

脑卒中患者静脉溶栓后神经功能恶化预测模型的系统评价

张悦琦¹, 杨 璞^{1,2*}, 崔丽萍³, 张玉洁¹, 周 婷¹

¹山西中医药大学护理学院, 山西 晋中

²太原钢铁(集团)有限公司总医院护理部, 山西 太原

³山西白求恩医院护理部, 山西 太原

收稿日期: 2026年4月7日; 录用日期: 2026年4月28日; 发布日期: 2026年5月8日

摘 要

目的: 本研究旨在评价急性缺血性脑卒中患者静脉溶栓后早期神经功能恶化相关预测模型, 为患者精准护理与预后评估提供循证依据。方法: 系统检索PubMed、中国知网等中英文数据库, 由2名经培训的科研人员独立完成文献筛选、资料提取与方法学质量评价。结果: 最终纳入21篇文献, 含32个预测模型(核心模型21个), 以Logistic回归构建的列线图模型为主, 高频预测指标为基线美国国立卫生研究院卒中量表评分、血管病变类型。多数模型受试者工作特征曲线下面积 ≥ 0.70 , 区分度良好; 仅5个核心模型完成外部验证, 12个模型未报告校准度, 9篇文献偏倚风险不明确。结论: 现有早期神经功能恶化预测模型已形成初步研究体系, 列线图模型更适配临床护理场景, 但其普适性与外推稳定性仍需进一步验证。

关键词

急性缺血性脑卒中, 早期神经功能恶化, 预测模型, 系统评价

A Systematic Review of Prediction Models for Neurological Deterioration after Intravenous Thrombolysis in Stroke Patients

Yueqi Zhang¹, Ying Yang^{1,2*}, Liping Cui³, Yujie Zhang¹, Ting Zhou¹

¹School of Nursing, Shanxi University of Chinese Medicine, Jinzhong Shanxi

²Nursing Department, Taiyuan Iron and Steel (Group) Co., Ltd. General Hospital, Taiyuan Shanxi

³Nursing Department, Shanxi Bethune Hospital, Taiyuan Shanxi

*通讯作者。

文章引用: 张悦琦, 杨璞, 崔丽萍, 张玉洁, 周婷. 脑卒中患者静脉溶栓后神经功能恶化预测模型的系统评价[J]. 临床医学进展, 2026, 16(5): 379-390. DOI: 10.12677/acm.2026.1651828

Abstract

Objective: To systematically evaluate the construction, validation, and application effectiveness of early neurological deterioration prediction models after intravenous thrombolysis in patients with acute ischemic stroke, providing evidence-based guidance for precise patient care and prognosis assessment. **Methods:** A systematic search was conducted in both Chinese and English databases such as PubMed and China National Knowledge Infrastructure (CNKI). Literature screening, data extraction, and methodological quality assessment were independently performed by two trained researchers. **Results:** A total of 21 studies were included, encompassing 32 prediction models (21 core models), primarily nomogram models constructed using Logistic regression. High-frequency predictive indicators included baseline National Institutes of Health Stroke Scale (NIHSS) scores and types of vascular lesions. Most models had an area under the receiver operating characteristic curve (AUC) ≥ 0.70 , indicating good discrimination; only 5 core models underwent external validation, 12 models did not report calibration, and the risk of bias was unclear in 9 studies. **Conclusion:** Existing early neurological deterioration prediction models have formed a preliminary research framework. Nomogram models are more suitable for clinical care scenarios, but their generalizability and extrapolation stability still require further validation.

Keywords

Acute Ischemic Stroke, Early Neurological Deterioration, Predictive Model, Systematic Review

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

脑卒中是脑血管受损引发的局灶性或全脑组织损害疾病，具有高发病率、高致残率、高致死率及高复发率特点，已成为全球严峻的公共卫生挑战[1]，急性缺血性脑卒中(Acute Ischemic Stroke, AIS)是最常见的脑卒中类型。静脉溶栓(Intravenous thrombolysis, IVT)是 AIS 急性期的核心治疗方案，可通过溶解血栓恢复脑血流灌注，挽救缺血半暗带组织，改善患者神经功能预后，是 AIS 患者主要的再灌注治疗策略之一[2] [3]。但仍有部分患者溶栓后发生早期神经功能恶化(Early neurological deterioration, END)，该不良事件不仅会削弱血管再通获益，还会加重脑组织损伤、延长康复周期，显著升高患者病死率与致残率[4] [5]。分析 AIS 患者溶栓后 END 的危险因素，及时实施针对性预防干预，是降低患者不良预后风险的关键[6]。预测模型是以危险因素为基础，评估个体特定结局发生风险的工具，可为临床医护人员提供科学决策依据，助力改善患者预后[7] [8]。截至本研究开展之前，国内外已建立多项脑卒中患者 IVT 后 END 预测模型，但其临床适用性与预测效能仍有待系统评估。基于此，本研究对相关预测模型开展系统评价，旨在为临床医护人员筛选适配性高的模型提供循证参考。

2. 资料与方法

2.1. 文献检索策略

本研究以主题词结合自由词的检索方式，全面检索自建库以来至 2026 年 3 月，Cochrane Library、

Web of Science、Embase、PubMed、中国生物文献医学数据库、维普、万方、知网等数据库中的 AIS 患者 IVT 后发生 END 的预测模型相关文献。中文检索词包括缺血性脑卒中/溶栓/早期神经功能恶化/风险预测；英文检索词：Acute Ischemic Stroke/Intravenous Thrombolysis/Early Neurological Deterioration/Risk Prediction。

2.2. 文献纳排标准

2.2.1. 纳入标准

(1) 研究对象： ≥ 18 岁的 AIS 患者；(2) 研究内容：构建 AIS 患者静脉溶栓后 END 预测模型；(3) 研究类型：队列研究或病例对照研究；(4) 使用语言为中文或英文。

2.2.2. 排除标准

符合以下任一条件的文献均予以排除：(1) 无法获取全文的文章；(3) 仅对危险因素进行分析、未完全构建预测模型的研究；(4) 学位论文、文献综述等。

2.3. 文献筛选流程

本研究的筛选先由 2 名接受规范循证培训的研究生，严格遵循前述的纳排准则独立完成，若部分结果出现分歧，则选择 1 名更高层级的研究生最终判断结果。本研究参照预测模型系统评价的批判性评估与数据提取清单(Critical Appraisal and Data Extraction for Systematic Reviews of Prediction Modelling Studies, CHARMS) [9]制定数据提取表，提取内容包括：第一作者、发表年份、研究地区、研究设计类型、研究对象特征、END 评估工具、建模集样本量、候选变量数目、连续变量处理方式、缺失数据处理策略、建模方法、模型预测效能(AUC、校准方式)、验证形式、核心预测因子等。

2.4. 文献质量评估

由 2 名经培训的研究者采用预测模型研究偏倚风险与适用性评估工具(Prediction Model Risk of Bias Assessment Tool, PROBAST) [10] [11]，对最终纳入的文献开展偏倚风险判定及适用性评估。

2.4.1. 偏倚风险评价

从研究对象、预测因子、结局指标、统计分析四个维度进行。各评价维度及研究整体的偏倚风险，均划分为低风险、高风险、风险不确定 3 个等级。

2.4.2. 适用性评价

从研究对象、预测因子、结局 3 个维度进行判定。

3. 结果

3.1. 文献筛选流程及结果

检索相关数据库共获得文献 311 篇，剔除重复文献后剩余 250 篇，经逐层筛选，最终纳入 21 篇[12]-[32]，筛选过程如图 1。

3.2. 文献基本特征

纳入的 21 篇发表时间为 2019~2025 年，其中 2023~2025 年发表 18 篇(85.71%)。研究设计以回顾性研究为主(19 篇，90.48%)，其中单中心回顾性队列研究 15 篇、多中心回顾性队列研究 4 篇；前瞻性研究仅 2 篇，包括单中心前瞻性观察性研究 1 篇、多中心前瞻性队列研究 1 篇。

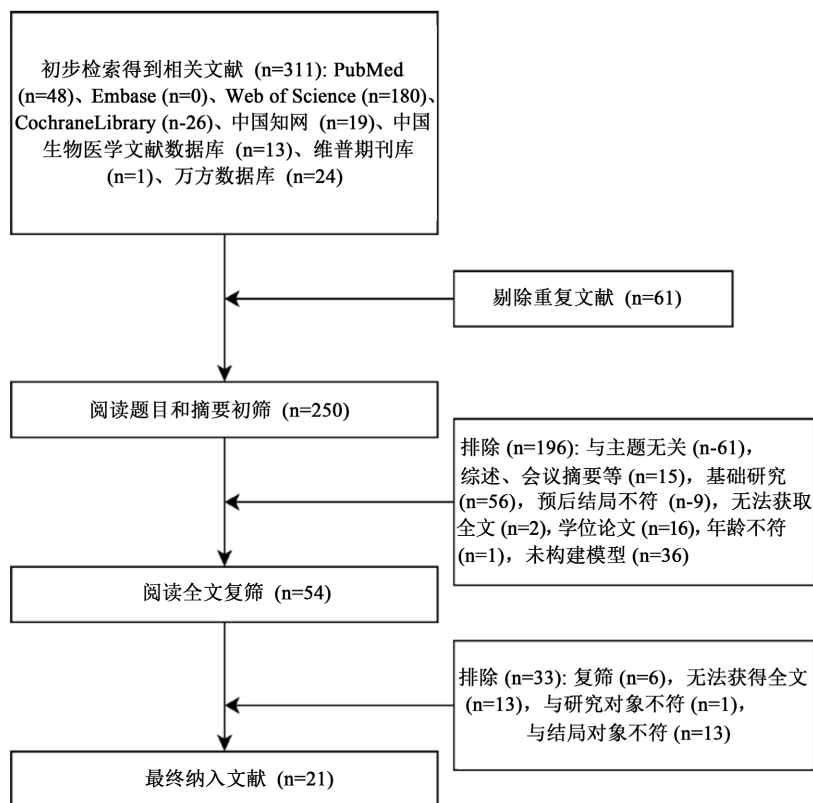


Figure 1. Screening process diagram
图 1. 流程图

研究对象为接受 IVT 治疗的 AIS 患者，仅 1 篇针对老年(≥ 60 岁)患者[27]，样本量范围为 120 例 [23]~7220 例[20]，数据来源覆盖国内多省市的卒中中心、神经内科专科病房，地域具有一定代表性。

所有研究均以 END 为主要结局，核心评估工具为 NIHSS 量表；17 篇将 END 判定时间设为 IVT 后 24 h 内，3 篇设为溶栓后 72 h 内[16] [27] [28]，1 篇设为溶栓后 90 天内[26]，纳入文献核心特征见表 1。

Table 1. Basic characteristics of the included studies (n = 21)

表 1. 纳入文献的基本特征(n = 21)

纳入文献	发表时间(年)	地区	研究类型	研究对象	结局定义	预测时间
Yi Ba [12]	2025	沈阳	A	①	x	a
Gong Pengyu [13]	2019	南京	A-B	①	x	a
Li, J [14]	2025	南京	B-III	①	x	a
Li, N [15]	2024	保定	C-I	①	x	a
Lyu [16]	2023	秦皇岛	C-I	①	x	b
Tian Tian [17]	2023	锦州	C-I	①	x	a
Wei, L [18]	2025	上海	C-II	②	x	a
Lai Wei [19]	2025	上海	C-III	②	x	a
Rui Wen [20]	2024	沈阳	C-III	②	x	a

续表

Zhuang Zhu [21]	2023	徐州	C-I	①	x	a
Xiao-Guang Zhang [22]	2025	上海	C-I	①	x	a
陈敏[23]	2021	成都	C-I	①	x	a
陈钊[24]	2023	东莞	C-I	①	x	a
邓勇[25]	2024	大连	C-I	②	x	a
高林林[26]	2023	临沂	C-I	②	x	c
黄治胜[27]	2024	简阳	C-I	②	x	a
李百艳[28]	2025	河北	C-I	①	x	b
王甜甜[29]	2024	郑州	C-I	②	x	a
刘锡荣[30]	2025	喀什、中山	C-II	②	x	a
徐守权[31]	2021	安徽	C-I	②	x	a
李彬[32]	2022	安徽	C-I	②	x	b

注：A：观察性研究；A-B：前瞻性观察性研究；B-III：多中心前瞻性队列研究；C-I：单中心回顾性队列研究；C-II：双中心回顾性队列研究；C-III：多中心回顾性队列研究；a：静脉溶栓后 24 小时内发生的早期神经功能恶化；b：静脉溶栓后 72 小时内发生的早期神经功能恶化；c：静脉溶栓后 72 小时内发生的早期神经功能恶化；x：美国国立卫生研究院卒中量表；①：发病 4.5 小时内接受标准剂量 rt-PA 静脉溶栓的急性缺血性脑卒中成年患者；②：接受组织型纤溶酶原激活剂静脉溶栓治疗的急性缺血性脑卒中患者。

3.3. 预测模型的基本情况

纳入研究共构建 21 个核心预测模型，部分研究基于多算法衍生子模型，累计纳入模型 32 个。候选变量数量为 3 个[29]~45 个[15] [30]，多数集中在 15~45 个，涵盖人口学与基线资料、实验室检查、影像学检查、量表评分、治疗相关指标 5 大类。连续变量处理方式包括 Z-score 标准化[12]、正态/非正态分布描述与组间检验[13] [16]、分组转换[15]、对数转换[21]、部分研究结合限制性立方样条(Restricted Cubic Spline, RCS)非线性分析[18] [19]组内相关系数(Intraclass Correlation Coefficient, ICC)特征筛选[14]、链式方程多重插补(Multivariate Imputation by Chained Equations, MICE) [20]、少数研究无缺失数据[25]或未报告缺失数据处理方式[13] [16]。

建模方法涵盖传统统计学方法与机器学习算法：传统方法以 Logistic 回归为核心，包括单/多因素 Logistic 回归[23] [27] [31]、套索回归(Least Absolute Shrinkage and Selection Operator, LASSO)联合 Logistic 回归[28]，多与列线图结合构建可视化模型[18] [26]。机器学习算法的应用呈增长趋势，1 篇研究整合逻辑回归、决策树、随机森林、XGBoost 等 6 种算法[12]，部分研究采用 Logistic 回归结合 KNN、SVM、随机森林等机器学习模型[16]，还有研究运用 XGBoost [14]、网格搜索交叉验证的多算法机器学习建模[20]，以及影像组学特征筛选联合 Logistic 回归的混合建模方法[22]，部分研究还结合亚组危险因素分析[19]、特征重要性分析[20]提升模型构建的科学性。

3.4. 预测模型性能

所有模型均采用受试者工作特征曲线下面积(Area Under the Curve, AUC)评价区分度，AUC 范围为 0.689 [21]~1.0 [14]，超 20 个模型 AUC > 0.8；最优模型为 Li, J 等[14]基于 XGBoost 算法构建的模型，训练集 AUC 达 1.0，外部验证集 AUC 为 0.92，列线图与机器学习模型的整体区分度均优于单一指标模型。

校准度方面, 仅 9 篇文献采用校准图、Hosmer-Lemeshow 检验、Brier 评分等方法验证拟合优度。

模模型验证以内部验证为主, 所有研究均完成内部验证, 方法包括随机拆分验证[12] [15] [16]、自助法(Bootstrap)重采样[12] [25]、k 折交叉验证[12] [30], 仅 5 项研究(23.81%)开展外部验证。纳入模型核心特征与效能见表 2。

Table 2. Basic characteristics of the predictive model (n = 21)

表 2. 预测模型的基本情况(n = 21)

纳入研究	核心建模方法	模型最优 AUC	验证类型	核心预测因子
Yi Ba [12]	Logistic 回归、XGBoost 等多算法	0.966	内部验证	基线 NIHSS 评分、年龄、高血压病史、纤维蛋白原
Gong Pengyu [13]	Logistic 回归列线图	0.789	内部验证	未明确报告具体指标
Li, J [14]	XGBoost 机器学习建模	0.988	内部 + 多中心外部验证	基线 NIHSS 评分、TOAST 分型、颅内动脉狭窄程度、收缩压、中性粒细胞计数
Li, N [15]	Logistic 回归	0.880	内部验证	既往卒中史、BMI、年龄、发病至治疗时间、血糖、SII 指数
Lyu [16]	LR、KNN、SVM、RF	0.929	内部验证	基线 NIHSS 评分、收缩压、淋巴细胞比例、血小板与淋巴细胞比值
Tian Tian [17]	Logistic 回归	0.981	内部 + 独立队列外部验证	中性粒细胞 - 淋巴细胞比值、平均血小板体积、BMI、心房颤动
Wei, L [18]	Logistic 回归列线图	0.740	内部 + 独立队列外部验证	基线 NIHSS 评分、入院至用药时间、ASPECTS 评分、Willis 动脉完整性
Lai Wei [19]	Logistic 回归列线图	0.849	内部验证	基线 NIHSS 评分、入院至用药时间、ASPECTS 评分、血钾、TyG 指数
Rui Wen [20]	LASSO、MLP、RF 等多算法	0.829	内部 + 独立队列外部验证	基线 NIHSS 评分、发病至用药时间、年龄、抗血小板治疗
Zhuang Zhu [21]	Logistic 回归联合模型	0.718	内部验证	基线 NIHSS 评分、NT-proBNP
Zhang XG [22]	Logistic 回归列线图 + 影像组学	0.950	内部验证	影像组学评分、基线 NIHSS 评分、中性粒细胞 - 淋巴细胞比值
陈敏[23]	Logistic 回归列线图	0.912	内部验证	年龄、收缩压、基线 NIHSS 评分、大面积脑梗死、NLR 指数
陈钊[24]	Logistic 回归联合模型	0.787	内部验证	DRAGON 评分、中性粒细胞与淋巴细胞比值
邓勇[25]	Logistic 回归列线图	0.928	内部验证	基线 NIHSS 评分、糖化血红蛋白、责任血管重度狭窄、NLR、PNI 指数
高林林[26]	Logistic 回归列线图	0.963	内部 + 独立队列外部验证	C 反应蛋白、入院收缩压、溶栓前 NIHSS 评分

续表

黄治胜[27]	Logistic 回归联合模型	0.990	内部验证	脂蛋白 a (LpA)、白蛋白、sTNFR1、NCAM
李百艳[28]	LASSO + Logistic 回归列线图	0.912	内部验证	基线 NIHSS 评分、大面积脑梗死、心房颤动、溶栓后 PLR
王甜甜[29]	Logistic 回归	0.922	内部验证	年龄、LDL-C、Lp-PLA2、心源性栓塞、发病至溶栓时间
刘锡荣[30]	Logistic 回归预测模型	0.940	内部 5 折交叉验证 + 双中心外部交叉验证	空腹血糖、红细胞计数、尿酸、大血管闭塞
徐守权[31]	Logistic 回归列线图	0.872	内部验证	大脑中动脉高密度征、溶栓前血糖、白细胞计数、收缩压、D-二聚体
李彬[32]	Logistic 回归预测模型	0.930	内部 + 双中心外部验证	基线 NIHSS 评分、血糖、BMI、白细胞计数、脂蛋白 a、责任大血管闭塞

注：核心预测因子方面，基线 NIHSS 评分为所有模型均纳入的核心指标，高频预测因子还包括：① 人口学与基础疾病：年龄、心房颤动、高血压病史；② 实验室指标：血糖、中性粒细胞 - 淋巴细胞比值(NLR)、血小板相关指标；③ 治疗与病程：发病至溶栓时间、入院至用药时间；④ 影像学指标：血管狭窄/闭塞程度；⑤ 炎症与营养指标：C 反应蛋白、预后营养指数(Prognostic Nutritional Index, PNI)。

3.5. 文献的质量评价

3.5.1. 偏倚风险评价

采用 PROBAST 工具评价显示，纳入文献无高偏倚风险研究，12 篇总体偏倚风险为低风险，9 篇为不清楚。低风险研究在 4 个维度均符合规范，纳排标准明确、预测因子测定标准化、结局判定客观、统计分析流程科学；偏倚风险不清楚的研究中，8 篇因预测因子测定流程、质控标准报告不充分，1 篇[31]因研究对象抽样方法与纳排标准报告不全。

3.5.2. 适用性评价

适用性评价结果显示，纳入研究无高适用性风险，整体与临床护理实践契合度高。研究对象均为临床常规 IVT 治疗的 AIS 患者，预测因子多为护理工作中可便捷获取的常规指标，结局均以临床护理人员常用的 NIHSS 量表判定，判定时间节点与溶栓后早期病情监测周期匹配，具备较好的临床应用基础。纳入文献偏倚风险与适用性评价结果见表 3。

Table 3. Results of risk of bias and applicability evaluation of the included studies (n = 21)

表 3. 纳入文献的偏倚风险和适用性评价(n = 21)

纳入研究	风险偏倚				适用性			整体	
	研究人群	预测因子	统计	结果	研究人群	预测因子	结果	偏倚风险	适用性
Yi Ba [12]	+	+	+	+	-	-	-	+	-
Gong Pengyu [13]	+	?	+	+	?	?	?	?	?
Li, J [14]	+	+	+	+	-	-	-	+	-

续表

Li, N [15]	+	+	+	+	-	-	-	+	-
Lyu [16]	+	?	+	+	?	?	?	?	?
Tian, T [17]	+	?	+	+	?	?	?	?	?
Wei, L [18]	+	?	+	+	?	?	?	?	?
Lai Wei [19]	+	?	+	+	?	?	?	?	?
Rui Wen [20]	+	+	+	+	-	-	-	+	-
Zhuang Zhu [21]	+	?	+	+	?	?	?	?	?
Zhang XG [22]	+	+	+	+	-	-	-	+	-
陈敏[23]	+	?	+	+	?	?	?	?	?
陈钊[24]	+	+	+	+	-	-	-	+	-
邓勇[25]	+	+	+	+	-	-	-	+	-
高林林[26]	+	+	+	+	-	-	-	+	-
黄治胜[27]	+	+	+	+	-	-	-	+	-
李百艳[28]	+	+	+	+	-	-	-	+	-
王甜甜[29]	+	+	+	+	-	-	-	+	-
刘锡荣[30]	+	+	+	+	-	-	-	+	-
徐守权[31]	?	+	+	+	?	?	?	?	?
李彬等[32]	+	+	+	+	-	-	-	+	-

注：偏倚风险含研究对象、预测因子、结局、统计分析 4 个维度；适用性含研究对象、预测因子、结局 3 个维度“+”表示低风险；“-”表示高风险；“?”表示低风险；偏倚风险/适用性担忧不确定。

4. 讨论

4.1. 预测模型性能与临床应用价值

本研究纳入的 32 个 END 预测模型，整体 AUC 为 0.689~1.0，超 20 个模型 AUC > 0.8，提示现有模型整体区分度良好，具备较强的 END 风险识别能力。但仅 9 项研究报告了校准度验证结果，超半数研究未评估模型预测值与实际结局的一致性，易高估模型的实际预测准确性，这也是当前预测模型研究的共性问题。建模方法上，Logistic 回归结合列线图的模型占比最高，该类模型可视化程度高、操作简便，无需复杂计算设备，更适配临床护理人员快速风险评估的工作场景[33][34]；机器学习模型虽预测效能更优，但存在操作复杂、结果解释性差等问题，限制了其在基层护理场景的推广。核心预测因子中，基线 NIHSS 评分为所有模型共同纳入的指标，年龄、血糖、发病至溶栓时间、NLR 等为高频因子，与脑卒中溶栓后其他不良结局的风险因素存在共性[35]，可为临床护理重点监测指标的筛选提供参考。

4.2. 偏倚风险与适用性问题

PROBAST 评价结果显示，纳入研究无高偏倚风险文献，提示该领域研究已建立基本规范，但仍存在显著方法学短板。研究设计层面，超 90%为回顾性研究，仅 2 项为前瞻性研究，回顾性研究易受数据缺

失、选择偏倚影响，前瞻性研究更利于控制混杂因素、提升模型外部有效性[36]。仅 5 项为多中心研究，单中心研究样本代表性有限，易限制模型的跨地域、跨机构推广性[37]。预测因子报告层面，9 项研究未详细描述因子测定流程、质控标准，而测定标准化是模型重现性的核心，报告不规范会直接阻碍模型的临床转化[38]。

适用性方面，纳入模型整体与临床护理需求契合度高。研究对象覆盖不同层级医疗机构的 IVT 患者，预测因子多为护理工作中可常规获取的指标，结局判定工具 NIHSS 量表为护理人员常规掌握，判定时间节点与溶栓后早期病情监测周期匹配，具备临床落地的基础条件。

4.3. 模型验证现状与护理实践衔接的不足

当前研究最突出的问题是外部验证率极低，仅 23.81% 的研究开展了外部验证。外部验证是评估模型普适性的金标准，低外部验证率提示现有模型大多仅适用于建库中心，难以广泛指导全国范围的临床护理实践，原因可能是跨机构医疗数据共享存在现实壁垒，且脑卒中护理领域标准化多中心研究协作机制尚未健全，限制了外部验证的开展。另一核心短板是模型与护理实践的衔接不足。现有模型虽可识别 END 高风险患者，但均未明确高风险状态下对应的护理监测频率、重点观察指标、分级干预措施，大幅削弱了其临床实用价值。此外，模型预测终点多集中于溶栓后 72 h 内的 END，虽与早期护理监测节点匹配，但缺乏对患者远期预后的预测，无法满足长期护理管理与康复计划制定的需求。

4.4. 模型研究优化路径与未来研究方向

构建精准风险预测工具，对识别 IVT 术后 END 高危人群、实现早期预警与靶向干预意义重大。本研究纳入的高性能模型，理论上可辅助医护优化医疗资源配置，强化高危人群病情监测。但需清醒认识到，受前述高偏倚风险与验证不足限制，此类模型暂不推荐直接指导临床决策，核心价值更多是为后续研究提供关键预测因子与模型构建参考框架。

基于本次系统评价核心发现，后续研究可从五方面推进：一是优化研究设计，推进前瞻性多中心大样本队列，严控数据质量与人群代表性。二是统一报告规范，严格依照 TRIPOD 声明[39]，采用国际工具提升模型可靠性[40]，遵循标准化清单保障内容完整[41][42]。三是健全验证体系，完成充分内部验证后开展关键外部验证，评估真实临床场景泛化能力；建立“开发-验证-部署-评估”动态闭环[43]，实现模型持续迭代。四是探索创新路径，引入机器学习解析复杂非线性关联，或整合个体参与者数据开展 END 专项 Meta 分析[44]；鼓励构建多模态模型，关注伦理公平性，规避算法偏见。基于人工智能或机器学习方法构建的模型需遵循对应透明报告规范[45]，采用 PROBAST 降低偏倚，通过真实世界研究验证稳定性。构建分级预测体系，基层依托 NIHSS、血压等开发快速筛查工具，高级别中心整合影像组学提升精度；平衡筛查敏感度与干预特异度，明确决策阈值边界，助力分层诊疗。五是深化临床转化，开展多中心验证，加强医护培训，建立反馈通道，推动科研临床双向转化。

4.5. 本研究的局限性

本系统评价存在以下局限：第一，仅纳入中英文文献，可能存在最新研究与其他语言文献遗漏，存在语言偏倚与发表偏倚风险；第二，纳入研究异质性较大，回顾性研究占比高、样本量差异显著，仅行定性系统评价，未开展定量 Meta 分析，可能影响结论的综合力度；第三，未系统整合分析模型的临床净获益(如决策曲线分析(Decision Curve Analysis, DCA))，无法全面评估模型在临床护理决策中的实际价值。

5. 结论

本研究纳入的 21 个 AIS 静脉溶栓后 END 预测模型整体区分度良好，预测指标多为临床常规监测项

目,与临床实际工作场景契合,具备临床实施的基础可行性。但现有模型仍存在明显不足,如回顾性研究占比过高、外部验证率仅 23.81%、多数模型与护理干预措施脱节、临床可操作性不足,上述问题限制了模型的临床推广应用。未来研究应聚焦临床护理的实际需求,开展前瞻性、多中心研究提升模型的可靠性与外推性,优化模型的便捷性并结合模型风险分层制定对应的分级护理干预方案,同时加强护理人员的相关培训,推动预测模型在临床护理工作落地应用,充分发挥其临床价值。

声 明

本研究为基于已发表文献的二次系统评价,不涉及人类受试者或动物实验,无伦理冲突。

致 谢

感谢导师在论文研究过程中的指导与帮助,感谢所有纳入研究的文献作者,感谢相关数据库提供的文献资源。

参考文献

- [1] 毛凡,姜莹莹,刘韞宁,等.中国居民心脑血管疾病流行现状及危险因素分析:基于2017年中国心血管健康指数研究[J].中华预防医学杂志,2021,55(11):1280-1286.
- [2] 纪芳,孙伟,朱蕾,等.阿替普酶静脉溶栓治疗老年急性脑梗死的疗效及其危险因素[J].中国老年学杂志,2025,45(7):1547-1550.
- [3] 姜波涛,陈婵娟,谭红,等.急性脑梗死患者阿替普酶静脉溶栓后神经功能和预后与生化常见指标的相关性分析[J].中华老年心脑血管病杂志,2024,26(1):63-66.
- [4] Harale, M., Oommen, A., Faruqi, A., Mundada, M., Reddy, R.H., Pancholi, T., *et al.* (2024) Study of Biochemical Predictors of Early Neurological Deterioration in Ischemic Stroke in a Tertiary Care Hospital. *Cureus*, **16**, e68183. <https://doi.org/10.7759/cureus.68183>
- [5] 何妮,黄攀,刘梦,等.全身炎症反应指数与急性缺血性脑卒中患者早期神经功能恶化及预后的相关性研究[J].华西医学,2024,39(4):580-587.
- [6] 林琬,林麒.颅内动脉狭窄致缺血性脑卒中病人早期神经功能恶化的危险因素分析[J].中西医结合心脑血管病杂志,2022,20(4):745-748.
- [7] 鲁小丹,卫建华,沈建通,等.预测模型系统评价的制作方法步骤[J].中国循证医学杂志,2023,23(5):602-609.
- [8] 薛娟,李娟,刘加玲,等.脑卒中患者吞咽障碍风险预测模型的研究进展[J].当代护士(下旬刊),2023,30(7):5-9.
- [9] Moons, K.G.M., de Groot, J.A.H., Bouwmeester, W., Vergouwe, Y., Mallett, S., Altman, D.G., *et al.* (2014) Critical Appraisal and Data Extraction for Systematic Reviews of Prediction Modelling Studies: The CHARMS Checklist. *PLOS Medicine*, **11**, e1001744. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001744>
- [10] 陈香萍,张奕,庄一渝,等. PROBAST: 诊断或预后多因素预测模型研究偏倚风险的评估工具[J].中国循证医学杂志,2020,20(6):737-744.
- [11] Moons, K.G.M., Wolff, R.F., Riley, R.D., Whiting, P.F., Westwood, M., Collins, G.S., *et al.* (2019) PROBAST: A Tool to Assess Risk of Bias and Applicability of Prediction Model Studies: Explanation and Elaboration. *Annals of Internal Medicine*, **170**, W1-W33. <https://doi.org/10.7326/m18-1377>
- [12] Ba, Y., Xu, X., Gao, H., *et al.* (2025) Comparative Accuracy of Different Machine Learning Models in Predicting Early Neurological Deterioration after Intravenous rt-PA Thrombolysis in Patients with Acute Ischaemic Stroke. *Journal of the College of Physicians and Surgeons Pakistan*, **35**, 1396-1401.
- [13] Gong, P., Xie, Y., Jiang, T., Liu, Y., Wang, M., Sun, H., *et al.* (2019) Neutrophil-Lymphocyte Ratio Predicts Post-Thrombolysis Early Neurological Deterioration in Acute Ischemic Stroke Patients. *Brain and Behavior*, **9**, e1426. <https://doi.org/10.1002/brb3.1426>
- [14] Li, J., Chang, H., Du, S., Zhang, C., Zhang, H., Li, L., *et al.* (2025) Development and Validation of a Web-Based Machine Learning Model for Predicting Early Neurological Deterioration Following Stroke Thrombolysis: Multicenter Study. *Journal of Medical Internet Research*, **27**, e77858. <https://doi.org/10.2196/77858>
- [15] Li, N., Li, Y., Shao, J., Wang, C., Li, S. and Jiang, Y. (2024) Optimizing Early Neurological Deterioration Prediction in Acute Ischemic Stroke Patients Following Intravenous Thrombolysis: A LASSO Regression Model Approach. *Frontiers*

- in Neuroscience*, **18**, Article 1390117. <https://doi.org/10.3389/fnins.2024.1390117>
- [16] Lyu, Z., Yang, H., Wang, Y., *et al.* (2023) Establishment and Evaluation of a Predictive Model for Early Neurological Deterioration after Intravenous Thrombolysis in Acute Ischemic Stroke Based on Machine Learning. *Chinese Critical Care Medicine*, **35**, 945-950.
- [17] Tian, T., Wang, L., Xu, J., Jia, Y., Xue, K., Huang, S., *et al.* (2023) Prediction of Early Neurological Deterioration in Acute Ischemic Stroke Patients Treated with Intravenous Thrombolysis. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*, **43**, 2049-2059. <https://doi.org/10.1177/0271678x231200117>
- [18] Wei, L., Zhou, X., Zhou, Z., Zhang, K., Meng, J., Huang, X., *et al.* (2025) Accurate Forecasting in Acute Ischemic Stroke: Innovative Nomogram Models for Early Neurological Deterioration and 90-Day Prognosis Outcomes Following Intravenous Thrombolysis. *European Journal of Medical Research*, **30**, Article No. 671. <https://doi.org/10.1186/s40001-025-02869-w>
- [19] Wei, L., Wu, Z., Zhou, X., Liu, Z., Wu, X., Zhang, K., *et al.* (2025) Nomogram Models Integrating TyG Index for Predicting Early Neurological Deterioration and 90-Day Outcomes in AIS Patients Undergoing IVT. *Journal of Central Nervous System Disease*, **17**, Article 11795735251382435. <https://doi.org/10.1177/11795735251382435>
- [20] Wen, R., Wang, M., Bian, W., Zhu, H., Xiao, Y., Zeng, J., *et al.* (2024) Machine Learning-Based Prediction of Early Neurological Deterioration after Intravenous Thrombolysis for Stroke: Insights from a Large Multicenter Study. *Frontiers in Neurology*, **15**, Article 1408457. <https://doi.org/10.3389/fneur.2024.1408457>
- [21] Zhu, Z., Muhammad, B., Du, B., Gu, N., Meng, T., Kan, S., *et al.* (2023) Elevated NT-proBNP Predicts Unfavorable Outcomes in Patients with Acute Ischemic Stroke after Thrombolytic Therapy. *BMC Neurology*, **23**, Article No. 203. <https://doi.org/10.1186/s12883-023-03222-6>
- [22] Zhang, X., Jiang, S., Zhang, D., Chen, S., Kong, Y., Bai, Y., *et al.* (2025) A Clinical-Radiomics Nomogram to Predict Early Neurological Deterioration in Patients with Stroke Undergoing Intravenous Thrombolysis. *Journal of the Chinese Medical Association*, **88**, 273-282. <https://doi.org/10.1097/jcma.0000000000001213>
- [23] 陈敏, 冯灵, 涂双燕, 等. 急性大动脉闭塞性脑梗死患者血管再通治疗后早期神经功能恶化的影响因素分析[J]. 河北医学, 2021, 27(11): 1801-1806.
- [24] 陈钊, 樊雪娇, 方翠敬, 等. DRAGON 评分联合血中性粒细胞与淋巴细胞比值对急性脑梗死溶栓后早期神经功能恶化的预测价值[J]. 大医生, 2023, 8(23): 92-96.
- [25] 邓勇, 李迪, 祁恒旭, 等. 脑卒中静脉溶栓后早期神经功能恶化诺莫图预测模型的建立与验证[J]. 新疆医科大学学报, 2024, 47(2): 221-226.
- [26] 高林林. 急性脑梗死患者近期神经功能预后预测模型的构建与验证[J]. 大医生, 2025, 10(4): 106-109.
- [27] 黄治胜, 方芳, 罗渝民. sTNFR1、NCAM 及脑白质高信号对老年急性脑梗死患者溶栓后早期神经功能恶化的诊断价值[J]. 脑与神经疾病杂志, 2024, 32(9): 534-538.
- [28] 李百艳, 王磊, 米晓璐, 等. 急性缺血性脑卒中静脉溶栓早期神经功能恶化列线图预测模型构建[J]. 临床误诊误治, 2025, 38(23): 95-104.
- [29] 王甜甜, 付记桐, 孙林林, 等. 急性缺血性脑卒中患者发病至静脉溶栓时间对早期神经功能恶化的影响[J]. 临床神经病学杂志, 2024, 37(5): 339-344.
- [30] 刘锡荣, 鲁庆波, 于慧娟, 等. 缺血性脑卒中患者 rt-PA 静脉溶栓后 END 分析以及预测模型的建立与验证[J]. 卒中与神经疾病, 2025, 32(6): 586-601.
- [31] 徐守权, 唐国文, 黄舞标, 等. BP 神经网络、随机森林和决策树预测急性脑梗死患者静脉溶栓后发生早期神经功能恶化的效能比较[J]. 实用心脑血管病杂志, 2023, 31(2): 16-21.
- [32] 李彬. 急性脑梗死阿替普酶溶栓后早期神经功能恶化预测模型的构建与验证[J]. 安徽医药, 2022, 26(8): 1627-1632.
- [33] Calimano-Ramirez, L.F., Virarkar, M.K., Hernandez, M., Ozdemir, S., Kumar, S., Gopireddy, D.R., *et al.* (2023) MRI-Based Nomograms and Radiomics in Presurgical Prediction of Extraprostatic Extension in Prostate Cancer: A Systematic Review. *Abdominal Radiology*, **48**, 2379-2400. <https://doi.org/10.1007/s00261-023-03924-y>
- [34] 范奕萱, 黄莉, 王雯, 等. 风痰瘀阻证急性缺血性脑卒中患者神经功能缺损危重风险列线图预测模型的构建及分级护理策略的构建[J]. 重庆医学, 2026, 55(3): 550-555.
- [35] di Biase, L., Bonura, A., Pecoraro, P.M., Carbone, S.P. and Di Lazzaro, V. (2023) Unlocking the Potential of Stroke Blood Biomarkers: Early Diagnosis, Ischemic vs. Haemorrhagic Differentiation and Haemorrhagic Transformation Risk: A Comprehensive Review. *International Journal of Molecular Sciences*, **24**, Article 11545. <https://doi.org/10.3390/ijms241411545>
- [36] 谷鸿秋, 王俊峰, 章仲恒, 等. 临床预测模型: 模型的建立[J]. 中国循证心血管医学杂志, 2019, 11(1): 14-16.

- [37] 杨翔鹭, 贾盈盈, 朱淑婷, 等. 冠状动脉旁路移植术后急性肾损伤预测模型的系统评价与 Meta 分析[J/OL]. 中国胸心血管外科临床杂志: 1-10. <https://link.cnki.net/urlid/51.1492.R.20260312.1551.042>, 2026-04-27.
- [38] 李永刚, 黄雨佳, 刘庚, 等. 冠状动脉旁路移植术后患者机械通气时间延长风险预测模型的系统评价[J]. 护理学杂志, 2024, 39(6): 58-62.
- [39] 陈滢伊, 尹遇冬. 比索洛尔在冠脉支架术后心律失常及心电图 QT 间期延长预防中的作用[J]. 黑龙江医药科学, 2025, 48(6): 126-128.
- [40] Wolff, R.F., Moons, K.G.M., Riley, R.D., Whiting, P.F., Westwood, M., Collins, G.S., *et al.* (2019) PROBAST: A Tool to Assess the Risk of Bias and Applicability of Prediction Model Studies. *Annals of Internal Medicine*, **170**, 51-58. <https://doi.org/10.7326/m18-1376>
- [41] Collins, G.S., Reitsma, J.B., Altman, D.G. and Moons, K.G.M. (2015) Transparent Reporting of a Multivariable Prediction Model for Individual Prognosis or Diagnosis (TRIPOD): The TRIPOD Statement. *Annals of Internal Medicine*, **162**, 55-63. <https://doi.org/10.7326/m14-0697>
- [42] 孙屿昕, 侯文斌, 陈韵如, 等. 中医药个体预后与诊断预测模型研究报告规范——TRIPOD-TCM 清单[J]. 中医杂志, 2022, 63(10): 936-942.
- [43] Jenkins, D.A., Martin, G.P., Sperrin, M., Riley, R.D., Debray, T.P.A., Collins, G.S., *et al.* (2021) Continual Updating and Monitoring of Clinical Prediction Models: Time for Dynamic Prediction Systems? *Diagnostic and Prognostic Research*, **5**, Article No. 1. <https://doi.org/10.1186/s41512-020-00090-3>
- [44] 王亚琪. 基于 IPD 与 AgD 结合的网络 Meta 回归模型研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2023.
- [45] 孙晓晖, 彭毛卓玛, 宋晓微, 等. 卒中后神经功能恶化预测模型研究现状的范围综述[J]. 中国脑血管病杂志, 2025, 22(4): 235-251.