·论著·

急性脑梗死患者经皮颅内动脉取栓术后症状性颅内出血的风险列线图预测模型构建

乐华辉，黄坤，艾海军，胥海燕
（抚州市第一人民医院神经内科，江西 抚州 344100）

摘要 目的 构建并评价急性脑梗死患者经皮颅内动脉取栓术后症状性颅内出血的风险列线图预测模型。**方法** 选取2021年1月至2024年2月于我院接受经皮颅内动脉取栓术治疗的272例急性脑梗死患者为研究对象，按7∶3的比例分为训练集（n=190）与验证集（n=82）。训练集根据术后是否出现症状性颅内出血分为出血组（n=61）和未出血组（n=129），比较2组患者的一般资料。采用二元logistic回归分析症状性颅内出血的影响因素；采用R语言4.3.3工具包构建症状性颅内出血的风险列线图预测模型；通过受试者操作特征（ROC）曲线、校准曲线、决策曲线评估模型的预测效能、校准度及临床适用性。**结果** 心房颤动、空腹血糖、术前NIHSS评分是急性脑梗死患者经皮颅内动脉取栓术后症状性颅内出血的影响因素。训练集及验证集预测症状性颅内出血的曲线下面积分别为0.986（95%*CI*：0.974~0.999）、0.986（95%*CI*：0.967~1.000），灵敏度分别为95.08%、99.98%，特异度分别为95.35%、92.98%。**结论** 本研究构建的风险列线图预测模型为急性脑梗死患者经皮颅内动脉取栓术后症状性颅内出血风险的评估提供了有效的工具，具有临床应用价值。

关键词 急性脑梗死；经皮颅内动脉取栓术；症状性颅内出血；风险列线图预测模型
中图分类号 R651.1 **文献标志码** B **文章编号** 0258-4646（2025）06-0530-07
网络出版地址 https://link.cnki.net/urlid/21.1227.R.20250606.1519.032
DOI：10.12007/j.issn.0258-4646.2025.06.009

Construction of a risk nomogram prediction model for symptomatic intracranial hemorrhage after percutaneous intracranial artery thrombolysis in patients with acute cerebral infarction

LE Huahui，HUANG Kun，AI Haijun，XU Haiyan
（Department of Neurology，The First People's Hospital of Fuzhou，Fuzhou 344100，China）

Abstract Objective To construct an acute cerebral infarction risk nomogram prediction model to evaluate the risk of symptomatic intracranial hemorrhage in patients after percutaneous intracranial artery thrombolysis. **Methods** A total of 272 patients with acute cerebral infarction who underwent percutaneous intracranial artery thrombolysis in our hospital from January 2021 to February 2024 were selected as the study participants and divided into the training set（n=190）and validation set（n=82）at a ratio of 7∶3. The training set was divided into a bleeding group（n=61）and non-bleeding group（n=129）based on the presence or absence of symptomatic intracranial hemorrhage during the postoperative period，and the general data of the patients in the two groups were compared. Binary logistic regression was used to analyze the factors influencing symptomatic intracranial hemorrhage. The R Language 4.3.3 toolkit was used to construct a predictive model for the risk of symptomatic intracranial hemorrhage. The predictive efficacy，calibration，and clinical applicability of the model were assessed using subject operating characteristic（ROC），calibration，and decision curves. **Results** Atrial fibrillation，fasting blood glucose level，and preoperative NIHSS scores were identified as factors influencing symptomatic intracranial hemorrhage after percutaneous intracranial artery thrombolysis in patients with acute cerebral infarction. The AUC of the training and validation sets for predicting symptomatic intracranial hemorrhage was 0.986（95%*CI*：0.974-0.999）and 0.986（95%*CI*：0.967-1.000），with a sensitivity of 95.08% and 99.98%，and a specificity of 95.35% and 92.98%. **Conclusion** The risk nomogram prediction model constructed in this study provides an effective tool of clinical value for assessing the risk of symptomatic intracranial hemorrhage after percutaneous intracranial artery thrombolysis in patients with acute cerebral infarction.

Keywords acute cerebral infarction；percutaneous intracranial artery thrombolysis；symptomatic intracranial hemorrhage；risk nomogram prediction model

基金项目：江西省卫生健康委科技计划（202312409）
作者简介：乐华辉（1982-），男，副主任医师，硕士.
通信作者：胥海燕，E-mail：lehuah55h@163.com
收稿日期：2024-08-14
网络出版时间：2025-06-09 14:34:33

急性脑梗死是一种严重的神经系统疾病，其发病率和致残率高，严重威胁患者的健康和生活质量[1-2]。经皮颅内动脉取栓术为治疗急性脑梗死的重要手段，能够显著改善患者的预后[3]。然而，术后症状性颅内出血是该手术常见的并发症之一，不仅影响手术效果，还可能危及患者的生命安全[4]。因此，准确评估急性脑梗死患者经皮颅内动脉取栓术后症状性颅内出血的风险，对指导临床决策、优化手术方案和预防并发症具有重要意义。尽管目前已有研究探讨了症状性颅内出血的相关因素，但多数研究仅停留在单一因素和简单统计分析层面，缺乏综合、全面的预测模型[5]。鉴于此，本研究构建了一种基于多项临床因素的急性脑梗死患者经皮颅内动脉取栓术后症状性颅内出血的风险列线图预测模型，旨在帮助临床医生更加准确地评估患者术后症状性颅内出血风险，为急性脑梗死患者的个体化治疗和精准医疗提供新的思路和方法。

1　材料与方法

1.1　研究对象

选取2021年1月至2024年2月于我院行经皮颅内动脉取栓术治疗的272例急性脑梗死患者为研究对象，按照7 ∶ 3的比例随机分为训练集（n = 190）与验证集（n = 82）。纳入标准：（1）影像学证实颈内动脉或大脑前、大脑中动脉闭塞；（2）治疗前行头颅CT平扫或MRI检查；（3）年龄≥18岁；（4）临床资料完整。排除标准：（1）出血性脑卒中、颅内肿瘤、中线移位等；（2）严重影响生命体征的晚期疾病或预期寿命<6个月；（3）无血管内治疗指征；（4）凝血功能异常。本研究获得抚州市第一人民医院伦理委员会审查批准，所有患者知情同意。

1.2　症状性颅内出血判定标准[6]

术后24 h内复查头颅CT，患者临床症状加重，需进行气管插管、脑室引流等临床干预，且美国国立卫生研究院卒中量表（National Institutes of Health Stroke Scale，NIHSS）评分≥4分。NIHSS的Cronbach's α系数为0.77，结构效度为0.73，有较好的信效度。根据上述标准，将训练集分为出血组（n = 61）和未出血组（n = 129）。

1.3　一般资料收集

通过病历记录、电子病案等方式收集患者一般资料，包括人口学信息（性别、年龄），个人史[吸烟（既往或目前每日吸烟3支或以上，吸烟史1年及以上）和饮酒（既往或目前每日饮酒1杯或以上，饮酒史1年及以上）]，既往病史（高血压、高血脂、糖尿病、心房颤动），实验室检查（总胆固醇、甘油三酯、空腹血糖、糖化血红蛋白），基线资料（收缩压、舒张压、发病至急诊时间、急诊至手术时间、梗死部位、术前NIHSS评分、静脉溶栓和取栓次数）。

1.4　统计学分析

采用SPSS 21.0、MedCalc、R语言4.3.3工具包进行统计分析。计量资料通过K-S检验评价正态性，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；不符合正态分布的计量资料以$M(P_{25}\sim P_{75})$表示，组间比较采用Mann-Whitney U检验。计数资料以率（%）表示，组间比较采用χ^2检验。采用二元logistic回归分析急性脑梗死患者经皮颅内动脉取栓术后症状性颅内出血的影响因素；采用R语言4.3.3工具包构建急性脑梗死患者经皮颅内动脉取栓术后症状性颅内出血的风险列线图预测模型；通过受试者操作特征（receiver operating characteristic，ROC）曲线评估风险列线图预测模型的预测效能；采用Bootstrap法自抽样1 000次进行模型内部验证，经Hosmer-Lemeshow检验及校准曲线评估个体化列线图预测模型的拟合度及校准度，通过决策曲线评估个体化列线图预测模型的临床适用性。P < 0.05为差异有统计学意义。

2　结果

2.1　训练集与验证集患者一般资料比较

训练集与验证集患者一般资料比较，差异均无统计学意义（P > 0.05），见表1。

2.2　出血组和未出血组患者一般资料比较

出血组和未出血组患者心房颤动、空腹血糖、术前NIHSS评分及取栓次数比较差异有统计学意义（P < 0.05），见表2。

2.3　急性脑梗死患者经皮颅内动脉取栓术后症状性颅内出血的二元logistic回归分析

二元logistic回归分析结果显示，心房颤动、空腹血糖、术前NIHSS评分是急性脑梗死患者经皮颅内动脉取栓术后症状性颅内出血的影响因素（P < 0.05），见表3。

表1　训练集与验证集患者一般资料比较

Tab.1　Comparison of general patient information between training and validation sets

Item	Training set (n = 190)	Validation set (n = 82)	$\chi^2/t/Z$	P
Sex [n (%)]			0.068	0.794
Male	101 (53.16)	45 (54.88)		
Female	89 (46.84)	37 (45.12)		
Age (year)	62.11 ± 10.08	62.05 ± 10.09	0.042	0.966
Smoking [n (%)]			0.004	0.950
Yes	78 (41.05)	34 (41.46)		
No	112 (58.95)	48 (58.54)		
Drinking [n (%)]			0.000	0.987
Yes	67 (35.26)	29 (35.37)		
No	123 (64.74)	53 (64.63)		
Hypertension [n (%)]			0.000	0.986
Yes	111 (58.42)	48 (58.54)		
No	79 (41.58)	34 (41.46)		
Hyperlipidemia [n (%)]			0.023	0.880
Yes	120 (63.16)	51 (62.20)		
No	70 (36.84)	31 (37.80)		
Diabetes [n (%)]			0.000	0.997
Yes	102 (53.68)	44 (53.66)		
No	88 (46.32)	38 (46.34)		
Atrial fibrillation [n (%)]			1.681	0.195
Yes	76 (40.00)	26 (31.71)		
No	114 (60.00)	56 (68.29)		
Systolic blood pressure (mmHg)	151.03 ± 18.95	150.78 ± 18.89	0.098	0.922
Diastolic blood pressure (mmHg)	75.51 ± 9.36	75.95 ± 9.45	0.360	0.719
Total cholesterol (mmol/L)	4.45 ± 1.04	4.51 ± 1.07	0.447	0.655
Triacylglycerol (mmol/L)	1.51 ± 0.65	1.54 ± 0.61	0.318	0.751
Fasting blood glucose (mmol/L)	7.96 ± 1.41	7.93 ± 1.39	0.149	0.882
Glycosylated hemoglobin (%)	6 (5–6)	6 (5–6)	1.096	0.273
Time from onset to emergency (min)	121.08 ± 21.85	121.39 ± 21.51	0.108	0.914
Emergency to surgery time (min)	104.61 ± 18.81	104.70 ± 18.81	0.036	0.971
Site of infarction [n (%)]			0.039	0.998
Internal carotid artery	25 (13.16)	11 (13.41)		
Anterior cerebral artery	22 (11.58)	10 (12.20)		
Middle cerebral artery	95 (50.00)	41 (50.00)		
Basilar artery	48 (25.26)	20 (24.39)		
Preoperative NIHSS score	12.90 ± 3.27	12.95 ± 3.27	0.119	0.906
Intravenous thrombolysis [n (%)]			0.046	0.831
Yes	100 (52.63)	42 (51.22)		
No	90 (47.37)	40 (48.78)		
Number of bolus withdrawals [n (%)]			1.083	0.298
<3	110 (57.89)	53 (64.63)		
≥3	80 (42.11)	29 (35.37)		

表2　出血组与未出血组患者一般资料比较

Tab.2　Comparison of patients in the bleeding and non-bleeding groups

Item	Bleeding group (n = 61)	Non-bleeding group (n = 129)	$\chi^2/t/Z$	P
Sex [n (%)]			0.032	0.858
Male	33 (54.10)	68 (52.71)		
Female	28 (45.90)	61 (47.29)		
Age (year)	62.07 ± 10.08	62.12 ± 10.12	0.037	0.970
Smoking [n (%)]			0.092	0.762
Yes	26 (42.62)	52 (40.31)		
No	35 (57.38)	77 (59.69)		
Drinking [n (%)]			0.235	0.628
Yes	23 (37.70)	44 (34.11)		
No	38 (62.30)	85 (65.89)		
Hypertension [n (%)]			0.266	0.606
Yes	34 (55.74)	77 (59.69)		
No	27 (44.26)	52 (40.31)		
Hyperlipidemia [n (%)]			0.029	0.865
Yes	38 (62.30)	82 (63.57)		
No	23 (37.70)	47 (36.43)		
Diabetes [n (%)]			0.054	0.816
Yes	32 (52.46)	70 (54.26)		
No	29 (47.54)	59 (45.74)		
Atrial fibrillation [n (%)]			13.538	<0.001
Yes	36 (59.02)	40 (31.01)		
No	25 (40.98)	89 (68.99)		
Systolic blood pressure (mmHg)	150.26 ± 18.96	151.39 ± 19.00	0.381	0.703
Diastolic blood pressure (mmHg)	75.48 ± 9.35	75.52 ± 9.40	0.030	0.976
Total cholesterol (mmol/L)	4.43 ± 1.02	4.46 ± 1.06	0.167	0.868
Triacylglycerol (mmol/L)	1.50 ± 0.68	1.52 ± 0.63	0.186	0.853
Fasting blood glucose (mmol/L)	9.26 ± 1.33	7.34 ± 0.96	10.113	<0.001
Glycosylated hemoglobin (%)	6 (5–6)	6 (5–6)	0.255	0.799
Time from onset to emergency (min)	122.57 ± 20.85	120.37 ± 22.35	0.648	0.518
Emergency to surgery time (min)	103.23 ± 18.41	105.26 ± 19.04	0.692	0.490
Site of infarction [n (%)]			0.046	0.997
Internal carotid artery	8 (13.11)	17 (13.18)		
Anterior cerebral artery	7 (11.48)	15 (11.63)		
Middle cerebral artery	30 (49.18)	65 (50.39)		
Basilar artery	16 (26.23)	32 (24.81)		
Preoperative NIHSS score	16.23 ± 2.87	11.33 ± 2.04	12.004	<0.001
Intravenous thrombolysis [n (%)]			0.001	0.974
Yes	32 (52.46)	68 (52.71)		
No	29 (47.54)	61 (47.29)		
Number of bolus withdrawals [n (%)]			12.683	<0.001
<3	24 (39.34)	86 (66.67)		
≥3	37 (60.66)	43 (33.33)		

表3　二元logistic回归分析结果

Tab.3　Results of binary logistic regression analysis

Item	β	*SE*	Wald χ^2	*P*	*OR*	95%*CI*
Atrial fibrillation	1.698	0.774	4.818	0.028	5.463	1.199–24.881
Fasting blood glucose	2.249	0.494	20.732	<0.001	9.475	3.599–24.945
Preoperative NIHSS score	1.198	0.247	23.473	<0.001	3.314	2.041–5.382
Number of bolus withdrawals	0.565	0.784	0.519	0.471	1.759	0.378–8.178
Constant	−36.445	6.946	27.526	<0.001	0.000	–

2.4　急性脑梗死患者经皮颅内动脉取栓术后症状性颅内出血的风险列线图预测模型构建

以急性脑梗死患者经皮颅内动脉取栓术后症状性颅内出血为目标事件，以心房颤动、空腹血糖、术前NIHSS评分作为预测因子，构建急性脑梗死患者经皮颅内动脉取栓术后症状性颅内出血的风险列线图预测模型，见图1。风险列线图预测模型中直接获取各预测因素对应得分，这些得分之和对应的预测概率即为急性脑梗死患者经皮颅内动脉取栓术后症状性颅内出血的风险概率。

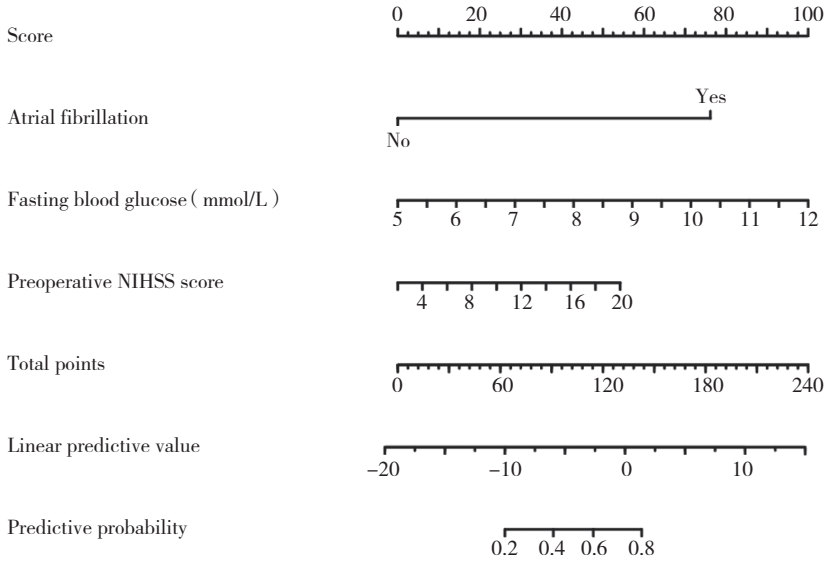


图1　急性脑梗死患者经皮颅内动脉取栓术后症状性颅内出血的风险列线图预测模型

Fig.1　Risk nomogram prediction model for the risk of symptomatic intracranial hemorrhage after percutaneous intracranial artery thrombolysis in patients with acute cerebral infarction

2.5　风险列线图预测模型的验证

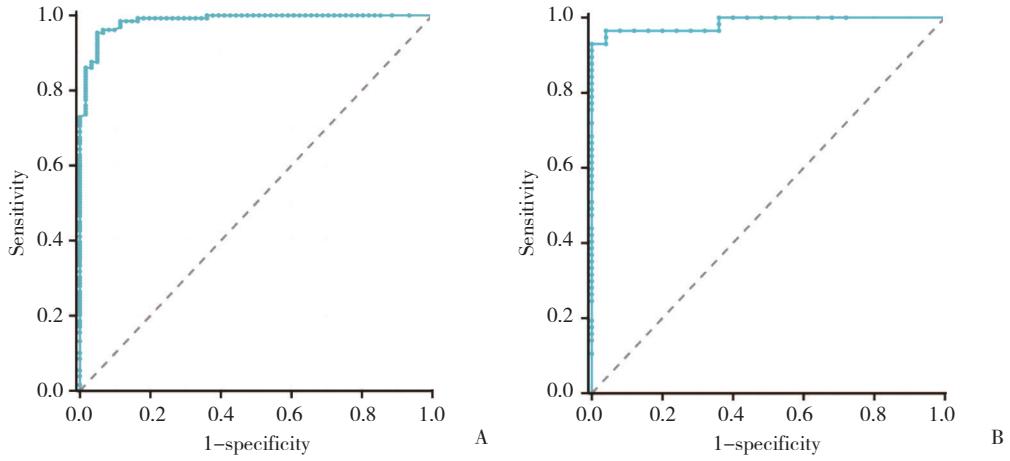
ROC曲线分析结果显示，训练集及验证集预测急性脑梗死患者经皮颅内动脉取栓术后症状性颅内出血的曲线下面积分别为0.986（95%*CI*：0.974~0.999）、0.986（95%*CI*：0.967~1.000），灵敏度分别为95.08%、99.98%，特异度分别为95.35%、92.98%，均$P<0.001$，见图2。Hosmer-Lemeshow检验结果表明，训练集和验证集的风险预测值与实际观测值差异无统计学意义（χ^2分别为1.852、4.602，P分别为0.985、0.799）。训练集实际曲线、校准曲线相近且斜率接近1，见图3A。决策曲线表明，当风险阈值>0.07时，该风险列线图预测模型可以提供临床净收益，见图3B。

3　讨论

近年来，经皮颅内动脉取栓术已成为治疗急性脑梗死的有效手段之一[7]。然而，术后症状性颅内出血作为该手术的主要并发症，严重影响患者的预后和生活质量[8]。列线图预测模型是一种图形类型的模型，基于个体指标的预测价值计算总分，预测某事件的发生风险，具有较高的临床使用价值[9]。本研究旨在构建风险列线图预测模型，提高急性脑

梗死患者经皮颅内动脉取栓术后症状性颅内出血风险的预测准确性，为临床决策提供有力支持。

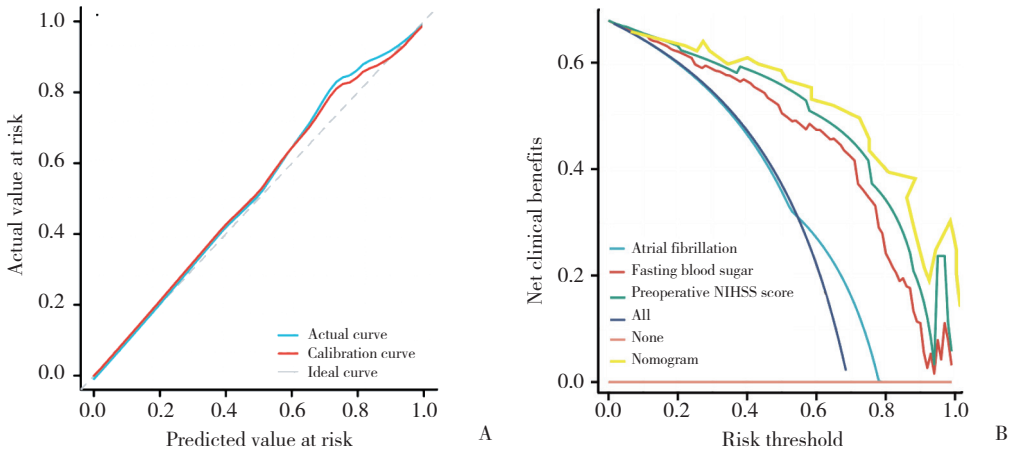
本研究发现，心房颤动患者的症状性颅内出血风险显著升高，这可能与心房颤动导致的血流动力学改变和心源性栓塞有关，心房颤动的存在使心室内血液形成涡流，容易形成附壁血栓，一旦脱落进入脑血管，就可能引起脑梗死[10]。同时，心房颤动患者的心功能往往较差，容易出现血液淤滞和血栓形成，进一步增加了症状性颅内出血的风险[11]。因此，在急性脑梗死患者的治疗过程中，应高度重视心房颤动的筛查和管理。本研究还发现，空腹血糖水平较高的患者症状性颅内出血风险也相对较高，这可能与高血糖导致的血管内皮细胞损伤、炎症反应和氧化应激反应增强有关[12]。高血糖状态下，血管内皮细胞容易受到损伤，导致血管通透性增加和微血栓形成[13]。同时，高血糖还可促进炎症反应和氧化应激反应的发生，进一步加剧血管损伤和血栓形成的风险[14]。因此，在急性脑梗死患者的治疗过程中，应严格控制患者的血糖水平。术前NIHSS评分较高的患者症状性颅内出血风险也相对较高，这可能与神经功能缺损程度较重的患者血管损伤和血栓形成的风险更高有关。神经功能缺损程度较重的患者往往存在广泛的脑血管病变和脑组织损伤，血管壁更加脆弱和易损，容易发生血管破裂和出血[15-16]。因此，在急性脑梗死患者的治疗过程中，应重视术前NIHSS评分的评估。



A，training set；B，validation set.

图2　急性脑梗死患者经皮颅内动脉取栓术后症状性颅内出血的ROC曲线

Fig.2　ROC curves for symptomatic intracranial hemorrhage after percutaneous intracranial artery thrombolysis in patients with acute cerebral infarction



A，calibration curve；B，decision curve.

图3　风险列线图预测模型的校准曲线与决策曲线

Fig.3　Calibration and decision curves for risk nomogram prediction models

训练集预测急性脑梗死患者经皮颅内动脉取栓术后症状性颅内出血的预测效能好、预测价值高；Hosmer-Lemeshow检验结果及校准曲线表明列线图拟合度及校准度好；决策曲线亦表明，风险列线图预测模型可以提供临床净收益，提示列线图有较好的临床适用性。外部验证即验证集的ROC结果亦提示该列线图模型具有较好的区分度。然而，该模型仍存在一定局限性，如模型可能受到其他未纳入模型因素的影响，模型的样本量相对较小可能导致预测结果的稳定性不足。

本研究构建的列线图预测模型为急性脑梗死患者经皮颅内动脉取栓术后症状性颅内出血风险的预测提供了一种新思路，该模型具有较高的预测准确性和临床实用价值。

参考文献：

[1] MASSON A，BOULOUIS G，JANOT K，et al. Acute hydrocephalus and delayed cerebral infarction after aneurysmal subarachnoid hemorrhage [J]. Acta Neurochir (Wien)，2022，164 (9)：2401-2408. DOI：10.1007/s00701-022-05321-8.

[2] 张萌，马咏馨，贾琼，等. 静脉溶栓治疗急性轻型非致残性缺血性脑卒中有效性和安全性的临床观察：一项单中心回顾性观察研究 [J]. 首都医科大学学报，2025，46 (1)：56-62. DOI：10.3969/j.issn.1006-7795.2025.01.009.

[3] YAMAMOTO N，YAMAMOTO Y，YAMAGUCHI I，et al. Percutaneous transluminal angioplasty and stenting using an aspiration catheter [J]. J Neuroendovasc Ther，2022，16 (5)：277-282. DOI：10.5797/jnet.cr.2021-0030.

[4] 梁炳松，张岐平，李育英，等. THRIVE评分、NLR值、D-二聚体与急性脑梗死取栓患者预后的相关性 [J]. 广东医学，2024，45 (6)：757-762. DOI：10.13820/j.cnki.gdyx.20240476.

[5] 徐姣娜，孟钰婷，魏超，等. 急性脑梗死患者取栓术后症状性颅内出血相关因素分析 [J]. 浙江临床医学，2022 (1)：77-78，81.

[6] HACKE W，KASTE M，FIESCHI C，et al. Randomised double-blind placebo-controlled trial of thrombolytic therapy with intravenous alteplase in acute ischaemic stroke (ECASS Ⅱ). Second European-Australasian Acute Stroke Study Investigators [J]. Lancet，1998，352 (9136)：1245-1251. DOI：10.1016/s0140-6736(98)08020-9.

[7] 王鹏，文洪波，黄健康，等. 静脉溶栓联合Solitaire FR型支架取栓术对急性大动脉闭塞性脑梗死患者的疗效分析 [J]. 中华老年心脑血管病杂志，2024，26 (1)：67-70. DOI：10.3969/j.issn.1009-0126.2024.01.017.

[8] 刘月娥，陈俊霖，江学军. 急性大血管闭塞性卒中机械取栓术后发生症状性颅内出血的预测模型建立 [J]. 中国实用神经疾病杂志，2024，27 (3)：330-336. DOI：10.12083/SYSJ.231159.

[9] CAI ZM，LIN HM，LI ZX，et al. A prediction nomogram for postoperative gastroparesis syndrome in right colon cancer：a retrospective study [J]. Langenbecks Arch Surg，2023，408 (1)：148. DOI：10.1007/s00423-023-02885-6.

[10] 史晓芳，李雪梅，王星淳. 依达拉奉右莰醇注射用浓溶液对急性脑梗死患者神经功能恢复的影响 [J]. 临床医学，2023，43 (12)：111-113. DOI：10.19528/j.issn.1003-3548.2023.12.034.

[11] 冀书娟，康康，柴源，等. 急性脑梗死病人rt-PA静脉溶栓后出血转化风险评估量表的预测价值 [J]. 中西医结合心脑血管病杂志，2022，20 (6)：1114-1118. DOI：10.12102/j.issn.1672-1349.2022.06.039.

[12] 邹飞辉，韩斌，鲍健南，等. 急性前循环大血管闭塞机械取栓术患者入院血糖对预后的影响 [J]. 南京医科大学学报 (自然科学版)，2022，42 (8)：1176-1182. DOI：10.7655/NYDXBN520220820.

[13] 王建宇，高倩，王勇朝，等. 阿替普酶治疗急性缺血性脑卒中患者预后的影响因素 [J]. 河北医药，2022，44 (7)：1056-1059. DOI：10.3969/j.issn.1002-7386.2022.07.022.

[14] 刘利君，徐陈陈，刘雪云，等. 急性脑梗死患者rt-PA静脉溶栓后发生缺血性和出血性早期神经功能恶化的影响因素 [J]. 安徽医学，2021，42 (5)：553-557. DOI：10.3969/j.issn.1000-0399.2021.05.021.

[15] 徐乐娟，李婷，吴洁华. 觉醒型急性脑梗死病人静脉溶栓后复发的风险列线图构建与验证 [J]. 全科护理，2024，22 (12)：2216-2219. DOI：10.12104/j.issn.1674-4748.2024.12.009.

[16] 李超，姜英玉，张心邈，等. 缺血性卒中后出血转化的影响因素分析 [J]. 中国卒中杂志，2023，18 (9)：1079-1084. DOI：10.3969/j.issn.1673-5765.2023.09.016.

（编辑　于　溪）