

•论著•

基于冠状动脉旁路移植术后左心室射血分数恢复不良的预警因素构建其预测模型及意义

王丽,戴明

连云港市第一人民医院手术室,江苏连云港,222000

通信作者:戴明,E-mail:619429509@qq.com

【摘要】 目的 探究冠状动脉旁路移植术(CABG)术后左心室射血分数(LVEF)恢复不良的预警因素,并构建其预测模型及意义。方法 回顾性分析徐州医科大学附属连云港医院2022年1月至2024年6月收治的CABG术后患者200例,将所有患者按7:3的比例分为训练集(140例)和验证集(60例)。依据患者LVEF恢复情况,将LVEF增加≥10%的患者设为恢复良好组,LVEF增加<10%的患者设为恢复不良组,在训练集中采用Logistics回归分析CABG患者术后LVEF恢复不良的预警因素并构建Nomogram模型,绘制ROC曲线以及校准曲线对Nomogram模型预测进行评估,同时运用决策曲线分析Nomogram模型的临床运用价值。结果 本研究共纳入200例研究对象,LVEF恢复不良患者74例,发生率为37.00%,其中训练集中有50例(35.71%)患者术后LVEF恢复不良,验证集中有24例(40.00%)患者术后LVEF恢复不良。训练集验证集资料对比无显著差异($P>0.05$);训练集中单因素分析显示,LVEF恢复不良与恢复良好的患者在年龄、糖尿病史、心肌梗死、左心室舒张末期内径(LVEDD)、左心室收缩期末期内径(LVESD)和左心室舒张末期容积(LVEDV)方面存在显著差异($P<0.05$)。在训练集和验证集中,列线图模型C-index指数分别为0.804和0.890,说明该列线图具有较好的拟合度。ROC曲线在训练集中的AUC为0.801(95%CI: 0.700~0.903),在验证集的AUC为0.885(95%CI: 0.780~0.991),说明训练集和验证集都具有良好的预测价值。结论 CABG术后LVEF恢复不良与年龄、糖尿病史、心肌梗死、LVEDD、LVESD、LVEDV有关,影响因素构建的列线图模型具有较高的预测效能。

【关键词】 缺血性心肌病;LVEF恢复;手术治疗;影响因素;Nomogram预测模型

【文章编号】 2095-834X (2025)06-38-07

DOI: 10.26939/j.cnki.CN11-9353/R.2025.06.002

本文著录格式: 王丽,戴明. 基于冠状动脉旁路移植术后左心室射血分数恢复不良的预警因素构建其预测模型及意义[J]. 当代介入医学电子杂志, 2025, 2(6): 38-44.

Construction of a prediction model based on the early warning factors for poor recovery of left ventricular ejection fraction after coronary artery bypass grafting and its significance

Wang Li, Dai Ming

Department of Operating Room, The First People's Hospital of Lianyungang, Lianyungang 222000, Jiangsu, China

Corresponding author: Dai Ming, E-mail: 619429509@qq.com

【Abstract】 **Objective** To explore the prediction model based on the early warning factors for poor recovery of left ventricular ejection fraction (LVEF) after coronary artery bypass grafting (CABG) and its significance. **Methods** 200 patients after CABG in our hospital from January 2022 to June 2024 were analyzed retrospectively, and all patients were divided into a training group (140 cases) and a verification group (60 cases) at the ratio of 7:3. As for the patients' LVEF recovery, good LVEF recovery was defined as the increase in LVEF by $\geq 10\%$, and poor LVEF recovery was defined as the increase in LVEF by $< 10\%$. In the training group, logistics regression was used to

analyze the early warning factors for poor LVEF recovery of CABG patients after operation, and the nomogram model was constructed. The ROC curve and calibration curve were drawn to evaluate the prediction of nomogram model. At the same time, the clinical application value of nomogram model was analyzed by decision curve. **Results** A total of 200 subjects were included in this study. There were 74 patients with poor LVEF recovery, with an incidence rate of 37.00%. Among them, 50 patients (35.71%) in the training group had poor LVEF recovery after operation, and 24 patients (40.00%) in the verification group had poor LVEF recovery after operation. There was no significant difference between the data of training and verification groups ($P>0.05$). Univariate analysis in training group showed that there were significant differences in age, diabetes history, myocardial infarction, LVEDD, LVESD and LVEDV between patients with poor LVEF recovery and those with good LVEF recovery ($P<0.05$). In the training and verification groups, the C-indexes of the nomogram model were 0.804 and 0.890, respectively, which suggested that the nomogram model had a good fitting degree. The AUC of ROC curve was 0.801 (95% CI: 0.700–0.903) in the training group and 0.885 (95% CI: 0.780–0.991) in the verification group, suggesting that both groups had good prediction value. **Conclusion** The poor recovery of LVEF after CABG is related to age, diabetes history, myocardial infarction, LVEDD, LVESD and LVEDV. The nomogram model based on these influencing factors has high prediction efficiency.

【Keywords】 Ischemic cardiomyopathy; LVEF recovery; Surgical treatment; Influencing factors; Nomogram prediction model

冠状动脉旁路移植术 (coronary artery bypass grafting, CABG) 也称为心脏搭桥手术, 是一种外科开胸治疗冠心病的手段^[1]。CABG 是通过取患者自身的一段血管(通常是大隐静脉或内乳动脉), 绕过狭窄或闭塞的冠状动脉部位, 将这段血管的一端连接于主动脉根部, 另一端连接于冠状动脉病变的远端, 形成一座“桥”, 使血液能够绕过狭窄部分, 直接到达远端的心肌, 从而改善心肌的血液供应^[2]。CABG 术后会有左心室射血分数 (left ventricular ejection fraction, LVEF) 恢复不良的情况发生, CABG 术后 LVEF 恢复不良指的是患者在接受冠状动脉旁路移植术后, 左心室射血功能未能得到有效改善或甚至恶化的情况^[3]。LVEF 是评估左心室收缩功能的重要指标, 通常通过超声心动图等方法进行检测^[4]。在 CABG 术后, 一般会通过随访观察 LVEF 的变化情况来评估患者的恢复状况。CABG 术后 LVEF 恢复不良的患者可能表现为胸闷、气短、心悸等心功能不全的症状, 超声心动图检查显示 LVEF 值较低或无明显提升, 可能出现心脏扩大、心律失常等并发症^[5]。尽管 CABG 是一种成熟的技术, 但它仍然伴随一定的风险, 包括感染、出血、心律失常、肾功能损害和手术失败等^[6]。因此, 建立一个有效的预测模型来探究 CABG 术后 LVEF 恢复不良的预警因素, 对于提高治疗效果、改善患者预后具有重大意义。本研究旨在通过 Logistic 回归分析和 Nomogram 预测模型, 寻找影响患者 CABG 术后 LVEF 恢复的关键因素, 并构建一个实用的临床预测模型, 以帮助医生在初步诊断后快速、准确地做出治疗决策。

1 对象与方法

1.1 研究对象 回顾性分析徐州医科大学附属连云港医院(以下简称本院)2022 年 1 月至 2024 年 6 月行 CABG 术、术前 LVEF 在 30%~40% 之间的患者 200 例, 将所有患者按 7:3 的比例分为训练集(140 例)和验证集(60 例)。

纳入标准: (1)接受 CABG 手术的患者; (2)年龄在 18 岁及以上; (3)术前 LVEF 有明确记录; (4)临床资料完整, 包括但不限于术前心脏超声检查结果、冠状动脉造影结果、合并疾病情况、手术相关信息等。

排除标准: (1)同期接受其他心脏手术如心脏瓣膜手术等的患者; (2)术前存在严重肝肾功能障碍、恶性肿瘤或其他严重系统性疾病患者; (3)术后发生严重并发症如术后感染无法控制、多器官功能衰竭等影响 LVEF 评估的患者; (4)失访或临床资料严重缺失的患者; (5)术前曾接受过心脏介入治疗如支架置入等且距离 CABG 手术时间小于 12 个月的患者。本研究经本院伦理委员会批准。

1.2 研究方法

1.2.1 诊断标准 LVEF 恢复不良诊断标准: 依据患者术后 LVEF 恢复情况, LVEF 增加 $\geq 10\%$ 的患者设为恢复良好组, LVEF 增加 $<10\%$ 的患者设为恢复不良组。

1.2.2 资料收集 使用自制的资料收集表来汇总研究对象的临床资料, 分为以下几个方面: 一般资料, 包括性别、年龄、吸烟史、饮酒史; 术前资料, 包括 LVEF 数值、高血压、糖尿病、心肌梗死、左心室舒张末期内径 (left ventricular end diastolic dimension, LVEDD)、左心室收缩末期内径 (left ventricular end-

systolic diameter, LVESD) 和左心室舒张末期容积(left ventricular end-diastolic volume, LVEDV) 等。

1.3 统计学方法 使用 SPSS 26.0 统计学软件对数据进行分析, 计数资料采用例(%)表示, 组间比较采用 χ^2 检验; 计量资料采用 $\bar{x} \pm s$ 表示, 组间比较采用t检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。使用多变量 Logistic 回归分析法, 筛选出对 LVEF 恢复情况有显著影响的变量。然后, 根据筛选出的显著变量, 使用 R 软件构建 CABG 术后 LVEF 恢复不良的 Nomogram 列线预测模型, 采用受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC) 曲线、校准曲线评估 Nomogram 模型的预测效能, 决策曲线评估模型临床运用价值。

2 结果

2.1 训练集和验证集临床特征比较 本研究共纳入 200 例研究对象, LVEF 恢复不良患者 74 例, 发生率为 37.00%, 其中训练集中有 50 例(35.71%)患者术后 LVEF 恢复不良, 验证集中有 24 例(40.00%)患者术后 LVEF 恢复不良。训练集验证集资料对比无显著差异($P > 0.05$), 见表 1。

表 1 训练集和验证集临床特征比较

因素	训练集 (n=140)	验证集 (n=60)	t/χ^2 值	P 值
性别 [例(%)]			0.009	0.926
男	78 (55.71)	33 (55.00)		
女	62 (44.29)	27 (45.00)		
年龄 ($\bar{x} \pm s$, 岁)	63.48 \pm 11.36	64.59 \pm 13.21	0.602	0.548
吸烟史 [例(%)]			0.385	0.535
有	75 (53.57)	35 (58.33)		
无	65 (46.43)	25 (41.67)		
饮酒史 [例(%)]			0.977	0.323
有	76 (54.29)	28 (46.67)		
无	64 (45.71)	32 (53.33)		
血管紧张素受体阻滞剂 [例(%)]			0.047	0.829
有	70 (50.00)	31 (51.67)		
无	70 (50.00)	29 (48.33)		
房颤史 [例(%)]			0.552	0.458
有	62 (44.29)	30 (50.00)		
无	78 (55.71)	30 (50.00)		
糖尿病史 [例(%)]			2.870	0.090
有	52 (37.14)	30 (50.00)		
无	88 (62.86)	30 (50.00)		
高血压 [例(%)]			1.587	0.208
有	60 (42.86)	20 (33.33)		
无	80 (57.14)	40 (66.67)		
心肌梗死 [例(%)]			0.943	0.332
有	55 (39.29)	28 (46.67)		
无	85 (60.71)	32 (53.33)		
LVEDD ($\bar{x} \pm s$, mm)	57.35 \pm 5.26	57.28 \pm 5.06	0.087	0.931
LVESD ($\bar{x} \pm s$, mm)	43.28 \pm 10.11	44.23 \pm 10.21	0.607	0.544
LVEDV ($\bar{x} \pm s$, ml)	182.71 \pm 47.22	180.96 \pm 46.87	0.241	0.810

注: LVEDD 为左心室舒张末期内径; LVESD 为左心室收缩末期内径; LVEDV 为左心室舒张末期容积。

2.2 训练集 CABG 患者术后 LVEF 恢复不良的影响因素分析 训练集中单因素分析显示, 恢复不良与恢复良好的患者在年龄、糖尿病史、心肌梗死、LVEDD、LVESD、LVEDV 方面存在显著差异($P < 0.05$), 见表 2。

表 2 训练集 CABG 患者术后 LVEF 恢复不良的影响因素分析

因素	恢复不良 (n=50)	恢复良好 (n=90)	t/χ^2 值	P 值
性别 [例(%)]				0.579 0.447
男	30 (60.00)	48 (53.33)		
女	20 (40.00)	42 (46.67)		
年龄 ($\bar{x} \pm s$, 岁)	64.45 \pm 9.36	61.57 \pm 8.01	1.998	0.047
吸烟史 [例(%)]				0.399 0.528
有	25 (50.00)	50 (55.56)		
无	25 (50.00)	40 (44.44)		
饮酒史 [例(%)]				2.152 0.142
有	23 (46.00)	53 (58.89)		
无	27 (54.00)	37 (41.11)		
血管紧张素受体阻滞剂 [例(%)]				0.124 0.724
有	24 (48.00)	46 (51.11)		
无	26 (52.00)	44 (48.89)		
房颤史 [例(%)]				0.003 0.959
有	22 (44.00)	40 (44.44)		
无	28 (56.00)	50 (55.56)		
糖尿病史 [例(%)]				11.846 <0.001
有	28 (56.00)	24 (26.67)		
无	22 (44.00)	66 (73.33)		
高血压 [例(%)]				1.620 0.203
有	25 (50.00)	35 (38.89)		
无	25 (50.00)	55 (61.11)		
心肌梗死 [例(%)]				13.992 <0.001
有	30 (60.00)	25 (27.78)		
无	20 (40.00)	65 (72.22)		
LVEDD ($\bar{x} \pm s$, mm)	59.53 \pm 6.06	53.82 \pm 5.36	5.762	<0.001
LVESD ($\bar{x} \pm s$, mm)	46.77 \pm 11.02	41.89 \pm 9.88	2.686	0.008
LVEDV ($\bar{x} \pm s$, ml)	195.56 \pm 49.83	179.87 \pm 40.28	2.026	0.045

注: CABG 为冠状动脉旁路移植术; LVEF 为左心室射血分数; LVEDD 为左心室舒张末期内径; LVESD 为左心室收缩末期内径; LVEDV 为左心室舒张末期容积。

2.3 训练集 CABG 患者术后 LVEF 恢复不良的影响因素的 Logistic 回归分析 以 LVEF 恢复情况作为因变量(0=无, 1=有), 对其他变量进行赋值, 进一步进行 logistic 回归分析, 见表 3。Logistic 回归分析显示年龄、糖尿病史、心肌梗死、LVEDD、LVESD、LVEDV 均为 CABG 患者术后 LVEF 恢复不良的独立影响因素($OR > 1, P < 0.05$), 见表 4。

2.4 Nomogram 列线预测模型的建立 模型基于 Logistic 回归分析, 构建影响 CABG 患者术后 LVEF 恢复不良的 Nomogram 预测模型构建, 见图 1, 将上述因素分值相加得到总分并在发生风险数轴上读数, 所对应的值即为 CABG 患者术后 LVEF 恢复不良的概率。

表 3 变量赋值方式

变量	赋值
年龄	连续变量
糖尿病史	0=无, 1=有
心肌梗死	0=无, 1=有
LVEDD	连续变量
LVESD	连续变量
LVEDV	连续变量

注:LVEDD为左心室舒张末期内径;LVESD为左心室收缩末期内径;LVEDV为左心室舒张末期容积。

表 4 训练集 CABG 患者术后 LVEF 恢复不良的影响因素的 Logistic 回归分析

变量	含义	B 值	SE 值	Wald χ^2 值	P 值	OR 值	95%CI 值
X1	年龄	0.040	0.021	3.532	0.060	1.041	0.998~1.086
X2	糖尿病史	1.253	0.371	11.374	0.001	3.500	1.690~7.249
X3	心肌梗死	1.361	0.372	13.353	0.001	3.900	1.879~8.093
X4	LVEDD	0.184	0.039	21.781	0.001	1.202	1.113~1.299
X5	LVESD	0.046	0.018	6.610	0.010	1.047	1.011~1.084
X6	LVEDV	0.008	0.004	3.935	0.047	1.008	1.000~1.016

注:CABG 为冠状动脉旁路移植术;LVEF 为左心室射血分数;LVEDD 为左心室舒张末期内径;LVESD 为左心室收缩末期内径;LVEDV 为左心室舒张末期容积。

2.5 Nomogram 列线预测模型的评估及验证 在训练集和验证集中,列线图模型 C-index 指数分别为 0.804 和 0.890,说明该列线图具有较好的拟合度,见图 2。绘制 ROC 曲线,在训练集中的 AUC 为 0.801 (95%CI: 0.700~0.903),在验证集的 AUC 为 0.885 (95%CI: 0.780~0.991) 说明训练集和验证集都具有良好的预测价值,见图 3。

2.6 Nomogram 列线预测模型的决策曲线分析 决策曲线显示,当阈值在 0.1~0.9 之间时,应用 Nomogram 列线模型预测 CABG 患者术后 LVEF 恢复不良发生的决策较认为均患病与均不患病的决策具有更多临床收益,见图 4。

3 讨论

CABG 是治疗冠状动脉粥样硬化性心脏病的主要手段之一,通过血管重构提高心肌供血量及改善缺氧状态^[7]。然而,CABG 术后 LVEF 恢复不良是常见的并发症,严重影响患者的预后和生活质量。因此,构建基于 CABG 术后 LVEF 恢复不良的预警因素预测模型具有重要意义。

在本文研究的 200 例患者中,CABG 术后 LVEF 恢复不良病人 74 例,发生率为 37.00%。研究指出,CABG 术后 LVEF 恢复不良与年龄、糖尿病史、心肌梗死、LVEDD、LVESD、LVEDV 有关,该结果与国内外多项研究结果一致。在本文研究中,恢复不良组的年龄平均数大于恢复良好组。分析原因包括随着年龄的增长,心肌细胞的数量和质量逐渐下降,心肌的收缩和舒张功能自然减退^[8]。老年患者的心肌本身就存在一定程度的退行性改变,对缺血再灌注损伤的耐受能力较差,导致术后恢复能力不足^[9]。老年人的冠状动脉粥样硬化病变通常更为严重和复杂,血管壁弹性降低、钙化增加,血管顺应性下降^[10]。这使得手术中血管重建的效果可能不如年轻患者,影响术后心肌的

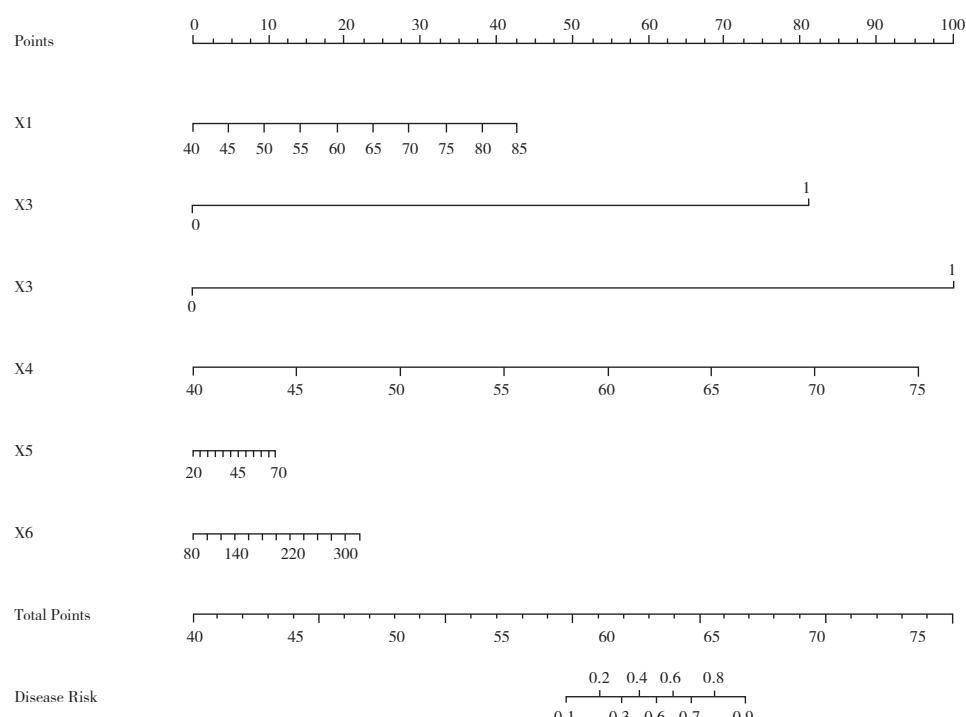


图 1 Nomogram 预测模型列线图

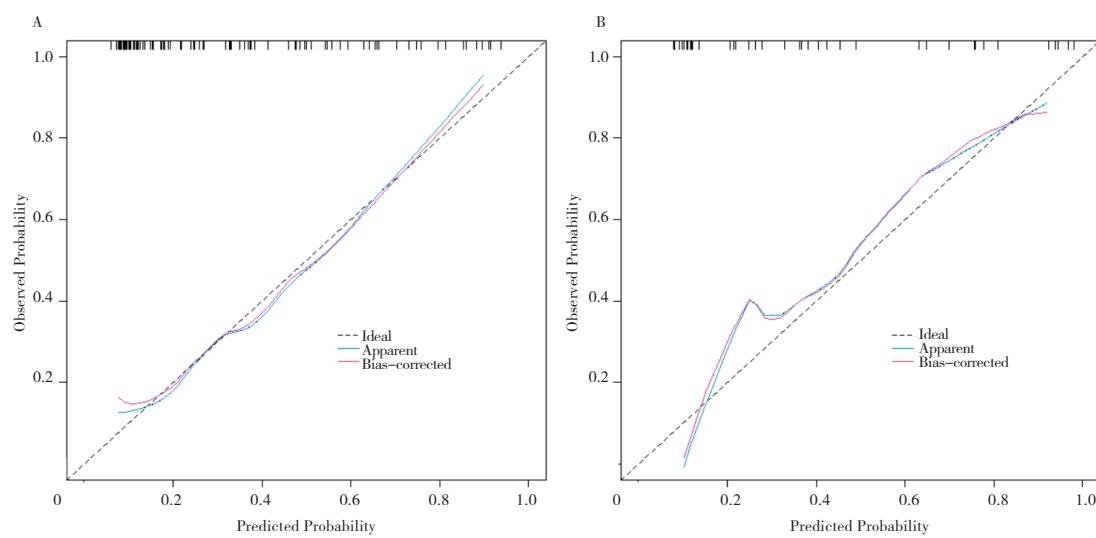


图 2 列线图的 Calibration 校准曲线

注: A 为训练集的校准曲线; B 为验证集的校准曲线。

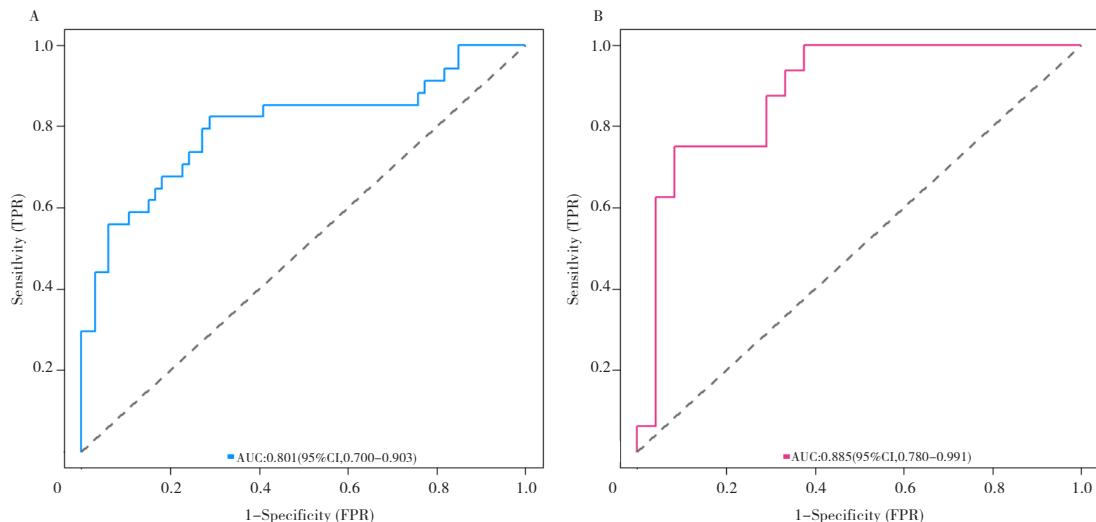


图 3 模型的 ROC 曲线

注: A 为训练集的 ROC 曲线; B 为验证集的 ROC 曲线。

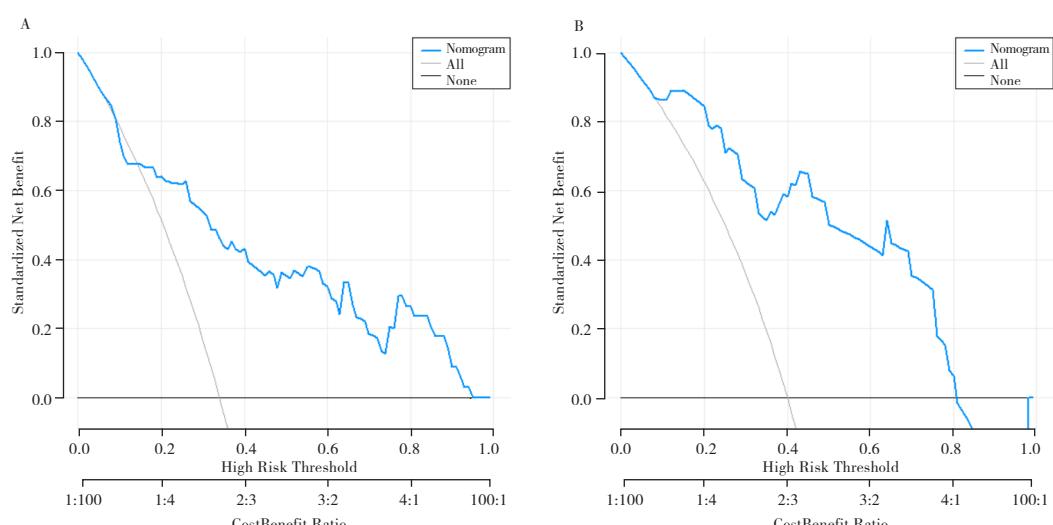


图 4 Nomogram 列线预测模型的决策曲线

注: A 为训练集的决策曲线; B 为验证集的决策曲线。

血液供应和功能恢复。老年人的身体整体恢复能力和新陈代谢水平相对较低,包括组织修复、炎症消退和新血管生成等过程都较为缓慢,不利于术后心肌功能的改善^[11]。在本文研究中,恢复不良组的有糖尿病史占比高于恢复良好组。分析原因可能是糖尿病患者常存在广泛的微血管病变,即使在CABG解决了大血管的阻塞问题后,心肌内的微血管功能障碍仍可能持续存在,影响心肌的血液灌注和氧供,不利于术后LVEF的恢复^[12]。糖尿病也会导致代谢紊乱,包括糖、脂代谢异常。高血糖可引起细胞内氧化应激增加,损伤心肌细胞;高血脂会促进动脉粥样硬化进展,加重心肌缺血^[13]。糖尿病可促进心肌间质纤维化,使心肌僵硬度增加,顺应性降低,影响心肌的收缩和舒张功能,导致术后LVEF恢复不良^[14]。在本文研究中,恢复不良组的有心肌梗死史占比高于恢复良好组。分析原因可能为心肌梗死会导致部分心肌细胞不可逆的坏死,这些坏死的心肌丧失了收缩功能,即使进行了CABG手术改善了供血,已坏死的心肌也无法恢复正常功能,从而影响整体的LVEF恢复^[15]。心肌梗死后,坏死区域会被纤维瘢痕组织替代,瘢痕组织不具备正常心肌的收缩能力,且会使心肌的顺应性降低,影响左心室的整体收缩和舒张功能,导致LVEF恢复不佳^[16]。心肌梗死不仅造成局部心肌坏死,还会对周围存活的心肌产生不良影响,如心肌顿抑(短暂的心肌功能障碍)和心肌冬眠(长期缺血导致的心肌功能减退),使得存活心肌的收缩功能下降,影响术后LVEF的恢复^[17]。在本文研究中,恢复不良组的LVEDD、LVESD、LVEDV数据大于恢复良好组。分析原因包括:LVEDD、LVESD和LVEDV的增大通常反映了心肌重构的发生。心肌梗死、长期心肌缺血或其他心脏疾病可导致心肌细胞损伤、凋亡和间质纤维化,引起心室壁变薄、心腔扩大。这种重构会使心肌收缩力减弱,即使进行了CABG手术,受损的心肌结构难以完全恢复正常,从而影响LVEF的恢复^[18]。增大的LVEDD、LVESD和LVEDV会改变左心室的几何形态,使心肌纤维的排列和走行发生异常,导致心肌收缩的协调性和效率降低,不利于左心室有效的射血,进而影响LVEF^[19]。过大的LVEDV意味着心肌在舒张末期被过度拉伸,增加了心肌纤维的初始长度和张力。在收缩期,心肌需要克服更大的阻力来完成射血,这会加重心肌的负担,降低收缩功能,导致LVEF恢复不良^[20]。

本研究基于Logistic回归分析结果构建CABG术后LVEF恢复不良Nomogram模型。通过Nomogram模型整合上述多种影响因素,按各因素对CABG术后LVEF恢复不良影响大小进行赋分,然后将各因素评分相加得到总分,经函数转化关系后与CABG术后LVEF恢复不良概率相对应,分析CABG术后LVEF恢复不

良发生率,特别是通过ROC曲线分析,结果显示该Nomogram模型在临床环境下对CABG术后LVEF恢复不良的预警效能较高,AUC值分别为0.804和0.890,说明该Nomogram模型具有良好的效能。

综上所述,年龄、糖尿病史、心肌梗死、LVEDD、LVESD、LVEDV与CABG术后LVEF恢复不良有关,基于以上各因素构建的Nomogram模型呈现出良好的预测效能,可为临床早期预测CABG术后LVEF恢复不良提供参考,从而指导临床治疗,促进远期预后的改善。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Bhamidipati D, Goldhammer JE, Sperling MR, et al. Cognitive outcomes after coronary artery bypass grafting [J]. J Cardiothorac Vasc Anesth, 2017, 31(2): 707-718.
- [2] Shaefi S, Mittel A, Loberman D, et al. Off-pump versus on-pump coronary artery bypass grafting—a systematic review and analysis of clinical outcomes [J]. J Cardiothorac Vasc Anesth, 2019, 33(1): 232-244.
- [3] Gaudino M, Angelini GD, Antoniades C, et al. Off-pump coronary artery bypass grafting: 30 years of debate [J]. J Am Heart Assoc, 2018, 7(16): e009934.
- [4] Lozonschi L, Kohmoto T, Osaki S, et al. Coronary bypass in left ventricular dysfunction and differential cardiac recovery [J]. Asian Cardiovasc Thorac Ann, 2017, 25(9): 586-593.
- [5] Lenell J, Lindahl B, Karlsson P, et al. Reliability of estimating left ventricular ejection fraction in clinical routine: a validation study of the SWEDEHEART registry [J]. Clin Res Cardiol, 2023, 112(1): 68-74.
- [6] Yamashita MH, Luqman Z, Menkis AH, et al. Coronary artery bypass grafting—the long-term solution? [J]. Can J Cardiol, 2018, 34(8): 953-955.
- [7] Doenst T, Haverich A, Serruys P, et al. PCI and CABG for treating stable coronary artery disease: JACC review topic of the week [J]. J Am Coll Cardiol, 2019, 73(8): 964-976.
- [8] Nakamura T, Hosoyama T, Kawamura D, et al. Influence of aging on the quantity and quality of human cardiac stem cells [J]. Sci Rep, 2016, 6: 22781.
- [9] Duan Y, Mo J, Klein R, et al. Age-related macular degeneration is associated with incident myocardial infarction among elderly Americans [J]. Ophthalmology, 2007, 114(4): 732-737.

- [10] Sagatelyan AA, Konstantinova EV, Bogdanova AA, et al. Atherosclerosis of the carotid and coronary arteries in elderly patients with acute coronary syndrome [J]. Kardiologiiia, 2022, 62(8): 38–44.
- [11] Onnis C, Muscogiuri G, Cademartiri F, et al. Non-invasive coronary imaging in elderly population [J]. Eur J Radiol, 2023, 162: 110794.
- [12] Spyrou N, Khan MA, Rosen SD, et al. Persistent but reversible coronary microvascular dysfunction after bypass grafting [J]. Am J Physiol Heart Circ Physiol, 2000, 279(6): H2634–H2640.
- [13] 王越晖, 蔡露. 糖尿病/肥胖相关的炎症, 心肌细胞死亡及心肌病(英文)[J]. 中南大学学报(医学版), 2006, (6): 814–818.
- [14] Zhao J, Wu Q, Yang T, et al. Gaseous signal molecule SO₂ regulates autophagy through PI3 K/AKT pathway inhibits cardiomyocyte apoptosis and improves myocardial fibrosis in rats with type II diabetes [J]. Korean J Physiol Pharmacol, 2022, 26(6): 541–556.
- [15] 曹策, 姚明江, 刘建勋. 心肌成纤维细胞对心肌损伤后的修复和再生作用及中药调节 [J]. 中国药理学通报, 2023, 39(8): 1411–1416..
- [16] Schuster R, Younesi F, Ezzo M, et al. The role of myofibroblasts in physiological and pathological tissue repair [J]. Cold Spring Harb Perspect Biol, 2023, 15(1): a041231.
- [17] Wu X, Rebold MR, Korf-Klingebiel M, et al. Angiogenesis after acute myocardial infarction [J]. Cardiovasc Res, 2021, 117(5): 1257–1273.
- [18] Henning RJ, Khan A, Jimenez E. Chitosan hydrogels significantly limit left ventricular infarction and remodeling and preserve myocardial contractility [J]. J Surg Res, 2016, 201(2): 490–497.
- [19] Kashem A, Santamore WP, Hassan S, et al. CardioClasp changes left ventricular shape acutely in enlarged canine heart [J]. J Card Surg, 2003, 18(Suppl 2): S49–S60.
- [20] Leong CN, Dokos S, Andriyana A, et al. The role of end-diastolic myocardial fibre stretch on infarct extension [J]. Int J Numer Method Biomed Eng, 2020, 36(1): e3291.