

# 运用故障树分析心梗PCI术后一年内再入院的风险因素研究

吕 思, 薛彩云, 王 妍, 李红文\*

陕西省人民医院心血管内科, 陕西 西安

收稿日期: 2026年3月23日; 录用日期: 2026年4月18日; 发布日期: 2026年4月23日

## 摘 要

目的: 运用故障树分析法, 系统识别和分析心梗患者PCI术后一年内再入院的风险因素, 构建风险预测模型, 为早期筛查高危人群、制定针对性护理干预措施、降低再入院率提供理论依据和实践指导。方法: 采用病例对照研究设计, 回顾性收集2018~2023年于陕西省人民医院心血管内科行PCI治疗的心梗患者资料, 根据术后一年内是否再入院分为病例组和对照组。通过系统文献回顾和两轮专家咨询, 确定风险因子清单。以“一年内再入院”为顶事件, 自上而下构建故障树, 进行定性与定量分析, 计算最小割集及各基本事件的结构重要度。结果: 共纳入病例组126例, 对照组252例。故障树模型包含6个次级事件和35个基本事件, 最小割集共47个。定性分析显示, 或门占65%, 提示系统风险较高; 定量分析识别出5个关键风险因素: 出院时左心室射血分数  $< 40\%$  (结构重要度0.213)、合并糖尿病(0.187)、服药依从性差(0.165)、缺乏家庭支持(0.142)、未参加心脏康复(0.128)。多因素logistic回归验证了上述因素与再入院的独立关联( $P < 0.05$ )。结论: 故障树分析法能直观揭示心梗PCI术后再入院的多因素层级关系, 心脏功能、合并症、自我管理及社会支持是主要风险维度。针对关键节点实施分层干预, 降低再入院率。

## 关键词

心肌梗死, 经皮冠状动脉介入治疗, 再入院, 故障树分析, 风险因素

## Research on Risk Factors for Readmission within One Year after PCI for Myocardial Infarction Using Fault Tree Analysis

Si Lyu, Caiyun Xue, Yan Wang, Hongwen Li\*

Department of Cardiovascular Medicine III, Shaanxi Provincial People's Hospital, Xi'an Shaanxi

Received: March 23, 2026; accepted: April 18, 2026; published: April 23, 2026

\*通讯作者。

文章引用: 吕思, 薛彩云, 王妍, 李红文. 运用故障树分析心梗PCI术后一年内再入院的风险因素研究[J]. 临床医学进展, 2026, 16(4): 4506-4513. DOI: 10.12677/acm.2026.1641721

## Abstract

**Objective:** To identify and analyze the risk factors for readmission within one year after PCI in patients with myocardial infarction using fault tree analysis, construct a risk prediction model, and provide theoretical basis and practical guidance for early screening of high-risk groups, formulating targeted nursing intervention measures, and reducing readmission rates. **Methods:** A case-control study design was adopted. Data of patients with myocardial infarction who underwent PCI in the Department of Cardiology of Shaanxi Provincial People's Hospital from 2018 to 2023 were retrospectively collected. The patients were divided into the case group and the control group based on whether they were readmitted within one year after the operation. Through systematic literature review and two rounds of expert consultation, a list of risk factors was determined. With "readmission within one year" as the top event, a fault tree was constructed from top to bottom for qualitative and quantitative analysis, and the minimum cut sets and structural importance of each basic event were calculated. **Results:** A total of 126 cases were included in the case group and 252 cases in the control group. The fault tree model included 6 secondary events and 35 basic events, with a total of 47 minimum cut sets. Qualitative analysis showed that OR gates accounted for 65%, indicating a relatively high system risk. Quantitative analysis identified 5 key risk factors: left ventricular ejection fraction < 40% at discharge (structural importance 0.213), diabetes mellitus (0.187), poor medication compliance (0.165), lack of family support (0.142), and non-participation in cardiac rehabilitation (0.128). Multivariate logistic regression verified the independent association of these factors with readmission ( $P < 0.05$ ). **Conclusion:** Fault tree analysis can visually reveal the multi-factor hierarchical relationship of readmission after PCI in myocardial infarction patients. Cardiac function, comorbidities, self-management, and social support are the main risk dimensions. Stratified intervention targeting key nodes can reduce readmission rates.

## Keywords

Myocardial Infarction, Percutaneous Coronary Intervention, Readmission, Fault Tree Analysis, Risk Factors

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

急性心肌梗死(acute myocardial infarction, AMI)主要由冠状动脉急性阻塞引起,是心血管病患者死亡的主要原因,同时也是我国居民最主要的死亡原因[1]。基于人口老龄化模型预测,到2030年我国AMI发病人数将突破2260万例[2]。据《中国心血管健康与疾病报告2023》2022年AMI共收治住院患者103.4万人次[3]。AMI作为冠心病(Coronary Heart Disease, CHD)中最为严重的一种类型是心血管内科的头号杀手,它以高发病率、高死亡率以及不良预后为特征,已成为民众的主要医疗负担[4]。经皮冠状动脉介入治疗(PCI)作为心梗患者最主要的血运重建手段,能有效开通梗死相关动脉,显著改善近期预后[5]。然而,心梗患者PCI术后远期管理仍面临挑战,非计划性再入院问题尤为突出。据统计,我国心梗患者PCI术后一年内再入院率高达15%~25%,不仅严重影响患者生活质量,还给家庭和社会医疗体系带来沉重经济负担,识别再入院的风险因素是实施精准预防的前提。既往研究多采用传统回归分析方法,探讨单一因素与再入院的关联,如年龄、性别、合并症、住院天数等,但难以揭示多因素间复杂的交互作用和层级

结构[6]。心梗术后再入院是患者自身因素、疾病因素、治疗因素、社会因素等多层面风险因子共同作用的结果,亟需引入系统性风险分析工具加以解构。故障树分析(Fault Tree Analysis, FTA)是一种源自系统安全工程的演绎式风险分析方法,它从特定的顶层事件(如“再入院”)出发,自上而下逐层追溯导致事件发生的各种直接和间接原因,并通过逻辑门符号清晰表达各因素间的逻辑关系,最终实现对系统失效模式的定性和定量评估[7]。该方法在航空航天、核工业等高可靠性领域已广泛应用,但在医疗风险管理中尚处于探索阶段。本研究首次将 FTA 引入心梗患者 PCI 术后再入院风险研究,旨在系统识别关键风险因素及其内在关联,为制定分层级、多靶点的护理干预策略提供科学依据。

## 2. 资料与方法

### 2.1. 研究对象

采用病例对照研究设计,回顾性收集 2018 年 1 月至 2023 年 6 月在陕西省人民医院心血管内三科行 PCI 治疗的心梗患者资料。纳入标准:(1)符合第四版“心肌梗死通用定义”诊断标准;(2)成功行 PCI 治疗且出院时存活;(3)年龄  $\geq 18$  岁;(4)临床资料完整。排除标准:(1)住院期间死亡或自动出院;(2)合并恶性肿瘤或其他预期寿命  $< 1$  年的疾病;(3)因计划性治疗(如分次 PCI)再次入院。根据出院后一年内是否因心脏相关原因非计划性再入院,将患者分为病例组(再入院组)和对照组(非再入院组),按 1:2 比例匹配年龄( $\pm 3$  岁)和性别。

### 2.2. 风险因子收集

#### 2.2.1. 文献回顾

系统检索中国知网、万方数据库、维普、PubMed、Web of Science 等数据库,时限为建库至 2023 年 6 月。检索词包括:“心肌梗死”、“PCI”、“再入院”、“危险因素”、“readmission”、“myocardial infarction”、“percutaneous coronary intervention”、“risk factors”。由两名研究者独立筛选文献、提取风险因子,并交叉核对。

#### 2.2.2. 专家咨询

邀请 15 名心血管领域专家(包括心内科医师 5 名、护理管理者 5 名、临床护理专家 5 名)进行两轮德尔菲咨询。专家纳入标准:中级及以上职称,从事心血管临床或管理工作  $\geq 10$  年。咨询内容包括风险因子重要性评分(Likert 5 级评分),以及建议增加或删除的因子。计算各因子的变异系数和协调系数,最终确定故障树基本事件清单。

#### 2.2.3. 临床资料收集

通过医院电子病历系统收集患者资料,包括:(1)人口学特征:年龄、性别、体质指数、文化程度、婚姻状况、居住情况;(2)临床特征:心梗类型、梗死部位、Killip 分级、左心室射血分数(LVEF)、合并症(高血压、糖尿病、慢性肾病等)、实验室指标;(3)治疗情况:支架数量、术中并发症、住院天数、出院带药;(4)出院后管理:服药依从性(Morisky 量表)、心脏康复参与情况、家庭支持度(家庭支持自评量表)、随访情况。

## 2.3. 故障树构建

### 2.3.1. 顶事件与边界条件

确定顶事件为“心梗 PCI 术后一年内再入院”。分析边界限定于患者自身相关因素、院内治疗相关因素及出院后管理因素,不考虑不可抗力(如自然灾害)等外部因素。

### 2.3.2. 风险因子逻辑关系判定标准

为确保故障树逻辑结构的客观性与可复现性,本研究预先制定了事件间逻辑关系(“与门”/“或门”)的判定规则,并由研究小组与专家咨询组共同执行。

“或门”的判定标准:当任一子事件发生即可直接导致中间事件发生时,使用“或门”。适用于功能冗余或独立致病路径的情况。例如,“合并症控制不良(A2)”下,只要存在“高血压控制不良(X10)”等任一情况,即可视为控制不良,故采用“或门”。

“与门”的判定标准:仅当所有子事件同时发生时,中间事件才会发生时,使用“与门”。适用于多因素协同致病的情况。例如,“不良生活方式(A5)”中,“不合理饮食(X29)”与“缺乏运动(X28)”常需共同作用才能显著增加再入院风险。

判定流程分为三步:(1)独立判定:两位研究人员依据上述标准,独立对每个中间事件与基本事件的逻辑关系进行标注。(2)专家审议:将判定结果提交至15人专家咨询组,采用德尔菲法进行两轮评议。第一轮要求专家对逻辑关系合理性进行评分(Likert 5级),并给出修改建议;第二轮汇总意见,形成最终逻辑关系表。两轮评议的协调系数分别为0.38和0.47( $P < 0.05$ ),表明专家意见一致性良好。(3)一致性检验:计算两位研究人员初始判定的Kappa系数为0.84(95% CI: 0.75~0.93),表明内部一致性优异。

### 2.3.3. 故障树绘制

在完成逻辑关系判定后,采用演绎法自上而下逐层分解。以“心梗PCI术后一年内再入院”为顶事件(T),下设6个次级事件:心脏功能异常(A1)、合并症控制不良(A2)、治疗依从性差(A3)、社会支持不足(A4)、不良生活方式(A5)、其他(A6)。每个次级事件进一步分解为基本事件(X1~X35)。所有逻辑门的选择均依据2.3.2中确定的规则执行。

## 2.4. 故障树分析

### 2.4.1. 定性分析

采用下行法或上行法求解故障树的最小割集(minimal cut sets),即导致顶事件发生的最少基本事件组合。割集的阶数越低,表示该组合导致顶事件发生的可能性越大。计算各基本事件的结构重要度,即该事件在故障树结构中的关键程度。

### 2.4.2. 定量分析

以病例组和对照组数据为基础,计算各基本事件的发生概率(病例组中该因素暴露率)。假设基本事件相互独立,根据故障树逻辑结构计算顶事件发生概率的理论值,并与实际再入院率比较验证模型。采用概率重要度和关键重要度评价各基本事件对顶事件的影响程度。

## 2.5. 统计学处理

使用SPSS 26.0和MATLAB R2021a进行数据分析。计量资料以均数 $\pm$ 标准差表示,组间比较采用t检验;计数资料以频数和百分比表示,组间比较采用 $\chi^2$ 检验。多因素分析采用二元logistic回归,筛选独立危险因素。检验水准 $\alpha = 0.05$ 。

## 3. 结果

### 3.1. 研究对象基本特征

共纳入378例患者,其中病例组126例,对照组252例。两组患者在年龄、性别构成上无统计学差

异(P>0.05), 具有可比性。病例组患者 LVEF<40%比例、合并糖尿病比例、服药依从性差比例、缺乏家庭支持比例及未参加心脏康复比例均显著高于对照组(P<0.05), 见表 1。

Table 1. Comparison of basic characteristics of the two groups of patients  
表 1. 两组患者基本特征比较

变量	病例组(n = 126)	对照组(n = 252)	$\chi^2/t$	P 值
年龄(岁, $\bar{x} \pm s$ )	62.5 $\pm$ 10.3	61.8 $\pm$ 11.2	0.61	0.542
男性(n, %)	84 (66.7)	169 (67.1)	0.01	0.939
LVEF < 40%	41 (32.5)	38 (15.1)	15.38	<0.001
合并糖尿病	53 (42.1)	68 (27.0)	8.83	0.003
服药依从性差	47 (37.3)	45 (17.9)	17.20	<0.001
缺乏家庭支持	39 (31.0)	36 (14.3)	14.72	<0.001
未参加心脏康复	82 (65.1)	98 (38.9)	22.99	<0.001

### 3.2. 文献回顾与专家咨询结果

通过文献初筛获得相关风险因子 68 个, 经两轮专家咨询后保留 35 个基本事件。两轮咨询专家积极系数均为 100%, 权威系数 0.86~0.92, 协调系数分别为 0.32 和 0.45 (P < 0.05), 表明专家意见协调性好。最终确定的风险因子涵盖 5 个维度: 心脏结构与功能(8 项)、合并症(7 项)、治疗依从性(6 项)、社会支持(6 项)、生活方式(5 项), 以及其他(3 项)。

### 3.3. 故障树模型

以“心梗 PCI 术后一年内再入院”为顶事件(T), 下设 6 个次级事件: 心脏功能异常(A1)、合并症控制不良(A2)、治疗依从性差(A3)、社会支持不足(A4)、不良生活方式(A5)、其他(A6)。每个次级事件进一步分解为基本事件(X1~X35)。故障树共包含逻辑门 42 个, 其中或门 28 个(66.7%), 与门 14 个(33.3%)。故障树结构示意图见图 1。

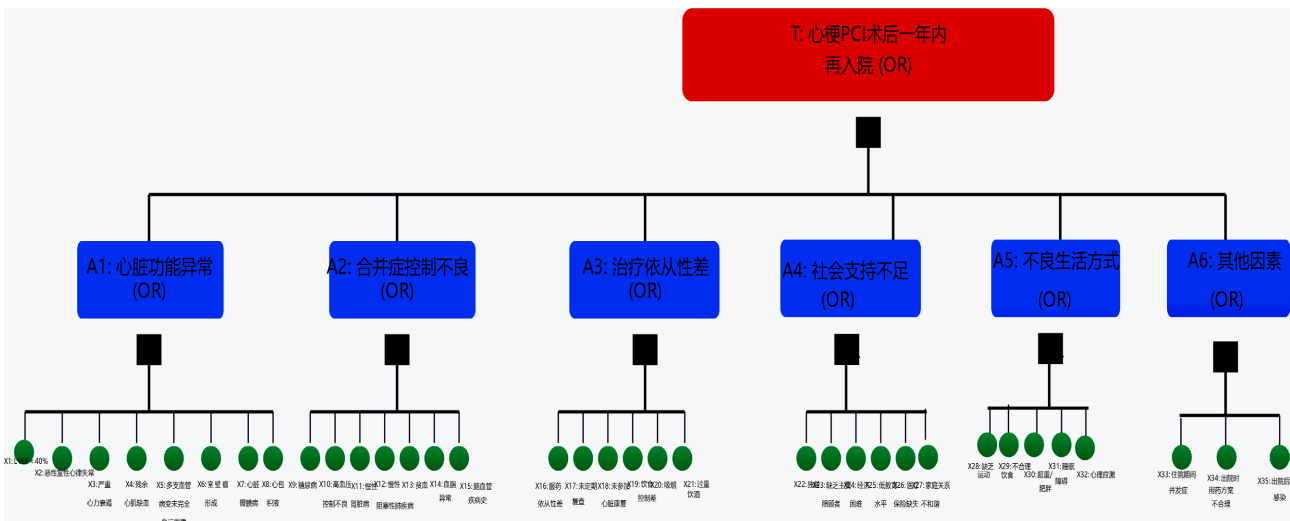


Figure 1. Schematic diagram of fault tree structure  
图 1. 故障树结构示意图

### 3.4. 故障树定性分析

采用下行法求得最小割集 47 个。其中一阶最小割集(单个基本事件即可导致顶事件) 8 个, 二阶最小割集 25 个, 三阶及以上割集 14 个。结构重要度分析显示, 排在前五位的分别是: LVEF < 40% (0.213)、糖尿病(0.187)、服药依从性差(0.165)、缺乏家庭支持(0.142)、未参加心脏康复(0.128)。

### 3.5. 故障树定量分析

根据病例组中各基本事件暴露频率计算其发生概率, 代入故障树逻辑结构, 计算顶事件发生概率的理论值为 19.8%, 与本研究队列实际再入院率(33.3%, 126/378)相比偏低, 提示模型可能存在未纳入的重要风险因素或基本事件间存在相关性。各基本事件的概率重要度和关键重要度计算结果见表 2。关键重要度排前五的与结构重要度结果一致。

**Table 2.** Probability importance and critical importance of key basic events

**表 2.** 关键基本事件的概率重要度与关键重要度

基本事件	概率重要度	关键重要度
LVEF < 40% (X1)	0.326	0.231
糖尿病(X9)	0.285	0.194
服药依从性差(X16)	0.257	0.168
缺乏家庭支持(X24)	0.223	0.145
未参加心脏康复(X18)	0.201	0.131

### 3.6. 多因素 Logistic 回归验证

以是否再入院为因变量, 将故障树分析中识别的重要基本事件(结构重要度 > 0.1)作为自变量, 进行多因素 logistic 回归分析。结果显示: LVEF < 40% (OR = 2.86, 95% CI 1.74~4.69)、合并糖尿病(OR = 2.13, 95% CI 1.38~3.29)、服药依从性差(OR = 2.54, 95% CI 1.61~4.02)、缺乏家庭支持(OR = 2.07, 95% CI 1.28~3.35)、未参加心脏康复(OR = 2.71, 95% CI 1.76~4.17)均为再入院的独立危险因素( $P < 0.05$ )。

## 4. 讨论

### 4.1. 故障树分析在心肌梗死后再入院风险研究中的适用性

本研究首次将故障树分析法引入心梗患者 PCI 术后再入院风险研究, 成功构建了包含 5 个维度 35 个基本事件的风险模型。故障树能够直观展示各风险因素间的层级关系和逻辑组合, 弥补了传统回归分析仅能揭示“因素 - 结局”线性关联的不足。本模型中或门占 66.7%, 提示多数情况下任一风险因素单独存在即可增加再入院可能, 系统风险较高, 需要综合干预。与门的存在(如“同时存在多种合并症”)则提示某些因素需协同作用才导致事件发生, 为精准识别高危人群提供了线索。

### 4.2. 关键风险因素的临床意义

本研究通过定性与定量分析一致识别出 5 个核心风险因素: LVEF < 40%、合并糖尿病、服药依从性差、缺乏家庭支持、未参加心脏康复。

LVEF 是反映心功能的核心指标, LVEF 降低提示心肌损伤严重, 易发生心力衰竭和心律失常, 是再入院的强力预测因子[8]。合并糖尿病增加冠状动脉多支病变风险, 且常伴随自主神经病变, 导致症状不典型而延误就医[9]。服药依从性差是二级预防失败的常见原因, 抗血小板药物、他汀等停药直接增加血

栓事件风险[10]。缺乏家庭支持的患者在饮食管理、症状监测、就医决策等方面处于劣势，再入院风险升高[11]。心脏康复已被指南推荐为心梗患者标准治疗的一部分，参与康复可改善心功能、控制危险因素、提高生活质量，本研究未参与康复者再入院风险是对照组的 2.7 倍，与文献报道一致[12]。

### 4.3. 基于故障树的风险干预策略

根据故障树分析结果，可制定分层级干预措施：(1) 针对一阶最小割集涉及的高危因素(如 LVEF < 40%、糖尿病等)，应加强出院前评估和院外随访，建立高危患者档案；(2) 针对服药依从性差，可采用智能药盒、用药提醒 APP、家庭访视等综合干预；(3) 针对家庭支持不足，应鼓励家属参与健康教育，建立家庭支持网络；(4) 针对未参加心脏康复，应优化康复转诊流程，探索居家康复模式。通过“修剪”故障树的关键分支，有望最大程度降低再入院率。

### 4.4. 创新点与局限性

本研究的创新之处在于：(1) 方法论创新，将工程学中的故障树分析引入心血管护理风险管理，为多因素复杂问题的系统分析提供了新工具；(2) 通过文献回顾、专家咨询和临床数据相结合的立体化风险识别路径，提高了风险因子的全面性和可靠性；(3) 构建了可视化的风险层级模型，便于临床理解和应用。

本研究也存在一定局限性：(1) 单中心回顾性设计，可能存在选择偏倚；(2) 故障树分析假设基本事件相互独立，但实际中因素间可能存在交互作用，后续可引入贝叶斯网络等方法加以改进；(3) 部分风险因素如心理状态、健康素养等未纳入分析，可能影响模型完整性。

## 5. 结论

故障树分析法能系统揭示心梗患者 PCI 术后一年内再入院的多因素层级结构和关键风险节点。心脏功能、合并症、治疗依从性、社会支持及心脏康复参与是主要风险维度，其中 LVEF < 40%、糖尿病、服药依从性差、缺乏家庭支持、未参加心脏康复为核心因素。针对上述关键环节实施分层干预，有望有效降低再入院率，改善患者预后。

## 基金项目

陕西省人民医院科技发展孵化基金资助项目(2023HL-23)。

## 参考文献

- [1] 李化, 吴华, 闫弘睿, 等. 不同院前急救方式对急性心肌梗死合并急性左心衰竭的救治效果及对患者预后的影响[J]. 中国老年学杂志, 2025, 45(8): 1796-1799.
- [2] Long, Z., Liu, W., Zhao, Z., Tong, S., Wang, L., Zhou, M., *et al.* (2022) Case Fatality Rate of Patients with Acute Myocardial Infarction in 253 Chest Pain Centers—China, 2019-2020. *China CDC Weekly*, 4, 518-521. <https://doi.org/10.46234/ccdcw2022.026>
- [3] 刘明波, 何新叶, 杨晓红, 等. 《中国心血管健康与疾病报告 2023》概要(心血管疾病流行及介入诊疗状况) [J]. 中国介入心脏病学杂志, 2024, 32(10): 541-550.
- [4] Tabaei, S., Sahebkar, A., Aghamohammadi, T., Pakdel, M., Dehabe, M., Sobhani, R., *et al.* (2021) The Effects of Curcumin plus Piperine Supplementation in Patients with Acute Myocardial Infarction: A Randomized, Double-Blind, and Placebo-Controlled Trial. In: Sahebkar, A. and Sathyapalan, T., Eds., *Natural Products and Human Diseases: Pharmacology, Molecular Targets, and Therapeutic Benefits*, Springer International Publishing, 199-211. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-73234-9\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-030-73234-9_13)
- [5] Lawton, J.S., Tamis-Holland, J.E., Bangalore, S., *et al.* (2022) 2021 ACC/AHA/SCAI Guideline for Coronary Artery Revascularization: Executive Summary: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *Circulation*, 145, e4-e17.
- [6] 杨培根, 程爱娟, 李鹏, 等. 急性 ST 段抬高型心肌梗死患者急诊经皮冠状动脉介入治疗术后 1 年内非计划再入

- 
- 院的危险因素[J]. 中华高血压杂志, 2022, 30(5): 474-478.
- [7] McElroy, L.M., Khorzad, R., Rowe, T.A., Abecassis, Z.A., Apley, D.W., Barnard, C., *et al.* (2017) Fault Tree Analysis. *American Journal of Medical Quality*, **32**, 80-86. <https://doi.org/10.1177/1062860615614944>
- [8] 吕月, 李珊, 葛杰. 平均动脉压对老年心力衰竭患者 6 个月再入院和死亡风险的影响[J]. 武警医学, 2025, 36(10): 841-847.
- [9] 刘文文, 杨琼. 行为计划理论在心肌梗死伴糖尿病患者中的应用价值[J]. 山西卫生健康职业学院学报, 2025, 35(4): 88-90.
- [10] 胡红梅. 同伴教育联合回授法对急性心肌梗死患者 PCI 术后服药依从性的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 南昌大学, 2025.
- [11] 王雪. CCU 老年冠脉介入患者术后疾病不确定感与焦虑、家庭支持的相关性研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东中医药大学, 2019.
- [12] 孙飞, 陈娅妮, 马小凤, 等. 多学科诊疗模式联合序贯式心脏康复运动在 PCI 急性心肌梗死患者术后的应用效果[J]. 临床误诊误治, 2026, 39(5): 30-36.