

· 心房颤动 ·

# 行非体外循环冠状动脉旁路移植术患者发生术后心房颤动的影响因素：分类器模型构建及随访结果



扫描二维码  
查看原文

王云涛<sup>1,2</sup>, 李少珂<sup>2</sup>, 张娜娜<sup>2</sup>, 刘怡雪<sup>2</sup>, 王立成<sup>2</sup>

**【摘要】** 目的 探讨行非体外循环冠状动脉旁路移植术（OPCABG）患者发生术后心房颤动（POAF）的影响因素，构建分类器模型，并分析随访12个月心脏彩色超声检查结果。方法 选择2016年4月至2018年4月在郑州市第七人民医院行OPCABG的患者202例，按照3：1的比例随机分割为训练集（ $n=151$ ）和测试集（ $n=51$ ）。收集患者围术期临床资料。采用多因素Logistic回归模型分析行OPCABG患者发生POAF的影响因素，基于逻辑回归（LR）和K近邻算法（KNN）构建分类器模型。随访两组患者术后12个月心脏彩色超声检查结果及主要不良心脑血管事件（MACCE）发生情况。结果 训练集患者根据是否发生POAF分为POAF组和非POAF组。多因素Logistic回归分析结果显示，年龄、合并高血压、合并急性心肌梗死、合并右冠状动脉狭窄、合并频发房性期前收缩或房性心动过速、合并肾功能不全、术前服用 $\beta$ -受体阻滞剂、术前左心房前后径（LAAP）、术后左室射血分数（LVEF）是行OPCABG患者发生POAF的影响因素（ $P<0.05$ ）。LR分类器拟合的回归方程为： $\ln [P_{POAF} / (1-P_{POAF})] = 0.107 \times \text{年龄} + 0.092 \times \text{合并高血压} + 0.052 \times \text{合并急性心肌梗死} + 0.057 \times \text{合并右冠状动脉狭窄} + 0.104 \times \text{合并频发房性期前收缩或房性心动过速} + 0.084 \times \text{合并肾功能不全} - 0.097 \times \text{术前服用}\beta\text{-受体阻滞剂} + 0.053 \times \text{术前LAAP} - 0.056 \times \text{术后LVEF} - 0.318$ 。测试集数据构建混淆矩阵，两种模型的准确度分别是0.922和0.882。非POAF组和非POAF组术后3、6、12个月LVEF分别较本组术前升高，左室收缩末期腔内径（LVESD）、左室舒张末期腔内径（LVEDD）和LAAP分别较本组术前降低（ $P<0.05$ ）。术后12个月POAF组心房颤动复发8例，复发率为22.2%。术后12个月POAF组MACCE发生率高于非POAF组（ $\chi^2=5.043$ ,  $P=0.025$ ）。结论 年龄、合并高血压、合并急性心肌梗死、合并右冠状动脉狭窄、合并频发房性期前收缩或房性心动过速、合并肾功能不全、术前服用 $\beta$ -受体阻滞剂、术前LAAP、术后LVEF是行OPCABG患者发生POAF的影响因素。两种分类器模型预测效能较好。随访期间患者心脏结构及功能均有改善，但是发生POAF者MACCE发生率较高。

**【关键词】** 心房颤动；术后心房颤动；冠状动脉旁路移植术，非体外循环；影响因素分析；逻辑回归；K近邻算法；随访研究

**【中图分类号】** R 541.75 **【文献标识码】** A DOI: 10.12114/j.issn.1008-5971.2022.00.112

王云涛, 李少珂, 张娜娜, 等.行非体外循环冠状动脉旁路移植术患者发生术后心房颤动的影响因素：分类器模型构建及随访结果 [J].实用心脑血管病杂志, 2022, 30 (4) : 8-13. [www.syxnf.net]

WANG Y T, LI S K, ZHANG N N, et al.Influencing factors of postoperative atrial fibrillation in patients undergoing off-pump coronary artery bypass grafting: construction of classifier models and follow-up results [J].Practical Journal of Cardiac Cerebral Pneumal and Vascular Disease, 2022, 30 (4) : 8-13.

## Influencing Factors of Postoperative Atrial Fibrillation in Patients Undergoing Off-pump Coronary Artery Bypass Grafting: Construction of Classifier Models and Follow-up Results WANG Yuntao<sup>1,2</sup>, LI Shaoke<sup>2</sup>, ZHANG Nana<sup>2</sup>, LIU Yixue<sup>2</sup>, WANG Licheng<sup>2</sup>

1.Xinxiang Medical College, Xinxiang 453000, China

2.The Second Department of Cardiovascular Surgery, Zhengzhou No.7 People's Hospital, Zhengzhou 450000, China

Corresponding author: WANG Licheng, E-mail: man.58@163.com

**【Abstract】 Objective** To investigate the influencing factors of postoperative atrial fibrillation (POAF) in patients undergoing off-pump coronary artery bypass grafting (OPCABG), construct the classifier models, and analyze the results of cardiac color Doppler ultrasound after 12 months of follow-up. **Methods** A total of 202 patients who received OPCABG in the Zhengzhou No.7 People's Hospital from April 2016 to April 2018 were selected, they were randomly divided into training set ( $n=151$ ) and

基金项目：河南省医学科技攻关计划项目（LHGJ20200734）

1.453000河南省新乡市，新乡医学院 2.450000河南省郑州市第七人民医院心血管外科

通信作者：王立成，E-mail: man.58@163.com

test set ( $n=51$ ) according to the ratio of 3 : 1. The perioperative clinical data of the patients were collected. Multivariate Logistic regression model was used to analyze the influencing factors of POAF in patients undergoing OPCABG, and two classifier models were constructed based on Logistic regression (LR) and K-nearest neighbors (KNN). The results of cardiac color Doppler ultrasound and the incidence of major adverse cardiac and cerebrovascular event (MACCE) at 12 months after OPCABG were followed up. **Results** The patients in the training set were divided into POAF group and non-POAF group according to whether POAF occurred. Multivariate Logistic regression analysis showed that age, hypertension, acute myocardial infarction (AMI), right coronary artery (RCA) stenosis, frequent atrial premature contraction or atrial tachycardia, renal insufficiency and preoperative use of  $\beta$ -receptor blockers, preoperative left anterior and posterior atrial diameter (LAAP) and postoperative left ventricular ejection fraction (LVEF) were the influencing factors of POAF in patients undergoing OPCABG ( $P < 0.05$ ). The regression equation was:  $\ln [P_{\text{POAF}} / (1 - P_{\text{POAF}})] = 0.107 \times \text{age} + 0.092 \times \text{hypertension} + 0.052 \times \text{AMI} + 0.057 \times \text{RCA stenosis} + 0.104 \times \text{frequent atrial premature contraction or atrial tachycardia} + 0.084 \times \text{renal insufficiency} - 0.097 \times \text{preoperative use of } \beta\text{-receptor blockers} + 0.053 \times \text{preoperative LAAP} - 0.056 \times \text{postoperative LVEF} - 0.318$ . The confusion matrix of the test set data was constructed according to the regression equation, and its accuracy was 0.922. At 3, 6 and 12 months after operation, respectively LVEF was higher than that before operation, and LVESD, LVEDD and LAAP were lower than those before operation in the non-POAF group and POAF group ( $P < 0.05$ ). At 12 months after operation, recurrence of atrial fibrillation in 8 cases in POAF group, and the recurrence rate was 22.2%. The incidence of MACCE in POAF group was higher than that in non-POAF group ( $\chi^2=5.043$ ,  $P=0.025$ ). **Conclusion** Age, hypertension, AMI, RCA stenosis, frequent atrial premature contraction or atrial tachycardia, renal insufficiency and preoperative use of  $\beta$ -receptor blockers, preoperative LAAP and postoperative LVEF are the influencing factors of POAF in patients undergoing OPCABG. The prediction efficiency of the two classifier models are good. The cardiac structure and function of patients are improved during follow-up, but the incidence of MACCE is higher in patients with POAF.

**【Key words】** Atrial fibrillation; Postoperative atrial fibrillation; Coronary artery bypass, off-pump; Root cause analysis; Logistic regression; K-nearest neighbors; Follow-up studies

术后心房颤动 (postoperative atrial fibrillation, POAF) 是非体外循环冠状动脉旁路移植术 (off-pump coronary artery bypass grafting, OPCABG) 后常见的并发症, 发病率可达13%~40%, 多见于术后第2~4天, 并以第2天发病率最高<sup>[1-3]</sup>。虽然大部分 POAF 持续时间短, 能够在短时间内转复为窦性心律, 但是仍可能增加多种不良事件, 如脑卒中、出血、感染、充血性心力衰竭、肾衰竭、呼吸衰竭、心脏骤停等。此外, POAF 可延长住院时间, 增加患者住院费用, 使术后30 d和6个月死亡率增加2倍<sup>[4-6]</sup>。尽管目前已经制定了POAF的治疗指导方针, 但其结果并不理想, POAF的发病率在过去几十年中并没有降低<sup>[4, 7-8]</sup>。因此, 预防和管理POAF仍面临重大挑战。目前 POAF 的发病机制尚未完全清楚, 可能涉及多种病理生理机制。既往研究认为, 多个因素可能与POAF发生相关, 包括年龄、高血压、糖尿病、吸烟史、肥胖、左心室扩大、左心功能不全、慢性肾衰竭等<sup>[1]</sup>。然而多数文献仅分析了这些因素与POAF的临床相关性, 如果能够建立一种可以根据风险因素预测POAF发生情况的模型更具有临床意义。因此本研究基于逻辑回归 (Logistic regression, LR) 和K近邻算法 (K-nearest neighbors, KNN) 两种机器学习的方法构建分类器模型, 并将其用于预测行OPCABG患者发生POAF的情况, 以期为临床预防和治疗POAF提供更多的依据。

## 1 对象与方法

1.1 研究对象 选择2016年4月至2018年4月在郑州市第七人民医院行OPCABG的患者289例为研究对象。纳入标准: (1) 患者术前经冠状动脉造影术明确冠状动脉重度狭窄 (狭窄率 $\geq 75\%$ ); (2) 行单纯OPCABG; (3) 术前无心房颤动

病史。排除标准: (1) 合并凝血功能障碍; (2) 合并甲状腺功能障碍; (3) 合并心脏瓣膜病及其他心脏畸形; (4) 既往有心脏手术史或起搏器植入史。根据纳入和排除标准最终入选202例患者。

1.2 POAF诊断标准<sup>[9]</sup> 既往无心房颤动病史; 心脏手术后至出院期间心电监护显示: P波消失, f波代之, 频率为350~600次/min, QRS波节律绝对不规则, RR间期不均匀; 持续时间超过30 s。

1.3 资料收集 收集患者的年龄、性别、NYHA分级 (II级/III级及以上)、吸烟史、饮酒史, 是否合并高血压、糖尿病、急性心肌梗死、右冠状动脉狭窄、频发房性期前收缩或房性心动过速、肾功能不全, 术前是否服用 $\beta$ -受体阻滞剂、他汀类药物, 手术时间、术中移植血管数、术后气管插管时间, 术前及术后心脏超声检查结果 [包括左心室射血分数 (left ventricular ejection fraction, LVEF)、左心室收缩末期内径 (left ventricular end systolic diameter, LVESD)、左心室舒张末期内径 (left ventricular end diastolic diameter, LVEDD)、左心房前后径 (left anterior and posterior atrial diameter, LAAP)]。

1.4 随访 随访12个月, 截至2019-04-30。两组患者术后3、6、12个月门诊随访时进行心脏彩色超声检查, 记录术后12个月全因死亡及主要不良心脑血管事件 (major adverse cardiac and cerebrovascular events, MACCE) 的发生情况。MACCE包括心源性死亡、心肌梗死、脑卒中及重复再血管化治疗。

1.5 统计学方法 应用SPSS 22.0统计学软件及Python 3.9.6的

sklearn和matlibplot软件包进行数据分析。所有样本 ( $n=202$ ) 按照3:1的比例利用sklearn包的train\_test\_split函数随机分割为训练集 ( $n=151$ ) 和测试集 ( $n=51$ )。对训练集的数据进行单因素分析及多因素Logistic回归分析, 测试集数据主要用于分类器模型精度的验证。计数资料以相对数表示, 组间比较采用 $\chi^2$ 检验或Fisher's确切概率法; 计量资料均不满足正态分布, 以 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示, 组间比较采用Mann-whitney U检验。分类器模型通过Python语言的sklearn库构建, 数据集标准化采用StandardScaler函数, 模型优化采用GridSearchCV函数, 其中LR分类器通过LogisticRegression函数拟合回归方程, KNN分类器利用KNeighborsClassifier函数建模, 绘制PR曲线和ROC曲线以检验预测效能。两种模型测试集的准确度通过其混淆矩阵获得, 准确度=(真正例+真反例)/(真正例+真反例+假正例+假反例)。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

**2 结果**

**2.1 POAF组与非POAF组患者临床资料比较** 本研究202例患者中发生POAF 40例, 发生率为19.8%。训练集151例患者, 其中非POAF 121例(非POAF组)、POAF 30例(POAF组)。两组性别、吸烟史、饮酒史、合并糖尿病者占比、术前服用他汀类药物者占比、手术时间、术中移植血管数、术后气管插管时间、术前LVEF、术前LVEDD、术后LVESD、术后LAAP比较, 差异无统计学意义( $P>0.05$ ); 两组年龄、NYHA分级, 合并高血压、急性心肌梗死、右冠状动脉狭窄、频发房性期前收缩或房性心动过速、肾功能不全及术前服用 $\beta$ -受体阻滞剂者占比, 术前LVESD、术前LAAP、术后LVEF、术后LVEDD比较, 差异有统计学意义( $P<0.05$ ), 见表1。

**2.2 行OPCABG患者发生POAF影响因素的多因素Logistic回归分析** 以行OPCABG患者是否发生POAF为因变量(赋值: 否=0, 是=1), 以单因素分析中差异有统计学意义的项目为自变量, 进行多因素Logistic回归分析, 结果显示, 年龄、合并高血压、合并急性心肌梗死、合并右冠状动脉狭窄、合并频发房性期前收缩或房性心动过速、合并肾功能不全、术前服用 $\beta$ -受体阻滞剂、术前LAAP、术后LVEF是行OPCABG患者发生POAF的影响因素( $P<0.05$ ), 见表2。

**2.3 分类器模型的构建** 分类器模型的最终优化参数如下, LR:  $C=0.01$ ,  $class\_weight=None$ ,  $penalty=12$ ; KNN:  $k=11$ ,  $weights=uniform$ 。PR曲线分析结果显示, LR、KNN分类器模型F1得分分别为0.75和0.50, 见图1。ROC曲线分析结果显示, LR、KNN分类器模型预测行OPCABG患者发生POAF的曲线下面积分别为0.94 [95%CI (0.85, 1.00)] 和0.86 [95%CI (0.73, 0.97)], 见图2。LR分类器拟合的回归方程为:  $\ln [P_{POAF} / (1 - P_{POAF})] = 0.107 \times \text{年龄} + 0.092 \times \text{合并高血压} + 0.052 \times \text{合并急性心肌梗死} + 0.057 \times \text{合并右冠状动脉狭窄} + 0.104 \times \text{合并频发房性期前收缩或房性心动过速} + 0.084 \times \text{合并肾功能不全} - 0.097 \times \text{术前服用} \beta\text{-受体阻滞剂} + 0.053 \times \text{术前LAAP} - 0.056 \times \text{术后LVEF} - 0.318$ 。若 $P_{POAF} > 0.5$ , 表示该患者可能发生POAF, 若 $P_{POAF} \leq 0.5$ 即表示该患者可能不会发生POAF。测试集数据根据回归方程构建混淆矩阵, 两种模型预测行OPCABG患者发生

POAF的准确度分别是0.922和0.882, 见图3。

**2.4 术后随访** 术后3个月完成随访201例, 术后6个月完成随访195例, 术后12个月完成随访185例。非POAF组和POAF组术后3、6、12个月LVEF分别高于本组术前升高, LVESD、LVEDD和LAAP分别较本组术前降低, 差异有统计学意义( $P<0.05$ ), 见表3、4。术后12个月POAF组共随访36例, 维持窦性心律28例, 心房颤动复发8例, 心房颤动复发率为22.2%。术后12个月POAF组患者MACCE发生率高于非POAF组, 差异有统计学意义( $\chi^2=5.043, P=0.025$ ), 见表5。

**表1 非POAF组与POAF组临床资料比较**

**Table 1 Comparison of clinical data between non-POAF group and POAF group**

项目	非POAF组 ( $n=121$ )	POAF组 ( $n=30$ )	Z ( $\chi^2$ ) 值	P值
年龄 [ $M(P_{25}, P_{75})$ , 岁]	62 (54, 66)	65 (63, 69)	-3.691	<0.001
性别(男/女)	86/35	21/9	0.013 <sup>a</sup>	0.908
NYHA分级 (II级/III级及以上)	114/7	24/6	6.174 <sup>a</sup>	0.013
吸烟史 [ $n$ (%)]	34 (28.0)	13 (43.3)	2.602 <sup>a</sup>	0.107
饮酒史 [ $n$ (%)]	35 (28.9)	9 (30.0)	0.013 <sup>a</sup>	0.908
合并高血压 [ $n$ (%)]	26 (21.5)	15 (50.0)	9.880 <sup>a</sup>	0.002
合并糖尿病 [ $n$ (%)]	27 (22.3)	9 (30.0)	0.782 <sup>a</sup>	0.376
合并急性心肌梗死 [ $n$ (%)]	1 (0.8)	3 (10.0)	-	0.025
合并右冠状动脉狭窄 [ $n$ (%)]	63 (52.1)	23 (76.7)	5.934 <sup>a</sup>	0.015
合并频发房性期前收缩或房 性心动过速 [ $n$ (%)]	4 (3.3)	8 (26.7)	14.882 <sup>a</sup>	<0.001
合并肾功能不全 [ $n$ (%)]	3 (2.5)	6 (20.0)	10.226 <sup>a</sup>	0.001
术前服用 $\beta$ -受体阻滞剂 [ $n$ (%)]	112 (92.6)	21 (70.0)	9.605 <sup>a</sup>	0.002
术前服用他汀类药物 [ $n$ (%)]	111 (91.7)	24 (80.0)	2.366 <sup>a</sup>	0.124
手术时间 [ $M(P_{25}, P_{75})$ , min]	250.0 (207.5, 317.0)	267.5 (201.3, 338.8)	-0.504	0.614
术中移植血管数 [ $M(P_{25}, P_{75})$ , 个]	3 (2, 3)	2 (2, 3)	-1.447	0.148
术后气管插管时间 [ $M(P_{25}, P_{75})$ , h]	19.0 (17.0, 22.0)	18.0 (16.0, 23.0)	-1.746	0.081
术前心脏超声检查结果 [ $M(P_{25}, P_{75})$ ]				
LVEF (%)	57.0 (53.0, 60.3)	53.0 (50.0, 57.0)	-1.749	0.080
LVESD (mm)	33.5 (31.0, 37.0)	38.0 (31.5, 40.0)	-2.323	0.020
LVEDD (mm)	48.5 (46.0, 52.0)	50.0 (47.0, 57.8)	-1.116	0.264
LAAP (mm)	39.0 (35.0, 42.0)	42.0 (36.0, 45.0)	-2.463	0.009
术后心脏超声检查结果 [ $M(P_{25}, P_{75})$ ]				
LVEF (%)	60.0 (54.8, 63.0)	55.5 (50.5, 61.8)	-2.913	0.004
LVESD (mm)	33.0 (32.0, 36.0)	33.5 (29.8, 37.0)	-0.188	0.851
LVEDD (mm)	48.0 (46.0, 50.0)	47.0 (44.0, 50.5)	-2.810	0.005
LAAP (mm)	38.0 (34.0, 41.0)	40.0 (36.0, 45.5)	-1.342	0.172

注: <sup>a</sup>表示 $\chi^2$ 值, -表示采用Fisher's确切概率法; POAF=术后心房颤动, LVEF=左心室射血分数, LVESD=左心室收缩末期内径, LVEDD=左心室舒张末期内径, LAAP=左心房前后径

表2 行OPCABG患者发生POAF影响因素的多因素Logistic回归分析  
Table 2 Multivariate Logistic regression analysis of the influencing factors of POAF in patients undergoing OPCABG

变量	赋值	$\beta$	SE	Wald $\chi^2$ 值	P值	OR值	95%CI
年龄	实测值	0.121	0.038	10.340	0.001	1.129	(1.049, 1.216)
合并高血压	否=0, 是=1	1.357	0.487	7.780	0.005	3.886	(1.497, 10.087)
合并急性心肌梗死	否=0, 是=1	1.577	0.562	7.874	0.005	4.840	(1.609, 14.564)
合并右冠状动脉狭窄	否=0, 是=1	1.752	0.622	7.934	0.005	5.766	(1.704, 19.514)
合并频发房性期前收缩或房性心动过速	否=0, 是=1	2.246	0.812	7.652	0.006	9.453	(1.925, 46.428)
合并肾功能不全	否=0, 是=1	2.547	0.916	7.730	0.005	12.767	(2.120, 76.876)
术前服用 $\beta$ -受体阻滞剂	否=0, 是=1	-1.585	0.705	5.051	0.025	0.205	(0.051, 0.816)
术前LAAP	实测值	0.158	0.040	15.953	0.001	1.171	(1.084, 1.266)
术后LVEF	实测值	-1.677	0.801	4.383	0.036	0.187	(0.039, 0.898)

表3 非POAF组手术前后心脏彩色超声指标比较 [  $M (P_{25}, P_{75})$  ]  
Table 3 Comparison of cardiac color Doppler ultrasound indexes before and after operation in non-POAF group

时间	例数	LVEF (%)	LVESD (mm)	LVEDD (mm)	LAAP (mm)
术前	162	57.0 (55.0, 61.0)	33.5 (31.0, 37.0)	48.5 (46.0, 52.0)	39.0 (35.0, 42.0)
术后3个月	162	59.0 (56.0, 63.0)	32.0 (30.0, 34.0)	47.0 (45.0, 50.0)	37.0 (32.0, 40.0)
术后6个月	157	60.0 (54.8, 63.0)	30.0 (29.0, 32.0)	46.0 (44.0, 49.0)	36.5 (33.0, 39.0)
术后12个月	149	61.0 (59.0, 65.0)	28.0 (27.0, 30.0)	45.0 (42.0, 47.0)	36.0 (33.0, 38.0)
Z1/P1值		-2.169/0.008	-3.973/<0.001	-4.426/<0.001	-2.520/0.009
Z2/P2值		-3.308/<0.001	-7.420/<0.001	-5.784/<0.001	-3.943/<0.001
Z3/P3值		-6.927/<0.001	-10.292/<0.001	-9.443/<0.001	-5.173/<0.001

注: Z1/P1值表示术后3个月与术前比较; Z2/P2值表示术后6个月与术前比较; Z3/P3值表示术后12个月与术前比较

表4 POAF组手术前后心脏彩色超声指标比较 [  $M (P_{25}, P_{75})$  ]  
Table 4 Comparison of cardiac color Doppler ultrasound indexes before and after operation in POAF group

时间	例数	LVEF (%)	LVESD (mm)	LVEDD (mm)	LAAP (mm)
术前	40	53.0 (50.0, 57.0)	38.0 (31.5, 40.0)	50.0 (47.0, 57.8)	42.0 (36.0, 45.0)
术后3个月	39	55.0 (53.3, 58.0)	33.0 (30.0, 36.8)	45.0 (43.0, 48.8)	40.0 (36.0, 46.0)
术后6个月	38	57.5 (55.0, 59.8)	31.0 (28.0, 34.0)	44.0 (41.0, 46.0)	40.0 (35.0, 42.8)
术后12个月	36	59.0 (57.0, 61.0)	29.0 (26.0, 32.0)	42.0 (41.0, 45.0)	38.0 (35.0, 40.9)
Z1/P1值		-2.308/0.006	-2.849/0.004	-4.374/<0.001	-2.070/0.008
Z2/P2值		-3.106/<0.001	-4.007/<0.001	-5.649/<0.001	-3.070/0.005
Z3/P3值		-7.708/<0.001	-5.060/<0.001	-6.059/<0.001	-3.382/<0.001

注: Z1/P1值表示术后3个月与术前比较; Z2/P2值表示术后6个月与术前比较; Z3/P3值表示术后12个月与术前比较

### 3 讨论

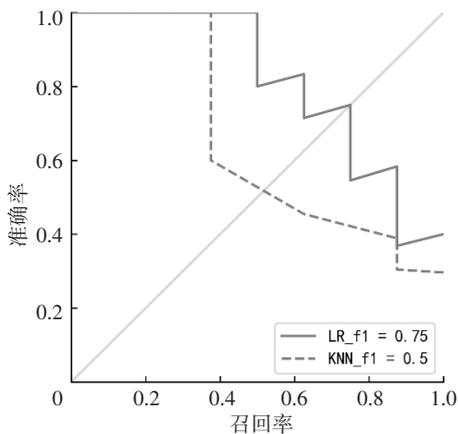
本研究结果显示, OPCABG患者POAF发生率为19.8%。多因素Logistic回归分析结果显示, 年龄增加、合并高血压、合并急性心肌梗死、合并右冠状动脉狭窄、合并频发房性期前收缩或房性心动过速、合并肾功能不全、术前LAAP增大是行OPCABG患者发生POAF的危险因素, 术前服用 $\beta$ -受体阻

滞剂和术后LVEF是行OPCABG患者发生POAF的保护因素。年龄增加是行OPCABG患者发生POAF的独立危险因素, 与既往研究结果相同<sup>[3-5, 9-11]</sup>。衰老过程导致心肌纤维丢失、心房纤维化, 脂肪浸润及胶原沉积增加, 特别是窦房结附近, 进而导致心房的电生理特性发生变化, 容易发生电脉冲传导障碍<sup>[3, 5, 12-13]</sup>。上述干扰, 可能是导致POAF启动和维持的原因。此外, 细胞异常也可能导致老年性心房颤动的发生, 如老年患者心房肌细胞动作电位持续时间延长。此外, 高血压可导致肾素-血管紧张素-醛固酮系统的激活、增加儿茶酚胺的分泌、增强炎症反应、促进循环血容量失调及神经内分泌功能紊乱, 导致心肌电活动不稳定<sup>[14]</sup>, 引发POAF。急性心肌梗死对POAF的影响可能是其发生能够增加全身炎症反应。全身炎症反应、缺血、再灌注导致氧化应激, 产生促炎分

表5 两组患者术后12个月MACCE发生情况 [  $n (%)$  ]

组别	例数	心源性死亡	心肌梗死	脑卒中	重复再血管化治疗	MACCE
非POAF组	149	0	1 (0.7)	1 (0.7)	4 (2.7)	6 (4.0)
POAF组	36	1 (2.8)	1 (2.8)	1 (2.8)	2 (5.6)	5 (13.9)

注: MACCE=主要不良心脑血管事件



注：LR=逻辑回归，KNN=K近邻算法

图1 LR、KNN分类器模型预测行OPCABG患者发生POAF的PR曲线  
Figure 1 PR curves of LR and KNN classifier models predict POAF in patients undergoing OPCABG

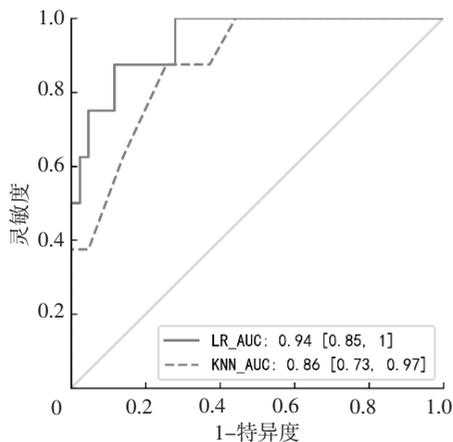


图2 LR、KNN分类器模型预测行OPCABG患者发生POAF的ROC曲线  
Figure 2 ROC curves of LR and KNN classifier models predict POAF in patients undergoing OPCABG

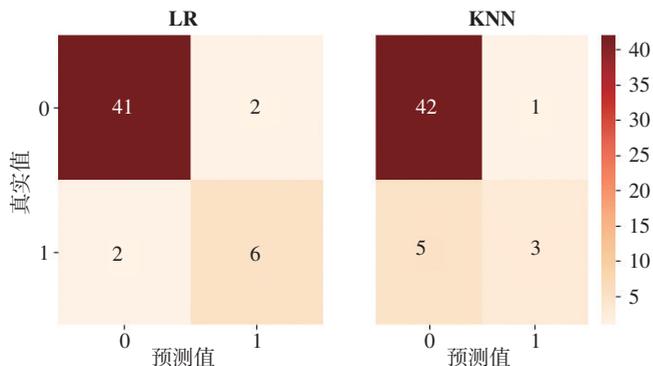


图3 LR、KNN分类器模型预测行OPCABG患者发生POAF的混淆矩阵  
Figure 3 The confusion matrix of LR and KNN classifier models predict POAF in patients undergoing OPCABG

子，导致内皮细胞和白细胞活化，释放还原性辅酶II、氧化酶、亚硝酸盐，生成氧化物和活性氧<sup>[6, 8-9, 15-18]</sup>。右冠状动脉狭窄使窦房结动脉血流中断或减少，引起窦房结缺血，导致房内传导延迟，诱发POAF。肾功能不全导致肌酐升高引

发的“心肾综合征”也参与了POAF的发生<sup>[19]</sup>。LAAP增大会导致心肌重构或心肌纤维化，还可引起广泛的电生理变化，包括晚期复极延长、早期复极缩短、兴奋性增加，容易发生频发房性期前收缩或房性心动过速等房性心律失常，而心律失常又加重心房重构，引发POAF<sup>[20-22]</sup>。 $\beta$ -受体阻滞剂是第二类抗心律失常药物，是心脏手术患者使用最广泛的预防性药物。许多研究将CABG前应用 $\beta$ -受体阻滞剂作为一级建议<sup>[6, 11, 23-24]</sup>。术后LVEF越高，即术后心功能越好，患者发生POAF的风险越小。本研究202例患者被分割为训练集和测试集，平衡了非试验因素带来的误差。通过训练集构建了LR并得到回归方程。测试集数据构建混淆矩阵，两种模型的准确度分别是0.922和0.882。这展示了模型的高预测效能，对临床预测POAF具有重要价值。

本研究随访12个月，两组术后3、6、12个月LVEF分别较本组术前升高，LVESD、LVEDD和LAAP分别较本组术前降低，这肯定了手术效果，表明OPCABG后长期随访患者心脏结构及功能得到一定改善，但POAF组心房颤动复发率为22.2%，术后12个月POAF组MACCE发生率高于非POAF组，提示POAF对身体健康的长期危害明显，而POAF的预防和远期治疗仍是一大难题。

综上所述，行OPCABG的患者POAF发生率较高，年龄、合并高血压、合并急性心肌梗死、合并右冠状动脉狭窄、合并频发房性期前收缩或房性心动过速、合并肾功能不全、术前服用 $\beta$ -受体阻滞剂、术前LAAP、术后LVEF是行OPCABG患者发生POAF的影响因素。在临床实践中应重视预防POAF的发生，及时改善心、肾等重要脏器功能。本研究构建了可预测POAF发生情况的LR、KNN分类器模型。基于机器学习的方法应用于临床实践具有重要意义，尤其是有望辅助医师为实施该类手术的患者术后康复提供最佳的诊疗方案。但本研究仅为本院单中心的研究结果，随访过程中可能会存在一定的偏差。本研究计划后期纳入更多的患者，以更多的样本量检测分类器模型的稳定性，以期达到最佳的预测效能。

志谢：感谢郑州市第七人民医院心血管疾病及药物研究室孟祥光博士对部分数据的统计分析！

作者贡献：王云涛进行文章的构思与设计，资料整理，论文撰写，统计学处理；王云涛、李少珂、王立成进行研究的实施与可行性分析；王云涛、张娜娜、刘怡雪进行资料收集；王立成负责文章的质量控制及审校，对文章整体负责、监督管理。

本文无利益冲突。

参考文献

[1] GREENBERG J W, LANCASTER T S, SCHUESSLER R B, et al. Postoperative atrial fibrillation following cardiac surgery: a persistent complication [J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2017, 52 (4): 665-672. DOI: 10.1093/ejcts/ezx039.

[2] FRENDEL G, SODICKSON A C, CHUNG M K, et al. 2014 AATS guidelines for the prevention and management of perioperative atrial fibrillation and flutter for thoracic surgical procedures [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2014, 148 (3): e153-193. DOI: 10.1016/

- j.jtcvs.2014.06.036.
- [ 3 ] PHILIP I, BERROËTA C, LEBLANC I. Perioperative challenges of atrial fibrillation [ J ] . *Curr Opin Anaesthesiol*, 2014, 27 ( 3 ) : 344-352. DOI: 10.1097/ACO.0000000000000070.
- [ 4 ] SHEN J, LALL S, ZHENG V, et al. The persistent problem of new-onset postoperative atrial fibrillation: a single-institution experience over two decades [ J ] . *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2011, 141 ( 2 ) : 559-570. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2010.03.011.
- [ 5 ] DELAGO A J, ESSA M, GHAJAR A, et al. Incidence and mortality trends of atrial fibrillation/atrial flutter in the United States 1990 to 2017 [ J ] . *Am J Cardiol*, 2021, 148: 78-83. DOI: 10.1016/j.amjcard.2021.02.014.
- [ 6 ] ZAKKAR M, ASCIONE R, JAMES A F, et al. Inflammation, oxidative stress and postoperative atrial fibrillation in cardiac surgery [ J ] . *Pharmacol Ther*, 2015, 154: 13-20. DOI: 10.1016/j.pharmthera.2015.06.009.
- [ 7 ] OMAR A, ELSHIHY E M, SINGER M, et al. Perioperative risk factors predisposing to atrial fibrillation after CABG surgery [ J ] . *Heart Surg Forum*, 2021, 24 ( 2 ) : E402-406. DOI: 10.1532/hsf.3759.
- [ 8 ] YADAVA M, HUGHEY A B, CRAWFORD T C. Postoperative atrial fibrillation: incidence, mechanisms, and clinical correlates [ J ] . *Heart Fail Clin*, 2016, 12 ( 2 ) : 299-308. DOI: 10.1016/j.hfc.2015.08.023.
- [ 9 ] 中华医学会心电生理和起搏分会, 中国医师协会心电学专业委员会, 中国房颤中心联盟心房颤动防治专家工作委员会. 心房颤动: 目前的认识和治疗建议 ( 2021 ) [ J ] . *中华心律失常学杂志*, 2022, 26 ( 1 ) : 15-88. DOI: 10.3760/ema.j.cn113859-20211224-00264.
- [ 10 ] ATTARAN S, SHAW M, BOND L, et al. Atrial fibrillation postcardiac surgery: a common but a morbid complication [ J ] . *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2011, 12 ( 5 ) : 772-777. DOI: 10.1510/icvts.2010.243782.
- [ 11 ] MITCHELL L B, CCS Atrial Fibrillation Guidelines Committee. Canadian Cardiovascular Society atrial fibrillation guidelines 2010: prevention and treatment of atrial fibrillation following cardiac surgery [ J ] . *Can J Cardiol*, 2011, 27 ( 1 ) : 91-97. DOI: 10.1016/j.cjca.2010.11.005.
- [ 12 ] 张瑜. 冠状动脉旁路移植术后新发房颤的危险因素分析 [ D ] . 石家庄: 河北医科大学, 2020.
- [ 13 ] ANAND P A, KESHAVAMURTHY S, SHELLEY E M, et al. Does age affect the short- and long-term outcomes of coronary bypass grafting? [ J ] . *Int J Angiol*, 2021, 30 ( 3 ) : 202-211. DOI: 10.1055/s-0041-1735221.
- [ 14 ] ARSLAN G, EROL G, KARTAL H, et al. The incidence of atrial fibrillation after on-pump versus off-pump coronary artery bypass grafting [ J ] . *Heart Surg Forum*, 2021, 24 ( 4 ) : E645-650. DOI: 10.1532/hsf.3873.
- [ 15 ] QU C, WANG X W, HUANG C, et al. High mobility group box 1 gene polymorphism is associated with the risk of postoperative atrial fibrillation after coronary artery bypass surgery [ J ] . *J Cardiothorac Surg*, 2015, 10: 88. DOI: 10.1186/s13019-015-0301-2.
- [ 16 ] PARLAR H, ARİKAN A A, ÖNMEZ A. Dynamic changes in perioperative cellular inflammation and acute kidney injury after coronary artery bypass grafting [ J ] . *Braz J Cardiovasc Surg*, 2021, 36 ( 3 ) : 354-364. DOI: 10.21470/1678-9741-2020-0163.
- [ 17 ] KRAMER P A, CHACKO B K, RAVI S, et al. Hemoglobin-associated oxidative stress in the pericardial compartment of postoperative cardiac surgery patients [ J ] . *Lab Invest*, 2015, 95 ( 2 ) : 132-141. DOI: 10.1038/labinvest.2014.144.
- [ 18 ] KRAMER P A, CHACKO B K, GEORGE D J, et al. Decreased Bioenergetic Health Index in monocytes isolated from the pericardial fluid and blood of post-operative cardiac surgery patients [ J ] . *Biosci Rep*, 2015, 35 ( 4 ) : e00237. DOI: 10.1042/BSR20150161.
- [ 19 ] KUSU-ORKAR T E, KERMALI M, OGUAMANAM N, et al. Coronary artery bypass grafting: factors affecting outcomes [ J ] . *J Card Surg*, 2020, 35 ( 12 ) : 3503-3511. DOI: 10.1111/jocs.15013.
- [ 20 ] MOHAMED SABRY A S, EL-KADER MANSOUR H A, ABO EL-AZM T H, et al. Clinical and echocardiographic predictors of atrial fibrillation after coronary artery bypass grafting [ J ] . *J Atr Fibrillation*, 2020, 13 ( 4 ) : 2320. DOI: 10.4022/jafib.2320.
- [ 21 ] 张富山, 黄建领, 张伟峰, 等. 左房前后径和血浆NT-proBNP在COX-MAZE IV手术同期心脏瓣膜手术治疗持续性瓣膜性心房颤动前后的变化研究 [ J ] . *中国循证心血管医学杂志*, 2021, 13 ( 12 ) : 1518-1520. DOI: 10.3969/j.issn.1674-4055.2021.12.27.
- [ 22 ] FERREIRA A F, A SARAIVA F, MOREIRA R, et al. Postoperative atrial fibrillation after coronary artery bypass grafting surgery [ J ] . *Rev Port Cir Cardiorac Vasc*, 2017, 24 ( 3/4 ) : 129.
- [ 23 ] LINDGREN M, NIELSEN S J, BJÖRKLUND E, et al. Beta blockers and long-term outcome after coronary artery bypass grafting: a nationwide observational study [ J ] . *Eur Heart J Cardiovasc Pharmacother*, 2022: pvac006. DOI: 10.1093/ehjcvp/pvac006.
- [ 24 ] DINICOLANTONIO J J, BEAVERS C J, MENEZES A R, et al. Meta-analysis comparing carvedilol versus metoprolol for the prevention of postoperative atrial fibrillation following coronary artery bypass grafting [ J ] . *Am J Cardiol*, 2014, 113 ( 3 ) : 565-569. DOI: 10.1016/j.amjcard.2013.10.020.

( 收稿日期: 2022-01-20; 修回日期: 2022-03-29 )

( 本文编辑: 陈素芳 )