

DOI: 10. 12138/j. issn. 1671—9638. 20245095

· 论 著 ·

脑卒中患者医院感染风险预测模型的构建及评价

赵明扬¹, 李咏心², 李 众², 郝义彬², 孙长青^{1,3}

(1. 郑州大学公共卫生学院, 河南 郑州 450001; 2. 郑州人民医院科研教学中心, 河南 郑州 450001; 3. 郑州大学护理与健康学院, 河南 郑州 450001)

[摘要] **目的** 构建脑卒中患者医院感染风险预测模型, 精准有效的筛选出潜在高危人群, 并为其制订针对性预防干预措施, 减少感染发生。**方法** 选取“河南省脑卒中队列”2019—2021 年脑卒中患者为研究对象, 收集相关临床资料作为主分析数据, 用于模型构建及内部验证。随机选取三所未参与队列构建的医院 2022 年 1—9 月脑卒中患者的相关数据, 作为测试集, 用于风险预测模型的外部验证。将主分析数据随机划分为训练集和测试集, 分别基于 logistic 回归、人工神经网络(ANN)算法、极端梯度提升算法和随机森林算法构建风险预测模型, 采用多种指标评价模型预测性能, 并基于测试集数据对构建的最优模型进行外部验证。**结果** 主分析数据中脑卒中患者的感染率为 20.6%, 测试集数据中脑卒中患者的感染率为 56.4%。基于 logistic 回归构建的风险预测模型的准确度为 91.2%, 受试者工作特征(ROC)曲线下面积(AUC)为 0.938, 精确率为 0.851, 召回率为 0.695, 特异度为 0.968, F1 值为 0.765。logistic 与 ANN 风险预测模型的准确率、精确率、特异度、AUC 均显著优于其他模型, 而 logistic 风险预测模型的召回率、F1 分数略优于 ANN 风险预测模型。logistic 风险预测模型在外部验证中仍具有优秀的预测性能。**结论** 基于 logistic 回归构建的脑卒中患者医院感染风险预测模型能较好的筛选出具有感染风险的高危脑卒中患者, 并有助于为其制订针对性的预防干预措施, 以减少感染的发生。

[关键词] 脑卒中; 医院感染; 机器学习; 风险预测模型

[中图分类号] R197.323.4

Construction and evaluation of a risk prediction model for healthcare-associated infection in stroke patients

ZHAO Ming-yang¹, LI Yong-xin², LI Zhong², HAO Yi-bin², SUN Chang-qing^{1,3} (1. College of Public Health, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Center for Research and Teaching, People's Hospital of Zhengzhou, Zhengzhou 450001, China; 3. School of Nursing and Health, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

[Abstract] **Objective** To construct a risk prediction model for healthcare-associated infection (HAI) in stroke patients, accurately and effectively screen out potential high-risk groups, and formulate targeted preventive interventions to reduce the occurrence of infection. **Methods** Stroke patients in the “Henan Stroke Cohort” in 2019–2021 were selected as the study objects, and relevant clinical data were collected as the main analysis data for model construction and internal validation. The relevant data of stroke patients in three hospitals that had never participated in the cohort construction from January to September 2022 were randomly selected as a test set for external validation of the risk prediction model. The main analysis data were randomly divided into a training set and a test set, and a risk prediction model was constructed based on logistic regression, artificial neural network (ANN) algorithm, extreme gradient boosting algorithm and random forest algorithm, respectively. Multiple indicators were used to evaluate the prediction performance of the model, and the optimal model was externally validated based on the test

[收稿日期] 2023-10-26

[基金项目] 河南省医学科技攻关计划项目(LHGJ20200681); 河南省科技攻关项目(24210231135)

[作者简介] 赵明扬(1996-), 男(汉族), 河南省鹤壁市人, 博士研究生在读, 主要从事人口与健康研究。

[通信作者] 孙长青 E-mail: zzugwsy@163.com

set data. **Results** The infection rate of stroke patients was 20.6% in the main analysis data and 56.4% in the test set data. The accuracy of the risk prediction model based on logistic regression was 91.2%, the area under the receiver operating characteristic (ROC) curve (AUC) was 0.938, the precision rate, recall rate, specificity, and the F1 score were 0.851, 0.695, 0.968, and 0.765, respectively. The accuracy rate, precision rate, specificity and AUC of the logistic risk prediction model and the ANN risk prediction model were all significantly better than other models, while the recall rate and F1 score of the logistic risk prediction model were slightly better than the ANN risk prediction model. The logistic risk prediction model had excellent prediction performance in external validation.

Conclusion HAI risk prediction model of stroke patients based on logistic regression can better screen out high-risk stroke patients with infection risk, and can contribute to formulate targeted preventive interventions to reduce the occurrence of infection.

[Key words] stroke; healthcare-associated infection; machine learning; risk prediction model

脑卒中是严重危害中国国民健康的重大慢性非传染性疾病之一。全球每年新发脑卒中患者 1 030 万例^[1],我国每年新发病例可达 200 万例^[2]。据 2019 全球疾病负担研究(global burden of disease, GBD)^[3]结果显示,脑卒中在导致全球疾病负担增加的 10 个主要疾病中排第三位,且脑卒中是中国成人致残、致死的首位病因^[4],具有高发病率、高致残率、高病死率、高复发率、高经济负担五大特点^[5],严重危害中国全民健康。因此,降低脑卒中疾病负担,是提高全民健康素养的关键。

脑卒中患者在全病程周期中多伴随各种并发症,导致病情加重,进而增加不良预后^[6]和死亡风险^[7]。其中,医院感染是脑卒中患者最常见且严重的并发症^[8],约 30% 的患者合并不同程度的感染^[9-10],以肺部感染最为常见^[11]。脑卒中患者合并感染不仅会影响疾病预后,增加残疾率和病死率^[12],还会加重患者及其家庭、社会的经济负担。既往研究^[13]显示,美国每年因脑卒中相关感染花费的医疗费用约 4.59 亿美元,而我国脑卒中患者感染相关经济负担也高达 53 946.21 元^[14]。因此,早期识别脑卒中患者感染高危人群并采取相应的预防性干预措施显得尤为重要。

本研究基于传统统计方法与机器学习技术分别构建脑卒中患者医院感染风险预测模型并对其进行评估与验证,使模型能精准有效的筛选出潜在高危人群,便于为其制订针对性预防干预措施,减少感染发生,改善患者预后。

1 对象与方法

1.1 研究对象 选取“河南省脑卒中队列”2019—2021 年数据中符合研究纳入排除标准的脑卒中患者为研究对象。“河南省脑卒中队列”依托国家脑血

管病大数据平台(<https://chinasdc.cn/>),于 2011—2023 年系统性收集了河南 25 个医疗卫生服务共同体的脑卒中患者(11 072 例)相关数据,并在患者出院后一年内对其进行阶段性随访。剔除关键变量存在较多缺失(>10%)的个案,并采用多重插补对个案中存在少量缺失的变量进行插补,纳入 2019 年 1 月—2021 年 12 月脑卒中患者相关临床资料作为主分析数据,用于模型构建及内部验证。

从未参与队列构建的河南省三甲医院中随机选取三所(郑州、洛阳、新乡各 1 所)用于外部验证数据集的构建。2022 年 1—9 月,分别于三所医院的神经内科病区前瞻性收集脑卒中患者相关数据,将其中符合研究标准的脑卒中患者作为测试集,用于风险预测模型的外部验证。

纳入标准:(1)经 CT 或 MRI 诊断,符合《中国各类主要脑血管病诊断要点 2019》脑卒中诊断标准^[5];(2)住院时长 ≥ 48 h;(3)年龄 ≥ 18 岁。排除标准:(1)入院 48 h 内发生感染;(2)合并肝、肾功能不全或者其他严重的系统性疾病;(3)病历资料不完整。

1.2 研究指标及测量

1.2.1 结局变量 本研究结局事件为患者住院期间发生感染。本研究定义的医院感染患者参照中华人民共和国卫生部颁布的《医院感染诊断标准(试行)》^[15]进行诊断。

1.2.2 研究变量 本研究纳入的研究变量包括:(1)人口学特征。年龄、性别、身体质量指数(BMI);(2)既往疾病史。既往卒中史、糖尿病史、高血压史、高脂血症史、房颤史、癌症史;(3)个人史。吸烟史、饮酒史、输血史;(4)生化指标。纤维蛋白原(Fbg)、D-二聚体、C 反应蛋白(CRP)、尿酸(UA)、总胆固醇(Tch)、甘油三酯(TG)、低密度胆固醇与高密度胆固醇比值(LDL/HDL)、同型半胱氨酸(Hcy);(5)住院情况。住院时长、卒中亚型、日常生活活动(ADL)

评分、格拉斯哥昏迷评定量表(GCS)评分、改良 Rankin 量表(mRS)评分、美国国立卫生研究院卒中量表(NIHSS)评分、肌力、静脉血栓栓塞症(VTE)、吞咽障碍、脱水药物治疗、抗凝剂治疗、抗血小板药物治疗、糖皮质激素类药物治疗、溶栓治疗、深静脉置管。研究变量的收集基于国家脑血管病大数据平台的统一质控标准,且收集时间均在结局发生之前,除治疗措施相关变量需实时记录外,其余变量均在入院 48 h 内收集。

1.3 统计分析 应用 R 4.2.2 软件对脑卒中患者数据进行清洗、插补和分析。采用均数 ± 标准差($\bar{x} \pm s$)对住院时长、生化指标等计量资料进行统计描述,采用率/构成比对疾病史、治疗及用药情况等计数资料进行统计描述;分别对计量资料采用 *t* 检验或方差分析,对计数资料采用卡方检验或 Fisher 确切概率法,以探究研究变量在无其它混杂因素干扰的情况下对结局变量的影响。将主分析数据按照 7:3 的比例随机划分为训练集和测试集,分别基于 logistic 回归、人工神经网络(ANN)算法、极端梯度提升(XGBoost)算法和随机森林(RF)算法构建风险预测模型。基于“Bootstrap”重复抽样法和十折交叉验证训练模型以获取模型最优参数。采用准确率、精确率、召回率、特异度、F1 分数、受试者工作特征(ROC)曲线、ROC 曲线下面积(AUC)、校准度等指标评价模型预测性能,并基于测试集数据对构建的最优模型进行外部验证。

本研究的统计描述基于 R 4.2.2 软件进行,分别基于 R 4.2.2 软件的“rms”包、“xgboost”包和“randomForest”包构建 logistic 回归、XGBoost 模型和随机森林模型,基于 SPSS Modeler 18.0 软件构建 ANN 模型。本研究采用双侧检验,所有检验水准均为 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果

2.1 基本情况 共选取“河南省脑卒中队列”2019—2021 年数据中符合研究纳入排除标准的脑卒中患者 1 312 例,剔除关键变量缺失 >10% 的 179 例个案,采用多重插补对个案中存在少量缺失的变量进行插补后,最终纳入 2019 年 1 月—2021 年 12 月的 1 133 例脑卒中患者数据用于模型构建及内部验证。另纳入其他三所医院神经内科病区脑卒中患者 417 例,为测试集。变量赋值见表 1。

表 1 变量赋值表

Table 1 Variable assignment table

变量	赋值
年龄	18~59 岁 = 1; 60~74 岁 = 2; ≥75 岁 = 3
性别	女 = 0; 男 = 1
BMI	≤23.9 kg/m ² = 1; 24.0~27.9 kg/m ² = 2; ≥28 kg/m ² = 3
卒中史	否 = 0; 是 = 1
糖尿病史	否 = 0; 是 = 1
高血压史	否 = 0; 是 = 1
高脂血症史	否 = 0; 是 = 1
房颤史	否 = 0; 是 = 1
癌症史	否 = 0; 是 = 1
吸烟史	从不吸烟 = 0; 曾经吸烟 = 1; 当前吸烟 = 2
饮酒史	从不饮酒 = 0; 曾经饮酒 = 1; 当前饮酒 = 2
输血史	否 = 0; 是 = 1
卒中亚型	缺血性脑卒中 = 1; 出血性脑卒中 = 2
ADL 评分	无需依赖 = 0; 轻度依赖 = 1; 中度依赖 = 2; 重度依赖 = 3
脱水药物	否 = 0; 是 = 1
抗凝剂	否 = 0; 是 = 1
抗血小板药物	否 = 0; 是 = 1
糖皮质激素类药物	否 = 0; 是 = 1
溶栓治疗	否 = 0; 是 = 1
深静脉置管	否 = 0; 是 = 1
VTE	否 = 0; 是 = 1
吞咽障碍	否 = 0; 是 = 1
肌力	5 级 = 0; 4 级 = 1; 3 级 = 2; 2 级 = 3; 1 级 = 4; 0 级 = 5
mRS 评分	0 分 = 0; 1 分 = 1; 2 分 = 2; 3 分 = 3; 4 分 = 4; 5 分 = 5
GCS 评分	正常(15 分) = 0; 轻度意识障碍(12~14 分) = 1; 中度意识障碍(9~11 分) = 2; 昏迷(3~8 分) = 3; 深昏迷(<3 分) = 4
NIHSS 评分	正常(0~1 分) = 0; 轻度卒中(2~4 分) = 1; 中度卒中(5~15 分) = 2; 中重度卒中(16~20 分) = 3; 重度卒中(21~42 分) = 4

2.2 脑卒中患者医院感染情况 本研究主分析数据纳入的 1 133 例脑卒中患者中 233 例发生医院感染,发病率 20.6%。测试集数据纳入的 417 例脑卒中患者中发生医院感染 235 例,发病率 56.4%。

2.3 脑卒中患者医院感染风险的单因素分析 将患者以是否发生医院感染进行分组,单因素分析结果显示,不同年龄、性别、BMI、房颤史、输血史、Fgb、D-二聚体、CRP、尿酸、卒中亚型、ADL 评分、

脱水药物、抗凝剂、抗血小板药物、糖皮质激素类药物、深静脉置管、VTE、吞咽障碍、GCS 评分、肌力、

mRS 评分、NIHSS 评分、住院时长等变量的组间比较,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。见表 2、3。

表 2 脑卒中患者医院感染风险的单因素分析[例(%)]

Table 2 Univariate analysis of HAI risk in stroke patients (No. of cases [%])

变量	医院感染 (n = 233)	未发生医院感染 (n = 900)	χ^2	P	变量	医院感染 (n = 233)	未发生医院感染 (n = 900)	χ^2	P	
年龄(岁)	18~59	97(41.6)	457(50.8)	14.228	0.001	抗血小板药物	是	139(59.7)	777(86.3)	85.062 <0.001
	60~74	90(38.6)	344(38.2)				否	94(40.3)	123(13.7)	
	≥75	46(19.8)	99(11.0)				糖皮质激素类药物	是	18(7.7)	
性别	男	129(55.4)	601(66.8)	10.520	0.001	否		215(92.3)	881(97.9)	
	女	104(44.6)	299(33.2)			溶栓治疗		是	24(10.3)	78(8.7)
BMI(kg/m ²)	≤23.9	110(47.2)	360(40.0)	8.427	0.015		否	209(89.7)	822(91.3)	
	24.0~27.9	106(45.5)	417(46.3)			深静脉置管	是	76(32.6)	22(2.4)	213.263 <0.001
	≥28	17(7.3)	123(13.7)				否	157(67.4)	878(97.6)	
卒中史	是	61(26.2)	230(25.6)	0.038	0.846	VTE	是	98(42.1)	85(9.4)	145.380 <0.001
	否	172(73.8)	670(74.4)			否	135(57.9)	815(90.6)		
糖尿病史	是	70(30.0)	275(30.6)	0.023	0.880	GCS 评分	正常	90(38.6)	840(93.3)	409.216 <0.001
	否	163(70.0)	625(69.4)				轻度意识障碍	43(18.5)	40(4.4)	
高血压史	是	173(74.2)	640(71.1)	0.899	0.343		中度意识障碍	49(21.0)	14(1.6)	
	否	60(25.8)	260(28.9)				昏迷	48(20.6)	6(0.7)	
高脂血症史	是	35(15.0)	106(11.8)	1.787	0.181		深昏迷	3(1.3)	0(0)	
	否	198(85.0)	794(88.2)			肌力	0 级	47(20.2)	20(2.2)	200.051 <0.001
房颤史	是	27(11.6)	36(4.0)	20.293	<0.001		1 级	19(8.1)	26(2.9)	
	否	206(88.4)	864(96.0)				2 级	37(15.9)	35(3.9)	
癌症史	是	9(3.9)	15(1.7)	4.305	0.068		3 级	32(13.7)	109(12.1)	
	否	224(96.1)	885(98.3)				4 级	44(18.9)	191(21.2)	
吸烟史	从不吸烟	166(71.2)	611(67.9)	1.060	0.589		5 级	54(23.2)	519(57.7)	
	曾经吸烟	20(8.6)	92(10.2)			吞咽障碍	是	100(42.9)	175(19.4)	55.468 <0.001
	当前吸烟	47(20.2)	197(21.9)				否	133(57.1)	725(80.6)	
饮酒史	从不饮酒	178(76.4)	632(70.2)	3.639	0.162	mRS 评分(分)	0	53(22.7)	356(39.6)	109.041 <0.001
	曾经饮酒	10(4.3)	56(6.2)				1	36(15.5)	245(27.2)	
	当前饮酒	45(19.3)	212(23.6)				2	39(16.7)	146(16.2)	
输血史	是	53(22.7)	47(5.2)	70.635	<0.001		3	44(18.9)	97(10.8)	
	否	180(77.3)	853(94.8)				4	36(15.5)	40(4.4)	
卒中亚型	缺血性	171(73.4)	841(93.4)	78.030	<0.001		5	25(10.7)	16(1.8)	
	出血性	62(26.6)	59(6.6)			NIHSS 评分	正常	30(12.9)	277(30.8)	138.106 <0.001
脱水药物	是	125(53.6)	108(12.0)	196.526	<0.001		轻度卒中	56(24.0)	410(45.6)	
	否	108(46.4)	792(88.0)				中度卒中	137(58.8)	207(23.0)	
抗凝剂	是	52(22.3)	117(13.0)	12.661	<0.001		中重度卒中	3(1.3)	2(0.2)	
	否	181(77.7)	783(87.0)				重度卒中	7(3.0)	4(0.4)	
ADL 评分	无需依赖	14(6.0)	287(31.9)	301.967	<0.001					
	轻度依赖	40(17.2)	375(41.7)							
	中度依赖	49(21.0)	160(17.8)							
	重度依赖	130(55.8)	78(8.6)							

表 3 脑卒中患者医院感染风险的单因素分析 [$M(P_{25}, P_{75})$]

Table 3 Univariate analysis of HAI risk in stroke patients ($M [P_{25}, P_{75}]$)

变量	医院感染	未发生医院感染	Z	P
Fgb(g/L)	3.60(2.97,4.39)	2.82(2.47,3.33)	-9.690	<0.001
D-二聚体(mg/L)	0.40(0.19,1.05)	0.16(0.08,0.28)	-4.286	<0.001
CRP(mg/L)	14.30(4.17,66.12)	2.20(0.97,3.96)	-9.859	<0.001
尿酸(μ mol/L)	249.00(180.50,321.00)	276.50(225.00,339.00)	3.234	0.001
Tch(mmol/L)	3.89(3.16,4.62)	3.79(3.19,4.50)	-1.022	0.307
TG(mmol/L)	1.25(0.90,1.68)	1.25(0.93,1.73)	-0.278	0.781
LDL/HDL	2.25(1.67,2.97)	2.16(1.59,2.78)	-1.476	0.141
Hcy(mmol/L)	14.45(11.00,19.09)	14.09(11.66,17.80)	-1.072	0.285
住院时长(d)	16.00(10.00,21.00)	10.00(7.00,13.00)	-8.391	<0.001

2.4 脑卒中患者医院感染风险预测模型

2.4.1 风险预测模型的构建及内部验证 将主分析数据按 7:3 比例随机划分为训练集和验证集,纳入单因素分析筛选出的具有统计学意义的变量,分别建立基于 logistic 回归、ANN、XGBoost 和 RF 的医院感染风险预测模型。根据内部验证结果分别计算模型的准确率、精确率、召回率、特异度、F1 分数、AUC、校准度等指标。见表 4。各模型的 ROC 曲线图及校准曲线图分别见图 1、2。

表 4 脑卒中患者医院感染风险预测模型基于内部验证的模型评价指标结果

Table 4 Results of model evaluation indexes based on internal validation prediction models of HAI risk in stroke patients

评价指标	logistic	ANN	XGBoost	RF
准确率	0.912	0.919	0.858	0.875
精确率	0.851	0.907	0.625	0.778
召回率	0.695	0.645	0.564	0.580
特异度	0.968	0.984	0.924	0.955
F1 分数	0.765	0.754	0.593	0.664
AUC	0.938	0.939	0.880	0.829

模型评价指标结果显示,各模型均具有优秀的预测性能和良好的校准度,预测概率与实际概率之间没有明显的偏差。其中,logistic 与 ANN 风险预测模型的准确率、精确率、特异度、AUC 均显著优于其他模型,而 logistic 风险预测模型的召回率、F1 分数略优于 ANN 风险预测模型。召回率、F1 分数反映了模型对阳性病例的查全能力,在模型准确率相差不大的情况下,此类指标越大,表明该模型能够有效筛选出具有感染风险的脑卒中高危个体越多。因

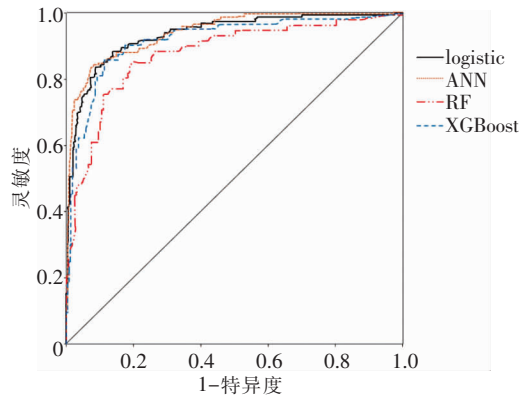
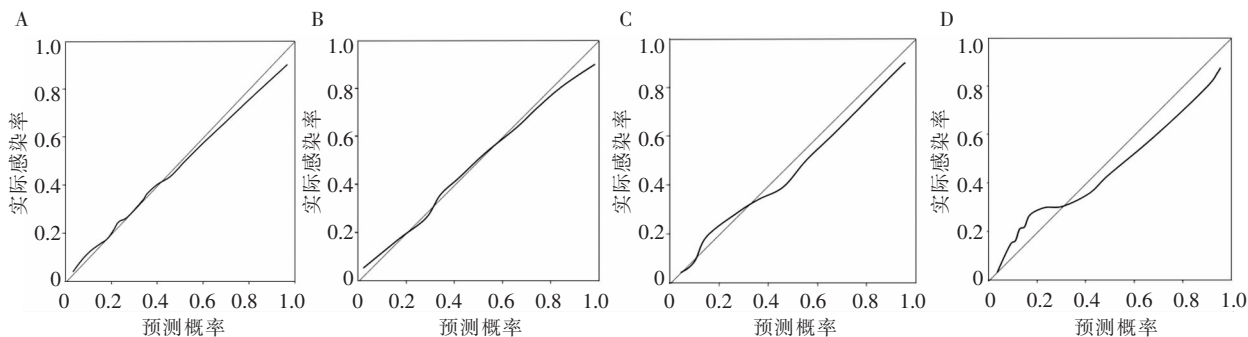


图 1 脑卒中患者医院感染风险各预测模型的 ROC 曲线图
Figure 1 ROC curves of prediction models of HAI risk in stroke patients

此,选取 logistic 风险预测模型作为最优模型用于后续研究。

2.4.2 风险预测模型的外部验证及评价 基于已构建的 logistic 风险预测模型,使用外部验证数据集对模型性能进行验证。结果显示,基于外部验证集的模型预测准确率为 92.3%,AUC 为 0.946,精确率为 0.877,召回率为 0.725,特异度为 0.974,F1 分数为 0.794。logistic 风险预测模型在外部验证中仍具有优秀的预测性能。

2.5 脑卒中患者医院感染风险的多因素分析 根据 logistic 向前逐步回归结果可知,在进行 9 步变量筛选过程后模型性能达到最佳。此时,年龄分组为 ≥ 75 岁,住院时间长,使用脱水药物,使用糖皮质激素类药物,进行深静脉置管,GCS 评分分组为轻度意识障碍、中度意识障碍及昏迷,NIHSS 评分为中度、中重度及重度卒中,Fbg、CRP 水平高等均是脑卒中患者感染发生的独立危险因素(均 $P < 0.05$)。见表 5。



注:A 为基于 logistic 回归的风险预测模型的校准曲线;B 为基于 ANN 的风险预测模型的校准曲线;C 为基于 XGBoost 的风险预测模型的校准曲线;D 为基于 RF 算法的风险预测模型的校准曲线。两曲线重合度越高,表明预测概率与实际概率间偏差越小。

图 2 脑卒中患者医院感染风险各预测模型的校准曲线图

Figure 2 Calibration curves of each prediction model of HAI risk in stroke patients

表 5 脑卒中患者医院感染 logistic 向前逐步回归分析结果

Table 5 Results of logistic progressive regression analysis on HAI in stroke patients

变量	β	S_b	Wald χ^2	P	OR	95%CI	
						下限	上限
年龄(以 18~59 岁为参照)			9.776	0.008			
≥ 75 岁	0.867	0.297	8.537	0.003	2.380	1.330	4.256
住院时间长	0.041	0.012	11.305	0.001	1.042	1.017	1.067
使用脱水药物	0.820	0.243	11.408	0.001	2.270	1.411	3.652
使用糖皮质激素类药物	1.207	0.493	5.989	0.014	3.342	1.272	8.785
深静脉置管	1.303	0.338	14.847	<0.001	3.681	1.897	7.142
GCS 评分(以正常为参照)			71.352	<0.001			
轻度意识障碍	1.596	0.293	29.598	<0.001	4.934	2.776	8.768
中度意识障碍	2.308	0.382	36.412	<0.001	10.049	4.749	21.264
昏迷	3.382	0.626	29.179	<0.001	29.433	8.628	100.412
NIHSS 评分(以正常为参照)			121.065	<0.001			
轻度卒中	0.232	0.239	0.940	0.332	1.261	0.789	2.016
中度卒中	1.810	0.222	66.765	<0.001	6.111	3.959	9.433
中重度卒中	2.628	0.933	7.938	0.005	13.850	2.225	86.203
重度卒中	2.782	0.656	18.013	<0.001	16.158	4.470	58.403
Fbg	0.440	0.115	14.724	<0.001	1.553	1.240	1.945
CRP	0.012	0.004	11.019	0.001	1.012	1.005	1.020

3 讨论

目前国内外对于脑卒中患者感染发生情况的研究结论尚不统一。既往研究^[9]显示,约有 30% 的脑卒中患者合并不同程度和类型的感染。程实等^[16]

进行的一项回顾性分析结果显示,急性脑卒中患者住院期间的感染风险为 14.8%。Wästfelt 等^[17]对卒中后感染相关文献进行的 Meta 分析中,重症监护病房(ICU)治疗的脑卒中患者感染率高达 45% (95%CI:38%~52%),而非 ICU 治疗的脑卒中患者的感染率约为 28%(95%CI:22%~34%)。分析

国内外对脑卒中患者感染发生情况的研究结论不统一的原因可能是:(1)研究基于的人群存在差异,年龄层、性别比、种族构成等因素的差异都会影响研究结论^[18]; (2)研究人群来源于不同医院,其治疗流程和护理水平的不同将对是否感染造成关键影响^[19-20]。本研究主分析数据中,脑卒中患者的感染发生率为 20.6%,这与多项研究的结果类似,表明本研究纳入的样本数据符合真实世界的分布规律,基于该数据进行的风险预测模型研究亦具备可靠性。

基于 logistic 回归的医院感染风险预测模型结果展示了影响脑卒中患者感染风险的关键因素。分析其原因可能为:(1)年龄。随着年龄的增长,患者的生理机能下降,对于感染的抵抗力降低,更容易发生医院感染。李军等^[21]的研究显示,年龄 ≥ 60 岁是急性脑卒中患者合并医院感染的高危因素($OR = 1.081, 95\%CI: 1.052 \sim 1.620, P < 0.05$)。 (2)住院时长。长期住院患者的长期患病和营养不良状态将破坏其免疫系统功能,进而增加感染风险。此外,因病情严重而长时间住院的患者更有可能进行导尿、机械性通气、鼻饲等有创性临床诊疗操作,其所造成的机械性损伤将进一步增加感染风险, Mi 等^[22]研究证实住院时长的增加将显著增加脑卒中患者尿路感染的发生风险。 (3)使用脱水药物和糖皮质激素类药物。脱水药物与糖皮质激素类药物分别通过改变机体内环境渗透压和调节机体内的激素水平,促使多余水分通过血液和肾脏排出,以达到治疗疾病的目的,但药物的使用会增加患者电解质紊乱、蛋白质合成受损、免疫细胞活性抑制等的风险^[23],从而降低机体免疫力,增加感染风险。 (4)进行深静脉置管。深静脉置管过程造成的皮肤损伤,破坏了皮肤保护屏障,使病原体更易侵入人体,且留置时间越长,病原菌通过导管进入血液的风险越大。此外,深静脉置管一般用于长期输液或病情严重的患者,其机体免疫功能脆弱,对病原体入侵的防御能力低下,更易受到病原菌的入侵。 Xu 等^[24]研究结果表明,深静脉置管将增加脑卒中患者的感染发生风险,且随着留置时间延长,感染风险进一步增加。 (5)GCS 评分和 NIHSS 评分较高。GCS 评分能够反映患者意识障碍的严重程度,NIHSS 评分反映患者神经功能的损伤程度。为维持患者的基本生命活动,通常需要进行导尿、吸痰、气管切开、鼻饲等侵入性临床诊疗操作,这些操作不仅会对患者造成机械性损伤,

增加暴露面积,降低皮肤黏膜的保护作用,还可能直接引入外界病原菌,造成机体感染。 You 等^[25]的 Meta 分析也验证了这一结论,意识障碍是老年急性脑卒中患者并发肺部感染的独立危险因素($OR = 2.27, 95\%CI: 1.44 \sim 3.58, P < 0.001$)。 (6)Fbg 和 CRP 水平较高。Fbg 是由肝细胞合成和分泌的一种糖蛋白,其作为凝血因子能直接参与机体凝血,与血液动力学和血管内皮细胞功能紧密关联。血浆 Fbg 的正常浓度范围为 2~4 g/L,但在感染或炎症反应等病理情况下,其血液浓度将迅速增加数倍^[26]。 CRP 是一种非特异性炎症标志物,是机体受到感染或组织损伤时血浆中急剧上升的蛋白质之一,血浆 CRP 水平与机体炎症程度呈正相关^[27]。因此,Fbg 和 CRP 可作为机体感染的预警指标。

综上所述,基于 logistic 回归的脑卒中后医院感染风险预测模型能够准确有效地预测脑卒中患者中医院感染的高危人群,为脑卒中住院患者医院感染的预防干预提供科学指导。但本研究存在一定的局限性:首先,本研究前瞻性收集的多中心脑卒中患者数据中,患者感染发生率为 56.4%,高于一般研究中的脑卒中后感染发生率,其原因可能为:(1)由于感染是研究关注的结局变量,在前瞻性数据收集的过程中,对感染高危患者的调查更为详细,避免了因变量信息不全而排除样本的情况,从而保留了更多的高危人群数据,提高了外部验证数据集的感染发生率;(2)为增加阳性样本用于模型验证,本研究纳入了部分 ICU 治疗患者,此类人群本身感染发病率较高,进一步增加了数据集的感染发病率。但外部验证的目的是检验最优风险预测模型在不同人群的预测性能,基于发生风险不同数据集的验证结果更能验证模型的外推性。其次,本研究主要是基于“河南省脑卒中队列”的基线数据构建的模型,并未考虑各变量在脑卒中不同病程的变化情况,对于该变化是否影响脑卒中患者的感染风险,需进一步纳入随访数据进行验证。第三,本研究构建的风险预测模型虽在内部验证和外部验证中均表现优秀,但数据集均来自河南省,后续研究将收集整理更多城市或国家的人群数据来检验模型的普遍适应性。

基于 logistic 回归构建的脑卒中患者医院感染风险预测模型具有优秀的区分度和校准度,能较好的筛选出具有感染风险的高危脑卒中患者,并有助于为其制定针对性的预防干预措施,以减少感染的发生。

作者贡献:赵明扬负责提出概念、形式分析、原稿写作等工作;李咏心、李众负责数据管理等工作;郝义彬、孙长青负责资金提供、项目管理、监督、审查和编辑写作等工作。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突。

[参考文献]

- [1] Pandian JD, Gall SL, Kate MP, et al. Prevention of stroke: a global perspective[J]. *Lancet*, 2018, 392(10154): 1269 - 1278.
- [2] 王陇德, 刘建民, 杨弋, 等. 《中国脑卒中防治报告 2017》概要[J]. *中国脑血管病杂志*, 2018, 15(11): 611 - 616.
Wang LD, Liu JM, Yang Y, et al. Essentials of *Report on the prevention for Chinese stroke 2017*[J]. *Chinese Journal of Cerebrovascular Diseases*, 2018, 15(11): 611 - 616.
- [3] GBD 2019 Diseases and Injuries Collaborators. Global burden of 369 diseases and injuries in 204 countries and territories, 1990 - 2019; a systematic analysis for the global burden of disease study 2019 [J]. *Lancet*, 2020, 396(10258): 1204 - 1222.
- [4] 周韩, 周德生, 邓奕辉, 等. 脑卒中风险评估模型的研究进展[J]. *心脑血管病防治*, 2018, 18(4): 310 - 316.
Zhou H, Zhou DS, Deng YH, et al. Research progress of stroke risk assessment model[J]. *Prevention and Treatment of Cardio-Cerebral-Vascular Disease*, 2018, 18(4): 310 - 316.
- [5] 《中国脑卒中防治报告》编写组. 《中国脑卒中防治报告 2019》概要[J]. *中国脑血管病杂志*, 2020, 17(5): 272 - 281.
Report on Stroke Prevention and Treatment in China Writing Group. Brief report on *Stroke prevention and treatment in China*, 2019[J]. *Chinese Journal of Cerebrovascular Diseases*, 2020, 17(5): 272 - 281.
- [6] Wang PL, Zhao XQ, DU WL, et al. In-hospital medical complications associated with patient dependency after acute ischemic stroke: data from the China National Stroke Registry[J]. *Chin Med J (Engl)*, 2013, 126(7): 1236 - 1241.
- [7] Hong KS, Kang DW, Koo JS, et al. Impact of neurological and medical complications on 3-month outcomes in acute ischaemic stroke[J]. *Eur J Neurol*, 2008, 15(12): 1324 - 1331.
- [8] 王嘉钰, 刘蕾, 吴薇, 等. 急性缺血性脑卒中患者卒中相关感染风险预测模型构建与验证[J]. *中国感染控制杂志*, 2022, 21(9): 837 - 843.
Wang JY, Liu L, Wu W, et al. Construction and validation of risk prediction model for stroke-related infection in patients with acute ischemic stroke[J]. *Chinese Journal of Infection Control*, 2022, 21(9): 837 - 843.
- [9] Elkind MSV, Boehme AK, Smith CJ, et al. Infection as a

stroke risk factor and determinant of outcome after stroke[J]. *Stroke*, 2020, 51(10): 3156 - 3168.

- [10] Westendorp WF, Nederkoorn PJ, Vermeij JD, et al. Post-stroke infection: a systematic review and Meta-analysis[J]. *BMC Neurol*, 2011, 11: 110.
- [11] 李雅琴, 李昆, 韩金红. 高碳酸血症对脑卒中后肺炎感染程度及预后的影响[J]. *中华医院感染学杂志*, 2022, 32(6): 871 - 874.
Li YQ, Li K, Han JH. Influence of hypercapnia on severity of pneumonia and prognosis of stroke patients[J]. *Chinese Journal of Nosocomiology*, 2022, 32(6): 871 - 874.
- [12] Lv Y, Chen L, Yu JW, et al. Hospitalization costs due to healthcare-associated infections: an analysis of propensity score matching[J]. *J Infect Public Health*, 2019, 12(4): 568 - 575.
- [13] Hannawi Y, Hannawi B, Rao CPV, et al. Stroke-associated pneumonia: major advances and obstacles [J]. *Cerebrovasc Dis*, 2013, 35(5): 430 - 443.
- [14] 阎田园. 脑卒中手术病人医院感染危险因素分析及经济负担评价研究[D]. 济南: 山东大学, 2018.
Yan TY. Health care-associated infection among stroke patients undergoing surgical treatment: risk factor and economic burden evaluation[D]. Jinan: Shandong University, 2018.
- [15] 中华人民共和国卫生部. 医院感染诊断标准(试行)[J]. *中华医学杂志*, 2001, 81(5): 314 - 320.
Ministry of Health of the People's Republic of China. Diagnostic criteria for nosocomial infections(proposed)[J]. *National Medical Journal of China*, 2001, 81(5): 314 - 320.
- [16] 程实, 李静, 郭军平, 等. 急性卒中患者住院期间感染的临床特征及危险因素分析[J]. *中国卒中杂志*, 2022, 17(10): 1065 - 1070.
Cheng S, Li J, Guo JP, et al. Clinical characteristics and risk factors of infection in patients with acute stroke during hospitalization[J]. *Chinese Journal of Stroke*, 2022, 17(10): 1065 - 1070.
- [17] Wästfelt M, Cao Y, Ström JO. Predictors of post-stroke fever and infections: a systematic review and Meta-analysis [J]. *BMC Neurol*, 2018, 18(1): 49.
- [18] Badve MS, Zhou ZE, van de Beek D, et al. Frequency of post-stroke pneumonia: systematic review and Meta-analysis of observational studies[J]. *Int J Stroke*, 2019, 14(2): 125 - 136.
- [19] 江滨. 脑卒中后并发症流行特征分析及对基层管理优化建议[J]. *中国全科医学*, 2021, 24(12): 1445 - 1453.
Jiang B. Analysis of the epidemiological characteristics of post-stroke complications and suggestions for the optimization of grass-roots management in grass-roots management system [J]. *Chinese General Practice*, 2021, 24(12): 1445 - 1453.
- [20] 蔡卫新, 尹志科, 张冉, 等. 脑卒中患者护理质量控制系统的构建及应用研究[J]. *中华护理杂志*, 2020, 55(11): 1612 - 1619.
Cai WX, Yin ZK, Zhang R, et al. Construction and application of a multi-center stroke nursing quality control system[J].

Chinese Journal of Nursing, 2020, 55(11): 1612 - 1619.

- [21] 李军, 龚海花. 急性脑卒中患者并发院内感染的临床特点及危险因素[J]. 中国当代医药, 2022, 29(9): 62 - 65.
Li J, Gong HH. Clinical characteristics and risk factors of nosocomial infections in patients with acute stroke[J]. China Modern Medicine, 2022, 29(9): 62 - 65.
- [22] Mi HY, Li SJ, Li HY, et al. The effects of infection on severe stroke patients in the neurological intensive care unit in China [J]. Int J Neurosci, 2018, 128(8): 715 - 720.
- [23] 陈义杰, 林林辉, 黄小涛, 等. 地塞米松、强的松序贯疗法治疗成人肾病综合征疗效分析[J]. 实用医学杂志, 2008, 24(22): 3954 - 3956.
Chen YJ, Lin LH, Huang XT, et al. Analysis of therapeutic effect of sequential therapy with dexamethasone and prednisone in the treatment of adult nephrotic syndrome[J]. The Journal of Practical Medicine, 2008, 24(22): 3954 - 3956.
- [24] Xu CY, Ye HW, Chen B, et al. Analysis of risk factors and prognosis of post-stroke pulmonary infection in integrated ICU [J]. Eur Rev Med Pharmacol Sci, 2021, 25(2): 856 - 865.
- [25] You Q, Bai DX, Wu CX, et al. Risk factors for pulmonary infection in elderly patients with acute stroke: a Meta-analysis

[J]. Heliyon, 2022, 8(11): e11664.

- [26] Adams RA, Passino M, Sachs BD, et al. Fibrin mechanisms and functions in nervous system pathology[J]. Mol Interv, 2004, 4(3): 163 - 176.
- [27] Nettis MA, Pergola G, Kolliakou A, et al. Metabolic-inflammatory status as predictor of clinical outcome at 1-year follow-up in patients with first episode psychosis[J]. Psychoneuroendocrinology, 2019, 99: 145 - 153.

(本文编辑:陈玉华)

本文引用格式:赵明扬, 李咏心, 李众, 等. 脑卒中患者医院感染风险预测模型的构建及评价[J]. 中国感染控制杂志, 2024, 23(8): 984 - 992. DOI: 10.12138/j.issn.1671-9638.20245095.

Cite this article as: ZHAO Ming-yang, LI Yong-xin, LI Zhong, et al. Construction and evaluation of a risk prediction model for healthcare-associated infection in stroke patients[J]. Chin J Infect Control, 2024, 23(8): 984 - 992. DOI: 10.12138/j.issn.1671-9638.20245095.