS)、左心室射血分数(LVEF)更低($P<0.001$)。多因素logistic回归分析显示, TnT峰值($OR=1.092$, $P=0.001$)、罪犯血管LAD($OR=3.744$, $P<0.001$)和QRS波时限($OR=1.026$, $P<0.001$)与GLS严重受损相关; 多重逐步线性回归分析结果显示, TnT峰值对数、罪犯血管LAD和QRS波时限开方与GLS值呈线性相关(调整 $R^2=0.301$, $P<0.001$), 自变量可解释30.1%的GLS值变化。**结论** TnT峰值升高、QRS波时限延长、罪犯血管为LAD的STEMI患者心脏GLS受损更严重, 心肌梗死程度更严重, 且左心室功能更差。

[关键词] 急性ST段抬高型心肌梗死; 心脏磁共振成像; 整体纵向应变

Analysis of factors influencing global longitudinal strain based on cardiac magnetic resonance after acute myocardial infarction

Liu Ke¹, Zhao Yi-Qing¹, Ma Zhen-Yan¹, A Xin², Li Li³, Kong Wei-Ran³, Zhao Lei⁴, Zhang Hong-Bo⁴, Zhang Ying¹, Qian Geng^{1,5*}

¹Department of Cardiovascular Diseases, the Sixth Medical Center of Chinese PLA General Hospital, Beijing 100048, China

²Department of Health Care, the Second Medical Center of Chinese PLA General Hospital, Beijing 100853, China

³Department of Emergency and Pharmacy, 920th Hospital of Joint Logistic Support Force, Kunming, Yunnan 650032, China

⁴Department of Radiology, Beijing Anzhen Hospital of Capital Medical University, Beijing 100029, China

⁵Department of Cardiology, the First Medical Center of Chinese PLA General Hospital, Beijing 100853, China

*Corresponding author, E-mail: qiangeng9396@263.net

[基金项目] 中华心血管病发展专项基金心脏健康科研基金项目(Z-2019-42-1908-2)

[作者简介] 刘科, 硕士研究生, 主治医师, 主要从事心脏磁共振成像在心肌梗死预后方面的研究

[通信作者] 钱赓, E-mail: qiangeng9396@263.net

This work was supported by the Project of the Heart Health Research Fund of the Chinese Cardiovascular Disease Development Special Fund (Z-2019-42-1908-2)

[Abstract] Objective To investigate the factors influencing global longitudinal strain (GLS) measured by cardiac magnetic resonance (CMR) in patients with acute ST-segment elevation myocardial infarction (STEMI). **Methods** Clinical data of 315 hospitalized patients diagnosed with acute STEMI who underwent percutaneous coronary intervention (PCI) at the First Medical Center of Chinese PLA General Hospital from June 2016 to September 2021 were retrospectively collected. After analyzing CMR images of all patients, GLS and other strain parameters were obtained, and then the patients were divided into two groups according to the median GLS. In order to balance gender and age differences, 1:1 propensity score matching was performed, and 206 patients were eventually included: GLS>-11.3% group (indicating severe GLS impairment, $n=103$) and GLS \leq -11.3% group ($n=103$). Baseline characteristics, laboratory indicators, coronary angiographic parameters, electrocardiogram (ECG) features, and CMR parameters were compared between the two groups. Variables showing significant differences were analyzed for their correlation with GLS. Multivariate logistic regression and multiple stepwise linear regression analyses were performed to identify factors associated with GLS impairment. **Results** Compared with GLS \leq -11.3% group, GLS>-11.3% group had significantly higher peak levels of creatine kinase-MB (CK-MB) and troponin T (TnT) ($P<0.001$). A higher proportion of patients in GLS>-11.3% group had the left anterior descending artery (LAD) as the culprit vessel, while a lower proportion had the right coronary artery (RCA) as the culprit vessel ($P<0.001$). Additionally, GLS>-11.3% group had longer QRS duration ($P<0.001$) and a higher incidence of pathological Q waves ($P=0.001$). Regarding CMR parameters, GLS>-11.3% group exhibited larger global circumferential strain (GCS), infarct size (IS), and left ventricular end-systolic volume (LVESV), as well as lower global radial strain (GRS) and left ventricular ejection fraction (LVEF) ($P<0.001$). Multivariate logistic regression indicated that peak TnT ($OR=1.092$, $P=0.001$), LAD culprit vessel ($OR=3.744$, $P<0.001$), and QRS duration ($OR=1.026$, $P<0.001$) were significantly associated with severely impaired GLS. Multiple stepwise linear regression analysis showed that the logarithmic value of peak TnT, LAD as the culprit vessel, and the square root of QRS duration were linearly correlated with GLS values (adjusted $R^2=0.301$, $P<0.001$), and these independent variables explained 30.1% of the variation in GLS. **Conclusion** Elevated peak TnT, prolonged QRS duration, and LAD as the culprit vessel are significantly associated with severe GLS impairment in STEMI patients, indicating more severe myocardial infarction and worse left ventricular function.

[Key words] acute ST-segment elevation myocardial infarction; cardiac magnetic resonance; global longitudinal strain

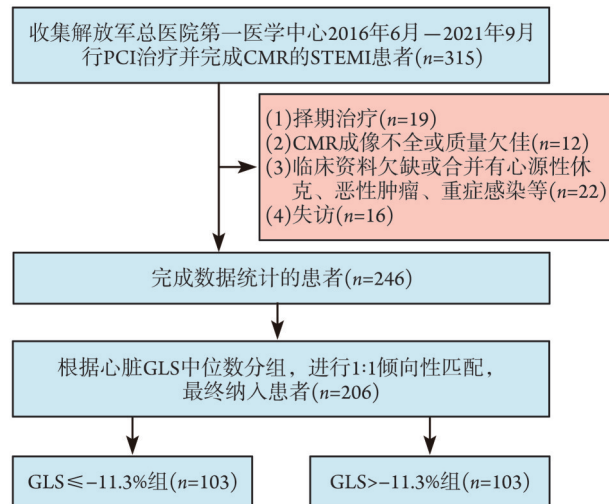
急性心肌梗死(acute myocardial infarction, AMI)后的左心室功能障碍严重程度与不良预后密切相关^[1],因而精准评估左心室功能对临床决策至关重要。整体纵向应变(global longitudinal strain, GLS)指通过测量心内膜下纵向心肌纤维的缩短百分比,为定量评估左心室收缩功能提供了重要指标。近年影像学研究表明, GLS对急性冠脉综合征患者的预后具有显著的预测价值^[2]。目前指南推荐以左心室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)作为心脏收缩功能的主要评估指标^[3-4],但由于其仅反映心室容积变化率,无法全面表征心肌的力学特征,故存在明显的局限性。在某些患者中, LVEF处于正常范围,但心脏的收缩功能和心输出量仍显著降低,这种现象在AMI后尤为突出。近年来,心脏磁共振成像(cardiac magnetic resonance, CMR)凭借其卓越的图像质量和空间分辨率^[5],为精准量化GLS提供了有效手段,从而使早期检测潜在的左心室收缩功能障碍成为可能。相较于LVEF, GLS在反映心脏功能及血流动力学变化方面的准确度更高^[6]。GLS不仅能识别LVEF正常者所存在的潜在收缩功能障碍,还可优化此类患者的风险分层^[7]。对于接受经皮冠状动脉介入治疗(percutaneous coronary intervention, PCI)的急性ST段抬高型心肌梗死(ST-segment elevation

myocardial infarction, STEMI)患者,分析代表左心室收缩功能的GLS的影响因素,对患者的预后和制订后续治疗策略具有重要意义。因此,本研究基于CMR指导下的心肌应变参数,分析PCI术后STEMI患者GLS的相关影响因素,旨在早期简便有效地识别出严重心肌梗死和左心室功能严重受损患者,以指导后续诊疗。

1 资料与方法

1.1 研究对象 本研究为回顾性研究。收集2016年6月—2021年9月在解放军总医院第一医学中心诊断为急性STEMI并完成PCI治疗和CMR采集的315例住院患者的临床资料。纳入标准:(1)年龄>18岁;(2)诊断为急性STEMI^[8-9];(3)急性心肌损伤标志物存在动态改变[至少1次肌钙蛋白T(TnT)升高超过参考值上限第99百分位值];(4)完成PCI治疗,缺血时间<24 h;(5)CMR完成于PCI治疗后3~7d。排除标准:(1)入院前已行溶栓治疗;(2)住院前半年内发生过AMI或行再灌注治疗病史;(3)存在主动脉夹层、肺栓塞、心肌病、心脏瓣膜病等;(4)住院期间合并心源性休克;(5)合并恶性肿瘤、重症感染、肾功能不全(血清谷丙转氨酶值>正常上限值的3倍,血清肌酐值>正常上限值的1.5倍)者;(6)妊娠或哺乳

期。根据GLS中位数将患者分为两组，为平衡性别和年龄差异进行1:1倾向性匹配，最终纳入206例：GLS $>-11.3\%$ 组($n=103$)与GLS $\leq-11.3\%$ 组($n=103$)。患者筛选及分组情况见图1。本研究获得解放军总医院第一医学中心伦理委员会批准(S2021-126-02)。



STEMI. ST段抬高型心肌梗死；PCI. 经皮冠状动脉介入治疗；CMR. 心脏磁共振成像；GLS. 整体纵向应变

图1 STEMI患者筛选及分组流程

Fig.1 Screening and grouping process for STEMI patients

1.2 临床资料的获取 通过解放军总医院病历系统采集所有患者的临床资料：一般情况、既往病史、实验室检查资料、PCI术后心电图(P波时限、QRS波时限、PR间期)和冠脉造影相关资料(病理性Q波^[10]、罪犯血管及病变部位性质、病变血管支数、PCI前后TIMI血流分级等)。

1.3 CMR图像获取和分析 通过解放军总医院信息系统检索STEMI患者的CMR影像资料，均通过3.0T型CMR扫描仪(Intera Achieva, Philips Healthcare)获取，包括覆盖完整心脏周期的高分辨图像和延迟增强图像。在高分辨图像中，采取1个连续短轴切面和3个长轴切面(两腔、三腔和四腔)，利用CVI42 5.11.2软件在CMR图像上对左心室舒缩过程中的心内膜和心外膜进行自动标定和手动校准，以确定心肌边界，三维重建后准确获取左心室舒张末期容积(left ventricular end-diastolic volume, LVEDV)、左心室收缩末期容积(left ventricular end-systolic volume, LVESV)、LVEF。利用特征追踪技术，以心肌特征(如纹理和亮度变化)作为参考点，在连续的CMR图像中追踪这些特征的位置变化，自动计算16节段的峰值应变值，从而得出整体应变值，包括GLS、整体周向应变(global circumferential strain, GCS)和整体径向应变(global radial strain, GRS)。本研究对左心室心肌行16节段分段，即在美国心脏协会AHA的17

分段法^[11]基础上排除心尖部。通过系统随机抽样选择本研究中20例患者，分析应变参数在测试者内和测试者间的稳定性。在延迟增强图像中，梗死区域内对比剂的积聚明显增加，在延迟增强序列上呈现出明显的高信号特征。使用CVI42 5.11.2软件对左心室的连续短轴切面进行自动勾画，同时进行必要的手动校正，精确描绘心内膜与心外膜的边界。手动标记无强化心室壁时，软件会自动识别并高亮显示室壁的延迟强化区域，通过三维重建计算出心肌梗死面积(infarct size, IS)。

1.4 指标分析 分析两组不同GLS分组患者的临床资料(包括基线数据、实验室检测指标、冠脉造影相关指标和心电图参数)的差异，并进一步分析差异有统计学意义的指标与GLS的相关性。通过比较CMR参数(包括GLS、GCS、GRS、EDV、ESV、IS、LVEF)在两组间的差异，分析心肌梗死后GLS分组间的心脏功能学差异。

1.5 统计学处理 采用SPSS 26.0统计软件进行统计分析。计量资料中呈正态分布的组间比较采用t检验，非正态分布者采用Mann-Whitney U检验，均以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示；计数资料以例(%)表示，组间比较采用 χ^2 检验或Fisher精确检验。采用Bland-Altman一致性分析，获得应变参数在测试者内和测试者间的稳定性。采用Spearman方法分析计量资料与GLS的相关性，采用Kendall's tau-b方法分析计数资料与GLS的相关性。采用单因素和多因素logistic回归和多重逐步线性回归分析GLS的相关影响因素。均为双侧检验， $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 倾向性匹配前后STEMI患者的基线资料比较 倾向性匹配前，GLS $>-11.3\%$ 组与GLS $\leq-11.3\%$ 组间在性别、心率、收缩压、入院用药ACEI/ARB和 β 受体阻滞剂应用方面的差异有统计学意义($P<0.05$)，其余指标的差异无统计学意义($P>0.05$)。倾向性匹配后，除了GLS $>-11.3\%$ 组患者在入院用药ACEI/ARB($P=0.024$)和 β 受体阻滞剂($P=0.05$)方面的比例仍高于GLS $\leq-11.3\%$ 组之外，两组间在性别、年龄、BMI、吸烟、心率、收缩压、舒张压、心功能分级、缺血时间、心血管相关既往病史等方面的差异均无统计学意义($P>0.05$)(表1)。

2.2 两组临床指标和CMR参数比较 两组临床指标比较结果如下：(1)实验室检测指标，GLS $>-11.3\%$ 组的肌酸激酶同工酶(CK-MB)峰值和TnT峰值均明显高于GLS $\leq-11.3\%$ 组($P<0.001$)，血红蛋白、白细胞、红细胞、血小板、血肌酐、谷丙转氨酶、谷草转氨酶、总胆红素、直接胆红素、空腹血糖、脑钠

表1 倾向性匹配前后STEMI患者的基线资料

Tab.1 Baseline data of STEMI patients before and after propensity score matching

项目	匹配前			匹配后		
	GLS≤-11.3%组 (n=122)	GLS>-11.3%组 (n=124)	P	GLS≤-11.3%组 (n=103)	GLS>-11.3%组 (n=103)	P
性别[例(%)]			0.001			1.000
男	98(80.3)	117(94.4)		96(93.2)	96(93.2)	
女	24(19.7)	7(5.6)		7(6.8)	7(6.8)	
年龄[岁, M(Q ₁ , Q ₃)]	55(48, 64)	57(48, 63)	0.546	54(48, 64)	56(47, 63)	0.807
BMI[kg/m ² , M(Q ₁ , Q ₃)]	25.4(23.6, 27.7)	25.4(23.6, 27.7)	0.719	25.4(23.8, 28.0)	25.6(24.2, 27.8)	0.607
吸烟[例(%)]	58(47.5)	63(50.8)	0.608	55(53.4)	53(51.5)	0.780
心率[次/min, M(Q ₁ , Q ₃)]	76(66, 85)	80(72, 90)	0.016	76(66, 87)	79(72, 88)	0.089
收缩压[mmHg, M(Q ₁ , Q ₃)]	121(103, 138)	127(112, 142)	0.043	121(103, 140)	127(112, 140)	0.166
舒张压[mmHg, M(Q ₁ , Q ₃)]	74(63, 87)	76(67, 87)	0.115	75(65, 89)	76(68, 87)	0.503
心功能分级[例(%)]			0.141			0.228
1	112(91.8)	104(83.9)		94(91.3)	86(83.5)	
2	8(6.6)	14(11.3)		7(6.8)	12(11.6)	
3	2(1.6)	6(4.8)		2(1.9)	5(4.9)	
缺血时间[h, M(Q ₁ , Q ₃)]	5(3, 8)	5(4, 9)	0.337	5(3, 8)	5(4, 9)	0.250
既往史[例(%)]						
高血压	62(50.8)	55(44.4)	0.310	52(50.5)	44(42.7)	0.264
糖尿病	21(17.2)	31(25.0)	0.135	17(16.5)	26(25.2)	0.123
高脂血症	23(18.9)	30(24.2)	0.308	19(18.4)	28(27.2)	0.135
PCI史	4(3.3)	8(6.5)	0.248	4(3.9)	7(6.8)	0.353
用药情况[例(%)]						
ACEI/ARB	41(33.6)	58(46.8)	0.035	36(35.0)	52(50.5)	<0.05
β受体阻滞剂	91(74.6)	107(86.3)	0.021	78(75.7)	89(86.4)	0.050
ARNI	2(1.6)	3(2.4)	0.665	2(1.9)	3(2.9)	0.651
SGLT2i	6(4.9)	2(1.6)	0.144	5(4.9)	1(1.0)	0.097
螺内酯	18(14.8)	21(16.9)	0.640	17(16.5)	17(16.5)	1.000

STEMI. 急性ST段抬高型心肌梗死; GLS. 整体纵向应变; PCI. 经皮冠状动脉介入治疗; BMI. 体重指数; ACEI. 血管紧张素转换酶抑制剂; ARB. 血管紧张素受体拮抗剂; ARNI. 血管紧张素受体脑啡肽酶抑制剂; SGLT2i. 钠葡萄糖共转运蛋白抑制剂

肽(brain natriuretic peptide, BNP)、低密度脂蛋白、甘油三酯、总胆固醇等指标差异均无统计学意义($P>0.05$); (2)心电图指标, 与GLS≤-11.3%组比较, GLS>-11.3%组的QRS波时限延长($P<0.001$), 出现病理性Q波的比例较高($P<0.001$); (3)冠脉造影指标,

罪犯血管为前降支(LAD)的比例较大、为右冠状动脉的比例较小($P<0.001$)。CMR参数中, 与GLS≤-11.3%组比较, GLS>-11.3%组的GCS、IS、LVESV较大, GRS、LVEF较小($P<0.001$), 而LVEDV差异无统计学意义($P=0.443$)(表2)。

表2 两组STEMI患者临床指标和CMR参数比较

Tab.2 Comparison of clinical data and CMR parameters of STEMI patients between the two groups

项目	总体(n=206)	GLS≤-11.3%组(n=103)	GLS>-11.3%组(n=103)	P
临床指标				
实验室检测指标				
CK-MB峰值[ng/ml, M(Q ₁ , Q ₃)]	176(93, 298)	139(76, 229)	247(120, 368)	<0.001
TnT峰值[ng/ml, M(Q ₁ , Q ₃)]	4.74(2.32, 9.27)	3.38(1.78, 6.50)	6.25(3.59, 13.58)	<0.001
血红蛋白[g/L, M(Q ₁ , Q ₃)]	150(140, 158)	150(142, 158)	150(138, 159)	0.138
白细胞[×10 ⁹ /L, M(Q ₁ , Q ₃)]	10.6(8.9, 12.7)	10.3(8.8, 12.5)	10.8(9.0, 13.2)	0.171
红细胞[×10 ¹² /L, M(Q ₁ , Q ₃)]	4.75(4.38, 5.07)	4.69(4.30, 5.05)	4.77(4.49, 5.10)	0.332
血小板[×10 ⁹ /L, M(Q ₁ , Q ₃)]	215(188, 253)	225(189, 257)	208(186, 253)	0.938

(续表)

项目	总体(n=206)	GLS≤-11.3%组(n=103)	GLS>-11.3%组(n=103)	P
血肌酐[μmol/L, M(Q ₁ , Q ₃)]	73.0(64.2, 84.7)	72.5(63.2, 87.0)	73.7(65.7, 81.6)	0.311
谷丙转氨酶[U/L, M(Q ₁ , Q ₃)]	33(20.6, 51.3)	30.4(19.5, 45.2)	36.2(22.6, 52.6)	0.193
谷草转氨酶[U/L, M(Q ₁ , Q ₃)]	69.8(26.3, 191.4)	63.8(25.2, 136.5)	86.6(27.4, 216.7)	0.295
总胆红素[μmol/L, M(Q ₁ , Q ₃)]	10.9(8.2, 14.3)	11.0(7.9, 13.9)	10.8(8.3, 14.8)	0.651
直接胆红素[μmol/L, M(Q ₁ , Q ₃)]	3.0(2.2, 3.8)	2.9(2.0, 3.6)	3.1(2.4, 3.9)	0.254
空腹血糖[mmol/L, M(Q ₁ , Q ₃)]	7.2(6.2, 9.0)	7.0(6.1, 9.0)	7.6(6.3, 9.0)	0.106
BNP[ng/L, M(Q ₁ , Q ₃)]	218(85, 856)	173(89, 568)	240(81, 1168)	0.070
低密度脂蛋白[mmol/L, M(Q ₁ , Q ₃)]	3.13(2.39, 3.64)	3.06(2.33, 3.63)	3.03(2.42, 3.64)	0.946
甘油三酯[mmol/L, M(Q ₁ , Q ₃)]	1.20(0.78, 1.56)	1.21(0.79, 1.63)	1.20(0.78, 1.55)	0.828
总胆固醇[mmol/L, M(Q ₁ , Q ₃)]	4.44(3.65, 5.15)	4.42(3.67, 5.27)	4.46(3.58, 5.12)	0.805
心电图				
P波时限[ms, M(Q ₁ , Q ₃)]	90(80, 100)	90(80, 100)	90(90, 100)	0.218
QRS波时限[ms, M(Q ₁ , Q ₃)]	92(86, 102)	90(84, 98)	94(88, 104)	<0.001
PR间期[ms, M(Q ₁ , Q ₃)]	156(144, 172)	156(146, 170)	156(142, 172)	0.903
病理性Q波[例(%)]	140(68.0)	59(57.3)	81(78.6)	0.001
冠脉造影				
罪犯血管[例(%)]				<0.001
LAD	101(49.0)	34(33.0)	67(65.0)	
RCA	78(37.9)	53(51.5)	25(24.3)	
LCX	27(13.1)	16(15.5)	11(10.7)	
病变血管支数[例(%)]				0.080
1	100(48.5)	43(41.7)	57(55.3)	
2	55(26.7)	34(33.0)	21(20.4)	
3	51(24.8)	26(25.3)	25(24.3)	
术前TIMI[例(%)]				0.171
0	158(76.6)	76(73.8)	82(79.6)	
1	12(5.8)	7(6.8)	5(4.9)	
2	18(8.8)	13(12.6)	5(4.9)	
3	18(8.8)	7(6.8)	11(10.6)	
术后TIMI[例(%)]				0.089
1	2(1.0)	0	2(1.9)	
2	6(2.9)	1(1.0)	3(4.9)	
3	198(96.1)	102(99.0)	96(93.2)	
CMR参数[% , M(Q ₁ , Q ₃)]				
GLS	-1.3(-13.5, -9.5)	-13.5(-15.0, -12.4)	-9.5(-10.3, -8.2)	<0.001
GCS	-13.7(-16.1, -11.9)	-15.5(-17.6, -13.3)	-12.2(-14.0, -10.7)	<0.001
GRS	21.3(17.5, 25.6)	25.0(20.2, 29.5)	18.2(15.2, 22.4)	<0.001
LVEDV	147(124, 173)	147(126, 164)	148(121, 179)	0.443
LVESV	73.9(58.6, 94.0)	66.7(54.4, 86.0)	80.2(66.7, 101.9)	<0.001
IS	21.5(13.3, 31.6)	18.3(11.5, 27.1)	27.3(16.7, 36.4)	<0.001
LVEF	48.2(42.6, 55.0)	52.1(47.0, 57.4)	44.0(38.0, 49.9)	<0.001

STEMI. 急性ST段抬高型心肌梗死; CMR. 心脏磁共振成像; BNP. 脑钠肽; LAD. 前降支; RCA. 右冠状动脉; LCX. 左回旋支; TIMI. 心肌梗死溶栓; GLS. 整体纵向应变; GCS. 整体周向应变; GRS. 整体径向应变; LVEDV. 左心室舒张期末容积; LVESV. 左心室收缩期末容积; IS. 梗死面积; LVEF. 左心室射血分数

2.3 CMR应变参数的一致性分析 Bland-Altman一致性分析显示, 应变参数在测试者内和测试者间的一致性良好, 95%的差值落在一致性界限内, 其中

GLS差异值的平均值和一致性界限明显小于GCS和GRS。GLS的测试者内和测试者间差值均值分别为0.093和0.088, 标准差分别为0.762和0.729, 一致性

好；GCS的差值均值和标准差明显高于测试者间，GRS变异最大(表3)。

2.4 临床相关指标和CMR参数与GLS的相关性分析 TnT峰值($r=0.418$)、CK-MB峰值($r=0.330$)、QRS波时限($r=0.177$)、GCS($r=0.624$)、IS($r=0.327$)和LVESV($r=0.375$)、罪犯血管LAD($r=0.290$)、病理性Q波($r=0.222$)与GLS均呈正相关，GRS($r=-0.637$)和LVEF($r=-0.565$)与GLS呈负相关($P<0.001$)；LVEDV与GLS

无明显相关性($r=0.089$, $P=0.204$)。

2.5 临床相关指标与GLS严重受损的logistic回归分析 单因素logistic回归分析结果显示，TnT峰值、CK-MB峰值、罪犯血管LAD、QRS波时限和病理性Q波均与GLS明显相关($P<0.05$)。多因素logistic回归分析结果显示，TnT峰值($P=0.001$)、罪犯血管LAD($P<0.001$)和QRS波时限($P=0.039$)与GLS严重受损($GLS>-11.3%$)独立相关(表4)。

表3 STEMI患者应变参数测量的Bland-Altman一致性分析

Tab.3 Bland-Altman consistency analysis of strain parameter measurement

项目	测试者内			测试者间		
	差值均值	差值标准差	95%一致性界限	差值均值	差值标准差	95%一致性界限
心脏GLS	0.093	0.762	-1.402~1.582	0.088	0.729	-1.341~1.516
心脏GCS	-0.306	1.165	-2.589~1.978	0.095	1.571	-2.985~3.174
心脏GRS	0.680	2.434	-4.090~5.450	0.525	3.245	-6.886~5.836

STEMI.急性ST段抬高型心肌梗死；GLS.整体纵向应变；GCS.整体周向应变；GRS.整体径向应变

表4 STEMI患者临床相关指标与心脏GLS严重受损的logistic回归分析

Tab.4 Logistic regression analysis of clinically relevant indicators and severely impaired GLS

变量	单因素logistic回归分析		多因素logistic回归分析	
	OR(95%CI)	P	OR(95%CI)	P
TnT峰值	1.106(1.052~1.163)	<0.001	1.092(1.039~1.148)	0.001
CK-MB峰值	1.003(1.001~1.005)	0.001		
罪犯血管LAD	3.943(2.210~7.033)	<0.001	3.744(1.996~7.022)	<0.001
QRS波时限	1.030(1.008~1.053)	0.007	1.026(1.001~1.052)	0.039
病理性Q波	2.928(1.560~5.496)	0.001		

STEMI.急性ST段抬高型心肌梗死；GLS.整体纵向应变；TnT.肌钙蛋白T；CK-MB.肌酸激酶同工酶；LAD.前降支

2.6 临床相关指标与GLS的线性回归分析 单因素线性回归分析发现，CK-MB峰值开方、TnT峰值对数、罪犯血管LAD、QRS波时限开方和病理性Q波与GLS均呈线性相关($P<0.01$)。采用多重逐步线性回归分析以上指标与GLS值的线性关系，由于TnT峰值对数和CK-MB峰值开方存在共线性，将两个指标分别纳入进行多重逐步线性回归。模型1的3个自变量(TnT峰值对数、罪犯血管LAD和QRS波时限开方)与GLS存在线性关系(常量-19.091%， $R=0.558$ ，调整 $R^2=0.301$, $P<0.001$)，自变量能够解释30.1%的因变量变化。模型2纳入的4个自变量(CK-MB峰值开方、罪犯血管LAD、QRS波时限开方和病理性Q波)与GLS存在线性关系(常量-21.13%， $R=0.508$ ，调整 $R^2=0.243$, $P<0.001$)，自变量能够解释24.3%的因变量变化。其中模型1对因变量GLS值的解释程度更好(表5)。

表5 STEMI患者临床相关指标与心脏GLS的多重逐步线性回归分析

Tab.5 Multivariate linear regression analysis of clinically relevant indicators and GLS

模型	相关变量	β	SE	β	P	VIF	容差
模型1	TnT峰值对数	2.014	0.329	0.372	<0.001	1.048	0.954
	罪犯血管LAD	1.658	0.322	0.309	<0.001	1.023	0.978
	QRS波时限开方	0.558	0.236	0.143	0.019	1.044	0.958
模型2	CK-MB峰值开方	0.088	0.032	0.182	0.006	1.130	0.885
	罪犯血管LAD	1.604	0.338	0.299	<0.001	1.043	0.959
	QRS波时限开方	0.719	0.243	0.185	0.003	1.018	0.982
	病理性Q波	0.972	0.380	0.168	0.011	1.134	0.882

STEMI.急性ST段抬高型心肌梗死；GLS.整体纵向应变； β .未标准化系数；SE.标准误； β .标准化系数；VIF.方差膨胀因子；TnT.肌钙蛋白T；LAD.左前降支；CK-MB.肌酸激酶同工酶

3 讨论

应变参数GLS反映心肌纵向变形，受仪器品牌和技术层面的影响较GCS和GRS小^[12]，是评估心肌

梗死严重程度的有效指标，在预后评估中具有重要价值^[13]。本研究GLS的中位数为-11.3%，明显低于人群正常范围下限^[14]，提示心肌梗死患者的GLS明显受损，与Erley等^[15]的研究结果一致。本研究通过

GLS中位数分组分析GLS的影响因素,发现GLS受损严重组($GLS > -11.3\%$)IS较大、LVESV较高、LVEF较低,且CK-MB峰值、TnT峰值、QRS波时限、出现病理性Q波的比例和罪犯血管为LAD的比例均明显高于 $GLS \leq -11.3\%$ 组,这些因素与GLS具有相关性,揭示了GLS在识别高风险患者中的价值。多因素分析发现,TnT峰值升高、罪犯血管为LAD和QRS波时限延长与GLS严重受损($GLS > -11.3\%$)明显相关,以这3个指标建立的GLS预测模型1的预测价值较高。

对发生AMI患者进行左心室收缩功能障碍的评估还主要依赖传统成像技术,而在最佳药物治疗和血运重建后,患者心肌功能的恢复通常在后续随访中得到证实^[16],其中实验室指标(如心肌损伤标志物)和心电图常用于心肌损伤的诊断。BNP被认为是评估左心室功能的金标准,BNP水平升高通常与左心室收缩功能下降有关,尤其在AMI中,BNP水平升高与心肌损伤程度及左心室收缩功能障碍高度相关^[17-18]。综合检测TnT、CK-MB和BNP,可更全面地评估心肌损伤程度及其对左心室功能的影响。本研究两组间心肌损伤标志物(CK-MB峰值和TnT峰值)存在差异,进一步提示了GLS受损和左心室收缩功能下降的严重程度。CK-MB峰值和TnT峰值均明显升高时,应警惕左心室收缩功能严重受损的风险;两组间BNP值差异无统计学意义,这可能与AMI后心功能下降时BNP的敏感性较差,或者排除了心功能较差的人群有关。目前,仅有心力衰竭指南将BNP纳入了常规检查项目^[19-20],主要用于慢性心力衰竭的筛查及病情严重程度和预后的评估,BNP在AMI患者心功能评估中的作用尚需进一步研究。

本研究发现,与 $GLS \leq -11.3\%$ 组比较,PCI术后 $GLS > -11.3\%$ 组的QRS波时限较长、病理性Q波发生比例较大($P < 0.05$)。QRS波时限是心室除极时间,病理性Q波代表心肌梗死后无法去极化的区域,两者均与心室功能密切相关,因而与GLS也相关。病理性Q波可反映心肌梗死和左心室功能的严重程度,有研究发现,病理性Q波与IS大小关系密切,存在病理性Q波的患者IS较大且LVEF较低,病理性Q波消退与LVEF在2年内明显改善相关^[21]。在冠脉造影相关指标中,LAD负责为左心室的前壁及中隔提供血液供应,其狭窄或阻塞可导致前壁心肌梗死,明显影响左心室功能^[22]。本研究中 $GLS > -11.3\%$ 组的罪犯血管为LAD的患者比例高于 $GLS \leq -11.3\%$ 组($P < 0.001$),提示罪犯血管为LAD时,GLS明显降低的比例更高,进一步证实LAD对纵向应变的影响较大。

在对AMI患者的长期预后评估中,CMR测量的GLS具有显著的预测价值。既往研究表明,心肌梗

死后GLS的数值越高,心肌损伤程度越重,预后越差^[23]。本研究发现, $GLS > -11.3\%$ 的患者具有更大的IS和更低的LVEF,与上述结论一致,表明该组患者心肌梗死程度更重、心功能更差。因此,两组患者在入院时药物治疗方案的差异亦在预料之中。尽管不同研究对GLS的阈值及其预测能力存在不同看法,Reindl等^[24]提出的GLS预测心血管不良事件的最佳临界值为 -11.3% ,与本研究GLS的中位数相同,该研究发现大于该临界值的患者预后更差。即使在LVEF轻度下降的患者中,GLS的恶化也预示着更高的心血管事件风险^[25]。有研究建议在常规的LVEF评估中加入GLS测量,以期全面评估左心室功能^[26],强调了GLS作为左心室功能评估的重要指标。一项多中心研究证实,GLS测量在心肌梗死后具有较高的可重复性和预测价值,特别是当与其他CMR参数结合时,其预后能力显著增强^[27]。我们分析GLS与其他CMR指标之间的相关性时发现,除LVEDV外,其他CMR参数均与GLS存在显著相关性。心肌梗死时,IS的大小显著影响GLS,此时心脏纵向、周向和轴向的心肌应变绝对值均受到损害,导致LVESV显著增加,LVEF显著降低。LVESV在两组间的显著差异($P < 0.001$)进一步反映了GLS与左心室收缩功能的关联。

本研究采用多因素logistic回归分析发现,TnT峰值、罪犯血管LAD和QRS波时限与GLS严重受损独立相关,通过多重逐步线性回归构建了预测GLS的两个模型。模型1的3个变量为TnT峰值对数、罪犯血管LAD和QRS波时限开方,回归模型具有统计学意义($P < 0.001$),提示以上3个变量与GLS值呈线性相关,调整 R^2 值显示自变量能够解释30.1%的GLS值变化。模型2纳入CK-MB峰值开方、罪犯血管LAD、QRS波时限开方和病理性Q波4个自变量,回归模型也具有统计学意义($P < 0.001$),该模型的结果提示以上4个变量与GLS值呈线性相关,调整 R^2 值显示自变量能够解释24.3%的GLS值变化。相比于模型2,模型1对GLS的解释程度更好,纳入的指标更少,且与多因素logistic回归的变量同步,因此,临床上可考虑应用模型1的指标对GLS值进行评估,从而反映STEMI患者再灌注后不良预后的风险。但是,目前暂未发现GLS相关影响因素的研究,其适用性仍需进一步研究加以验证。

综上所述,本研究发现,TnT峰值升高、QRS波时限延长和罪犯血管为LAD与STEMI患者GLS严重受损明显相关,提示患者的心肌梗死更严重、左心室功能更差,为早期简便有效识别严重心肌梗死提供了重要的参考模型。但本研究也存在一定局限性:(1)单中心回顾性分析的样本选择可能存在偏

倚, 其发现仍需进行外部验证; (2) 尽管分析了多种变量与 GLS 的相关性, 但对于可能影响 GLS 的其他因素, 如心肌纤维化程度和血流动力学状态等未进行充分评估, 这些因素也可能在心血管事件的发生中发挥重要作用。未来可进一步进行多中心、大样本的前瞻性研究, 以更全面地分析和验证 GLS 的相关影响因素及其在 STEMI 预后中的价值。

【参考文献】

- [1] Udell JA, Petrie MC, Jones WS, *et al.* Left ventricular function, congestion, and effect of empagliflozin on heart failure risk after myocardial infarction[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2024, 83(23): 2233-2246.
- [2] Janwetchasil P, Yindeengam A, Krittayaphong R. Prognostic value of global longitudinal strain in patients with preserved left ventricular systolic function: a cardiac magnetic resonance real-world study[J]. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2024, 26(2): 101057.
- [3] Ibanez B, James S, Agewall S, *et al.* 2017 ESC guidelines for the management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation: the task force for the management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation of the European Society of Cardiology (ESC) [J]. *Eur Heart J*, 2018, 39(2): 119-177.
- [4] Konstam MA, Abboud FM. Ejection fraction: misunderstood and overrated (changing the paradigm in categorizing heart failure) [J]. *Circulation*, 2017, 135(8): 717-719.
- [5] Azarine A, Scalbert F, Garcon P. Cardiac functional imaging[J]. *Presse Med*, 2022, 51(2): 104119.
- [6] Park JJ, Park JB, Park JH, *et al.* Global longitudinal strain to predict mortality in patients with acute heart failure[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2018, 71(18): 1947-1957.
- [7] Halliday BP, Senior R, Pennell DJ. Assessing left ventricular systolic function: from ejection fraction to strain analysis[J]. *Eur Heart J*, 2021, 42(7): 789-797.
- [8] Thygesen K, Alpert JS, Jaffe AS, *et al.* Fourth universal definition of myocardial infarction (2018) [J]. *Eur Heart J*, 2019, 40(3): 237-269.
- [9] 中华医学会心血管病学分会, 中华心血管病杂志编辑委员会. 急性 ST 段抬高型心肌梗死诊断和治疗指南(2019) [J]. *中华心血管病杂志*, 2019, 47(10): 766-783.
- [10] Thygesen K, Alpert JS, White HD, *et al.* Universal definition of myocardial infarction [J]. *Circulation*, 2007, 116(22): 2634-2653.
- [11] Cerqueira MD, Weissman NJ, Dilsizian V, *et al.* Standardized myocardial segmentation and nomenclature for tomographic imaging of the heart. A statement for healthcare professionals from the Cardiac Imaging Committee of the Council on Clinical Cardiology of the American Heart Association [J]. *Circulation*, 2002, 105(4): 539-542.
- [12] Amzulescu MS, de Craene M, Langet H, *et al.* Myocardial strain imaging: review of general principles, validation, and sources of discrepancies [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2019, 20(6): 605-619.
- [13] Chadalavada S, Fung K, Rauseo E, *et al.* Myocardial strain measured by cardiac magnetic resonance predicts cardiovascular morbidity and death [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2024, 84(7): 648-659.
- [14] Voges I, Negwer I, Caliebe A, *et al.* Myocardial deformation in the pediatric age group: normal values for strain and strain rate using 2D magnetic resonance feature tracking [J]. *J Magn Reson Imaging*, 2022, 56(5): 1382-1392.
- [15] Erley J, Starekova J, Sinn M, *et al.* Cardiac magnetic resonance feature tracking global and segmental strain in acute and chronic ST-elevation myocardial infarction [J]. *Sci Rep*, 2022, 12(1): 22644.
- [16] Tang WHW, Zheng W. Natriuretic peptide guidance for post-myocardial infarction care: an opportunity to prevent heart failure progression [J]. *Circ Heart Fail*, 2023, 16(5): e010540.
- [17] Olivier A, Girerd N, Michel JB, *et al.* Combined baseline and one-month changes in big endothelin-1 and brain natriuretic peptide plasma concentrations predict clinical outcomes in patients with left ventricular dysfunction after acute myocardial infarction: Insights from the Eplerenone Post-Acute Myocardial Infarction Heart Failure Efficacy and Survival Study (EPHESUS) study [J]. *Int J Cardiol*, 2017, 241: 344-350.
- [18] Bahit MC, Kochar A, Granger CB. Post-myocardial infarction heart failure [J]. *JACC Heart Fail*, 2018, 6(3): 179-186.
- [19] 中华医学会心血管病学分会, 中国医师协会心血管内科医师分会, 中国医师协会心力衰竭专业委员会, 等. 中国心力衰竭诊断和治疗指南 2024 [J]. *中华心血管病杂志*, 2024, 52(3): 235-275.
- [20] Heidenreich PA, Bozkurt B, Aguilar D, *et al.* 2022 AHA/ACC/HFSA guideline for the management of heart failure: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on clinical practice guidelines [J]. *Circulation*, 2022, 145(18): e895-e1032.
- [21] Delewi R, Ijff G, van de Hoef TP, *et al.* Pathological Q waves in myocardial infarction in patients treated by primary PCI [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2013, 6(3): 324-331.
- [22] Bansal K, Gore M, Afzal M, *et al.* Anterior myocardial infarction [M]. *Treasure Island (FL): StatPearls Publishing*, 2025.
- [23] Holzknrecht M, Reindl M, Tiller C, *et al.* Global longitudinal strain improves risk assessment after ST-segment elevation myocardial infarction: a comparative prognostic evaluation of left ventricular functional parameters [J]. *Clin Res Cardiol*, 2021, 110(10): 1599-1611.
- [24] Reindl M, Tiller C, Holzknrecht M, *et al.* Prognostic implications of global longitudinal strain by feature-tracking cardiac magnetic resonance in ST-elevation myocardial infarction [J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2019, 12(11): e009404.
- [25] Caunite L, Myagmardorj R, Galloo X, *et al.* Prognostic value of follow-up measures of left ventricular global longitudinal strain in patients with ST-segment elevation myocardial infarction [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2024, 37(7): 666-673.
- [26] Potter E, Marwick TH. Assessment of left ventricular function by echocardiography: the case for routinely adding global longitudinal strain to ejection fraction [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2018, 11(2 Pt 1): 260-274.
- [27] Subramanian V, Keshvani N, Segar MW, *et al.* Association of global longitudinal strain by feature tracking cardiac magnetic resonance imaging with adverse outcomes among community-dwelling adults without cardiovascular disease: The Dallas Heart Study [J]. *Eur J Heart Fail*, 2024, 26(2): 208-215.

(责任编辑: 张小利)