

本文引用: 郭翠梅, 乔保俊, 李道静, 等. 术后患者脑卒中发生风险预测模型的构建与验证[J]. 中国动脉硬化杂志, 2026, 34(7): 661-668. DOI: 10.20039/j.cnki.1007-3949.2026.07.008.

[文章编号] 1007-3949(2026)34-07-0661-08

· 临床研究 ·

术后患者脑卒中发生风险预测模型的构建与验证

郭翠梅¹, 乔保俊², 李道静², 王玉忠², 杜敏³, 陈雪英⁴, 甘立军⁴

1. 济宁医学院临床医学院, 2. 济宁医学院附属医院神经内科, 3. 济宁医学院附属医院影像科,
4. 济宁医学院附属医院心内科, 山东省济宁市 272000

[摘要] **[目的]** 构建并验证术后患者脑卒中发生风险的列线图预测模型。**[方法]** 回顾性纳入 2017 年 7 月—2023 年 8 月于济宁医学院附属医院接受手术治疗后发生脑卒中的 358 例患者, 并按 1:2 比例匹配同时术后未发生脑卒中的 714 例患者作为对照组。使用 R 语言软件, 按 7:3 的比例随机分为训练集 751 例和验证集 321 例。将单因素 Logistic 回归分析有意义的因素纳入 Lasso 回归分析, 筛选出的独立预测因子构建预测术后脑卒中发生风险的列线图模型。采用 ROC 曲线和校准曲线分别验证列线图预测模型的区分度和校准度; 决策曲线用于分析和评价临床效用和净收益。**[结果]** 除年龄及总胆红素外, 其他临床数据在训练集与验证集之间差异无统计学意义 ($P>0.05$)。将单因素 Logistic 回归分析有意义的因素进一步进行 Lasso 回归分析, 结果显示, 脑梗死史、术前静脉血栓栓塞 (VTE) 评分、白蛋白及血浆纤维蛋白原是术后脑卒中发生风险的独立影响因素。使用上述危险因素制作了列线图预测模型。训练集与验证集 ROC 曲线下面积分别为 0.651 和 0.683。校准曲线显示预测概率与实际概率具有高度一致性, 临床决策曲线显示列线图预测模型在 0~0.61 的高风险阈值概率范围内具有良好净收益。**[结论]** 脑梗死史、术前 VTE 评分高危、白蛋白降低、血浆纤维蛋白原升高与术后脑卒中发生风险相关, 构建的列线图预测模型能够有效预测患者预后水平。

[关键词] 术后; 脑卒中; 列线图; Lasso 回归分析

[中图分类号] R743

[文献标识码] A

Construction and validation of a predictive model for postoperative stroke risk

Guo Cuimei¹, Qiao Baojun², Li Daojing², Wang Yuzhong², Du Min³, Chen Xueying⁴, Gan Lijun⁴

1. School of Clinical Medicine, Jining Medical University, 2. Department of Neurology, Affiliated Hospital of Jining Medical University, 3. Department of Radiology, Affiliated Hospital of Jining Medical University, 4. Department of Cardiology, Affiliated Hospital of Jining Medical University, Jining, Shandong 272000, China

[ABSTRACT] **Aim** To construct and validate a predictive nomogram model for the risk of postoperative stroke.

Methods We retrospectively enrolled 358 surgical patients who developed stroke between July 2017 and August 2023 at the Affiliated Hospital of Jining Medical University, and matched them 1:2 with 714 contemporaneous surgical patients without postoperative stroke. Using R software, the cohort was randomly split into a training set ($n=751$) and a validation set ($n=321$) in a 7:3 ratio. Significant variables in univariate Logistic regression were included in Lasso regression to determine independent predictors, which were then used to build a nomogram model for postoperative stroke risk. Discrimination and calibration were assessed with ROC curves and calibration plots, respectively; decision-curve analysis was used to evaluate clinical utility and net benefit.

Results Except for age and total bilirubin, baseline clinical data were comparable between the training and validation sets ($P>0.05$). Lasso regression revealed history of cerebral infarction, preoperative VTE score, serum albumin and plasma fibrinogen as independent predictors of postoperative stroke. A nomogram model incorporating these factors was constructed. The area under the ROC curve was 0.651 in the training set and 0.683 in the validation set. Calibration plots demonstrated high agreement between predicted and observed probabilities.

[收稿日期] 2026-01-10

[修回日期] 2026-04-13

[基金项目] 山东省自然科学基金项目 (ZR2024MH098); 济宁市重点研发计划项目 (2024YXNS016); 山东省重点研发计划 (重大科技创新工程) (2025CXGC020301)

[作者简介] 郭翠梅, 硕士研究生, 住院医师, 主要研究方向为心血管疾病, E-mail: 1056443509@qq.com。通信作者甘立军, 主任医师, 教授, 硕士研究生及博士研究生导师, 研究方向为冠状动脉疾病的诊断与治疗, E-mail: jyfydoctor@email.cn。

Decision-curve analysis indicated favorable net benefit within a risk threshold probability range of 0 ~ 0.61.

Conclusion History of cerebral infarction, high risk of preoperative VTE score, decreased albumin, and increased plasma fibrinogen are related to the risk of postoperative stroke. The constructed nomogram model can effectively predict the prognosis of patients.

[**KEY WORDS**] postoperative; stroke; nomogram; Lasso regression

脑卒中作为脑血管疾病的一种,已成为全球过早死亡和残疾的主要原因之一^[1]。围手术期脑卒中是一种尚未被充分认识但具有重大公共卫生影响的并发症^[2]。数据显示,全球每年开展的外科手术超3亿例^[3],其中0.1%~10%的患者可能发生后脑卒中。这一风险在不同手术类型中存在显著差异:接受非心脏、非神经手术的成人发病率为0.1%~0.7%,心脏手术患者为1%~5%,神经手术后患者则为1%~10%^[4]。除了围手术期脑卒中的发病率和重要性可能被低估外,最近的数据表明,其死亡率可能尤为突出^[5-6]。在非心脏手术后发生围手术期脑卒中的患者中,残疾或死亡率可高达84%,这主要与治疗 and 诊断延迟、干预频率低以及近期手术后溶栓治疗受限有关^[7]。鉴于早期诊断和治疗与缺血性脑卒中后更好的预后相关,因此,开发一种能够在术前筛查高危患者的预测模型至关重要,这可为围手术期临床干预提供依据,从而最大限度减少术后脑卒中的发生并改善临床结局。

本研究拟探讨济宁医学院附属医院住院行手术治疗患者术后脑卒中的危险因素,开发和验证直观实用的列线图预测模型,为早期风险评估和预防提供帮助。

1 资料和方法

1.1 研究对象

本研究连续纳入2017年7月—2023年8月期间,在济宁医学院附属医院接受手术治疗后因出现头晕、头痛或肢体麻木无力等症状,经脑部影像学检查确诊为急性脑卒中的患者共358例。按1:2比例根据性别、年龄、体重指数(body mass index, BMI)匹配设计,选取同期术后未发生脑卒中的714例患者作为对照组。参与者按7:3比例被分为训练集和验证集。该研究根据《赫尔辛基宣言》,并经济宁医学院附属医院伦理委员会批准(伦理号:2025-11-C048)。由于是一项回顾性研究,相关临床数据的收集均在无直接患者接触的前提下完成,因此本研究申请了在伦理审查期间获得知情同意豁免批准。患者的个人信息已被匿名化并保密。研

究项目不涉及任何个人隐私或商业利益。

1.2 资料收集

收集入院时所有患者的一般临床资料、吸烟和饮酒史及既往病史。住院患者的静脉血栓栓塞(venous thromboembolism, VTE)评分根据Padua评分量表(低危:0~3分;高危:≥4分)^[8]或者Caprini评分量表(低危:0~4分;高危:≥5分)^[9]。相关定义和标准:(1)BMI=体重(kg)/身高(m)²;(2)吸烟史:平均每日吸烟≥1支,且近1年内有吸烟者;(3)饮酒史:近1年内有饮酒;(4)既往史:高血压定义为非同日3次及以上测量收缩压≥140 mmHg和(或)舒张压≥90 mmHg,或既往确诊且目前规律降压治疗者;糖尿病定义为空腹血糖≥7.0 mmol/L或口服葡萄糖耐量试验2 h血糖≥11.1 mmol/L,或既往确诊且目前规律降糖治疗者;高脂血症定义为总胆固醇≥5.2 mmol/L、甘油三酯≥1.7 mmol/L,或既往确诊且规律降脂治疗者;贫血定义为成年男性血红蛋白<120 g/L,非妊娠成年女性血红蛋白<110 g/L;冠心病定义为至少1支主要冠状动脉狭窄≥50%,或既往明确诊断心肌梗死、有冠状动脉血运重建病史者;心房颤动定义为经心电图或24 h动态心电图确诊存在房颤发作史者;脑梗死、脑出血分别定义为经头颅影像学检查证实存在脑梗死病灶、脑实质出血病灶者;结缔组织病定义为既往经临床及实验室检查确诊的自身免疫性疾病;肿瘤性疾病定义为经病理组织学证实的恶性肿瘤,或既往确诊恶性肿瘤并接受抗肿瘤治疗者;下肢静脉血栓形成或肺栓塞定义为经影像学检查证实存在下肢静脉血栓或肺动脉栓塞,或既往明确诊断者;慢性阻塞性肺疾病定义为既往经肺功能检查确诊且符合相关指南诊断标准者;肺炎定义为既往经胸部影像学检查证实存在肺部感染性病变并接受规范抗感染治疗者。

1.3 实验室指标检测

采集所有患者于清晨空腹状态下的静脉血样本,血常规相关指标(白细胞计数、红细胞计数、血红蛋白、中性粒细胞计数、淋巴细胞计数、血小板计数、平均血小板体积、血小板比容、血小板分布宽度)采用仪器法检测;C反应蛋白采用散射比浊法检

测;谷丙转氨酶、谷草转氨酶采用速率法检测;总蛋白采用双缩脲法检测;白蛋白采用溴甲酚绿法检测;胆红素采用重氮法检测; γ 谷氨酰基转移酶、碱性磷酸酶、尿素氮、尿酸采用比色法检测;肌酐采用肌氨酸氧化酶法检测;凝血酶原时间、活化部分凝血活酶时间、凝血酶时间、血浆纤维蛋白原采用凝固法检测,国际标准化比值采用计算法,D-二聚体采用免疫比浊法检测;总胆固醇采用酶比色法检测,甘油三酯采用比色法检测,低密度脂蛋白胆固醇采用选择性清除法检测,高密度脂蛋白胆固醇采用选择性抑制法检测,脂蛋白采用比色法检测,空腹血糖采用己糖激酶法检测。

1.4 统计学分析

对于连续变量,数据以 $\bar{x}\pm s$ 或中位数和四分位数表示,对于分类变量,数据以频率或百分比表示。在基线特征分析中,连续变量采用 t 检验或单因素方差分析,分类变量采用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率

法。单因素 Logistic 回归分析中 $P<0.05$ 的变量被纳入 Lasso 回归分析,以确定术后脑卒中的独立危险因素。筛选出的因素构建列线图预测模型。受试者工作特征 (receiving operating characteristic, ROC) 曲线和校准曲线评价模型的区分度和校准度。决策曲线分析 (decision curve analysis, DCA) 评估临床净收益。对于统计计算,采用 Free Statistics 软件 2.3 版 (中国北京) 和 R 编程环境 4.5.2 版进行。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 训练集与验证集临床资料比较

除年龄及总胆红素外,在性别、BMI、既往病史、术前 VTE 评分、生物化学指标、手术持续时间等方面,训练集与验证集之间差异无统计学意义 ($P>0.05$;表 1)。

表 1. 训练集与验证集基线数据比较

Table 1. Comparison of baseline characteristics between the training and validation cohorts

项目	训练集 ($n=751$)	验证集 ($n=321$)	P
男性/[例(%)]	404(53.8)	168(52.3)	0.661
年龄/岁	62.0 $\pm$ 11.4	63.5 $\pm$ 11.2	0.041
BMI/(kg/m ²)	25.0 $\pm$ 3.8	25.0 $\pm$ 4.0	0.984
吸烟史/[例(%)]	250(33.3)	90(28)	0.091
饮酒史/[例(%)]	163(21.7)	72(22.4)	0.793
高血压史/[例(%)]	374(49.8)	157(48.9)	0.789
糖尿病史/[例(%)]	141(18.8)	62(19.3)	0.836
高脂血症史/[例(%)]	11(1.5)	4(1.2)	1
冠心病史/[例(%)]	183(24.4)	93(29)	0.114
心房颤动史/[例(%)]	23(3.1)	12(3.7)	0.569
脑梗死史/[例(%)]	109(14.5)	51(15.9)	0.563
脑出血史/[例(%)]	41(5.5)	21(6.5)	0.487
结缔组织病史/[例(%)]	18(2.4)	11(3.4)	0.341
肿瘤性疾病史/[例(%)]	39(5.2)	9(2.8)	0.083
下肢静脉血栓形成/肺栓塞史/[例(%)]	16(2.1)	5(1.6)	0.535
慢性阻塞性肺疾病史/[例(%)]	10(1.3)	1(0.3)	0.189
肺炎史/[例(%)]	36(4.8)	22(6.9)	0.172
睡眠呼吸暂停综合征史/[例(%)]	69(9.2)	24(7.5)	0.362
术前末次 VTE 评分/[例(%)]			0.159
低危	615(81.9)	251(78.2)	
高危	136(18.1)	70(21.8)	
白细胞计数/($\times 10^9$ L ⁻¹)	7.7 $\pm$ 3.4	7.7 $\pm$ 3.5	0.912
红细胞计数/($\times 10^{12}$ L ⁻¹)	4.4 $\pm$ 1.5	4.3 $\pm$ 0.7	0.498
血红蛋白/(g/L)	131.4 $\pm$ 21.4	132.3 $\pm$ 25.4	0.559
中性粒细胞计数/($\times 10^9$ L ⁻¹)	4.3(3.2,6.3)	4.3(3.3,6.9)	0.576

续表			
项目	训练集(<i>n</i> = 751)	验证集(<i>n</i> = 321)	<i>P</i>
淋巴细胞计数/($\times 10^9\text{ L}^{-1}$)	1.7 $\pm$ 0.7	1.6 $\pm$ 0.6	0.074
血小板计数/($\times 10^9\text{ L}^{-1}$)	231.4 $\pm$ 75.8	225.8 $\pm$ 68.6	0.259
平均血小板体积/fL	10.0 $\pm$ 1.2	10.1 $\pm$ 1.1	0.314
血小板比容/%	0.2 $\pm$ 0.1	0.2 $\pm$ 0.1	0.148
血小板分布宽度/%	12.4 $\pm$ 2.9	12.5 $\pm$ 3.0	0.455
C反应蛋白/(mg/L)	5.2(1.3,30.5)	6.9(1.6,32.1)	0.313
谷丙转氨酶/(U/L)	17.7(12.7,26.7)	18.1(12.1,29.8)	0.95
谷草转氨酶/(U/L)	19.0(15.0,27.0)	19.0(15.0,28.0)	0.984
总蛋白/(g/L)	65.1 $\pm$ 8.6	65.7 $\pm$ 8.0	0.28
白蛋白/(g/L)	40.1 $\pm$ 6.1	40.4 $\pm$ 5.7	0.485
直接胆红素/($\mu\text{mol/L}$)	3.9(2.8,5.4)	4.0(3.0,5.7)	0.059
总胆红素/($\mu\text{mol/L}$)	13.9(10.5,18.3)	14.7(11.4,19.3)	0.033
γ 谷氨酰基转移酶/(U/L)	23.0(15.0,38.0)	23.0(15.0,34.0)	0.668
碱性磷酸酶/(U/L)	75.0(61.0,92.0)	73.0(60.0,90.0)	0.265
肌酐/($\mu\text{mol/L}$)	62.3(51.2,73.7)	62.6(50.4,73.9)	0.815
尿素氮/(mmol/L)	5.1(4.1,6.2)	5.0(4.2,6.2)	0.89
尿酸/($\mu\text{mol/L}$)	270.7 $\pm$ 99.0	268.0 $\pm$ 95.5	0.68
国际标准化比值	1.0 $\pm$ 0.2	1.1 $\pm$ 0.6	0.052
凝血酶原时间/s	12.0 $\pm$ 2.5	12.1 $\pm$ 2.2	0.424
活化部分凝血活酶时间/s	30.7 $\pm$ 6.4	31.0 $\pm$ 8.9	0.53
凝血酶时间/s	15.9 $\pm$ 6.4	15.7 $\pm$ 2.8	0.629
血浆纤维蛋白原/(g/L)	3.3 $\pm$ 1.1	3.3 $\pm$ 1.0	0.508
D-二聚体/(mg/L)	0.4(0.3,1.1)	0.5(0.3,1.1)	0.504
总胆固醇/(mmol/L)	4.1(3.4,4.9)	4.0(3.3,4.8)	0.34
甘油三酯/(mmol/L)	1.2(0.8,1.6)	1.1(0.8,1.6)	0.228
低密度脂蛋白胆固醇/(mmol/L)	2.6 $\pm$ 0.9	2.5 $\pm$ 0.9	0.106
高密度脂蛋白胆固醇/(mmol/L)	1.1(0.9,1.4)	1.2(1.0,1.4)	0.083
脂蛋白/(mg/L)	185.0(95.0,352.0)	197.0(102.0,338.0)	0.675
空腹血糖/(mmol/L)	6.3 $\pm$ 2.5	6.4 $\pm$ 2.7	0.62
手术持续时间/min	90.0(46.0,180.0)	87.0(48.0,180.0)	0.833

2.2 预测因素筛选结果

以患者是否发生脑卒中为因变量(否=0,是=1),以患者人口学特征和实验室指标为自变量,行单因素 Logistic 回归分析,有统计学差异的因素见表 2。

采用 Lasso 回归筛选出对术后脑卒中患病影响较大的风险因素。当最优 lambda 为 0.069 时,脑梗死史、术前 VTE 评分高危、白蛋白降低、血浆纤维蛋白原升高是术后发生脑卒中的重要风险因素(图 1)。

表 2. 术后患者脑卒中预后影响因素的 Logistic 回归分析
Table 2. Logistic regression analysis of influencing factors for postoperative stroke

项目	OR(95% CI)	<i>P</i>	项目	OR(95% CI)	<i>P</i>
高血压史		0.008	红细胞计数	0.74(0.58 ~ 0.95)	0.019
否	1(Reference)		血红蛋白	0.99(0.99 ~ 1)	0.046
是	1.51(1.11 ~ 2.05)		中性粒细胞计数	1.04(1.01 ~ 1.07)	0.016
脑梗死史		<0.001	淋巴细胞计数	0.71(0.56 ~ 0.89)	0.003
否	1(Reference)		C反应蛋白	1.01(1 ~ 1.01)	0.034
是	2.09(1.39 ~ 3.16)		总蛋白	0.97(0.95 ~ 0.98)	<0.001

续表				
项目	OR(95% CI)	P	项目	OR(95% CI) P
脑出血史		0.014	白蛋白	0.93(0.91 ~ 0.96) <0.001
否	1 (Reference)		尿素氮	1.05(1 ~ 1.09) 0.037
是	0.33(0.14 ~ 0.8)		国际标准化比值	4.29(1.6 ~ 11.5) 0.004
术前 VTE 评分		<0.001	凝血酶原时间	1.08(1.01 ~ 1.15) 0.024
低危	1 (Reference)		血浆纤维蛋白原	1.38(1.2 ~ 1.59) <0.001
高危	2.02(1.38 ~ 2.95)		D-二聚体	1.06(1.01 ~ 1.11) 0.028
白细胞计数	1.06(1.02 ~ 1.11)	0.005	高密度脂蛋白胆固醇	0.56(0.33 ~ 0.95) 0.03

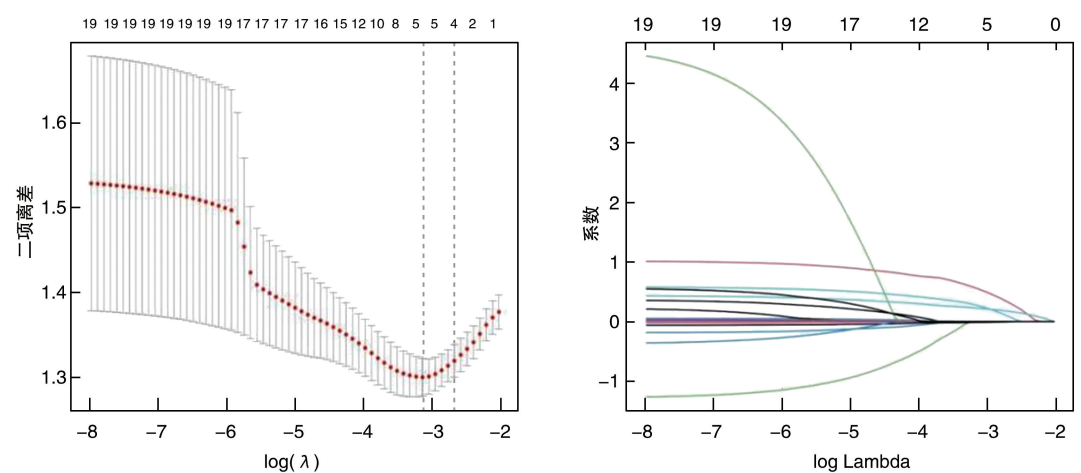


图 1. 术后发生脑卒中的危险因素筛选
Figure 1. Screening of risk factors for postoperative stroke

2.3 风险模型的建立

基于 4 项独立预测因素绘制列线图,预测术后发生脑卒中的概率。根据列线图每个变量对术后脑卒中发生的影响都反映在各自的行长和相应的

分数中,各因子评分相加即得模型总分,根据总分在概率预测轴上对应的数值得到术后患者脑卒中发生的概率(图 2)。

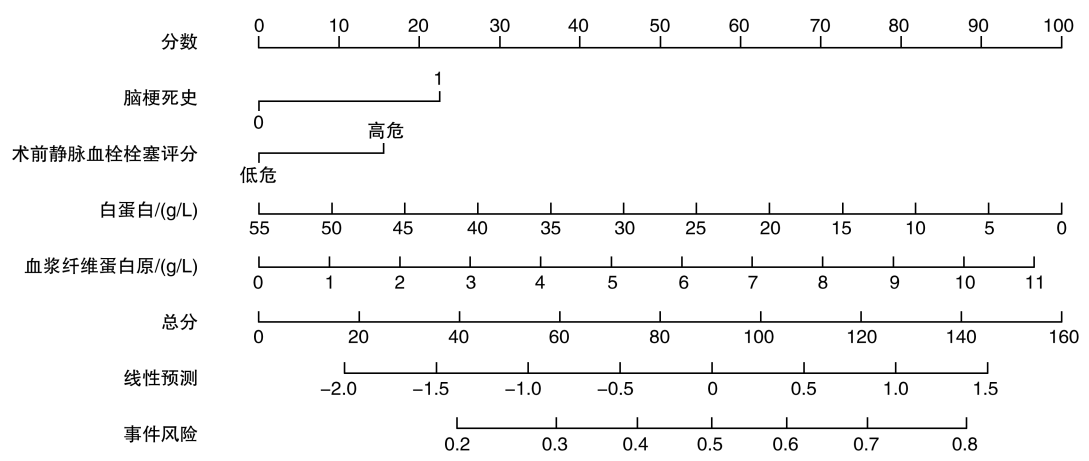


图 2. 术后患者发生脑卒中风险预测列线图
Figure 2. Nomogram for predicting the risk of postoperative stroke

2.4 在训练集和验证集中验证列线图

训练集和验证集的 ROC 曲线表现出较好的判别性,ROC 曲线下面积(area under the curve,AUC)分别为 0.651(95% CI:0.607~0.694)和 0.683(95% CI:0.620~0.746)(图 3A)。采用 Bootstrap 法(原始数据重复抽样 1 000 次后)对列线图模型进行内部验

证,校准曲线与理想曲线越接近,说明模型的预测能力越好,结果显示模型具有较好的校准能力(图 3B 和 3C)。DCA 证实了列线图的临床效用,在 0~0.61 的高风险阈值概率范围内显示出显著的净收益。列线图模型在这一范围内优于“全干预”与“全不干预”这两种策略(图 3D 和 3E)。

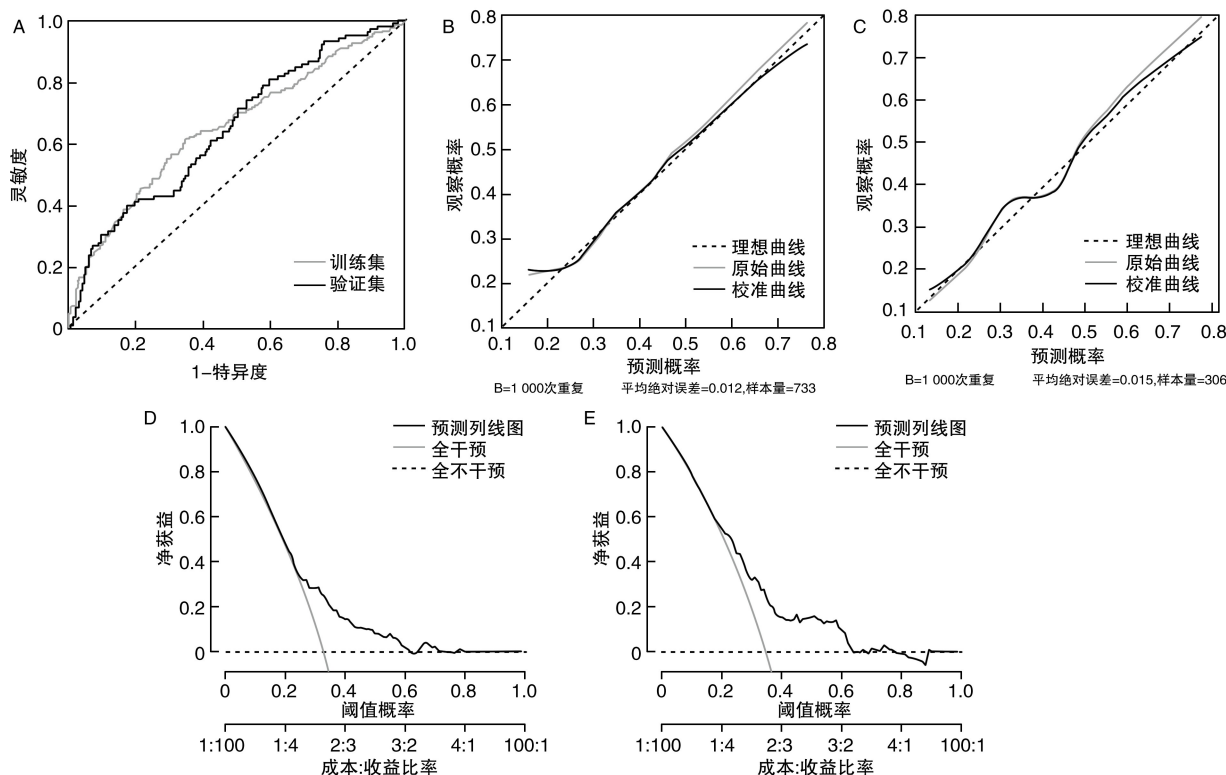


图 3. 预测模型的评价

A 为训练集和验证集的 ROC 曲线,B 为训练集的校准曲线,C 为验证集的校准曲线,D 为训练集的 DCA 曲线,E 为验证集的 DCA 曲线。

Figure 3. Evaluation of predictive models

2.5 网络计算器的实现

如图 4 所示,最终预测模型被集成到一个用于临床环境的网络应用中。通过输入模型所需的 4 个特征的实际值,应用程序可以自动预测个体术后脑卒中风险。该网页申请可通过以下链接在线访问:<https://freestatistics0516.shinyapps.io/StrokePrediction/>。

3 讨论

一项针对 29 810 例脑卒中患者的研究显示,其中 973 例为院内脑卒中,具体包括血管造影(25%)、非心脏手术(22%)及血管造影术(15%)。与社区发病患者相比,院内脑卒中患者的合并症发生率更高,经历的脑卒中更严重,从症状识别到初始神经影像学检查的时间更长,接受溶栓的可能性

Figure 4 shows a web-based risk calculator interface. The title is '术后脑卒中预测系统'. The input fields are: '脑梗死史' (Stroke history) with a dropdown menu set to '是' (Yes); '术前VTE评分' (Preoperative VTE score) with a dropdown menu set to '高危' (High risk); '白蛋白/(g/L)' (Albumin/(g/L)) with a text input field set to '32'; and '血浆纤维蛋白原/(g/L)' (Plasma fibrinogen/(g/L)) with a text input field set to '3'. A '预测' (Predict) button is at the bottom left. On the right, the output is '术后卒中患病风险概率:' (Postoperative stroke risk probability) with a large orange number '63.1%' and the text '预测结果' (Prediction result) below it.

图 4. 基于该模型构建的术后脑卒中风险的网络计算器

Figure 4. Web-based risk calculator for postoperative stroke based on the nomogram model

较小,脑卒中后残疾更严重,住院时间更长,未经调整的短期和长期死亡率更高。某些类型的手术本质上具有更高的脑卒中风险,特别是心脏^[10]或血管手术^[11]。术中侵入性血管操作易诱发斑块脱落、远

端栓塞,继而升高卒中风险。同时,外科手术可诱发全身炎症反应并激活机体高凝状态,易诱发围手术期血栓形成,同时促进动脉斑块破裂。对于术前长期服用抗凝或抗血小板药物的患者,停药后易出现反跳性高凝反应,围手术期血栓栓塞事件风险显著上升,最终进一步加剧卒中发病风险^[12]。本研究通过分析患者术后急性脑卒中的独立危险因素,构建并验证了列线图预测模型,旨在为临床早期识别高风险患者及实施针对性预防措施提供循证依据。

本研究 Lasso 回归分析结果表明,既往脑梗死史、术前 VTE 评分高危、低白蛋白水平以及高血浆纤维蛋白原水平是术后发生脑卒中的重要危险因素。既往有脑卒中或短暂性脑缺血发作(transient ischemic attack, TIA)病史是围手术期脑卒中的一个重要危险因素^[13-14]。Glance 等^[15]发现与无卒中史的患者相比,在择期非神经、非心脏手术后 30 天内有卒中史的患者发生急性缺血性卒中的风险升高 8 倍,全因死亡的风险升高 2.5 倍,出院后进入疗养院或专业护理机构的风险升高 3 倍。本研究同样显示,既往脑梗死史的存在是术后患者脑卒中的独立预测因子($OR=2.09, 95\% CI:1.39 \sim 3.16$),具有统计学意义($P<0.001$)。本研究中,术前 VTE 评分高危被确定为脑卒中的独立危险因素($OR=2.02, 95\% CI:1.38 \sim 2.95$),这与之前的研究一致。2010 年由 Barbar 等^[8]提出的 Padua 评分量表可以帮助区分 VTE 高风险和低风险的患者。可直接评估静脉血栓风险,其评分高低反映的是患者全身性的高凝状态和共存的动脉血栓风险因素(高龄、肥胖、肿瘤、感染、长期卧床等)。Caprini 评分被广泛应用于常规实践中,其包含的风险因素,如脑卒中、肥胖、老年人、慢性阻塞性肺疾病、肺炎、败血症、充血性心力衰竭、恶性肿瘤。以往的研究表明 Caprini 评分通过反映高凝状态,预测静脉血栓的风险并指导手术患者的抗凝治疗^[16-17]。对住院期间的高危患者采取充分的血栓预防措施可以长期预防血栓栓塞事件。白蛋白是一种血浆蛋白,可直接和间接抑制血小板和血栓形成^[18]。白蛋白在急性脑卒中中具有神经保护作用,具有有效的抗氧化和抗炎特性,并抑制血小板聚集^[19]。多项研究表明,血清白蛋白水平与脑卒中(包括急性缺血性卒中和短暂性脑缺血发作)的风险关联^[20-21]。Idicula 等^[21]发现,高血清白蛋白与缺血性脑卒中患者的预后改善和死亡率降低有关。急性缺血性脑卒中患者血清白蛋白水平较低时,复发风险更高^[22]。本研究结果显示,血清白蛋白与脑卒中风险呈负相关($OR=0.93, 95\% CI:$

$0.91 \sim 0.96$)。纤维蛋白原是一种肝脏合成的血浆糖蛋白,是体内最丰富的凝血因子^[23]。纤维蛋白原水平升高与纤维蛋白形成率、血栓纤维蛋白含量、纤维蛋白网络稳定性和血小板聚集较高有关^[24]。研究表明,纤维蛋白原与冠状动脉管腔狭窄进展呈正相关^[25]。纤维蛋白原可作为脑卒中的预测因子和动脉粥样硬化的标志物^[26]。此外,白蛋白可与纤维蛋白原发生相互作用,进而抑制纤维蛋白原活性;白蛋白水平升高能够减缓纤维蛋白沉积。基于二者的相互调控作用,纤维蛋白原/白蛋白比值与血栓前状态密切相关,且该比值已被证实可用于评估脑卒中患者的病情严重程度,也是不良预后的独立预测指标^[27]。

综上所述,本研究构建的列线图预测模型能够有效评估患者术后急性脑卒中的发病风险,并展现出良好的预测效能与临床适用性。同时,为了便于模型在临床中的应用,最终的预测模型被整合到一个基于 Shiny 应用程序的网络平台中。当输入最终模型对应的相关特征变量后,该应用程序即可输出患者术后发生脑卒中的风险概率。该模型可作为辅助工具,帮助医务人员筛查高危人群,术前完善全面神经系统评估及磁共振等影像检查,为围手术期管理提供指导;术中采用脑栓塞保护装置^[28]等特定预防措施以维持脑灌注水平,降低脑卒中发生风险;术后开展系统监测以实现早期识别与及时干预,有望显著降低该类人群急性脑卒中的发生率。

该模型的区分效能中等,AUC 值为 0.651。本研究存在若干固有局限性:首先,回顾性研究设计、纳入手术类型范围较广,且未统一完善影像学检查以排除术前合并脑卒中的患者,以上因素限制了对模型预测效能的精准评估与稳健推断。其次,研究为单中心开展,样本量有限,同时研究对象基础病史复杂,也会对结果造成影响。未来可通过扩大样本量、开展多中心外部验证并持续优化模型,进一步提升其预测价值。即便存在上述不足,本研究仍可为临床筛查术后脑卒中高危人群提供初步参考工具,具备一定的临床应用潜力。

[参考文献]

- [1] Feigin V L, Brainin M, Norrving B, et al. World stroke organization: global stroke fact sheet 2025[J]. Int J Stroke, 2025, 20(2): 132-144.
- [2] Shu L, Aziz Y N, De Havenon A, et al. Perioperative stroke: mechanisms, risk stratification, and management[J]. Stroke, 2025, 56(9): 2798-2809.
- [3] Meara J G, Leather A J M, Hagander L, et al. Global surgery

- 2030: evidence and solutions for achieving health, welfare, and economic development[J]. *Lancet*, 2015, 386(9993): 569-624.
- [4] Fanning J P, Campbell B C V, Bulbulia R, et al. Perioperative stroke[J]. *Nat Rev Dis Primers*, 2024, 10(1): 3.
- [5] Mashour G A, Shanks A M, Kheterpal S. Perioperative stroke and associated mortality after noncardiac, nonneurologic surgery [J]. *Anesthesiology*, 2011, 114(6): 1289-1296.
- [6] Vlisides P E, Moore L E. Stroke in surgical patients[J]. *Anesthesiology*, 2021, 134(3): 480-492.
- [7] Saltman A P, Silver F L, Fang J, et al. Care and outcomes of patients with in-hospital stroke [J]. *JAMA Neurol*, 2015, 72(7): 749-755.
- [8] Barbar S, Noventa F, Rossetto V, et al. A risk assessment model for the identification of hospitalized medical patients at risk for venous thromboembolism; the Padua prediction score[J]. *J Thromb Haemost*, 2010, 8(11): 2450-2457.
- [9] Gould M K, Garcia D A, Wren S M, et al. Prevention of VTE in nonorthopedic surgical patients: antithrombotic therapy and prevention of thrombosis, 9th ed: American college of chest physicians evidence-based clinical practice guidelines [J]. *Chest*, 2012, 141(2 Suppl): e227S-e277S.
- [10] Andalib A, Mamane S, Schiller I, et al. A systematic review and Meta-analysis of surgical outcomes following mitral valve surgery in octogenarians: implications for transcatheter mitral valve interventions[J]. *EuroIntervention*, 2014, 9(10): 1225-1234.
- [11] Meschia J F, Edwards L, Roubin G, et al. CREST-2 commitment to rigorous assessment of carotid stenting for primary prevention of stroke[J]. *Stroke Vasc Interv Neurol*, 2024, 4(3): e001227.
- [12] Qiao L, Wang S, Jia Q, et al. Clinical efficacy and safety of statin treatment after carotid artery stenting [J]. *Artif Cells Nanomed Biotechnol*, 2019, 47(1): 3110-3115.
- [13] Bateman B T, Schumacher H C, Wang S, et al. Perioperative acute ischemic stroke in noncardiac and nonvascular surgery: incidence, risk factors, and outcomes[J]. *Anesthesiology*, 2009, 110(2): 231-238.
- [14] Bucerius J, Gummert J F, Borger M A, et al. Stroke after cardiac surgery: a risk factor analysis of 16 184 consecutive adult patients [J]. *Ann Thorac Surg*, 2003, 75(2): 472-478.
- [15] Glance L G, Benesch C G, Holloway R G, et al. Association of time elapsed since ischemic stroke with risk of recurrent stroke in older patients undergoing elective nonneurologic, noncardiac surgery[J]. *JAMA Surg*, 2022, 157(8): e222236.
- [16] Maynard G A, Morris T A, Jenkins I. Optimizing prevention of hospital-acquired venous thromboembolism (VTE): prospective validation of a VTE risk assessment model[J]. *J Hosp Med*, 2010, 5(1): 10-18.
- [17] Li W, Wang Y, Li D, et al. The caprini risk score for early prediction of mortality in patients with acute coronary syndrome[J]. *J Cardiovasc Nurs*, 2023, 38(5): 472-480.
- [18] Grigoriadis G, Stewart A G. Albumin inhibits platelet-activating factor (PAF) -induced responses in platelets and macrophages: implications for the biologically active form of PAF[J]. *Br J Pharmacol*, 1992, 107(1): 73-77.
- [19] Thuemmler R J, Pana T A, Carter B, et al. Serum albumin and post-stroke outcomes: analysis of UK regional registry data, systematic review, and Meta-analysis[J]. *Nutrients*, 2024, 16(10): 1486.
- [20] Wang Y, Zhuang Y, Huang H, et al. Association of serum albumin levels and stroke risk in adults over 40 years: a population-based study[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2023, 102(36): e34848.
- [21] Idicula T T, Waje-Andreassen U, Brogger J, et al. Serum albumin in ischemic stroke patients: the higher the better. The Bergen stroke study[J]. *Cerebrovasc Dis*, 2009, 28(1): 13-17.
- [22] Babu M S, Kaul S, Dadheech S, et al. Serum albumin levels in ischemic stroke and its subtypes: correlation with clinical outcome [J]. *Nutrition*, 2013, 29(6): 872-875.
- [23] Levy J H, Goodnough L T. How I use fibrinogen replacement therapy in acquired bleeding[J]. *Blood*, 2015, 125(9): 1387-1393.
- [24] Machlus K R, Cardenas J C, Church F C, et al. Causal relationship between hyperfibrinogenemia, thrombosis, and resistance to thrombolysis in mice[J]. *Blood*, 2011, 117(18): 4953-4963.
- [25] 荐志洁, 乔香瑞, 李海波, 等. 纤维蛋白原对2型糖尿病患者冠状动脉斑块狭窄率进展的影响[J]. *中国动脉硬化杂志*, 2024, 32(5): 410-414.
- Jian Z J, Qiao X R, Li H B, et al. Effect of fibrinogen on the progression of coronary plaque stenosis rate in patients with type 2 diabetes mellitus[J]. *Chin J Arterioscler*, 2024, 32(5): 410-414.
- [26] Eidelman R S, Hennekens C H. Fibrinogen: a predictor of stroke and marker of atherosclerosis[J]. *Eur Heart J*, 2003, 24(6): 499-500.
- [27] Acharya P, Jakobleff W A, Forest S J, et al. Fibrinogen albumin ratio and ischemic stroke during venoarterial extracorporeal membrane oxygenation[J]. *ASAIO J*, 2020, 66(3): 277-282.
- [28] Desai R, Mondal A, Katukuri N, et al. Examining the role of cerebral embolic protection devices in preventing postoperative stroke in patients with a history of stroke or transient ischemic: insights from the national inpatient sample [J]. *Cardiol Rev*, 2024, 34(2): 134-137.

(此文编辑 许雪梅)