

· 临床研究 ·

基于超声影像组学和临床特征的列线图预测心肌梗死后左室壁瘤患者预后的临床价值

李天娇 刘 磊 罗成林 侯 庆 叶 茂

摘 要 **目的** 基于超声影像组学特征和临床特征构建列线图模型,探讨其预测急性心肌梗死后左室壁瘤(PI-LVA)患者远期预后的临床应用价值。**方法** 选取在我院心血管中心住院治疗的 PI-LVA 患者 153 例,根据随访 24、36、60 个月是否出现终点事件(心源性死亡)分为事件组 38 例和非事件组 115 例,比较两组一般资料和超声检查结果的差异。采用多因素 Cox 回归分析筛选与 PI-LVA 患者远期预后相关的影响因素。采集患者心尖四腔心切面收缩期且包含完整室壁瘤的图像,使用 ITK-SNAP 软件进行分割并获取感兴趣区,Pyradiomics 软件包提取超声影像组学特征,并采用最小绝对收缩和选择算子(LASSO)回归筛选对诊断有利的特征子集及对应非零系数。基于超声影像组学特征及多因素 Cox 回归分析筛选的影响因素构建预测模型并绘制列线图,绘制受试者工作特征(ROC)曲线、校准曲线、决策曲线分别评估列线图模型预测 PI-LVA 患者随访 24、36、60 个月出现终点事件的区分度、校准度及临床适用性。**结果** 事件组与非事件组左室射血分数(LVEF)<35%、右冠状动脉重度狭窄占比及 Tp-Te 间期比较差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。多因素 Cox 回归分析显示,LVEF<35%、右冠状动脉重度狭窄、Tp-Te 间期均为与 PI-LVA 患者远期预后相关的影响因素(均 $P<0.05$)。共提取 107 个超声影像组学特征,经 LASSO 回归分析筛选出 3 个显著性特征。基于 LVEF<35%、右冠状动脉重度狭窄、Tp-Te 间期及超声影像组学特征构建预测模型,并绘制列线图可视化。ROC 曲线分析显示列线图模型预测 PI-LVA 患者随访 24、36、60 个月出现终点事件的曲线下面积分别为 0.850、0.831、0.898;校准曲线显示列线图模型预测概率与实际概率的一致性良好;决策曲线显示列线图模型具有较好的临床适用性。**结论** 基于超声影像组学特征和临床特征构建的列线图模型可有效预测 PI-LVA 患者远期预后,具有较好的临床应用价值。

关键词 超声影像组学;心肌梗死,急性;左室壁瘤;预后;列线图

[中图分类号]R540.45

[文献标识码]A

Clinical value of a nomogram based on ultrasonic radiomics and clinical characteristics for predicting the prognosis of patients with left ventricular aneurysm after myocardial infarction

LI Tianjiao, LIU Lei, LUO Chenglin, HOU Qing, YE Mao

Department of Ultrasound Medicine, Suining Central Hospital, Sichuan 629000, China

ABSTRACT **Objective** To construct a nomogram model based on ultrasonic radiomics and clinical characteristics, and to explore its clinical application value in predicting the long-term prognosis of patients with left ventricular aneurysm after acute myocardial infarction(PI-LVA). **Methods** A total of 153 patients with PI-LVA from the cardiovascular centre of Suining Central Hospital were selected. They were divided into event group (38 cases) and non-event group (115 cases) according to the followed up with the endpoint event of cardiac death at 24th, 36th, 60th months, and the differences in general data and ultrasonographic results were compared. Multifactorial Cox regression analysis was used to screen the influencing factors related to the long-term prognosis of patients with PI-LVA. Images of ventricular wall tumour from the apical of four-chamber cardiac sections were captured, regions of interest were segmented and acquired by ITK-SNAP software, and ultrasonic radiomics

基金项目:四川省科技厅重点研发项目(2019YFS0345)

作者单位:629000 四川省遂宁市中心医院超声医学科(李天娇、罗成林、侯庆),心血管中心(刘磊、叶茂)

通讯作者:叶茂, Email:28379565@qq.com

features were extracted by Pyradiomics, the feature subset and corresponding non-zero coefficients were screened by least absolute systolic and selection operator (LASSO) regression. The prediction model was constructed and plotted as a nomogram based on the ultrasonic radiomics and influencing factors screened by multifactorial Cox regression analysis, and the differentiation of the model for predicting the endpoint event at 24th, 36th, 60th months in patients with PI-LVA was analyzed by receiver operating characteristic (ROC) curve. The calibration curve and decision curve were applied to assess the calibration degree and clinical applicability of the model. **Results** There were statistical significance in proportion of left ventricular ejection fraction (LVEF) < 35%, severe right coronary artery stenosis and Tp-Te interval between event and non-event groups (all $P < 0.05$). Multifactorial Cox regression analysis showed that LVEF < 35%, severe right coronary artery stenosis and Tp-Te interval were independent influencing factors on the long-term prognosis of patients with PI-LVA. A total of 107 ultrasonic radiomics features were extracted, three significant features were screened and selected by LASSO regression analysis. A prediction model was constructed based on LVEF < 35%, severe right coronary artery stenosis, Tp-Te interval and ultrasonic radiomics features, then a nomogram was plotted for visualisation. ROC curve analysis showed that the area under the curve of nomogram model for predicting the endpoint event at 24th, 36th, 60th months in patients with PI-LVA were 0.850, 0.831 and 0.898, respectively. Calibration curve showed that the predicted probability was consistent with the actual probability, and decision curve analysis showed that the nomogram had good clinical applicability. **Conclusion** The nomogram model based on ultrasonic radiomics and clinical characteristics can effectively predict the long-term prognosis of patients with PI-LVA, and has good clinical application value.

KEY WORDS Ultrasonic radiomics; Myocardial infarction, acute; Left ventricular aneurysm; Prognosis; Nomogram

左室壁瘤 (left ventricular aneurysm, LVA) 是急性心肌梗死 (acute myocardial infarction, AMI) 的机械并发症之一^[1], 好发于心尖部, 既往研究^[2]表明左前降支完全闭塞或近端狭窄是导致 AMI 后 LVA (post-infarction left ventricular aneurysm, PI-LVA) 形成的主要高危因素。随着溶栓治疗与经皮冠状动脉介入 (percutaneous coronary intervention, PCI) 的普及, PI-LVA 的发生率由 5%~15% 降至 3%~5%^[2-3], 但 PI-LVA 患者心室重塑严重, 充血性心力衰竭、室性心律失常、血栓栓塞、心脏破裂等不良心血管事件的发生率显著增高^[1], 远期死亡率较单纯 AMI 升高约 6 倍^[4-6]。超声心动图是临床诊断 PI-LVA 的主要手段, 其可以发现 LVA 已失去收缩功能的囊袋状室壁瘢痕区域与左室连接相通, 室壁反常运动是其特征性表现^[7-8]。研究^[2]显示, 左室射血分数 (LVEF) 和室壁运动评分对 AMI 的风险分层具有指导意义, 但针对 PI-LVA 亚组分析的研究目前较少见。近年来, 基于超声影像组学的医学图像分析受到广泛关注, 其通过高通量提取数字化图像中的定量特征描述肉眼难以判定的组织异质性, 可提高疾病诊断及风险分层的准确性^[9-10]。本研究通过分析 PI-LVA 患者的超声影像组学和临床特征, 构建该类患者远期预后的风险预测模型, 旨在为临床诊疗提供辅助信息。

资料与方法

一、研究对象

选取 2018 年 7 月至 2022 年 5 月在我院心血管中心住院治疗的 PI-LVA 患者 153 例, 其中男 110 例, 女 43 例, 年龄 35~87 岁, 平均 (62.7±5.7) 岁。纳入标准: ①均行冠状动脉造影, 结合临床表现、心电图及心肌酶谱检查结果确诊; ②符合《急性 ST 段抬高型心肌梗死诊断和治疗指南》^[11] 中 AMI 诊断标准; ③超声心动图提示存在 LVA。排除标准: ①假性室壁瘤、左室憩室; ②合并恶性肿瘤、严重贫血或恶性血液病; ③有结构性心脏病史 (如心肌病、先天性心脏病、心脏瓣膜病等); ④超声图像缺失或质量欠佳。本研究经我院医学科研伦理审查委员会批准 (批准号: KYLLKS20240038), 所有患者均知情同意。

二、仪器与方法

1. 超声心动图检查: 使用 Philips EPIQ7C 彩色多普勒超声诊断仪, S5-1 探头, 频率 2.5~4.0 MHz。患者取左侧卧位, 左臂高举过头以充分扩展肋间隙, 应用常规超声心动图于左室长轴切面测量左室舒张末期内径 (LVEDD), 双平面 Simpson 法获取 LVEF; 于心尖四腔心切面观察二尖瓣反流量, 测量反流束最大面积, 反流束最大面积 > 8 cm² 或反流束范围达左房顶部判为重度反流^[12]; 然后行多切面连续扫查, 保存左室短轴切面及心尖四腔心切面图像用于提取超声影像组学特征。以上操作由 3 名具有 5 年超声心动图检查经验的主治医师共同完成。

2. 影像组学特征提取: 保存以 > 50 帧/s 速率采集的心尖四腔心切面收缩期且包含完整 LVA 的二维超声

心动图图像,以 DICOM 的格式导出,转化为 nii.gz 格式文件进行分析。打开 ITK-SNAP 软件(<https://itk.org>),采用活动轮廓分割功能对左室进行分割,由 2 名经验丰富的超声医师调整边缘细节,手动勾画包含左室游离壁、LVA 及室间隔的感兴趣区(ROI)。见图 1。然后使用 Pyradiomics 软件包提取超声影像组学特征,对数据集进行 Z-score 标准化,转变为均值 μ 为 0、标准差 σ 为 1 的分布。采用最小绝对收缩和选择算子(least absolute shrinkage and selection operator, LASSO)回归筛选对诊断有利的特征子集及对应非零系数。

3.一般资料收集:查阅病历收集患者一般资料,包括年龄、性别、吸烟史、高血压病病史、2 型糖尿病史、慢性肾脏病史、慢性阻塞性肺疾病史、心房颤动情况、冠状动脉狭窄程度及实验室检查指标[低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)、血肌酐(Scr)]、心电图检查结果[完全性左、右束支传导阻滞(LBBB、RBBB)及室性早搏、碎裂 QRS 波、Tp-Te 间期],其中冠状动脉造影结果提示管腔狭窄程度>75% 定义为冠状动脉重度狭窄^[2]。

4.随访及分组:所有患者均采用电话联系、门诊定期回访和回顾患者临床诊疗记录等方式进行随访。随访时间为 4~62 个月,中位随访时间为 38 个月,终点事件定义

为心源性死亡。根据随访 24、36、60 个月是否出现终点事件分为事件组 38 例(其中随访 24、36、60 个月发生终点事件的患者分别为 12、11、15 例)和非事件组 115 例。

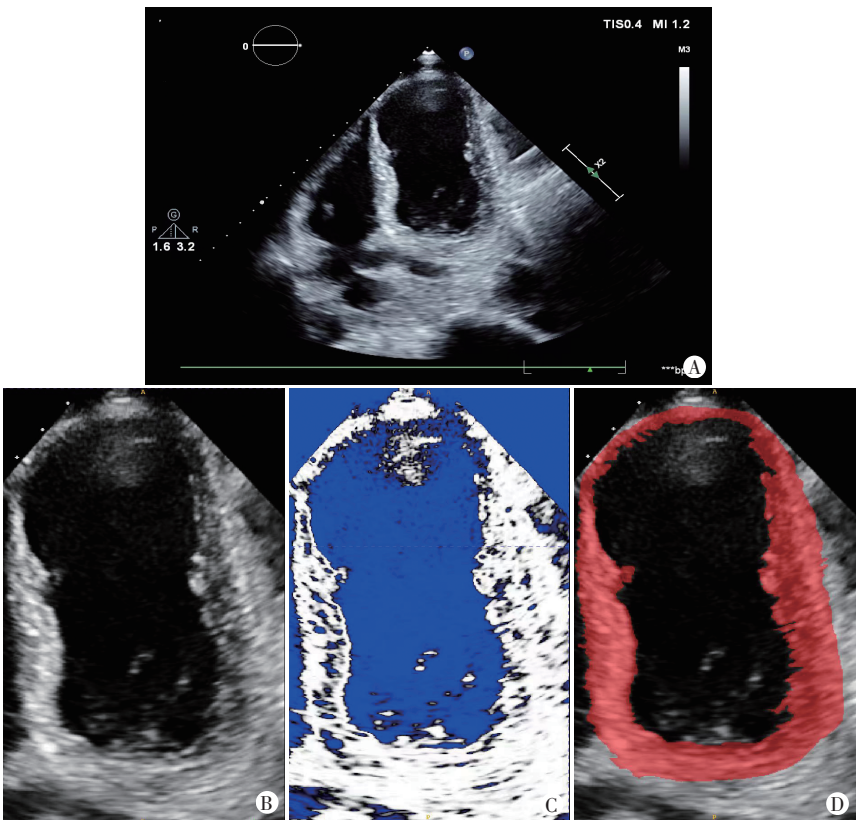
三、统计学处理

应用 SPSS 24.0 统计软件和 R 4.0.1 语言,正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,采用独立样本 t 检验;非正态分布的计量资料以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示,采用 Mann-Whitney U 检验。计量资料以频数或率表示,采用 χ^2 检验。采用多因素 Cox 回归分析筛选与 PI-LVA 远期预后相关的影响因素,并基于上述影响因素和超声影像组学特征构建预测模型,以列线图形式可视化。绘制受试者工作特征(ROC)曲线、校准曲线、决策曲线分别评估列线图模型预测 PI-LVA 患者随访 24、36、60 个月出现终点事件的区分度、校准度、临床适用性。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

一、两组一般资料比较

两组 Tp-Te 间期、右冠状动脉重度狭窄占比比较差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$);其余一般资料比较差异均无统计学意义。见表 1。



A: 心尖四腔心切面图像;B: 活动轮廓分割功能确定区域分区;C: 活动轮廓分割功能自动分区对比度调整;D: 手动勾画 ROI

图 1 图像分割及 ROI 勾画示意图

表 1 两组一般资料比较

组别	年龄(岁)	男/女 (例)	吸烟史 (例)	高血压病 (例)	2 型糖尿病 (例)	慢性肾脏病 (例)	慢性阻塞性肺疾病 (例)	心房颤动 (例)	LDL-C (mmol/L)
非事件组(115)	62.0(53.0,71.0)	83/32	65	59	39	17	8	17	2.5±0.8
事件组(38)	65.0(61.0,68.0)	28/10	23	21	15	10	3	7	2.4±0.6
Z/ t χ ² 值	-1.119	0.033	0.187	0.179	0.387	2.614	0.038	0.286	0.903
P 值	0.264	0.856	0.665	0.672	0.534	0.106	0.846	0.593	0.369

组别	Scr(μmol/L)	LBBB (例)	RBBB (例)	室性早搏 (例)	碎裂 QRS 波 (例)	Tp-Te 间期 (ms)	左前降支重度 狭窄(例)	左回旋支重度 狭窄(例)	右冠状动脉重 度狭窄(例)	经皮冠状动脉 介入治疗(例)
非事件组(115)	120.2(80.2,159.2)	14	13	21	26	99.6±16.9	111	20	24	92
事件组(38)	126.7(66.5,161.8)	2	3	9	14	109.2±15.6	36	6	17	26
Z/ t χ ² 值	0.063	1.457	0.355	0.533	2.997	-3.089	0.242	0.052	8.294	2.171
P 值	0.951	0.227	0.552	0.465	0.083	0.002	0.623	0.820	0.004	0.141

LDL-C: 低密度脂蛋白胆固醇; Scr: 肌酐; LBBB、RBBB: 完全性左、右束支传导阻滞

二、两组超声心动图检查结果比较

事件组 LVEF<35% 患者占比高于非事件组 (52.6% vs. 11.3%), 差异有统计学意义 ($P<0.05$); 两组二尖瓣重度反流患者占比、LVEDD 和 LVEF 比较差异均无统计学意义。见表 2。

三、多因素 Cox 回归分析

以随访期间是否出现终点事件为因变量, 一般资料 and 超声心动图检查结果中差异有统计学意义的参数为自变量进行单因素 Cox 回归分析, 结果显示 LVEF<35%、右冠状动脉重度狭窄和 Tp-Te 间期均与 PI-LVA 患者远期预后相关。将其通过逐步回归法纳入多因素 Cox 回归分析, 结果显示 LVEF<35%、右冠状动脉重度狭窄和 Tp-Te 间期均为预测 PI-LVA 患者远期预后的独立影响因素 ($HR=3.48$ 、 2.44 、 1.04 , 均

表 2 两组超声心动图检查结果比较

组别	二尖瓣重度 反流(例)	LVEDD (mm)	LVEF (%)	LVEF<35% (例)
非事件组(115)	18	55.0(51.0,61.0)	44.6±8.7	13
事件组(38)	8	57.0(51.0,63.0)	43.4±11.1	20
Z/ t χ ² 值	0.591	-0.690	0.603	28.837
P 值	0.442	0.491	0.549	<0.001

LVEDD: 左室舒张末期内径; LVEF: 左室射血分数

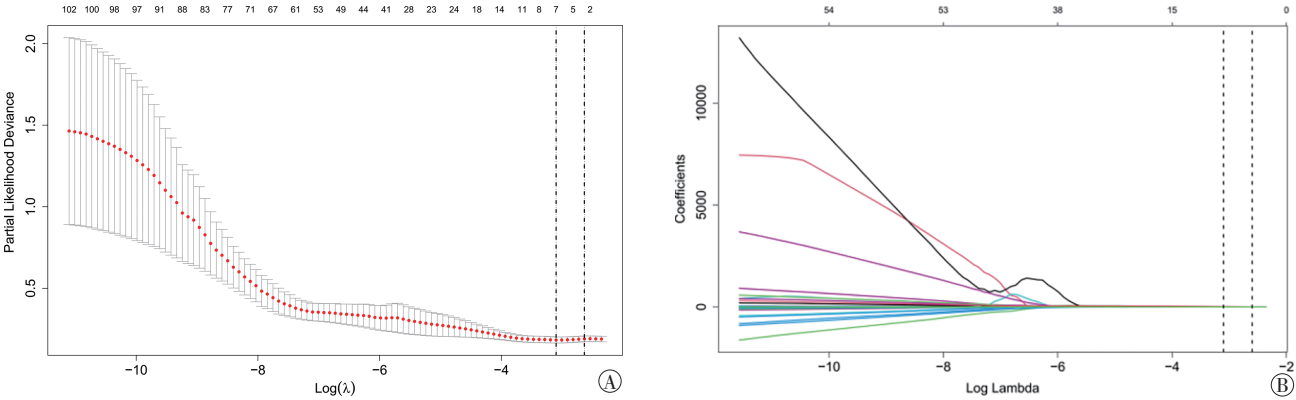
$P<0.05$)。见表 3。

四、超声影像组学特征筛选

本研究共提取 107 个超声影像组学特征, 通过 LASSO 回归分析进行特征信息降维, 最终选择 lambda.1se 对应的 3 个非零系数为最优结果, 筛选出 3 个显著性特征(图 2), 分别为形态特征参数——表面积体积比 (original_shape_SurfaceVolumeRatio,

表 3 PI-LVA 患者远期预后的多因素 Cox 回归分析

变量	单因素 Cox 回归分析			多因素 Cox 回归分析		
	HR 值	95% 可信区间	P 值	HR 值	95% 可信区间	P 值
LVEF<35%	4.46	2.35~8.43	<0.001	3.48	1.82~6.66	<0.001
右冠状动脉重度狭窄	2.57	1.12~4.89	0.003	2.44	1.26~4.71	0.008
Tp-Te 间期	1.04	1.02~1.05	0.001	1.04	1.02~1.06	0.001



A: LASSO 回归交叉验证误差曲线; B: LASSO 系数回归图。两图中左侧虚线表示最小准则下最优参数 lambda.min 对应的变量数目为 7 个, 右侧虚线表示标准差为 1 准则下最优参数 lambda.1se 对应的变量数目为 3 个

图 2 采用 LASSO 回归筛选超声影像组学特征

SHAPE_SVR)、灰度级带矩阵参数——小区域低灰度强调(original_glszm_SmallAreaLowGrayLevelEmphasis, GLSZM_SALGLE)及一阶直方图特征参数——峰值度量(original_firstorder_Kurtosis, FIRSTORDER_K)。

五、预测模型的构建与验证

基于LVEF<35%、右冠状动脉重度狭窄、Tp-Te间期及超声影像组学特征构建预测模型,绘制的列线图

见图3。

ROC曲线分析显示,列线图模型预测PI-LVA患者随访24、36、60个月出现终点事件的曲线下面积分别为0.850、0.831、0.898(均 $P<0.05$);校准曲线显示列线图模型的预测概率与实际概率一致性良好;决策曲线显示当概率阈值为5%~90%时,列线图模型具有更高的净获益,临床适用性较好。见图4~6。

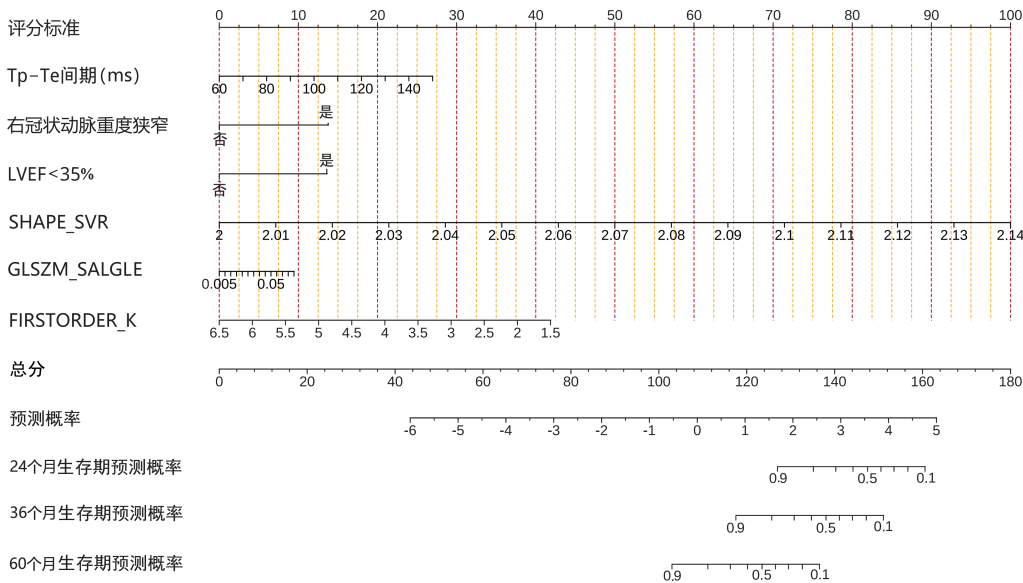


图3 基于超声影像组学特征和临床特征构建的列线图

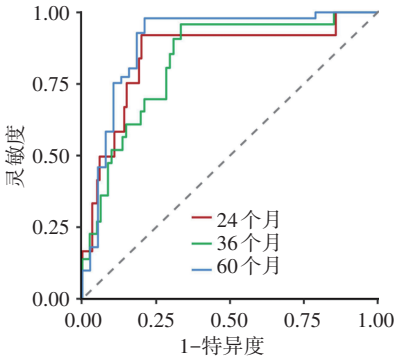


图4 列线图模型预测PI-LVA患者随访24、36、60个月出现终点事件的ROC曲线图

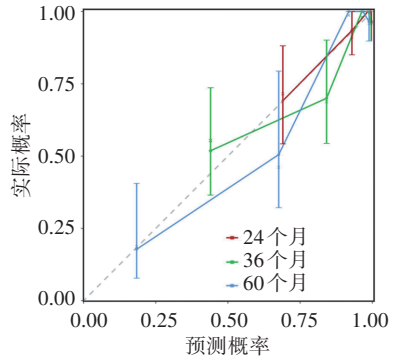


图5 列线图模型预测PI-LVA患者随访24、36、60个月出现终点事件的校准曲线图

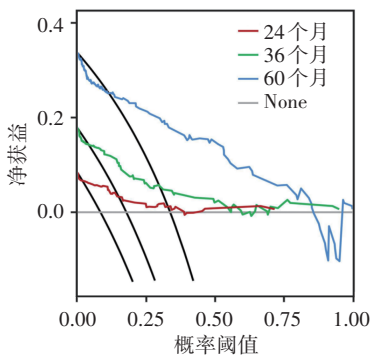


图6 列线图模型预测PI-LVA患者随访24、36、60个月出现终点事件的决策曲线图

讨论

PI-LVA是AMI引发左室重塑后的严重后遗症,特别是前壁梗死,与临床结局的恶化相关。一项纳入11 622 528例AMI患者的队列研究^[1]发现,PI-LVA可诱发泵衰竭、室性心律失常、机械并发症、心脏骤停及心源性休克等不良心血管事件,会导致患者住院时间延长、医疗费用和远期死亡率增加^[5],对其心理和生理上造成负担。因此,早期明确诊断PI-LVA有助于避免患者出现远期不良结局。然而,既往研究^[1]多仅评

估了与 PI-LVA 患者不良预后相关的高危临床特征,这在当前精准医学的发展背景下存在一定不足。本研究将超声影像组学特征和临床特征相结合,并绘制列线图用于评估 PI-LVA 患者远期预后,旨在为临床诊疗提供辅助信息。

研究^[13-14]表明 LVEF 降低与恶性心律失常、心力衰竭恶化及心源性猝死等心血管疾病的不良预后相关,在 PI-LVA 背景下, LVEF 的显著降低直接反映了心肌梗死面积大、心室重塑显著等情况,提示病情严重。另一方面,由于瘤壁与周围正常心肌组织存在高度异质性,交界处可出现显著的电活动紊乱。而在局部心肌缺血环境下,跨壁复极离散度进一步增大,极易触发 LVA 相关折返性室性心律失常。本研究多因素 Cox 回归分析显示, LVEF<35% 为预测 PI-LVA 患者远期预后的独立影响因素($HR=3.48, P<0.001$),且事件组中此类患者的占比显著高于非事件组(52.6% vs. 11.3%, $P<0.001$)。分析原因可能为瘤壁区域无效收缩对血流动力学的影响导致每搏输出量下降,使 PI-LVA 患者左室容量负荷显著升高,进而表现为进行性恶化的充血性心力衰竭。通过体表心电图测量 Tp-Te 间期可在一定程度上量化心室跨壁复极离散度^[15]。研究^[16-17]显示, AMI 患者 Tp-Te 间期增大与恶性室性心律失常和心源性猝死风险增加相关。本研究结果显示,事件组 Tp-Te 间期高于非事件组($P=0.002$),且多因素 Cox 回归分析显示 Tp-Te 间期为预测 PI-LVA 患者远期预后的独立影响因素($HR=1.04, P=0.001$),提示 Tp-Te 间期每增加 1 ms,患者出现不良预后的风险增加 4%。本研究还发现,事件组与非事件组右冠状动脉重度狭窄占比比较差异有统计学意义($P<0.05$),且其为预测 PI-LVA 患者远期预后的独立影响因素($HR=2.44, P=0.008$)。对于合并右冠状动脉重度狭窄的 PI-LVA 患者,其右室心肌灌注严重不足,可致右室收缩及舒张功能下降,通过心室间相互作用使左心功能进一步恶化,导致全心衰竭^[18]。此外,右冠状动脉狭窄可累及心脏传导系统缺血,显著增加缓慢性心律失常的发生风险,使患者死亡风险升高^[19]。

虽然超声心动图部分参数可以为病情评估提供初步依据,但在一定程度上依赖操作者经验,具有一定的主观性。近年来,得益于计算机数学算法的快速发展,影像组学可以通过评估肉眼无法识别的微观细节来判断组织异质性,已广泛用于临床诊断及预后评估^[20-21]。本研究采用超声影像组学评估 PI-LVA 患者

远期预后,通过 LASSO 回归对特征进行筛选,最终提取了与预后相关的 3 个特征,其中包括:①形态特征参数中的表面积体积比,其反映了 ROI 的几何特性与生理功能的相关性;②灰度级带矩阵参数中的小区域低灰度强调,其反映了低密度区域在图像中的比例^[22-23],其值增高提示心肌梗死局部心肌细胞坏死导致 ROI 密度不均匀;③一阶直方图特征参数中的峰值度量,其在一定程度上反映了组织内水分子的弥散运动偏离度,较高的峰值度量提示组织结构复杂^[24]。尽管这些特征在诊断试验中的表现相对客观,但目前对于其在病理生理层面上进行准确的解释依然存在挑战。

列线图是一种用于量化疾病评分的可视化工具,其将复杂的数学模型转化为直观、易于理解的图形,目前已广泛用于各类疾病的风险和预后评估。本研究将超声影像组学特征和临床特征相结合以构建预测模型,并绘制列线图可视化,结果显示列线图模型预测 PI-LVA 患者随访 24、36、60 个月的 ROC 曲线下面积分别为 0.850、0.831、0.898;校准曲线显示该模型的预测概率与实际概率一致性良好;决策曲线显示该模型具有良好的临床适用性。在应用方面,列线图提示若 PI-LVA 患者各子项得分之和约为 140 分,其预测随访 24、36、60 个月患者生存率分别为 70%、40% 及 <10%。表明列线图模型可早期识别高危患者,有助于改善患者远期预后。

本研究的局限性:①为单中心、回顾性研究,样本选取可能存在选择偏倚;②列线图模型未进行外部验证,且不同操作者使用特定的超声仪器降低了模型的泛化性;③为了勾画出包含 LVA 的完整 ROI,本研究选择心尖四腔心切面收缩期图像进行分析,可能导致潜在的显著性特征遗漏。今后应进行多中心研究,对模型进行外部验证,并针对 PI-LVA 患者采用特定的标准化图像采集流程。

综上所述,基于超声影像组学特征和临床特征构建的列线图具有良好的区分度、校准度及临床适用性,可有效预测 PI-LVA 患者远期预后,为临床诊疗提供潜在的指导意义。

参考文献

- [1] Vallabhajosyula S, Kanwar S, Aung H, et al. Temporal trends and outcomes of left ventricular aneurysm after acute myocardial infarction[J]. Am J Cardiol, 2020, 133(1): 32-38.

- [2] Zhang Z, Guo J. Predictive risk factors of early onset left ventricular aneurysm formation in patients with acute ST-elevation myocardial infarction[J]. *Heart Lung*, 2020, 49(1): 80–85.
- [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] Marzlin KM. Ventricular aneurysm: diagnosis and treatment[J]. *AACN Advanced Critical Care*, 2017, 28(4): 391–394.
- [5] Bai W, Tang H. Left ventricular pseudoaneurysm following acute myocardial infarction[J]. *Anatol J Cardiol*, 2018, 20(6): e10–e11.
- [6] You J, Gao L, Shen Y, et al. Predictors and long-term prognosis of left ventricular aneurysm in patients with acute anterior myocardial infarction treated with primary percutaneous coronary intervention in the contemporary era[J]. *J Thorac Dis*, 2021, 13(3): 1706–1716.
- [7] Singh SS, Cherian VT, Palangadan S. Windsock deformity of submitral left ventricular aneurysm communicating into left atrium——role of transesophageal echocardiography [J]. *Ann Card Anaesth*, 2021, 24(1): 72–74.
- [8] Abdelhaleem A, Leung A, Nguyen J, et al. Left ventricular aneurysm versus pseudoaneurysm: diagnosis in the era of multi-modality imaging and 3D-printing[J]. *Echocardiography*, 2023, 40(2): 137–142.
- [9] Gu J, Jiang T. Ultrasound radiomics in personalized breast management: current status and future prospects [J]. *Front Oncol*, 2022, 12: 963612.
- [10] Duron L, Savatovsky J, Fournier L, et al. Can we use radiomics in ultrasound imaging? Impact of preprocessing on feature repeatability [J]. *Diagn Interv Imag*, 2021, 102(11): 659–667.
- [11] 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[J]. *中华心血管病杂志*, 2010, 38(8): 675–690.
- [12] 郭颖, 张瑞生. 中国成人心脏瓣膜病超声心动图规范化检查专家共识[J]. *中国循环杂志*, 2021, 36(2): 109–125.
- [13] Choi YJ, Kim HK, Hwang IC, et al. Prognosis of patients with hypertrophic cardiomyopathy and low-normal left ventricular ejection fraction[J]. *Heart*, 2023, 109(10): 771–778.
- [14] Klem I, Klein M, Khan M, et al. Relationship of LVEF and myocardial scar to long-term mortality risk and mode of death in patients with nonischemic cardiomyopathy [J]. *Circulation*, 2021, 143(14): 1343–1358.
- [15] Zhu W, Huang X, Mei L, et al. The predictive value of Tp-Te interval, Tp-Te/QT ratio, and QRS-T angle of idiopathic ventricular tachycardia in patients with ventricular premature beats[J]. *Clin Cardiol*, 2023, 46(4): 425–430.
- [16] Wu Y, Ma L, Hu Z. Prognostic value of infarct-related-lead Tpeak – Tend/QT ratio in patients with ST-segment elevation myocardial infarction[J]. *Heart Vessels*, 2022, 37(4): 539–548.
- [17] Yayla KG, Yayla Ç, Erdöl MA, et al. Tp-e/QTc ratio, SYNTAX, and GRACE score in patients who underwent coronary angiography owing to acute coronary syndrome [J]. *Anatol J Cardiol*, 2021, 25(12): 887–895.
- [18] Crystal GJ, Pagel PS. Right ventricular perfusion: physiology and clinical implications[J]. *Anesthesiology*, 2018, 128(1): 202–218.
- [19] Kawamura Y, Yokoyama H, Kitayama K, et al. Clinical impact of complete atrioventricular block in patients with ST-segment elevation myocardial infarction[J]. *Clin Cardiol*, 2021, 44(1): 91–99.
- [20] Lambin P, Leijenaar RTH, Deist TM, et al. Radiomics: the bridge between medical imaging and personalized medicine[J]. *Nat Rev Clin Oncol*, 2017, 14(12): 749–762.
- [21] Scapicchio C, Gabelloni M, Barucci A, et al. A deep look into radiomics[J]. *Radiol Med La*, 2021, 126(10): 1296–1311.
- [22] Sansone M, Grassi R, Belfiore MP, et al. Radiomic features of breast parenchyma: assessing differences between for processing and for presentation digital mammography[J]. *Insights Imaging*, 2021, 12(1): 1–13.
- [23] Mostafaei S, Abdollahi H, Kazempour Dehkordi S, et al. CT imaging markers to improve radiation toxicity prediction in prostate cancer radiotherapy by stacking regression algorithm [J]. *Radiol Med La*, 2020, 125(1): 87–97.
- [24] Wang M, Perucho JAU, Vardhanabhuti V, et al. Radiomic features of T2-weighted imaging and diffusion kurtosis imaging in differentiating clinicopathological characteristics of cervical carcinoma[J]. *Acad Radiol*, 2022, 29(8): 1133–1140.

(收稿日期: 2024-04-10)