

## 脑卒中患者短期预后预测模型的构建及验证

耿雨涵<sup>1,2</sup>, 张孜孜<sup>2</sup>, 周明<sup>2</sup>, 王文欣<sup>2</sup>, 辛敏<sup>2</sup>, 韩子怡<sup>1,2</sup>, 赵天舒<sup>2</sup>, 刘杨晓雪<sup>2</sup>, 张佳丽<sup>2</sup>, 黄丽萍<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>解放军医学院, 北京 100853; <sup>2</sup>解放军总医院第一医学中心康复医学科, 北京 100853

**摘要:** **背景** 早期识别脑卒中患者短期不良事件的高危因素和高风险人群, 对于提高患者的预后和康复进程至关重要。**目的** 分析脑卒中患者短期预后的影响因素, 构建预测模型及列线图, 为制定针对性的康复干预措施提供参考。**方法** 采用回顾性病例对照研究方法, 纳入2018年1月—2020年12月在解放军总医院第一医学中心就诊并符合入选标准的脑卒中患者。以改良Barthel指数评价短期预后结果, 使用Logistic回归从年龄、性别、个人病史、合并症等指标筛选出最佳预测变量, 建立预测模型, 构建列线图。使用ROC曲线下面积、Hosmer-Lemeshow检验、校准曲线, 比较模型与临床量表的预测能力, 验证其区分度和校准度。选取2021年1月—2023年1月符合入选标准的脑卒中患者作为验证集, 对预测模型进行验证。**结果** 本研究的训练集纳入120例患者, 验证集纳入65例患者。多因素Logistic回归结果显示, 年龄( $OR=1.033$ , 95%  $CI$ : 0.990~1.062,  $P=0.041$ )、肺部感染( $OR=1.724$ , 95%  $CI$ : 1.652~1.880,  $P=0.007$ )、改良RANKIN量表(modified rankin scale, mRS)评分( $OR=1.970$ , 95%  $CI$ : 1.353~2.872,  $P<0.001$ )、医学研究理事会量表总分(健侧肢体)(MRC sum scores, MRC-SS)( $OR=0.854$ , 95%  $CI$ : 0.744~0.982,  $P=0.012$ )与脑卒中短期预后不良独立关联。据此构建预测模型, ROC曲线下面积为0.809(95%  $CI$ : 73.7%~89.2%), 敏感度为0.803, 特异度为0.763。Hosmer-Lemeshow检验值为 $P=0.385$ ; 校准曲线显示预测值与实际值之间存在显著一致性。与美国国立卫生研究院卒中量表评分相比, 模型显示出明显更高的预测能力(AUC: 0.809 vs 0.613,  $P=0.004$ )。模型经验证集验证, 表现出与训练集结果有相似的预测价值(AUC=0.784, 95%  $CI$ : 0.665~0.902)。**结论** 本研究通过年龄、肺部感染、改良RANKIN量表、健侧医学研究理事会量表评分4种指标建立预测模型, 对脑卒中患者入院后两周的短期预后进行预测, 模型预测能力良好, 有助于临床早期康复干预, 改善患者长期预后。

**关键词:** 脑卒中; 预后预测模型; 改良Barthel指数; 残疾

中图分类号: R71

文献标志码: A

文章编号: 2095-5227(2025)02-0161-07

DOI: 10.12435/j.issn.2095-5227.24071802

引用本文: 耿雨涵, 张孜孜, 周明, 等. 脑卒中患者短期预后预测模型的构建及验证 [J]. 解放军医学院学报, 2025, 46 (2): 161-167.

## Construction and validation of a short-term prognostic prediction model for mild to moderate stroke patients

GENG Yuhan<sup>1,2</sup>, ZHANG Gongzi<sup>2</sup>, ZHOU Ming<sup>2</sup>, WANG Wenxin<sup>2</sup>, XIN Min<sup>2</sup>, HAN Ziyi<sup>1,2</sup>, ZHAO Tianshu<sup>2</sup>, LIU Yangxiaoxue<sup>2</sup>, ZHANG Jiali<sup>2</sup>, HUANG Liping<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Chinese PLA Medical School, Beijing 100853, China; <sup>2</sup>Department of Rehabilitation Medicine, the First Medical Center of PLA General Hospital, Beijing 100853, China

Corresponding author: HUANG Liping. Email: ping-online@163.com

**Abstract: Background** Early identification of high-risk factors and populations for short-term adverse events in stroke patients is crucial for improving prognosis and recovery outcomes. **Objective** To analyze the factors influencing short-term prognosis in stroke patients and develop a predictive model and nomogram, so as to provide references for formulating targeted rehabilitation interventions. **Methods** A retrospective case-control study was conducted, including stroke patients who admitted to our hospital from January 2018 to December 2020 and met the inclusion criteria. Modified Barthel Index was applied to evaluate short-term prognosis, and key predictors were identified from clinically relevant variables (age, sex, past medical history, comorbidities) using multivariate logistic regression. A prognostic prediction model was developed based on the identified variables, followed by the construction of a clinical nomogram. The predictive performance of the model versus clinical scales was assessed using the area under the ROC curve (AUC), Hosmer-Lemeshow goodness-of-fit test, and calibration curves to evaluate discrimination and calibration accuracy. Stroke patients who met the inclusion criteria from January 2021 to January 2023 were selected as a validation cohort to verify the predictive model. **Results** The training set of this study included 120 patients and the

收稿日期: 2024-07-18

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFB4703205)

第一作者: 耿雨涵, 在读硕士。Email: gengyuhan0807@163.com

通信作者: 黄丽萍, 博士, 副主任医师。Email: ping-online@163.com

validation set included 65 patients. The results of multifactorial logistic regression showed that age ( $OR=1.033$ , 95%  $CI: 0.990 - 1.062$ ,  $P=0.041$ ), lung infection ( $OR=1.724$ , 95%  $CI: 1.652 - 1.880$ ,  $P=0.007$ ), modified Rankin Scale (mRS) score ( $OR=1.970$ , 95%  $CI: 1.353 - 2.872$ ,  $P<0.001$ ) and Medical Research Council scale total score (healthy limb) (MRC sum scores, MRC-SS) ( $OR=0.854$ , 95%  $CI: 0.744 - 0.982$ ,  $P=0.012$ ) were independently correlated with poor short-term prognosis of stroke. A prediction model was constructed accordingly, and the area under the ROC curve (AUC) was 0.809 (95%  $CI: 73.7\% - 89.2\%$ ), with a sensitivity of 0.803 and a specificity of 0.763. The Hosmer-Lemeshow test value was  $P=0.385$ ; and the calibration curve showed a significant concordance between the predicted and actual values. The model showed significantly higher predictive power compared with the National Institutes of Health Stroke Scale score (AUC: 0.809 vs 0.613,  $P=0.004$ ). The model was validated against the validation set and showed similar predictive value to the training set results (AUC=0.784, 95%  $CI: 0.665 - 0.902$ ), the short-term prognostic clinical prediction model for stroke had good stability. **Conclusion** This study develops a prediction model utilizing four variables (age, pulmonary infection status, modified Rankin Scale score, and contralateral Medical Research Council Scale score) to forecast short-term prognosis at two weeks post-admission in stroke patients. The model demonstrates favorable predictive performance, potentially facilitating early clinical rehabilitation interventions and improving long-term patient outcomes.

**Keywords:** stroke; prognostic prediction model; modified barthel index; disability

**Cited as:** Geng YH, Zhang GZ, Zhou M, et al. Construction and validation of a short-term prognostic prediction model for mild to moderate stroke patients[J]. Acad J Chin PLA Med Sch, 2025, 46(2): 161-167.

近年来,随着人口老龄化和人们生活方式的改变,脑卒中已成为导致成人死亡和长期残疾的主要原因之一<sup>[1]</sup>。据统计,2020年我国≥40岁人群脑卒中总体标准化患病率为2.61%,初次脑卒中后12个月再发率为5.7%<sup>[2]</sup>。我国脑卒中致死率近年来呈上升趋势,每年约190万人因脑卒中死亡<sup>[3]</sup>。

脑卒中患者的长期预后通常与病灶部位和范围相关<sup>[4]</sup>,而短期预后通常与基础情况、脑卒中后并发症和不良事件相关<sup>[5]</sup>。短期预后是指患者在住院期间的预后,通常定义为入院后2周内的急性期预后<sup>[6-7]</sup>。有随机对照试验发现,20%的缺血性脑卒中患者存在严重不良事件,包括急性冠脉综合征、肌肉无力<sup>[8]</sup>和肺部感染,主要发生在脑卒中后2周内,若不进行及时干预将延缓患者康复进程<sup>[9]</sup>。本研究通过回顾性分析大量急性脑卒中患者的临床数据,筛选出影响短期预后的关键因素。利用多因素 Logistic 回归建立预测模型,与临床常用预后预测量表评分比较预测效能,旨在构建一个神经内科急性脑卒中患者短期预后的新型预测模型,助力临床医师早期识别预后不良人群,制定更具针对性的康复干预措施。

## 1 对象和方法

### 1.1 研究对象

采用回顾性病例对照研究方法。连续入选2018年1月—2020年12月因脑卒中于发病72 h内入住解放军总医院第一医学中心神经内科规范化治疗14 d,而后在48 h内转入康复科的患者组成训练集。选取2021年1月—2022年12月同类型神经内科患者作为验证集。纳入标准:(1)依据《中国脑卒中防治指导规范2021》诊断标准并在入院后

经头部CT平扫或头颅MRI检查以确诊;(2)发病72 h内就诊于神经内科;(3)神经内科住院14 d,而后48 h内转入康复医学科继续进行治疗。排除标准:(1)基线及结局资料不全;(2)其他严重消耗性疾病,如严重感染性疾病、恶性肿瘤、厌食症、严重营养不良性疾病;(3)精神障碍疾病。本研究获解放军总医院医学伦理委员会审批(编号:S2023-718-01)。

### 1.2 结局指标

改良 Barthel 指数(modified barthel index, MBI)是急性期脑卒中预后的常用评估方法之一<sup>[10]</sup>,主要用于评估神经功能缺陷程度、对他人的依赖程度及对其家庭和社会造成的功能负担,与住院时间和住院死亡率密切相关<sup>[11]</sup>,是反映脑卒中后恢复能力的直接指标<sup>[12]</sup>,较高的 MBI 评分代表更好的康复前景。患者于神经内科经规范化治疗14 d,而后在48 h内转入康复科治疗,转科后24 h内由两名康复治疗师共同依据 MBI 进行评分。依据 MBI 评分将患者分为预后良好(非残疾, Barthel 指数>60分)组和预后不良(残疾, Barthel 指数≤60分)组,并评估患者14 d后 mRS 评分。

### 1.3 协变量

(1)人口统计学信息:性别、年龄、身高、体质量、体质量指数。(2)基础疾病:如糖尿病、高血压、冠心病、心律失常、心肌梗死、肺部感染、脑梗死、脑出血、癫痫、肝疾病、消化系统疾病和共病个数。由主治医师询问患者既往病史并记录。(3)个人史:吸烟、饮酒和进食方式。饮酒史的定义为每周饮酒≥4 d,且至少持续5年<sup>[13]</sup>。吸烟史的定义为每周至少有4 d吸烟,且至少持续5年<sup>[13]</sup>。(4)各类评分:发病后收入神经内科治疗,

48 h内进行TOAST分型、美国国立卫生研究院卒中量表(National Institute of Health stroke scale, NIHSS)评分、医学研究理事会量表总分(仅评估健侧肢体, 满分为30分)(MRC sum scores, MRC-SS)评分、改良RANKIN量表(modified Rankin scale, mRS)评分。(5)梗死/出血体积<sup>[4]</sup>: 在患者入院后的24 h内, 对其进行头颅CT、CTA、MRI、MRA检查, 以测定梗死/出血体积。梗死/出血体积简化为一个椭球体来计算, 计算公式: 梗死/出血体积=  $1/6\pi \times a(\text{长径}) \times b(\text{宽径}) \times c(\text{层数} \times \text{层厚})$ , a表示在最大梗死/出血面积层面上梗死/出血区域的最长直径, b表示在该层面与最长径相互垂直的最长直径, c表示CT或MR影像片中呈现梗死/出血的层面数量乘以每层的厚度。

#### 1.4 模型的构建与验证

采用多因素Logistic回归分析脑卒中患者短期预后的影响因素, 并基于其构建关于脑卒中短期预后预测模型。

数据预处理: 对所有数据特征进行初步筛选, 剔除缺失率超过50%的变量, 并移除具有严重错误或数据缺失超过5%的样本。对于剩余的缺失数据, 采用多重插补法进行填补, 最终保留21个关键变量。见表1。

模型构建: 采用单因素分析和多因素Logistic回归的方法构建预测模型并绘制诺莫列线图。单因素分析 $P < 0.10$ 的变量纳入多因素Logistic回归分析。在模型开发的过程中, 按照年份将2018年1月—2020年12月的数据作为训练集, 并应用Bootstrap法( $n=1\ 000$ )进行内部验证, 2021年1月—2022年12月的数据作为验证集, 以便在实际应用场景中评估模型的效能。

模型效能评估: 预测模型的性能评估一般包括区分度和校准度。区分度主要依据受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic curve, ROC)曲线下面积(area under curve, AUC)进行。校准度基于模型的校正曲线。x轴为模型预测预后不良的发生率, y轴是观察到的实际事件的发生率。拟合的校正曲线与参考线的重合度越高, 模型的校准度越好。本研究通过敏感度、特异度、准确度和布里尔分数等关键指标全面评估模型。

#### 1.5 统计学方法

采用SPSS 26.0和R-studio软件进行统计学分析。符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 组间比较采用独立样本 $t$ 检验; 非正态分布的计量资料以

表1 脑卒中患者训练集和验证集的临床基线特征

Tab. 1 Baseline characteristics between the training and validation cohorts of stroke patients

指标	训练集 (n=120)	验证集 (n=65)	$t/\chi^2/Z$ 值	$P$ 值
一般资料				
年龄/(岁, $\bar{x} \pm s$ )	66.62±12.83	67.33±11.98	0.368	0.714
女性/(例, %)	44(36.67)	16(26.67)	2.794	0.095
体质量指数/ ( $\text{kg}/\text{m}^2, \bar{x} \pm s$ )	24.35±3.36	24.20±4.15	0.250	0.803
个人病史/(例, %)				
吸烟史	37(30.83)	16(24.62)	0.447	0.504
饮酒史	34(28.33)	13(20.00)	1.545	0.214
鼻饲饮食	18(15.00)	12(18.46)	0.590	0.442
合并症/(例, %)				
糖尿病	70(58.33)	36(55.38)	3.189	0.074
高血压	87(72.50)	39(60.00)	3.033	0.082
冠心病	26(21.67)	19(29.23)	1.311	0.252
心律失常	19(15.83)	10(15.38)	0.006	0.936
心肌梗死	9(7.50)	3(4.62)	0.058	0.809
肺部感染	17(13.17)	12(18.46)	0.588	0.443
脑梗死病史	16(13.33)	7(10.77)	0.255	0.614
甲状腺疾病	6(5.00)	6(9.23)	0.017	0.098
肾功能不全	14(11.67)	7(10.77)	0.006	0.763
肝疾病	19(15.83)	7(10.77)	0.895	0.344
胃肠道疾病	18(15.00)	8(12.31)	0.253	0.615
共病数量/ [个, $M(IQR)$ ]	4(1~4)	2(1~4)	0.290	0.772
评分				
mRS/ $\bar{x} \pm s$	3.16±1.23	3.08±1.44	0.397	0.692
MRC-SS/ $M(IQR)$	30(30~30)	30(30~30)	0.120	0.903
NIHSS/ $M(IQR)$	6(4~8)	6(4~10)	0.461	0.647
梗死/出血体积/ [ $\text{cm}^3, M(IQR)$ ]	1.4(0.6~8.1)	1.4(0.5~6.5)	-1.060	0.289
TOAST分型/(例, %)				
LAA	36(30.00)	22(33.85)		
CE	4(3.33)	2(3.08)		
SAO	27(22.50)	29(44.62)		
SUE	53(44.17)	24(36.92)		
缺血性卒中: 出血 性卒中/例	72:48	36:29		
残疾/(例, %)	49(40.83)	12(18.46)	9.548	0.002

NIHSS: 美国国立卫生研究院卒中量表; MRC-SS: 医学研究理事会量表总分; mRS: 改良RANKIN量表; LAA: 大动脉粥样硬化型; CE: 心源性栓塞型; SAO: 小动脉闭塞型; SUE: 不明原因型(包含脑出血)。TOAST分型中其他明确原因型为0。

$M(IQR)$ 表示, 采用Mann-Whitney  $U$ 检验。无序分类资料以例数(百分比)表示, 采用 $\chi^2$ 检验。采用单因素分析筛选影响预后的相关因素。以Barthel指数是否 $\leq 60$ 分为因变量, 采用多因素Logistic回归

分析预后不良的独立危险因素。依据各危险因素 $\beta$ 回归系数设立相应分值,绘制诺莫图及校准曲线。通过Bootstrap交叉验证估算布里尔分数(Brier)及其置信区间,内部验证评估模型的稳定性和一致性。

通过ROC曲线下面积、敏感度、特异度评估该模型的预测性能。采用Delong检验比较模型得出的AUC值与NHSS评分得出的AUC值。比较训练集得出的AUC值与验证集得出的AUC值,检验模型稳定性。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 纳入患者的临床基线资料

本研究共纳入185例脑卒中患者,训练集120例,验证集65例。纳入患者年龄为(66.77 $\pm$ 12.62)岁,其中女性占32.43%,纳入患者中32.97%在入住康复科时预后不良(Barthel指数 $\leq$ 60分)。训练集与验证集基线资料组间差异无统计学意义(表1)。训练集中预后良好组与预后不良组比较,患者鼻饲饮食、肺部感染、合并糖尿病、入住神经内科时mRS评分、MRC-SS评分和NHSS评分差异有统计学意义( $P<0.05$ )。见表2。

### 2.2 多因素回归分析脑卒中患者早期预后的危险因素

以训练集为样本,以脑卒中患者早期预后为因变量(1=预后不良,0=预后良好),以单因素分析(表2)中 $P<0.05$ 的指标为自变量(回归亚变量赋值见表3),进行多因素Logistic回归(逐步后退法, $\alpha_{进}=0.05$ , $\alpha_{出}=0.10$ )。结果显示,年龄、mRS评分、MRC-SS评分和肺部感染情况与脑卒中患者残疾独立相关( $P<0.05$ )。保护/相对有利因素( $OR<1$ )为高MRC-SS评分,不利/危险影响因素( $OR>1$ )为高龄、高mRS评分和肺部感染。见表3。

### 2.3 预测模型的列线图及ROC分析结果

基于上述多因素回归结果,构建脑卒中患者短期预后的预测模型: $\ln(P/1-P)=0.660+0.034\times$ 年龄 $+0.700\times$ mRS $-0.189\times$ MRC $+2.372\times$ 肺部感染,并以软件默认设置和算法绘制列线图。由图1可见,该预测模型中全部因子贡献总分为约310分(标量分),贡献最大的因子为入院时mRS,综合得分为100分。其次为MRC,综合得分为88分。

根据模型结果绘制ROC曲线的AUC为0.809(95%CI: 0.737~0.892,  $P<0.001$ ),敏感度为0.803,特异度为0.763。模型验证结果显示该脑卒中预后预测模型具有较好的预测能力。见图2。

表2 两组临床特征比较(训练集)

Tab. 2 Comparison of clinical characteristics between the two groups (Training set)

指标	预后良好 (n=59)	预后不良 (n=61)	$t/\chi^2/Z$ 值	P值
一般资料				
年龄/(岁, $\bar{x}\pm s$ )	65.44 $\pm$ 13.56	70.98 $\pm$ 9.18	-2.614	0.010
体质量指数/ (kg/m <sup>2</sup> , $\bar{x}\pm s$ )	24.59 $\pm$ 3.57	24.07 $\pm$ 3.46	0.817	0.416
女性/(例, %)	20(33.90)	24(39.34)	0.383	0.536
个人病史/(例, %)				
吸烟史	21(35.59)	16(26.23)	1.233	0.267
饮酒史	18(30.51)	16(26.23)	0.270	0.603
鼻饲饮食	8(13.56)	10(16.39)	6.198	0.314
合并症				
糖尿病	40(67.80)	30(49.18)	4.276	0.091
高血压	46(77.97)	41(67.21)	1.739	0.187
冠心病	11(18.64)	15(24.59)	0.625	0.429
心律失常	11(18.64)	8(13.11)	0.688	0.407
心肌梗死	5(8.47)	4(6.56)	0.003	0.959
肺部感染	2(3.39)	15(24.59)	11.086	0.001
脑梗死病史	10(16.95)	6(9.84)	1.313	0.252
甲状腺疾病	4(6.78)	2(3.28)	0.212	0.645
肾功能不全	6(10.17)	8(13.11)	0.252	0.615
肝疾病	12(20.34)	7(11.48)	1.768	0.184
胃肠道疾病	8(13.56)	10(16.39)	0.189	0.664
肿瘤	3(5.08)	4(6.56)	<0.001	1.000
共病数量/ [个, $M(IQR)$ ]				
	2(1~3.50)	2(1~3)	0.911	0.362
评分				
NHSS/ $M(IQR)$	5(3~7)	6.21(5~9)	2.134	0.033
MRC-SS/ $M(IQR)$	30(30~30)	30(23~30)	2.512	0.012
<24	40(67.80)	23(37.70)		
$\geq$ 24	19(32.20)	38(62.30)		
入院时mRS/ $\bar{x}\pm s$	2.68 $\pm$ 1.29	3.59 $\pm$ 1.07	4.203	<0.001
14 d后mRS/ $\bar{x}\pm s$	3.03 $\pm$ 1.50	3.92 $\pm$ 1.21	3.462	<0.001
梗死/出血体积/ [cm <sup>3</sup> , $M(IQR)$ ]				
	1.2(0.5~6.5)	1.7(0.7~8.2)	-0.634	0.526
TOAST分型/(例, %)				
LAA	15(25.42)	18(29.51)		
CE	10(16.95)	11(18.03)		
SAO	34(57.63)	32(52.46)		
SUE	38(64.41)	39(63.93)		

同表1注。

经Hosmer-Lemeshow检验,显示该模型接近无偏拟合( $P=0.385$ )。校正曲线大致呈45°,与理想曲线重合, Brier得分为0.204(Intercept=-0.021, Slope=0.829),提示该模型预测值与实际值的一致性较好。见图3。

表 3 影响早期预后的多因素 Logistic 回归分析结果

Tab. 3 Multivariate analysis results for factors associated with short-term prognosis

变量	回归系数	$S\bar{x}$	Z 值	P 值	OR (95% CI)
常量	0.520	2.420	0.270	0.785	1.983(0.572 ~ 2.151)
年龄	0.034	0.020	1.530	0.041	1.033(0.990 ~ 1.062)
mRS	0.700	0.200	3.520	<0.001	1.970(1.353 ~ 2.872)
MRC-SS	-0.189	0.070	-2.560	0.012	0.854(0.744 ~ 0.982)
肺部感染	2.372	0.640	2.710	0.007	1.724(1.652 ~ 1.880)

MRC-SS:医学研究理事会议量表总分;mRS:改良 RANKIN 量表。

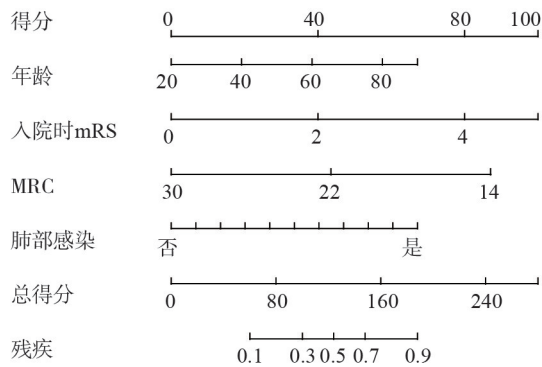


图 1 脑卒中患者短期预后列线图模型(训练集)

Fig. 1 Nomogram model for short-term prognosis in stroke patients (Training set)

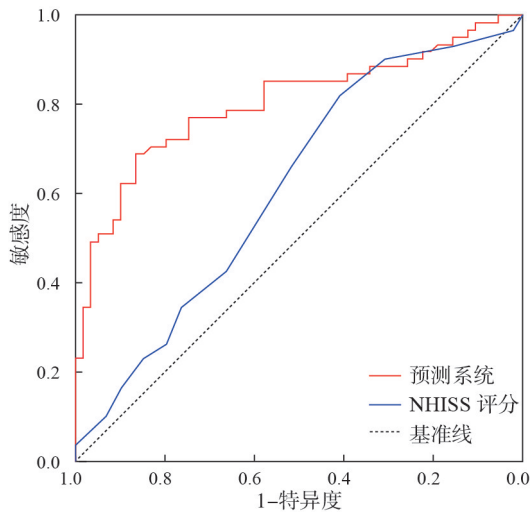


图 2 列线图和 NIHSS 量表预测脑卒中患者短期预后的 ROC 曲线(训练集)

Fig. 2 ROC curves for the nomogram and NIHSS in predicting short-term prognosis in stroke patients (Training set)

### 2.4 模型(训练集)与 NIHSS 评分的预测效能比较

临床上亦常用 NIHSS 评分(未保留在回归模型中)来评估脑卒中患者短期预后,遂进一步进行模型(训练集)与 NIHSS 评分的预测效能比较。结果显示,该评分的 AUC 为 0.613(95% CI: 51.2% ~

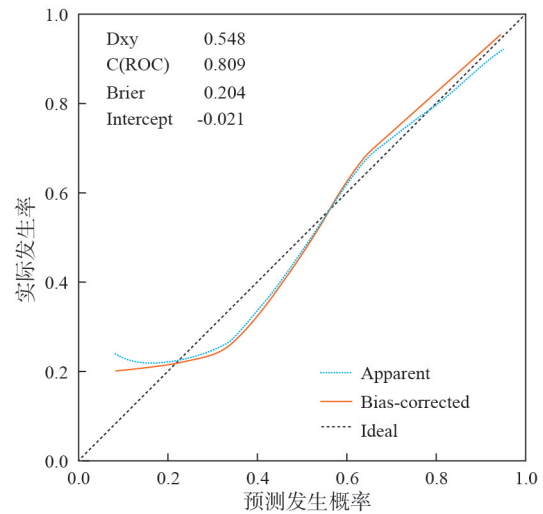


图 3 脑卒中患者短期预后预测模型的校正曲线(训练集)

Fig. 3 Calibration curve for the nomogram predicting short-term prognosis in stroke patients (Training set)

71.1%), 敏感度为 0.820, 特异度为 0.407, 均显著劣于模型结果。经 DeLong 检验,模型与临床评分的 AUC 值差异有统计学意义( $P=0.004$ ),见图 2。

### 2.5 模型的验证

将验证集数据代入上述脑卒中患者短期预后预测模型,再采用 ROC 分析评价该模型的临床预测价值。结果显示,其预测短期不良预后的 AUC 为 0.784(0.665 ~ 0.902),  $P<0.05$ ,见图 4。对验证集行校正曲线分析。结果显示,所得校正曲线大致呈 45°与理想曲线重合, Brier 得分=0.189 (Intercept=-0.255, Slope=0.781),提示该模型预测值与实际值的一致性较好,见图 5。再比较训练集和验证集的 AUC 值( $P=0.604$ ),两者间差异无统计学意义。训练集与验证集的预测效能均良好且相似,再次验证新构建的模型(验证集)稳定性较好。

### 3 讨论

脑卒中已成为我国的首要死亡原因,其发病率和复发率均较高,仍是重大公共卫生挑战。NIHSS 是临床评估神经功能缺损程度的常用工具,评分越高,提示患者神经功能缺损程度越严重,恢复越差,预后不良风险越高<sup>[4]</sup>。但单一使用 NIHSS 评分预测患者预后具有局限性<sup>[15]</sup>,尤其是在评估多重合并症和脑卒中后并发症的复杂卒中病例时,NIHSS 评分覆盖不足。本研究构建的多因素预测模型结果表明,本模型的预测能力更强,与其他类似研究结果相差不多<sup>[15]</sup>。本研究终点为 14 d 后初入康复科时,以在短期内识别预后

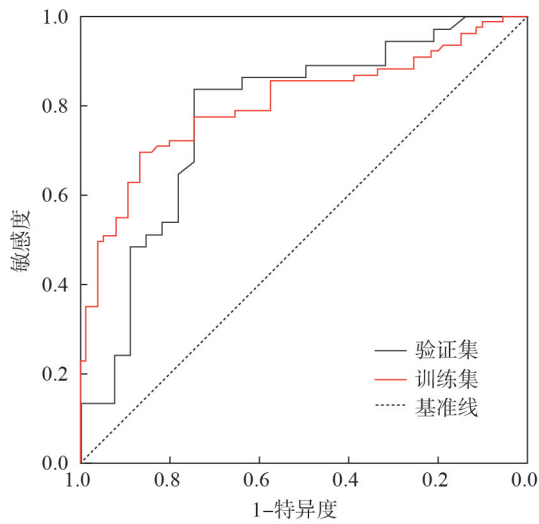


图4 训练集与验证集的ROC曲线比较

Fig. 4 Comparison of ROC curves for training and validation sets

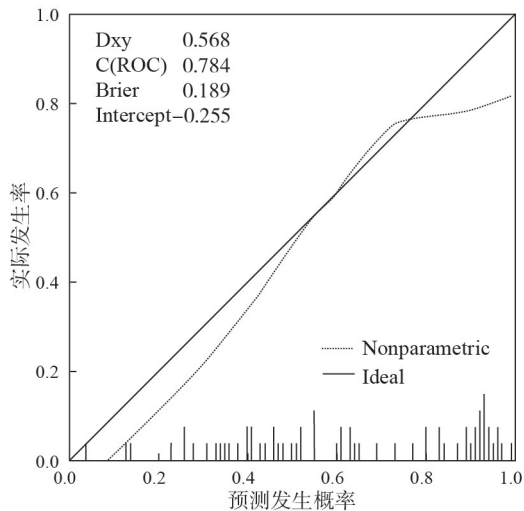


图5 预测脑卒中患者短期预后模型的校正曲线

Fig. 5 Calibration curve for predicting short-term prognosis in stroke patients using a nomogram

不良高危风险，最终模型纳入的独立危险因素包括年龄、mRS评分、合并肺部感染和MRC评分。赵旭等<sup>[16]</sup>研究显示，增龄是急性缺血性脑卒中患者预后不良的危险因素，其他研究也显示年龄是脑出血预后的独立预测因素<sup>[17]</sup>，与本研究一致。年龄越高，患者神经功能缺损越严重，短期预后不良更明显。可能的因素为老年患者溶栓比例更低，与发病后未能及时发现脑卒中，延误最佳治疗时机有关；老年患者基础病多，脏器储备功能下降导致脑梗死后肺炎及消化道出血等并发症发生率高<sup>[18]</sup>。

本研究表明，mRS评分也可作为脑卒中患者短期预后不良的预测指标。神经内科入院时mRS评分越高，患者越易发生残疾。有研究分析了急

性脑卒中患者在入院时的mRS评分与出院时残疾的关系，结果表明入院时mRS评分较高且合并高血压、肺部感染等情况的患者在出院时更有可能出现较严重的残疾<sup>[19]</sup>。在使用机器学习模型预测脑卒中预后的方法中，入院时的mRS评分仍是脑卒中长期预后的关键预测因子<sup>[20]</sup>。值得注意的是，既往研究中指出，mRS和改良Barthel指数可联合使用以提高脑卒中患者预后评估的准确性<sup>[21]</sup>，验证了两者的一致性，而本研究将改良Barthel指数作为评价短期预后的结局指标，研究结果可能会放大mRS评分作为预后预测因子的价值。

本研究发现，合并肺部感染和健侧肌肉力量减退与不良预后相关，是短期发生残疾的独立预测因素。肺部感染通常在急性脑卒中发作后的7 d内发生，在前3 d内最为常见<sup>[22]</sup>。其机制包括引发全身性炎症反应综合征、免疫抑制、肺部气体交换障碍和多器官功能衰竭，加重脑组织缺血损伤和基础疾病，从而显著增加功能不良结局和死亡率<sup>[23]</sup>。吞咽困难是一个重要危险因素，可增加误吸风险，导致吸入性肺炎，进一步延缓康复进程并增加死亡率。本研究中，虽然鼻饲饮食并未成为短期预后的独立危险因素，但在预后不良组与预后良好组间的差异有统计学意义( $P=0.013$ )，未来可扩充模型样本量继续纳入指标进一步研究<sup>[24]</sup>。

急性脑卒中后，患者可能因住院期间的各类因素导致非患侧肢体肌肉力量下降，在重症病房中尤其常见<sup>[25]</sup>。其机制包括皮质脊髓束未交叉纤维的作用，约10%的皮质脊髓束轴突终止于同侧的脊髓灰质中，导致同侧肢体无力；皮质重组，即未受影响的半球通过功能重组代偿受损区域，引发同侧运动功能障碍；住院相关因素，如缺乏活动和特定药物引起的肌肉萎缩和无力<sup>[26]</sup>。短期内，非患侧肢体无力会延缓患者康复进程，增加住院时间，可能导致更高的并发症风险，延迟功能恢复<sup>[19]</sup>。一项研究显示，急性脑卒中患者在出院后1年内的握力和捏力逐渐恢复，但患侧恢复速度明显较快，而非患侧无力的存在可能延缓整体康复进程<sup>[27]</sup>。此外，另一项研究表明，通过重复肌肉振动治疗可以在急性脑卒中后促进神经可塑性和运动功能的恢复<sup>[28]</sup>。这表明医护人员应早期观察非患侧肢体肌肉力量进行预后预测。

综上，本研究构建的Logistic回归模型表明，年龄、mRS、健侧MRC、肺部感染是脑卒中患者短期预后的独立影响因素，这一模型首次将健侧

肢体衰弱对脑卒中患者预后的影响进行量化。新模型在本研究纳入的轻中度脑卒中人群中预测短期预后能力高于NHSS评分,并在验证集中得到了相似结果。然而,本研究仅收集了一所三级综合性医院康复科的病例资料进行建模和验证,纳入对象仅转入康复医学科的部分脑卒中患者(多为轻中型),适用范围有限,未来应扩大研究范围并增加样本量,评估该模型的预测能力和应用价值。

**作者贡献** 耿雨涵:实验构思,撰写初稿;张孜孜:实验方法设计,统计方法指导;周明:监督指导;王文欣:数据收集;辛敏:数据可视化处理;韩子怡:数据分析;赵天舒、刘杨晓雪:协助数据收集;张佳丽:协助查阅文献;黄丽萍:资金获取,审阅及修订。

**利益冲突** 所有作者声明无利益冲突。

**数据共享声明** 本论文相关数据可依据合理理由从作者处获取,Email: ping-online@163.com。

#### 参考文献

- Liu LP, Chen WQ, Zhou HY, et al. Chinese Stroke Association guidelines for clinical management of cerebrovascular disorders: executive summary and 2019 update of clinical management of ischaemic cerebrovascular diseases [J]. *Stroke Vasc Neurol*, 2020, 5 (2): 159-176.
- Tu WJ, Wang LD, Yan F, et al. China stroke surveillance report 2021 [J]. *Mil Med Res*, 2023, 10 (1): 33.
- 马林, 巢宝华, 曹雷, 等. 2007—2017年中国脑卒中流行趋势及特征分析 [J]. *中华脑血管病杂志 (电子版)*, 2020, 14 (5): 253-258.
- Almallouhi E, Al Kasab S, Harvey JB, et al. Impact of treatment time on the long-term outcome of stroke patients treated with mechanical thrombectomy [J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2019, 28 (1): 185-190.
- 赵楠楠, 郑印, 黄穹琼, 等. 急性缺血性脑卒中早期预后不良的危险因素分析及预测模型构建 [J]. *中国临床研究*, 2022, 35 (4): 456-461.
- 刘小蒙, 李俊玉, 何威, 等. 急诊急性缺血性脑卒中患者短期预后预测模型的构建及效能评估 [J]. *中华急诊医学杂志*, 2024, 33 (1): 51-58.
- 王陇德, 彭斌, 张鸿祺, 等. 《中国脑卒中防治报告2020》概要 [J]. *中国脑血管病杂志*, 2022, 19 (2): 136-144.
- Association of lower-limb muscle strength asymmetry and functional factors in patients with stroke [J]. *J Int Acad Phys Ther Res*, 2023, 14 (4): 2951-2956.
- Wang LJ, Ma LQ, Ren CH, et al. Stroke-heart syndrome: current progress and future outlook [J]. *J Neurol*, 2024, 271 (8): 4813-4825.
- Li QX, Zhao XJ, Wang Y, et al. Value of the Barthel scale in prognostic prediction for patients with cerebral infarction [J]. *BMC Cardiovasc Disord*, 2020, 20 (1): 14.
- Ocagli H, Cella N, Stivanello L, et al. The Barthel index as an indicator of hospital outcomes: a retrospective cross-sectional study with healthcare data from older people [J]. *J Adv Nurs*, 2021, 77 (4): 1751-1761.
- 杨坤兰. 脑卒中偏瘫患者采用超早期康复护理对Barthel指数的干预效果 [J]. *黑龙江医学*, 2022, 46 (19): 2376-2378.
- Loomba R, Yang HI, Su J, et al. Synergism between obesity and alcohol in increasing the risk of hepatocellular carcinoma: a prospective cohort study [J]. *Am J Epidemiol*, 2013, 177 (4): 333-342.
- 赵晓晶, 李群喜, 刘英, 等. 美国国立卫生院脑卒中量表评分与脑出血患者预后的相关性探讨 [J]. *中国临床医生杂志*, 2019, 47 (6): 712-714.
- 阎纯, 龚媛, 黄平, 等. 急性缺血性脑卒中患者早期预后不良及预测模型构建 [J]. *华南预防医学*, 2023, 49 (10): 1213-1217.
- 赵旭, 赵雅宁, 李建民, 等. 基于炎症及营养指标构建老年急性缺血性脑卒中预后模型 [J]. *护理学报*, 2023, 30 (11): 1-6.
- 戴方瑜, 王珏, 於孝龙, 等. 脑出血中医分型与良好预后影响因素的Logistic回归分析 [J]. *浙江中医药大学学报*, 2015, 39 (2): 115-119.
- 杜秋明, 曹书华, 苏玫, 等. 不同年龄和性别脑卒中患者危险因素及预后 [J]. *中国老年学杂志*, 2021, 41 (7): 1374-1377.
- Martin M, Saura R, Cabre L, et al. Quality indicators in critically ill patients [J]. *Crit Care*, 2006, 10 (Suppl 1): 395.
- Zhang J, Zhu P, Liu BQ, et al. Time to recurrence after first-ever ischaemic stroke within 3 years and its risk factors in Chinese population: a prospective cohort study [J]. *BMJ Open*, 2019, 9 (12): e032087.
- Huybrechts KF, Jaime Caro J. The Barthel Index and modified Rankin Scale as prognostic tools for long-term outcomes after stroke: a qualitative review of the literature [J]. *Curr Med Res Opin*, 2007, 23 (7): 1627-1636.
- Westendorp WF, Nederkoorn PJ, Vermeij JD, et al. Post-stroke infection: a systematic review and meta-analysis [J]. *BMC Neurol*, 2011, 11: 110.
- Liu ZY, Wei L, Ye RC, et al. Reducing the incidence of stroke-associated pneumonia: an evidence-based practice [J]. *BMC Neurol*, 2022, 22 (1): 297.
- Chang MC, Choo YJ, Seo KC, et al. The relationship between dysphagia and pneumonia in acute stroke patients: a systematic review and meta-analysis [J]. *Front Neurol*, 2022, 13: 834240.
- Tan ZR, Zhang C, Tian FF. Spectrum of clinical features and neuroimaging findings in acute cerebral infarction patients with unusual ipsilateral motor impairment- a series of 22 cases [J]. *BMC Neurol*, 2019, 19 (1): 279.
- Saada F, Antonios N. Existence of ipsilateral hemiparesis in ischemic and hemorrhagic stroke: two case reports and review of the literature [J]. *Eur Neurol*, 2014, 71 (1/2): 25-31.
- Ingwersen T, Wolf S, Birke G, et al. Long-term recovery of upper limb motor function and self-reported health: results from a multicenter observational study 1 year after discharge from rehabilitation [J]. *Neurol Res Pract*, 2021, 3 (1): 66.
- Toscano M, Celletti C, Viganò A, et al. Short-term effects of focal muscle vibration on motor recovery after acute stroke: a pilot randomized sham-controlled study [J]. *Front Neurol*, 2019, 10: 115.

(责任编辑:潘越,施晓亚)