

# 基于风险前馈控制的冠脉介入操作术后并发症 风险预测模型构建

白改艳\*, 杨娜#

延安市安塞区人民医院内科, 陕西 延安

收稿日期: 2025年8月23日; 录用日期: 2025年9月17日; 发布日期: 2025年9月26日

## 摘要

**目的:** 构建基于风险前馈控制的冠脉介入操作术后并发症风险预测模型。**方法:** 本研究是一项回顾性研究, 回顾性队列研究分析2023年3月~2025年2月入住延安市安塞区人民医院心血管内科行冠脉介入操作的病例, 对照组: CAG/PCI病例未发生并发症组; 观察组: CAG/PCI病例出现并发症组。两组组间比较计量资料采用独立样本 $t$ 检验或非参数检验, 计数资料比较采用 $\chi^2$ 检验, 比较后有统计学意义的纳入二元Logistic回归模型, CAG/PCI术后出现并发症作为因变量, 采用二元Logistic回归筛选出现并发症的独立危险因素, 根据二元Logistic结果构建风险前馈评分系统(RFS), 以 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。**结果:** 本研究共纳入320例于2023年3月2025年2月在我院行冠脉介入操作术后患者, 二元Logistic回归分析, 结果显示合并高血压( $OR = 2.566$ )、婚姻状况( $OR = 3.074$ )、心功能(LVEF) ( $OR = 5.623$ )、病变血管狭窄程度( $OR = 4.329$ ), 4个因素进入方程( $P < 0.05$ ), 由标准化偏回归系数计算冠脉介入操作术后患者出现并发症风险值( $R$ ) =  $2 \times$  高血压 +  $3 \times$  婚姻状况 +  $5 \times$  心功能(LVEF) +  $4 \times$  病变血管狭窄程度。**结论:** 风险前馈控制强调在并发症发生前基于预测进行干预, 区别于传统反馈控制, 本研究中 $OR$ 值排序: 按效应强度降序呈现(LVEF > 狭窄 > 婚姻 > 高血压), 突出临床优先级。该模型通过整合生理-社会二维变量, 涉及对社会支持薄弱人群的精准预警。建议临床: 将婚姻状况纳入术前风险评估表, 对LVEF < 40%合并社会支持不足者启动多学科干预, 同时依托模型开发实时风险预警系统, 推动并发症防控从“被动处置”向“主动前馈”转型。

## 关键词

风险前馈控制, 冠脉介入, 术后并发症, 预测模型

\*第一作者。

#通讯作者。

# Construction of a Postoperative Complication Risk Prediction Model for Coronary Intervention Procedures Based on Risk Feed-Forward Control

Gaiyan Bai\*, Na Yang#

Department of Internal Medicine, Ansai District People's Hospital of Yan'an City, Yan'an Shaanxi

Received: Aug. 23<sup>rd</sup>, 2025; accepted: Sep. 17<sup>th</sup>, 2025; published: Sep. 26<sup>th</sup>, 2025

## Abstract

**Objective:** To construct a risk prediction model for postoperative complications of coronary intervention based on risk feed-forward control. **Methods:** This study was a retrospective study. A retrospective cohort study was conducted on cases of coronary intervention performed in the Department of Cardiovascular Medicine of Ansai District People's Hospital, Yan'an City from March 2023 to February 2025. The control group consisted of cases of CAG/PCI without complications, and the observation group consisted of cases of CAG/PCI with complications. Independent sample t-test or non-parametric test was used for comparison of measurement data between the two groups, and chi-square test was used for comparison of count data. Variables with statistical significance after comparison were included in the binary Logistic regression model. Postoperative complications of CAG/PCI were taken as the dependent variable, and binary Logistic regression was used to screen independent risk factors for complications. A risk feed-forward scoring system (RFS) was constructed based on the results of binary Logistic regression. A difference was considered statistically significant when  $P < 0.05$ . **Results:** A total of 320 patients who underwent coronary intervention procedures in our hospital from March 2023 to February 2025 were included in this study. Binary Logistic regression analysis was conducted, and the results showed that four factors, namely, hypertension (OR = 2.566), marital status (OR = 3.074), cardiac function (LVEF) (OR = 5.623), and the degree of stenosis of the lesion vessel (OR = 4.329), entered the equation ( $P < 0.05$ ). The risk value (R) of complications after coronary intervention procedures was calculated by the standardized partial regression coefficient as  $R = 2 \times \text{hypertension} + 3 \times \text{marital status} + 5 \times \text{cardiac function (LVEF)} + 4 \times \text{degree of stenosis of the lesion vessel}$ . **Conclusion:** Risk feed-forward control emphasizes intervention based on prediction before complications occur, which is different from traditional feedback control. In this study, the OR values were ranked in descending order of effect strength (LVEF > stenosis > marital status > hypertension), highlighting clinical priorities. This model integrates physiological and social dimensions, involving precise early warning for people with weak social support. **Clinical recommendation:** Marital status should be included in the preoperative risk assessment form. For those with LVEF < 40% and insufficient social support, multidisciplinary intervention should be initiated. At the same time, a real-time risk early warning system should be developed based on the model to promote the transformation of complication prevention and control from "passive response" to "active feed-forward".

## Keywords

Risk Feedback Control, Coronary Intervention, Postoperative Complications, Prediction Model



## 1. 引言

冠脉介入操作(Coronary Intervention)是指通过微创导管技术对冠状动脉狭窄或闭塞病变进行检查或血运重建的系列操作,包括冠状动脉造影(CAG)和经皮冠状动脉介入治疗(PCI)。尽管技术成熟,CAG及PCI仍属有创操作,并发症发生率约3%~7%,复杂病变(钙化、CTO)患者风险更是翻倍,严重并发症如急性血栓、对比剂肾病(CIN)等可导致死亡或长期器官损伤,随着手术适应证的拓展和复杂病变比例的增加,围术期并发症发生率仍常发生[1]-[3]。风险前馈控制理论(Anticipatory Control Theory)通过构建“风险识别-早期预警-主动干预”的闭环系统,已在航空、核电等高危行业降低事故率方面有显著成效。冠脉介入操作并发症防治正经历从经验驱动向数据驱动的范式转变[4],本研究融合动态风险评估和前馈控制理论,通过构建风险预测模型以期实现冠脉介入操作并发症的提前预测与主动预防。

## 2. 资料与方法

### 2.1. 研究对象

本研究是一项回顾性研究,选取2023年3月至2025年2月入住延安市安塞区人民医院心血管内科的冠脉介入手术患者作为研究对象,对照组:CAG/PCI病例未发生并发症组;观察组:CAG/PCI病例出现并发症组。本研究已通过延安市安塞区人民医院伦理委员会审查,所有研究对象均知情同意。

纳入标准:①确诊为冠心病需择期/急诊PCI治疗;②年龄 $\geq 18$ 岁,且知情同意;③术前基线数据(含实验室检查、影像学评估)完整,术后完成全程随访。

排除标准:①合并其他心脏疾患;②重要脏器终末期病变及恶性肿瘤等特殊患者;③失访患者。

### 2.2. 风险前馈模型构建

风险因素初筛:系统检索近几年文献,回顾本院CAG/PCI并发症病例(至少50例根本原因分析),筛选潜在风险因素。

资料收集:①术前基线数据(术前24h收集):年龄、BMI、肾功能、心功能、慢性病史;②术中动态数据(术中连续监测):血压波动(收缩压波动 $\geq 40$  mmHg为界)、造影剂用量、操作时间;③影像学数据(术中实时影像):病变血管、血管狭窄程度。

统计学方法:两组组间比较计量资料采用独立样本 $t$ 检验或非参数检验,计数资料比较采用 $\chi^2$ 检验,比较后有统计学意义的纳入二元Logistic回归模型,CAG/PCI术后出现并发症作为因变量,采用二元Logistic回归分析出现并发症的危险因素,根据二元Logistic结果构建风险前馈模型,以 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

## 3. 结果

### 3.1. 冠脉介入操作术后患者一般资料与疾病相关资料

本研究是一项回顾性病例研究,共纳入320例于2023年3月至2025年2月在我院行冠脉介入操作术后患者,年龄最小者54岁,最大者为83岁,平均年龄为 $(60.73 \pm 5.40)$ 岁,两组患者一般资料与疾病相关资料比较,结果显示在合并高血压、婚姻状况、操作方式、心功能(LVEF)、操作时间、病变血管狭窄程

度 6 个变量上差异具有统计学意义( $P < 0.05$ ), 见表 1。

**Table 1.** Comparison of general demographic data and disease-related data between the two groups of patients after coronary intervention surgery (n = 320)

**表 1.** 冠脉介入操作术后两组患者一般人口学资料与疾病相关资料比较(n = 320)

项目		对照组(n = 276, %)	观察组(n = 44, %)	$\chi^2/t$	P 值
性别	男	161(58.3)	22(50.0)	1.076 <sup>a</sup>	0.300
	女	115(41.7)	22(50.0)		
年龄(岁) ( $\bar{X} \pm s$ )		60.70 $\pm$ 5.28	60.95 $\pm$ 6.12	-0.291 <sup>b</sup>	0.771
BMI (kg/m <sup>2</sup> ) ( $\bar{X} \pm s$ )		24.25 $\pm$ 3.15	23.44 $\pm$ 3.90	1.536 <sup>b</sup>	0.126
教育程度	初中及以下	154(55.8)	29(65.9)	1.585 <sup>a</sup>	0.208
	高中及以上	122(44.2)	15(34.1)		
医保类型	居民医保	200(72.5)	29(65.9)	0.801 <sup>a</sup>	0.371
	职工医保	76(27.5)	15(34.1)		
吸烟史	无	191(69.2)	31(70.5)	0.028 <sup>a</sup>	0.867
	有	85(30.8)	13(29.5)		
高血压	否	131(47.5)	12(27.3)	6.259 <sup>a</sup>	0.012
	是	145(52.5)	32(72.7)		
家庭支持度	低水平	48(17.4)	14(31.8)	5.064 <sup>a</sup>	0.080
	中等水平	184(66.7)	24(54.5)		
	高水平	44(15.9)	6(13.6)		
婚姻状况	已婚	262(94.9)	37(84.1)	7.268 <sup>a</sup>	0.007
	离异/丧偶	14(5.1)	7(15.9)		
操作方式	CAG	174(63.0)	20(45.5)	4.918 <sup>a</sup>	0.027
	PCI	102(37.0)	24(54.5)		
肾功能	正常	216(78.3)	30(68.2)	2.169 <sup>a</sup>	0.141
	异常	60(21.7)	14(31.8)		
心功能(LVEF,%)	$\geq 40$	201(72.8)	16(36.4)	23.116 <sup>a</sup>	0.000
	$< 40$	75(27.2)	28(63.6)		
血压波动(mmHg)	$\geq 40$	228(82.6)	31(70.5)	3.634 <sup>a</sup>	0.057
	$< 40$	48(17.4)	13(29.5)		
造影剂用量(ml)	$\geq 100$	90(32.6)	19(43.2)	1.889 <sup>a</sup>	0.169
	$< 100$	186(67.4)	25(56.8)		
操作时间(min)	( $\bar{X} \pm s$ )	44.94 $\pm$ 7.82	62.53 $\pm$ 10.09	-13.258 <sup>b</sup>	0.000
病变血管	右冠状动脉	90(32.6)	8(18.2)	3.718 <sup>a</sup>	0.054
	左冠状动脉	186(67.4)	36(81.8)		
病变血管狭窄程度(%)	$\geq 70$	215(77.9)	23(52.3)	13.067 <sup>a</sup>	0.000
	$< 70$	61(22.1)	21(47.7)		

备注: <sup>a</sup>代表  $\chi^2$  值; <sup>b</sup>代表  $t$  值。

### 3.2. 冠脉介入操作术后患者出现并发症风险前馈模型构建

将单因素分析有统计学意义( $P < 0.05$ )的变量(合并高血压、婚姻状况、操作方式、心功能(LVEF)、操作时间、病变血管狭窄程度)及家庭支持度、血压波动、病变血管( $P < 0.1$ )作为自变量, 冠脉介入操作术后患者是否出现并发症作为因变量纳入二元 Logistic 回归模型。自变量划分为二分类变量并赋值, 赋值详见表 2。设置( $\alpha_{入} = 0.05$ ,  $\alpha_{出} = 0.10$  的标准)进行二元 Logistic 回归分析, 结果显示合并高血压(OR = 2.566)、婚姻状况(OR = 3.074)、心功能(LVEF) (OR = 5.623)、病变血管狭窄程度(OR = 4.329), 4 个因素进入方程( $P < 0.05$ ), 结果见表 3。

由标准化偏回归系数计算冠脉介入操作术后患者出现并发症风险值(RFS) = 2 × 高血压 + 3 × 婚姻状况 + 5 × 心功能(LVEF) + 4 × 病变血管狭窄程度。

**Table 2.** The assignment method of independent variables for risk factors associated with complications in patients after coronary intervention surgery

**表 2.** 冠脉介入操作术后患者发生并发症的危险因素自变量赋值方式

项目	赋值方式
合并高血压	否 = 0; 是 = 1
婚姻状况	已婚 = 0; 离异/丧偶 = 1
操作方式	CAG = 1; PCI = 2
心功能(LVEF, %)	≥40 = 0; < = 1
操作时间(min)	原值代入
病变血管狭窄程度(%)	<70 = 0; ≥70 = 1
家庭支持度	低水平 = 1; 中等水平 = 2; 高水平 = 3
血压波动(mmHg)	<40 = 0; ≥40 = 1
病变血管	右冠状动脉 = 1; 左冠状动脉 = 2

**Table 3.** The results of binary Logistic regression analysis on the risk factors for complications in patients after coronary intervention surgery

**表 3.** 冠脉介入操作术后患者发生并发症的危险因素二元 Logistic 回归分析结果

项目	标准回归系数(B)	标准误	瓦德尔	t 值 Exp(B)	P 值	95%置信区间 [下限, 上限]
常量	-3.821	0.460	68.952	0.022	0.000	-
婚姻状况	1.114	0.539	4.275	3.047	0.039	[1.060, 8.761]
病变血管狭窄程度	1.465	0.375	15.294	4.329	0.000	[2.077, 9.021]
高血压	0.942	0.391	5.809	2.566	0.016	[1.193, 5.521]
心功能	1.727	0.373	21.478	5.623	0.000	[2.709, 11.672]

#### 4. 讨论与结论

本研究基于风险前馈控制理念构建的冠脉介入术后并发症预测模型, 通过二元 Logistic 回归分析识别出四个独立预测因子: 高血压病史、婚姻状况、左心室射血分数(LVEF)及病变血管狭窄程度。心功能(LVEF)的突出影响(OR = 5.623)表明左心室收缩功能是术后并发症的最强预测因子。LVEF 每降低一个等级, 并发症风险增加近 5 倍, 这与心肌代偿能力下降、手术应激耐受性降低的病理生理机制一致[5] [6]。该结果强调了对心功能不全患者需强化围术期血流动力学支持的必要性。病变血管狭窄程度(OR= 4.329)作为手术操作难度的直接指标, 其高风险性印证了复杂病变(如钙化、弥漫性狭窄)易导致血管损伤、慢血流等术中并发症, 进而延续至术后阶段[7]。高血压病史(OR = 2.566)的显著关联性反映了基础血管病变的累积效应。长期高血压加速动脉粥样硬化进程, 同时通过血管内皮功能障碍和微循环阻力增加, 放大介入操作对血管系统的应激损伤[8]。婚姻状况(OR = 3.074)作为社会心理学因素被纳入模型具有创新意义。未婚/独居患者风险显著增高, 可能与术后康复期的社会支持缺失(如用药监督、症状监测、生活护理不足)相关, 提示非生理因素在预后评估中的重要性[9]。

风险前馈控制强调在并发症发生前基于预测进行干预, 区别于传统反馈控制, 本研究中 OR 值排序: 按效应强度降序呈现(LVEF > 狭窄 > 婚姻 > 高血压), 突出临床优先级。该模型通过整合生理 - 社会二维变量, 涉及对社会支持薄弱人群的精准预警。建议临床: 将婚姻状况纳入术前风险评估表, 对 LVEF < 40%合并社会支持不足者启动多学科干预, 同时依托模型开发实时风险预警系统, 推动并发症防控从“被

动处置”向“主动前馈”转型。

## 参考文献

- [1] 张燕, 强建新, 李丽娟, 等. 经桡动脉行冠脉介入治疗外周血管并发症的预防与处理[J]. 宁夏医学杂志, 2009, 31(10): 912-913.
- [2] 陈安芳, 李成玲, 姜荣沪, 等. 经桡动脉介入的并发症预防及处理[J]. 四川医学, 2011, 32(2): 198-200.
- [3] 谭剑炼, 陈倩, 吴金家. 经皮冠脉介入术后造影剂脑病的相关研究进展[J]. 中国当代医药, 2023, 30(3): 26-29.
- [4] 孔娜娜, 何蕾, 徐坤, 等. 品管圈活动在降低冠脉介入术后桡动脉穿刺处并发症发生率中的应用研究[J]. 东南国防医药, 2018, 20(5): 547-549.
- [5] 肖海燕, 龙俊杰, 杨耀闯, 等. 急性 ST 段抬高型心肌梗死患者冠脉介入治疗后发生主要不良心血管事件的危险因素分析[J]. 心血管病防治知识, 2024, 14(12): 57-59.
- [6] 刘玲, 田芸, 袁龙会, 等. 急性心肌梗死合并射血分数降低的心力衰竭患者 PCI 后不良心血管事件发生的影响因素[J]. 疑难病杂志, 2024, 23(5): 527-531.
- [7] 屠袁园, 赵菊伟. 急性 ST 段抬高型心肌梗死患者冠脉介入治疗后近期预后的相关影响因素分析[J]. 中国卫生统计, 2019, 36(3): 392-394.
- [8] 刘青敏, 王龙, 闫茹玉, 等. 急性心肌梗死伴高血压患者经皮冠状动脉介入术后支架内再狭窄预测模型的构建[J]. 心脑血管病防治, 2024, 24(12): 46-48, 53.
- [9] 彭颖, 颜珂, 卜金枝. 社会支持网络干预对心肌梗死后重返工作岗位患者心理及主观幸福感的影响[J]. 基层医学论坛, 2024, 28(6): 128-130, 146.