

# 射血分数轻度降低心衰患者LVEF恢复的预测模型构建

张豪<sup>1</sup>, 姜瑞娇<sup>2</sup>, 张文忠<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>青岛大学附属医院心血管内科, 山东 青岛

<sup>2</sup>山东省平度市人民医院呼吸内科, 山东 青岛

收稿日期: 2026年1月10日; 录用日期: 2026年2月4日; 发布日期: 2026年2月11日

## 摘要

目的: 筛选射血分数轻度降低的心力衰竭(HFmrEF)患者左室射血分数(LVEF)恢复的独立临床预测因素, 并构建列线图预测模型。方法: 回顾性分析2020年1月至2024年12月青岛大学附属医院心血管内科收治的158例HFmrEF患者。LVEF恢复定义为随访LVEF  $\geq 50\%$ 且较基线增加  $\geq 5\%$ 。采用最小绝对收缩和选择算子(LASSO)回归及多因素Logistic回归筛选独立预测变量, 并基于筛选出的变量构建列线图预测模型。使用受试者工作特征(ROC)曲线、校准曲线及决策曲线分析(DCA)评估模型性能。结果: 共纳入158例患者, 其中66例(41.8%)在随访期间实现LVEF恢复。多因素Logistic回归分析结果显示, 纽约心脏病协会(NYHA)心功能分级(OR = 0.219, 95% CI: 0.090~0.532,  $p < 0.001$ )、基线收缩压(OR = 1.028, 95% CI: 1.010~1.047,  $p = 0.003$ )、左室舒张末期内径(LVEDD) (OR = 0.499, 95% CI: 0.258~0.966,  $p = 0.039$ )以及节段性室壁运动异常(RWMA) (OR = 0.310, 95% CI: 0.140~0.684,  $p = 0.004$ )是LVEF恢复的独立预测因素。基于上述变量构建的列线图模型区分度良好, ROC曲线下面积(AUC)为0.813, 校准曲线显示预测概率与实际观测概率高度一致。结论: NYHA分级、收缩压、LVEDD及RWMA是影响HFmrEF患者LVEF恢复的独立预测因素。本研究构建的列线图模型具有良好的区分度和校准度, 有助于临床早期识别具有恢复潜力的患者并指导个体化治疗。

## 关键词

射血分数轻度降低的心力衰竭, 左室射血分数恢复, 列线图, 节段性室壁运动异常

# Construction of a Prediction Model for LVEF Recovery in Patients with Heart Failure with Mildly Reduced Ejection Fraction

Hao Zhang<sup>1</sup>, Ruijiao Jiang<sup>2</sup>, Wenzhong Zhang<sup>1\*</sup>

\*通讯作者。

<sup>1</sup>Department of Cardiology, The Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao Shandong

<sup>2</sup>Department of Respiratory Medicine, The People's Hospital of Pingdu, Qingdao Shandong

Received: January 10, 2026; accepted: February 4, 2026; published: February 11, 2026

## Abstract

**Objective:** To identify independent clinical predictors of left ventricular ejection fraction (LVEF) recovery in patients with heart failure with mildly reduced ejection fraction (HFmrEF) and to construct a nomogram prediction model. **Methods:** A retrospective analysis was conducted on 158 HFmrEF patients admitted to the Department of Cardiology, The Affiliated Hospital of Qingdao University from January 2020 to December 2024. LVEF recovery was defined as a follow-up LVEF  $\geq 50\%$  with an absolute increase of  $\geq 5\%$  from baseline. Least Absolute Shrinkage and Selection Operator (LASSO) regression and multivariable logistic regression were used to screen independent predictive variables, and a nomogram prediction model was constructed based on the selected variables. The performance of the model was evaluated using the Receiver Operating Characteristic (ROC) curve, calibration curve, and Decision Curve Analysis (DCA). **Results:** A total of 158 patients were included, of whom 66 (41.8%) achieved LVEF recovery during the follow-up period. Multivariable logistic regression analysis showed that New York Heart Association (NYHA) functional class (OR = 0.219, 95% CI: 0.090~0.532,  $p < 0.001$ ), baseline systolic blood pressure (OR = 1.028, 95% CI: 1.010~1.047,  $p = 0.003$ ), left ventricular end-diastolic diameter (LVEDD) (OR = 0.499, 95% CI: 0.258~0.966,  $p = 0.039$ ), and regional wall motion abnormality (RWMA) (OR = 0.310, 95% CI: 0.140~0.684,  $p = 0.004$ ) were independent predictors of LVEF recovery. The nomogram model constructed based on these variables demonstrated good discrimination, with an Area Under the Curve (AUC) of 0.813. The calibration curve showed high consistency between the predicted probability and the actual observed probability. **Conclusion:** NYHA classification, systolic blood pressure, LVEDD, and RWMA are independent predictive factors affecting LVEF recovery in HFmrEF patients. The nomogram model constructed in this study possesses good discrimination and calibration, which aids clinicians in the early identification of patients with recovery potential and guides individualized treatment.

## Keywords

Heart Failure with Mildly Reduced Ejection Fraction, LVEF Recovery, Nomogram, Regional Wall Motion Abnormality

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

射血分数轻度降低的心力衰竭(HFmrEF)是指左心室射血分数(LVEF)介于 41%至 49%之间的心力衰竭类型, 约占所有心衰患者的 10%~20% [1] [2]。近年来的循证医学证据表明, HFmrEF 并非一个静止的分类, 而是一个具有高度异质性的动态过渡阶段: 部分患者病情可能进展恶化, 而另一部分患者经过规范的药物治疗后, LVEF 可改善至正常范围( $\geq 50\%$ ), 即实现 LVEF 恢复[3]。实现 LVEF 恢复的患者, 其再住院率和死亡率均显著降低, 生存预后明显优于未恢复者[4]。因此, 早期准确识别出具有 LVEF 恢复潜力的患者, 对于制定个体化的治疗方案及随访策略至关重要。

目前,临床上尚缺乏针对 HFmrEF 人群 LVEF 恢复的特异性预测工具。既往的心衰预后模型主要侧重于射血分数降低的心力衰竭(HFrEF)人群,且多依赖于复杂的生物标志物或昂贵的高级影像学检查,在临床实践中普及度有限[5]。事实上,心脏功能的恢复是一个受多因素共同影响的复杂过程,不仅取决于患者的全身血流动力学状态,也受限于心脏自身的解剖结构改变[6][7]。例如,常规超声心动图中的节段性室壁运动异常(RWMA)和左室舒张末期内径(LVEDD)等指标,均能反映心肌的结构特征[8]。然而,目前尚缺乏将这些常规临床指标与影像学参数进行整合的简便评分系统。

本研究旨在通过回顾性分析 HFmrEF 患者的临床资料,利用 LASSO 回归及多因素 Logistic 回归技术,筛选出影响 LVEF 恢复的独立临床预测因素,并构建一个可视化的列线图(Nomogram)预测模型。该模型为临床医生提供一种简便、客观的风险分层工具,以识别具有恢复潜力的优势人群,从而指导 HFmrEF 患者的差异化管理和精准治疗。

## 2. 方法

### 2.1. 研究人群

回顾性纳入 2020 年 1 月至 2024 年 12 月期间在青岛大学附属医院心血管内科住院治疗的 158 例 HFmrEF 患者。纳入标准:(1) 基线经胸超声心动图显示 LVEF 在 41%~49%之间;(2) 出院后 6 至 24 个月内有随访的超声心动图记录;(3) 年龄  $\geq 18$  岁。排除标准:(1) 既往有心脏瓣膜置换术或心脏移植史;(2) 合并严重非心源性疾病(如恶性肿瘤、严重感染或败血症);(3) 急性心血管事件(如急性心肌炎、主动脉夹层、急性肺栓塞);(4) 浸润性心肌病(如淀粉样变性)或自身免疫性疾病;(5) 基线临床资料严重缺失者。本研究经青岛大学附属医院伦理委员会批准,所有流程符合医学伦理学要求和赫尔辛基宣言。

### 2.2. 资料收集

通过查阅青岛大学附属医院电子病历系统收集患者的基线临床资料,包括:(1) 人口学特征:年龄、性别、体重指数(BMI)、收缩压、舒张压、心率及纽约心脏病协会(NYHA)心功能分级等。(2) 既往病史:包括缺血性心脏病、高血压、糖尿病及心房颤动等。(3) 实验室检查:收集入院时的 N 末端 B 型利钠肽原(NT-proBNP)、血红蛋白、空腹血糖、肝肾功能指标(如丙氨酸氨基转移酶、天门冬氨酸氨基转移酶、肌酐、尿素)及中性粒细胞/淋巴细胞比值(NLR)等。(4) 药物治疗:记录出院带药情况,包括血管紧张素受体脑啡肽酶抑制剂(ARNI)、 $\beta$  受体阻滞剂、盐皮质激素受体拮抗剂(MRA)、钠-葡萄糖协同转运蛋白 2 (SGLT2)抑制剂及利尿剂的使用情况。

### 2.3. 超声心动图检查及结局定义

所有患者均行常规经胸超声心动图检查,由两名经验丰富的超声科医师完成,且医师对患者的临床转归不知情。主要记录参数包括 LVEF(采用 Simpson 双平面法)、左室舒张末期内径(LVEDD)、左房内径(LAD)、室间隔厚度(IVS)及肺动脉收缩压(PASP)。节段性室壁运动异常(RWMA)的评估基于左室 16 节段模型,若任一节段出现运动减低、运动消失或矛盾运动,则定义为存在 RWMA;若所有节段运动正常,则定义为无 RWMA。本研究的主要终点为 LVEF 恢复。鉴于目前尚无针对 HFmrEF 人群 LVEF 恢复的统一标准,且考虑到超声测量观察者间的变异性,本研究将其定义为:随访超声心动图显示 LVEF  $\geq 50\%$ (即恢复至正常范围),且较基线 LVEF 绝对值增加  $\geq 5\%$  [9] [10]。根据是否达到上述标准,将患者分为“恢复组”和“未恢复组”。

### 2.4. 统计学方法

采用 R 4.5.2 软件进行统计学分析。符合正态分布的连续变量以均数  $\pm$  标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,组间比

较采用独立样本 t 检验；非正态分布的连续变量以中位数(四分位间距) [ $M(P_{25}, P_{75})$ ] 表示，组间比较采用 Mann-Whitney U 检验。分类变量以频数(百分比) [n (%)] 表示，组间比较采用  $\chi^2$  检验或 Fisher 精确检验。为了解决高维临床数据的多重共线性问题，首先采用最小绝对收缩和选择算子(LASSO)回归算法筛选潜在的预测变量。将筛选出的变量纳入多因素 Logistic 回归模型，并采用后向逐步回归法剔除无统计学显著性的变量，最终确定 HFmrEF 患者 LVEF 恢复的独立预测因素，报告比值比(OR)及 95% 置信区间(CI)。基于最终模型构建列线图(Nomogram)。模型性能评估包括：(1) 区分度：通过受试者工作特征(ROC)曲线及其曲线下面积(AUC)进行评估；(2) 校准度：通过校准曲线(Calibration Curve)及 Brier 分数进行评估；(3) 临床实用性：采用决策曲线分析(DCA)评估模型在不同阈值概率下的净获益。以  $p < 0.05$  为差异有统计学意义。

### 3. 结果

#### 3.1. 患者基线特征比较

本研究共纳入 158 例 HFmrEF 患者，中位年龄为 67.0 岁。在随访期间，共有 66 例(41.8%)患者实现了 LVEF 恢复(恢复组)，92 例(58.2%)患者未恢复(未恢复组)。两组患者的基线特征比较见表 1。与未恢复组相比，恢复组患者的基线收缩压水平显著更高 [ $M(P_{25}, P_{75})$ : 135.5 (120.2, 155.8) mmHg vs. 122.5 (111.0, 144.0) mmHg,  $p = 0.006$ ]，且静息心率稍快( $p = 0.043$ )。在心功能状态方面，恢复组中 NYHA III-IV 级的重症患者比例显著低于未恢复组[39 例(59.1%) vs. 77 例(83.7%)， $p = 0.001$ ]。在超声心动图参数方面，恢复组的节段性室壁运动异常(RWMA)检出率显著低于未恢复组[21 例(31.8%) vs. 50 例(54.3%)， $p = 0.008$ ]。两组间 LVEF 基线值差异无统计学意义( $p = 0.597$ )。在药物治疗方面，本研究队列接受了高度规范的指南指导的药物治疗，血管紧张素受体脑啡肽酶抑制剂(ARNI)的总体使用率高达 72.8%，且在两组间分布均衡( $p = 0.358$ )。 $\beta$  受体阻滞剂、MRA 及 SGLT2 抑制剂的使用率在两组间亦无统计学差异。

**Table 1.** Comparison of baseline characteristics

**表 1.** 基线特征比较

变量	总和(n = 158)	未恢复组(n = 92)	恢复组(n = 66)	p 值
年龄(岁)	67.0 (56.0, 75.8)	68.0 (58.8, 76.2)	66.5 (50.8, 74.8)	0.224
男性[n (%)]	109 (69.0%)	62 (67.4%)	47 (71.2%)	0.736
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	24.8 (22.1, 27.7)	24.2 (21.9, 26.4)	26.1 (23.2, 29.3)	0.011
收缩压(mmHg)	126.0 (114.2, 148.0)	122.5 (111.0, 144.0)	135.5 (120.2, 155.8)	0.006
舒张压(mmHg)	74.5 (68.0, 85.0)	72.0 (64.0, 82.0)	76.5 (68.2, 89.8)	0.058
心率(次/分)	77.0 (65.2, 89.0)	75.5 (63.0, 88.2)	81.0 (70.5, 89.8)	0.043
吸烟史	46 (29.1%)	27 (29.3%)	19 (28.8%)	1.000
饮酒史	30 (19.0%)	17 (18.5%)	13 (19.7%)	1.000
NYHA 心功能分级 III-IV 级	116 (73.4%)	77 (83.7%)	39 (59.1%)	0.001
随访时间(月)	10.5 (8.0, 13.0)	11.0 (8.0, 13.0)	10.0 (8.0, 13.0)	0.710
既往史				
缺血性心脏病	103 (65.2%)	64 (69.6%)	39 (59.1%)	0.233
高血压	95 (60.1%)	50 (54.3%)	45 (68.2%)	0.113
糖尿病	52 (32.9%)	35 (38.0%)	17 (25.8%)	0.147

续表

心房颤动	65 (41.1%)	37 (40.2%)	28 (42.4%)	0.909
超声心动图指标				
左室射血分数(LVEF, %)	45.0 (43.0, 48.0)	45.0 (43.0, 47.0)	45.0 (43.0, 48.0)	0.597
左室舒张末期内径(LVEDD, cm)	5.4 ± 0.6	5.5 ± 0.6	5.3 ± 0.6	0.082
左房内径(LAD, cm)	4.5 (4.1, 5.0)	4.5 (4.1, 4.9)	4.5 (4.1, 5.0)	0.983
室间隔厚度(IVS, cm)	1.1 (1.0, 1.3)	1.1 (1.0, 1.3)	1.2 (1.0, 1.3)	0.218
肺动脉收缩压(PASP, mmHg)	33.0 (26.2, 42.8)	33.5 (27.0, 46.0)	32.5 (26.0, 40.5)	0.300
节段性室壁运动异常(RWMA)	71 (44.9%)	50 (54.3%)	21 (31.8%)	0.008
舒张功能不全	39 (24.7%)	22 (23.9%)	17 (25.8%)	0.938
右室功能不全	23 (14.6%)	16 (17.4%)	7 (10.6%)	0.335
实验室检查				
N 末端 B 型利钠肽原(NT-proBNP, pg/mL)	1565.0 (783.0, 3207.7)	1588.5 (841.3, 3487.5)	1396.0 (722.7, 3138.4)	0.391
血红蛋白(g/L)	131.9 ± 24.5	127.7 ± 23.1	137.6 ± 25.3	0.014
白细胞计数( $\times 10^9/L$ )	6.7 (5.3, 8.4)	6.7 (5.2, 8.5)	6.8 (5.7, 8.2)	0.497
血小板计数( $\times 10^9/L$ )	194.5 (151.0, 238.8)	196.0 (155.0, 229.0)	194.0 (150.0, 253.0)	0.813
中性粒细胞/淋巴细胞比值(NLR)	2.5 (1.8, 3.9)	2.7 (2.0, 4.3)	2.4 (1.6, 3.6)	0.200
血钠(mmol/L)	141.1 ± 3.1	140.9 ± 3.1	141.3 ± 3.1	0.388
血钾(mmol/L)	4.1 ± 0.6	4.1 ± 0.5	4.2 ± 0.6	0.225
估算的肾小球滤过率(eGFR, mL/min/1.73m <sup>2</sup> )	69.7 (48.8, 93.3)	64.7 (47.7, 89.8)	75.6 (53.5, 96.2)	0.206
肌酐( $\mu\text{mol/L}$ )	94.5 (73.0, 126.0)	103.2 (73.7, 123.8)	87.3 (72.2, 126.0)	0.361
尿素(mmol/L)	7.4 (5.6, 10.4)	7.4 (5.5, 10.4)	7.3 (5.7, 10.5)	0.615
尿酸( $\mu\text{mol/L}$ )	403.5 (312.7, 488.0)	411.0 (312.4, 489.0)	402.5 (313.0, 486.4)	0.552
白蛋白(g/L)	38.2 ± 5.2	37.8 ± 4.8	38.6 ± 5.7	0.361
总胆红素( $\mu\text{mol/L}$ )	15.4 (11.2, 22.3)	15.1 (11.2, 21.8)	16.9 (11.1, 22.5)	0.912
丙氨酸氨基转移酶(ALT, U/L)	19.0 (13.0, 32.0)	17.0 (12.0, 27.5)	22.6 (15.2, 41.0)	0.012
天门冬氨酸氨基转移酶(AST, U/L)	20.0 (15.1, 28.0)	19.0 (15.0, 25.0)	23.5 (18.0, 30.4)	0.021
空腹血糖(mmol/L)	5.3 (4.6, 6.4)	5.3 (4.7, 6.8)	5.2 (4.5, 6.0)	0.210
总胆固醇(mmol/L)	3.9 (3.3, 4.7)	3.7 (3.3, 4.7)	4.1 (3.3, 4.7)	0.313
甘油三酯(mmol/L)	1.1 (0.8, 1.4)	1.0 (0.8, 1.3)	1.1 (0.8, 1.5)	0.397
高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C, mmol/L)	1.2 (0.9, 1.3)	1.2 (0.8, 1.3)	1.1 (0.9, 1.3)	0.814
低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C, mmol/L)	2.1 (1.8, 2.8)	2.0 (1.6, 2.8)	2.2 (1.8, 2.8)	0.313
药物治疗				
沙库巴曲缬沙坦(ARNI)	115 (72.8%)	70 (76.1%)	45 (68.2%)	0.358
ACEI/ARB	5 (3.2%)	0 (0.0%)	5 (7.6%)	0.012
$\beta$ 受体阻滞剂	119 (75.3%)	65 (70.7%)	54 (81.8%)	0.156
盐皮质激素受体拮抗剂(MRA)	122 (77.2%)	71 (77.2%)	51 (77.3%)	1.000
SGLT2 抑制剂	73 (46.2%)	45 (48.9%)	28 (42.4%)	0.519
利尿剂	115 (72.8%)	71 (77.2%)	44 (66.7%)	0.200

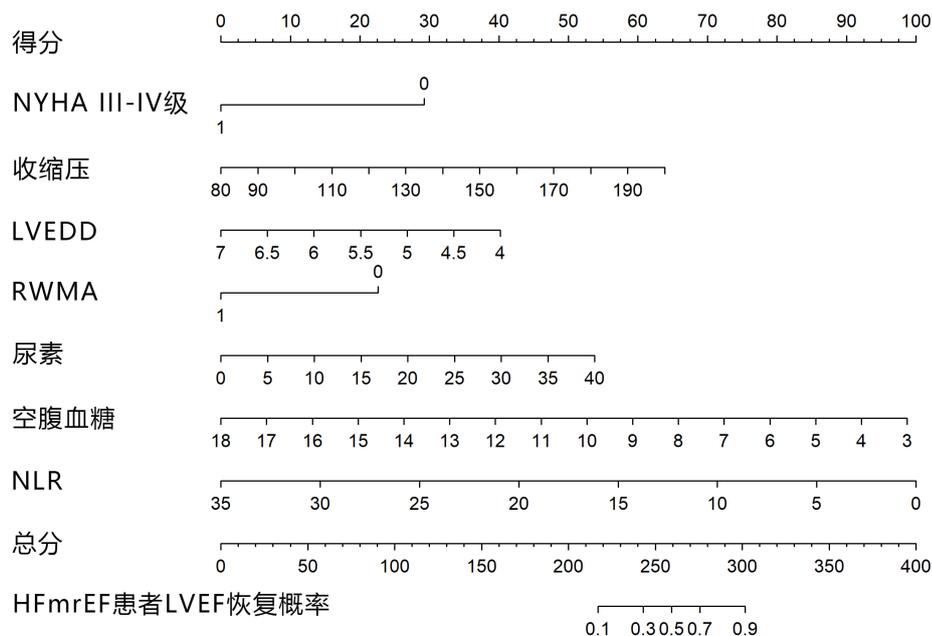
### 3.2. 预测变量筛选与模型构建

为避免过拟合, 首先采用 LASSO 回归对初选的 46 个临床变量进行降维处理。通过 10 折交叉验证确定最优  $\lambda$  值为 0.03858, 筛选出 15 个潜在的非零系数变量。将上述变量纳入多因素 Logistic 回归分析, 并采用后向逐步回归法优化模型。最终结果显示(见表 2), NYHA 分级、收缩压、LVEDD 及 RWMA 是影响 LVEF 恢复的独立预测因素。具体而言, 较高的基线收缩压(OR = 1.028, 95% CI: 1.010~1.047,  $p = 0.003$ )是 LVEF 恢复的独立保护因素; 而较差的 NYHA 分级(III~IV 级) (OR = 0.219, 95% CI: 0.090~0.532,  $p < 0.001$ )、较大的 LVEDD (OR = 0.499, 95% CI: 0.258~0.966,  $p = 0.039$ )以及存在 RWMA (OR = 0.310, 95% CI: 0.140~0.684,  $p = 0.004$ )则是阻碍 LVEF 恢复的独立危险因素。此外, 为了提升模型的整体预测精度, 最终模型还保留了空腹血糖、尿素及 NLR 作为调节变量。基于上述 7 个变量, 构建了预测 HFmrEF 患者 LVEF 恢复概率的列线图模型(图 1)。

**Table 2.** Multivariable Logistic regression analysis predicting LVEF recovery

**表 2.** 预测 LVEF 恢复的多因素 Logistic 回归分析

变量	OR 值	95% CI	p 值
NYHA 心功能分级 III~IV 级	0.219	0.090~0.532	<0.001
收缩压(mmHg)	1.028	1.010~1.047	0.003
节段性室壁运动异常(RWMA)	0.310	0.140~0.684	0.004
空腹血糖(mmol/L)	0.711	0.528~0.958	0.025
左室舒张末期内径(mm)	0.499	0.258~0.966	0.039
中性粒细胞/淋巴细胞比值(NLR)	0.862	0.740~1.005	0.058
尿素(mmol/L)	1.072	0.991~1.160	0.081



**Figure 1.** Nomogram for predicting LVEF recovery in HFmrEF patients

**图 1.** 预测 HFmrEF 患者 LVEF 恢复的列线图

### 3.3. 模型性能评估

对构建的列线图模型进行效能评估，ROC 曲线分析显示，该模型在预测 LVEF 恢复方面表现出优秀的区分度，曲线下面积(AUC)为 0.813 (图 2)。校准曲线显示，模型的预测概率与实际观测概率之间具有良好的更迭一致性，Brier 分数为 0.176(图 3)。决策曲线分析(DCA)表明，在 10%至 75%的阈值概率范围内，使用该列线图指导临床决策比“全干预”或“不干预”策略能获得更高的净获益(图 4)。

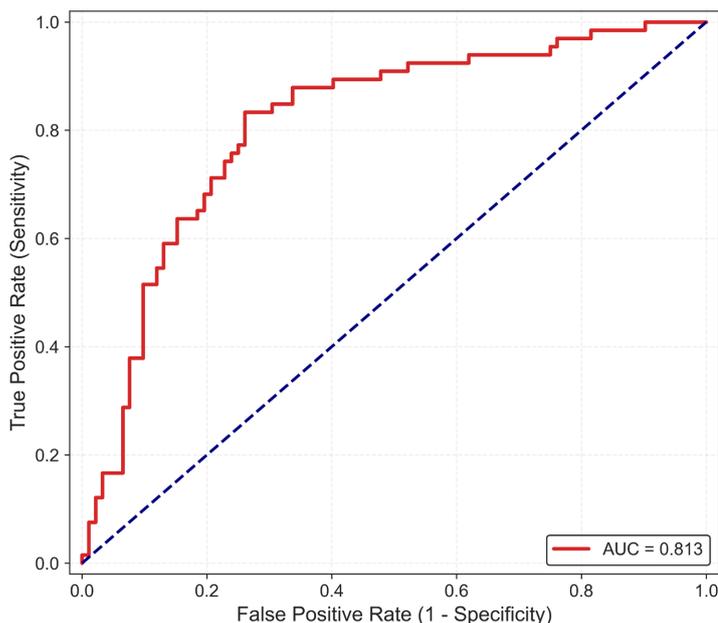


Figure 2. ROC curve of the nomogram model  
图 2. 模型的 ROC 曲线

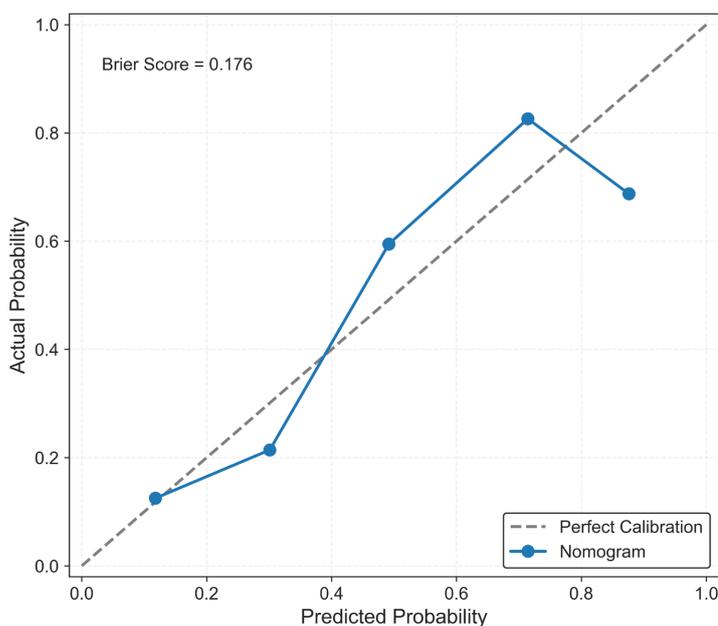


Figure 3. Calibration curve  
图 3. 校准曲线

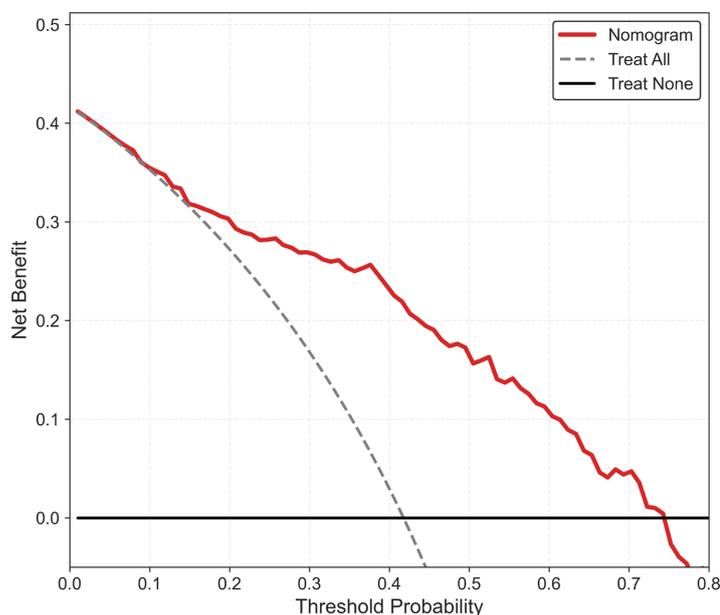


Figure 4. Decision curve analysis  
图 4. 决策曲线分析

### 3.4. 亚组分析与交互作用

为了进一步评估模型的稳健性,本研究根据病因将患者分为缺血性心肌病组与非缺血性心肌病组,并进行了亚组分析(见表 3)。交互作用检验结果显示,除节段性室壁运动异常(RWMA)外,其余预测变量的交互作用  $p$  值均  $>0.05$ ,表明 NYHA 分级、收缩压等指标的预测价值在不同病因人群中保持一致。RWMA 与缺血性病因存在显著的交互作用( $p$  for interaction = 0.019):在缺血性心肌病亚组中,RWMA 是阻碍 LVEF 恢复的独立预测因素( $p = 0.001$ ),而在非缺血性亚组中未显示统计学显著性。

Table 3. Subgroup analysis and interaction test stratified by etiology

表 3. 基于病因的亚组分析与交互作用检验

变量	非缺血性组(n = 55) OR (95% CI)	缺血性组(n = 103) OR (95% CI)	交互作用 $p$ 值
NYHA III-IV 级	0.208 (0.057~0.766)	0.332 (0.133~0.829)	0.566
收缩压	1.010 (0.987~1.032)	1.029 (1.010~1.049)	0.192
LVEDD	0.402 (0.159~1.014)	0.795 (0.402~1.571)	0.244
RWMA	1.714 (0.425~6.911)	0.245 (0.105~0.569)	0.019
尿素	0.999 (0.905~1.102)	1.048 (0.976~1.124)	0.441
空腹血糖	0.955 (0.629~1.449)	0.781 (0.590~1.033)	0.432
NLR	0.929 (0.793~1.088)	0.832 (0.674~1.027)	0.409

## 4. 讨论

HFmrEF 作为心力衰竭分类中的独立类型,其病理生理特征和预后转归具有显著的异质性[2][3]。本研究通过回顾性分析 158 例 HFmrEF 患者的临床资料,发现约 41.8% 的患者实现了 LVEF 恢复。这一比例证实了 HFmrEF 人群具有较为显著的心肌可逆性潜力。为了精准识别这部分具有恢复潜力的患者,本

研究通过多因素分析筛选出 NYHA 分级、收缩压、左室舒张末期内径(LVEDD)及节段性室壁运动异常(RWMA)作为独立预测因子,并构建了可视化的列线图模型。该模型在评估 LVEF 恢复方面显示出良好的区分度(AUC = 0.813)和校准度,为临床制定个体化治疗策略提供了客观依据。

本研究发现基线收缩压水平与 LVEF 恢复呈显著正相关,即基础收缩压较高的患者更易实现心脏功能的改善。在心力衰竭的病理生理背景下,较高的收缩压通常反映了患者尚存较好的左心室收缩力储备[11][12]。根据 Frank-Starling 定律,在心脏失代偿的早期阶段,心肌纤维虽然受损,但仍能通过维持一定的搏出量来对抗外周阻力;而低血压状态往往提示心室泵功能衰竭已进入晚期,心输出量难以维持有效的组织灌注,心肌处于严重的低灌注状态,导致心肌顿抑进一步加重,逆重构困难。此外,良好的血压水平具有重要的治疗学意义,它为指南指导的药物疗法(GDMT)提供了关键的药物剂量滴定空间[13]。目前的抗心衰基石药物(如 ARNI、 $\beta$ 受体阻滞剂等)多具有降压效应,基础血压较高的患者能够耐受更高剂量的药物治疗,从而更充分地阻断肾素-血管紧张素-醛固酮系统和交感神经系统的过度激活,打断心室重构的恶性循环,最终促进 LVEF 的恢复[14]。

心脏功能的恢复不仅取决于全身的内分泌调节,更受到心脏局部解剖结构的物理限制[6]。本研究证实,节段性室壁运动异常(RWMA)和较大的左室舒张末期内径(LVEDD)是阻碍 LVEF 恢复的独立危险因素。LVEDD 反映了左心室的几何形态重构程度。当 LVEDD 显著增大时,室壁张力增加,导致心肌耗氧量增加,加重线粒体功能障碍和心肌细胞凋亡。若心室重构程度跨越了代偿极限,即使血流动力学负荷减轻,扩大的心室也难以回缩。另一方面,RWMA 通常提示局部心肌存在不可逆的病理改变,如心肌梗死后的纤维化瘢痕或严重的缺血性损伤[8]。从生物力学角度分析,LVEF 反映的是全心室的总体泵血功能,它是所有心肌节段收缩力的总和。若存在显著的 RWMA,受累节段不仅自身丧失收缩功能,还可能因矛盾运动消减正常节段产生的做功[15]。因此,RWMA 构成了心脏逆重构的解剖学限制,即使非梗死区的正常心肌发生代偿性增强,若瘢痕负荷过大,整体 LVEF 也难以恢复至正常范围。这一点在本研究的亚组分析中得到了进一步证实,RWMA 与缺血性病因存在显著交互作用,提示其对 LVEF 恢复的阻碍作用在缺血性心肌病中更为特异和显著,而在非缺血性心肌病中预测价值有限。

除了心脏本身的结构和功能指标外,患者的全身功能状态对预后亦有重要影响。NYHA 心功能分级作为评估心衰严重程度的经典工具,在本模型中表现出较强的预测价值。NYHA III~IV 级提示患者的心肺储备功能已耗竭,往往伴随着更严重的液体潴留和神经内分泌激活。此外,本研究模型还纳入了空腹血糖、尿素及中性粒细胞/淋巴细胞比值(NLR)作为调节变量。虽然这些指标在多因素分析中仅表现为边缘显著或作为协变量存在,但它们反映了心力衰竭作为一种全身性疾病的复杂背景:高血糖提示代谢紊乱和微血管损伤,尿素升高反映了心肾交互作用及容量负荷,而 NLR 升高则提示慢性的全身炎症状态。这些全身性因素共同构成了阻碍心肌恢复的病理生理环境,提示在临床管理中应注重对合并症的综合干预。

本研究构建的列线图整合了上述关键指标,为临床提供了一种双向的风险分层工具,有助于指导治疗决策。对于模型预测恢复概率较高的患者,临床医生应坚定地进行药物滴定,并建议密切随访。而对于恢复概率极低的患者,提示单纯依靠药物实现 LVEF 正常化的可能性较小。对于这类以结构性重构为主的患者,临床医生应在强化药物治疗的同时,更早评估心脏再同步化治疗或植入式心律转复除颤器等器械治疗指征,并警惕病情进展恶化。

本研究也存在一定的局限性:(1) 本研究为单中心回顾性研究,样本量相对较小,且可能存在选择偏倚;(2) 虽然校正了多种混杂因素,但未纳入心脏磁共振(CMR)等高级影像学指标,对心肌纤维化的评估基于超声 RWMA,可能不如 CMR 精准;(3) 本研究仅收集了基线数据,缺乏随访期间药物剂量动态调整的详细信息,故未分析目标剂量达标率及中介效应。未来尚需多中心、大样本的前瞻性研究对该模型

进行外部验证。

综上所述, NYHA 分级、收缩压、LVEDD 及 RWMA 是影响 HFmrEF 患者 LVEF 恢复的独立预测因素。本研究基于这些常规临床及影像学指标构建的列线图模型, 具有简便、直观且准确度高的特点。该模型有助于临床医生早期识别具有心肌恢复潜力的 HFmrEF 患者, 从而指导分层管理和个体化精准治疗。

## 利益冲突

本研究所有作者均声明不存在利益冲突。

## 作者贡献声明

张豪: 研究设计、数据分析、论文撰写; 张豪、姜瑞娇: 收集数据、整理数据; 张文忠: 文章审阅、指导。

## 参考文献

- [1] McDonagh, T.A., Metra, M., Adamo, M., Gardner, R.S., Baumbach, A., Böhm, M., *et al.* (2021) 2021 ESC Guidelines for the Diagnosis and Treatment of Acute and Chronic Heart Failure. *European Heart Journal*, **42**, 3599-3726. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab368>
- [2] Zhou, Q., Li, P., Zhao, H., Xu, X., Li, S., Zhao, J., *et al.* (2021) Heart Failure with Mid-Range Ejection Fraction: A Distinctive Subtype or a Transitional Stage? *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, **8**, Article ID: 678121. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2021.678121>
- [3] Tsuji, K., Sakata, Y., Nochioka, K., Miura, M., Yamauchi, T., Onose, T., *et al.* (2017) Characterization of Heart Failure Patients with Mid-Range Left Ventricular Ejection Fraction—A Report from the CHART-2 Study. *European Journal of Heart Failure*, **19**, 1258-1269. <https://doi.org/10.1002/ejhf.807>
- [4] Margonato, D., Mazzetti, S., De Maria, R., Gorini, M., Iacoviello, M., Maggioni, A.P., *et al.* (2020) Heart Failure with Mid-Range or Recovered Ejection Fraction: Differential Determinants of Transition. *Cardiac Failure Review*, **6**, e28. <https://doi.org/10.15420/cfr.2020.13>
- [5] Wei, Y., Liu, S., Mu, Y., Liang, X., Chen, Z., Liu, Y., *et al.* (2025) Prediction Models and Risk Scores in Different Types of Heart Failure: A Review. *Frontiers in Medicine*, **12**, Article ID: 1652307. <https://doi.org/10.3389/fmed.2025.1652307>
- [6] Park, A.C. and Mann, D.L. (2024) The Pathobiology of Myocardial Recovery and Remission: From Animal Models to Clinical Observations in Heart Failure Patients. *Methodist DeBakey Cardiovascular Journal*, **20**, 16-30. <https://doi.org/10.14797/mdcvj.1389>
- [7] Alkhunaizi, F.A., Brener, M.I. and Burkhoff, D. (2023) Device-Based Ventricular Reverse Remodeling: A Multimechanistic Therapeutic Strategy. *JACC: Basic to Translational Science*, **8**, 51-54. <https://doi.org/10.1016/j.jacbts.2022.08.007>
- [8] Playford, D., Stewart, S., Harris, S.A., Chan, Y. and Strange, G. (2023) Pattern and Prognostic Impact of Regional Wall Motion Abnormalities in 255697 Men and 236641 Women Investigated with Echocardiography. *Journal of the American Heart Association*, **12**, e031243. <https://doi.org/10.1161/jaha.123.031243>
- [9] Suwatanaviroj, T., He, W., Pituskin, E., Paterson, I., Choy, J. and Becher, H. (2018) What Is the Minimum Change in Left Ventricular Ejection Fraction, Which Can Be Measured with Contrast Echocardiography? *Echo Research & Practice*, **5**, 71-77. <https://doi.org/10.1530/erp-18-0003>
- [10] Halliday, B.P., Wassall, R., Lota, A.S., Khaliq, Z., Gregson, J., Newsome, S., *et al.* (2019) Withdrawal of Pharmacological Treatment for Heart Failure in Patients with Recovered Dilated Cardiomyopathy (TRED-HF): An Open-Label, Pilot, Randomised Trial. *The Lancet*, **393**, 61-73. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(18\)32484-x](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(18)32484-x)
- [11] Ha, J., Lee, C.J., Oh, J., Park, S., Lee, S. and Kang, S. (2023) The Association between On-Treatment Ambulatory Central Blood Pressure and Left Ventricular Reverse Remodeling in Heart Failure with Reduced Ejection Fraction. *International Journal of Heart Failure*, **5**, 150-158. <https://doi.org/10.36628/ijhf.2023.0004>
- [12] Furquim, S.R., Bocchi, E.A., Lira, M.T.S.d.S., Wanderley, M.R.d.B., de Marchi, D.C., Maciel, P.C., *et al.* (2025) Predictors of Sustained Reverse Remodelling in Patients with Heart Failure with Reduced Ejection Fraction. *ESC Heart Failure*, **12**, 2190-2199. <https://doi.org/10.1002/ehf2.15241>
- [13] Weidenhammer, A., Prausmüller, S., Stadler, M., Panagiotides, N., Spinka, G., Heitzinger, G., *et al.* (2025) Eligibility and GDMT Up-Titration Success in Heart Failure: A Real-World Assessment. *PLOS ONE*, **20**, e0323952. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0323952>

- [14] Mebazaa, A., Davison, B., Chioncel, O., Cohen-Solal, A., Diaz, R., Filippatos, G., *et al.* (2022) Safety, Tolerability and Efficacy of Up-Titration of Guideline-Directed Medical Therapies for Acute Heart Failure (STRONG-HF): A Multinational, Open-Label, Randomised, Trial. *The Lancet*, **400**, 1938-1952. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(22\)02076-1](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(22)02076-1)
- [15] Polacin, M., Karolyi, M., Eberhard, M., Gotschy, A., Baessler, B., Alkadhi, H., *et al.* (2021) Segmental Strain Analysis for the Detection of Chronic Ischemic Scars in Non-Contrast Cardiac MRI Cine Images. *Scientific Reports*, **11**, Article No. 12376. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-90283-7>