

论著·头颈部

CTA侧支循环评分预测  
大脑中动脉M1段闭塞  
卒中患者出血转化的评  
分模型构建于 远<sup>1,\*</sup> 王 坤<sup>2</sup>1.首都医科大学附属北京天坛医院放射科  
(北京 100070)

2.北京航天总医院影像中心 (北京 100076)

【摘要】目的 探究计算机断层血管成像(CTA)侧支循环评分对大脑中动脉(MCA)M1段闭塞卒中患者出血转化(HT)的预测价值并构建预测评分模型。方法 选择2021年1月至2024年1月我院收治的MCA M1段闭塞卒中患者100例为研究对象,纳入训练集,根据CT复查结果分为N-HT组(n=54)和HT组(n=46);按照相同标准另选2023年1月至2024年1月我院收治的MCA M1段闭塞卒中患者(n=34)纳入验证集,以验证预测模型的有效性。比较两组患者临床资料以及CT结果。LASSO逻辑回归分析模型筛选出发生HT的潜在影响因素,进一步多因素Logistic回归分析HT的独立影响因素。通过C统计值(C-Statistics)、净重新分类指数(NRI)、综合判别改善指数(IDI)分析各影响因素对HT的预测效能。构建预测评分模型,以受试者工作特征(ROC)曲线评估其预测效能。结果 与N-HT组比较,HT组年龄、高血压、房颤、心源性栓塞、基线美国国立卫生研究院卒中量表(NIHSS)评分、抵抗素、血小板源性生长因子(PDGF)、血管内皮细胞生长因子(VEGF)、血流峰值时间(Tmax)、流量提取乘积(FED)、相对流量提取乘积(rFED)显著增加( $P<0.05$ );脑血容量(CBV)、相对脑血容量(rCBV)、侧支循环评分显著降低( $P<0.05$ )。LASSO逻辑回归筛选出5个潜在影响因素,进一步多因素Logistic回归分析结果显示,基线NIHSS评分、PDGF、VEGF、FED、侧支循环评分均是HT的独立影响因素( $P<0.05$ )。C-Statistics、NRI、IDI结果具有一致性,CTA侧支循环评分加入基线NIHSS评分、PDGF、VEGF、FED,预测HT能力最优。构建发生HT的预测评分模型,在训练集和验证集中的AUC分别为0.925(95%CI: 0.844~0.967)和0.908(95%CI: 0.823~0.949),最佳临界值均为3.2分。结论 CTA侧支循环评分以及基线NIHSS评分、PDGF、VEGF、FED均是HT的独立影响因素,基于此构建发生HT的预测评分模型,可用于临床上较准确地预测脑卒中患者发生HT的风险。

【关键词】计算机断层血管成像;侧支循环评分;  
大脑中动脉M1段闭塞卒中;出血转化;  
评分模型

【中图分类号】R445.2

【文献标识码】A

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.06.001

To Construct a Scoring Model for Predicting  
Hemorrhagic Transformation in Stroke  
Patients with Middle Cerebral Artery M1  
Segment Occlusion By CTA Collateral  
Circulation ScoreYU Yuan<sup>1,\*</sup>, WANG Kun<sup>2</sup>.

1.Department of Radiology, Beijing Tiantan Hospital, Capital Medical University, Beijing 100070, China

2.Imaging Center, Beijing Aerospace General Hospital, Beijing 100076, China

## ABSTRACT

**Objective** To explore the predictive value of computed tomography angiography (CTA) collateral circulation score for hemorrhagic transformation (HT) in stroke patients with middle cerebral artery (MCA) M1 segment occlusion and to construct a predictive scoring model. **Methods** A total of 100 stroke patients with M1 segment occlusion of MCA admitted to our hospital from January 2021 to January 2024 were selected as the research objects and included in the training set. They were divided into N-HT group(n=54) and HT group(n=46) according to CT reexamination results. According to the same criteria, another 34 stroke patients with MCA M1 segment occlusion admitted to our hospital from January, 2023 to January, 2024 were enrolled in the validation set to verify the effectiveness of the prediction model. The clinical data and CT results of the two groups were compared. LASSO Logistic regression analysis model was used to screen out the potential influencing factors of HT, and the independent influencing factors of HT were analyzed by multivariate Logistic regression. C-Statistics, net reclassification improvement(NRI) and integrated discrimination improvement(IDI) were used to analyze the predictive efficiency of each influencing factor on HT. The predictive score model was constructed and its predictive efficiency was evaluated by receiver operating characteristic (ROC) curve. **Results** Compared with N-HT group, age, hypertension, atrial fibrillation, cardiogenic embolism, baseline National Institute of Health Stroke Scale(NIHSS) score, resistin, platelet-derived growth factor(PDGF), vascular endothelial cell growth factor(VEGF), time to maximum(Tmax), flow extraction product(FED) and relative flow extraction product(rFED) in HT group were significantly increased( $P<0.05$ ), cerebral blood volume(CBV), relative cerebral blood volume(rCBV), and collateral circulation score were significantly decreased( $P<0.05$ ). Five potential influencing factors were screened out by LASSO logistic regression, further multivariate Logistic regression analysis showed that baseline NIHSS score, PDGF, VEGF, FED and collateral circulation score were all independent influencing factors of HT( $P<0.05$ ). The results of C-Statistics, NRI, and IDI were consistent. The CTA collateral circulation score was added to the baseline NIHSS score, PDGF, VEGF, and FED, which had the best ability to predict HT. Construct a predictive scoring model for the occurrence of HT, AUC of the model for predicting the occurrence of HT in the training set and validation set were 0.925 (95%CI: 0.844-0.967) and 0.908 (95%CI: 0.823-0.949), and the best cut-off value was 3.2. **Conclusion** CTA collateral circulation score, baseline NIHSS score, PDGF, VEGF and FED are all independent influencing factors for HT. Based on these factors, a predictive scoring model for HT development is constructed, which can be used to accurately predict the risk of HT development in stroke patients.

**Keywords:** Computerized Tomography Angiography; Collateral Circulation Score; Middle Cerebral Artery M1 Segment Occlusion Stroke; Hemorrhagic Transformation; Scoring model

大脑卒中是一种临床上常见的,因脑血管破裂或闭塞所致的急性脑血管疾病,发病率、死亡率和致残率均较高<sup>[1]</sup>。大脑中动脉(middle cerebral artery, MCA)M1段闭塞是最常见的脑卒中病因,该部位闭塞会影响患者感觉和运动,致残致死率高,血管再通率较低<sup>[2]</sup>。出血转化(hemorrhagic transformation, HT)指在静/动脉血栓形成并栓塞后出现的出血性梗死,是脑卒中的自然转归,也是临床血管再通治疗最严重的并发症之一,显著增加患者死亡率,其发生机制比较复杂,目前尚不明确<sup>[3]</sup>。故探究能够评估HT风险的预测指标具有重要意义。而脑侧支循环是一种动脉-动脉间的血流代偿,与卒中患者的预后密切相关<sup>[4]</sup>,其评价方式多样,随着影像技术的发展,各种电子计算机断层扫描(computerized tomography angiography, CT)成像方式在预测HT上的优势逐渐增加,其中CT血管成像(CT angiography, CTA)因具有速度快、成像效果好、禁忌少等优点,目前临床上应用广泛,动态CTA是一种基于CT灌注成像(CT perfusion, CTP)的快速、无创的血管成像技术,能够清晰地显示MCA狭窄或闭塞部位和一/二级侧支循环的代偿范围<sup>[5]</sup>。因此,本研究以MCA M1段闭塞卒中患者为研究对象,探究CTA侧支循环评分对其HT的预测价值,并构建模型以准确判断患者预后。

## 1 资料与方法

**1.1 研究对象** 选择2021年1月至2024年1月我院收治的MCA M1段闭塞卒中患者100例为研究对象,纳入训练集,其中男性55例,女性45例,年龄35~85岁,平均年龄

【第一作者】于 远,男,技师,主要研究方向:医学影像技术。E-mail: YuYuan24YY0@126net.com.cn

【通讯作者】于 远

(68.14±7.22)岁，根据CT复查结果分为N-HT组(n=54)和HT组(n=46)。按照相同标准另选2023年1月至2024年1月我院收治的MCA M1段闭塞卒中患者(n=34)纳入验证集，以验证预测模型的有效性，其中男性18例，女性16例，年龄35~85岁，平均(66.87±6.93)岁。

HT诊断标准：治疗后24 h行头颅CT检查，参照《中国急性脑梗死后出血转化诊治共识》诊断<sup>[6]</sup>。

纳入标准：(1)发病24 h内入院且未见出血；(2)确诊为MCA M1段闭塞卒中；(3)治疗后24 h行头颅CT检查；(4)影像学资料和临床资料完整。排除标准：(1)合并严重的心功能不全、肝肾功能不全等终末期疾病；(2)入院后因肾功能不全、造影剂过敏等原因无法进行CTA检查；(3)治疗前口服抗凝药物；(4)影像检查前行颈内动脉手术。

1.2 研究方法

1.2.1 基线资料收集 收集患者基线资料包括性别、年龄、身体质量指数(body mass index, BMI)、收缩压(systolic blood pressure, SBP)、舒张压(diastolic blood pressure, DBP)、高血压、糖尿病、冠心病、房颤、吸烟史、饮酒史、病因分型、美国国立卫生研究院卒中量表(National Institute of Health Stroke Scale, NIHSS)评分<sup>[7]</sup>。

1.2.2 实验室指标测定 采集患者空腹静脉血5 mL，离心(3000 r/min, 10 min)取血清，酶联免疫吸附试验(enzyme-linked immunosorbent assay, ELISA)检测抵抗素和血小板源性生长因子(platelet-derived growth factor, PDGF)水平。双抗体夹心酶联免疫吸附法检测血管内皮细胞生长因子(vascular endothelial cell growth factor, VEGF)水平。

1.2.3 CT相关指标测定 常规颅脑CT平扫(德国Siemens炫速双源CT扫描机)后，使用DynMulti 4D扫描模式进行CTP扫描(管电压80 kV，管电流200 mA，矩阵512×512，层厚、层间距5 mm，扫描螺距0.7，球管旋转时间为0.28 s/r)，经肘前静脉先后注射60 mL非离子型对比剂碘普罗胺(370 mgI/mL)和30 mL生理盐水(速率5 mL/s)，5 s后连续29次动态扫描。将灌注原始数据传入Syngo.via(Siemens Syngo, VA48A)工作站，选择Neuro Perfusion软件，生成脑灌注参数图像：脑血容量(cerebral blood volume, CBV)、脑血流量(cerebral blood flow, CBF)、达峰时间(time to peak, TTP)、平均通过时间(mean transit time, MTT)、血流峰值时间(time to maximum, Tmax)、排空时间(time to emptying, TTD)、流量提取乘积(flow extraction product, FED)图。在Tmax上选取最大且明显的异常灌注区，勾画感兴趣区(region of interest, ROI)，以中线对称轴自动绘制健侧镜像区，取各参数的平均值，根据“病灶侧/健侧”得到各灌注参数的相对值。

采用DEFUSE 3或DAWN研究中MCA 区域的阈值标准：rCBF<正常组织的30%为梗死核心；Tmax延长>6s定义为缺血半暗带。CTA数据以 Neurovascular软件后处理，选取动脉期峰值、静脉期峰值和静脉期晚期进行动态CTA重建，后处理方法包括容积显示(volume rendering, VR)、最大密度投影(maximum intensity projection, MIP)和多平面重建(multiple planar reconstruction, MPR)；区域软脑膜评分系统(regional leptomeningeal collateral, rLMC)评估侧支循环，总分20分，0~10分提示侧支循环不良，11~16分提示侧支循环中等，17~20分提示侧支循环良好。

1.3 统计学分析 应用软件SPSS 22.0对数据进行统计分析，正态分布的计量资料( $\bar{x} \pm s$ )，采用t检验；计数资料以例数和率(%)表示，组间比较采用 $\chi^2$ 检验。LASSO逻辑回归分析模型筛选出发生HT的潜在影响因素，多因素Logistic回归分析HT的独立影响因素。通过C统计值(C-Statistics)、净重新分类指数(net reclassification improvement, NRI)、综合判别改善指数(integrated discrimination improvement, IDI)分析各影响因素对HT的预测效能。构建预测评分模型，绘制受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线评估模型的预测效能。P<0.05为具有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者临床资料比较 两组患者临床资料比较，见表1。与N-HT组比较，HT组年龄、高血压、房颤、心源性栓塞、基线NIHSS评分、抵抗素、PDGF、VEGF显著增加(P<0.05)。

表1 两组患者临床资料比较

| 项目                                        | N-HT组(n=54)  | HT组(n=46)    | $\chi^2/t$ 值 | P值     |
|-------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------|
| 性别[n(%)]                                  |              |              | 0.080        | 0.778  |
| 男                                         | 29(53.70)    | 26(56.52)    |              |        |
| 女                                         | 25(46.30)    | 20(43.48)    |              |        |
| 年龄(岁)                                     | 67.48±6.81   | 70.36±7.03   | 2.077        | 0.040  |
| BMI(kg/m <sup>2</sup> )                   | 24.51±3.16   | 24.78±3.25   | 0.420        | 0.675  |
| SBP(mmHg)                                 | 150.12±15.94 | 156.26±19.72 | 1.722        | 0.088  |
| DBP(mmHg)                                 | 86.29±8.31   | 89.05±8.44   | 1.643        | 0.103  |
| 高血压[n(%)]                                 | 26(48.15)    | 32(69.57)    | 4.677        | 0.031  |
| 糖尿病[n(%)]                                 | 11(20.37)    | 11(23.91)    | 0.182        | 0.670  |
| 冠心病[n(%)]                                 | 14(25.93)    | 13(28.26)    | 0.069        | 0.793  |
| 房颤[n(%)]                                  | 19(35.19)    | 32(69.57)    | 11.749       | <0.001 |
| 吸烟史[n(%)]                                 | 16(29.63)    | 14(30.43)    | 0.008        | 0.930  |
| 饮酒史[n(%)]                                 | 17(31.48)    | 15(32.61)    | 0.015        | 0.904  |
| 病因分型[n(%)]                                |              |              | 12.312       | <0.001 |
| 心源性栓塞                                     | 21(38.89)    | 34(73.91)    |              |        |
| 其他                                        | 33(61.11)    | 12(26.09)    |              |        |
| 基线NIHSS评分(分)                              | 9.46±2.05    | 15.34±3.87   | 9.688        | <0.001 |
| 抵抗素( $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ )  | 15.02±3.87   | 20.75±4.62   | 6.750        | <0.001 |
| PDGF( $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ) | 488.31±52.16 | 572.76±59.34 | 7.574        | <0.001 |
| VEGF( $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ) | 195.26±31.48 | 243.52±46.12 | 6.184        | <0.001 |

2.2 两组患者CT结果比较 两组患者CT结果比较，见表2。与N-HT组比较，HT组CBV、rCBV、侧支循环评分显著降低(P<0.05)，Tmax、FED、rFED显著增加(P<0.05)。

表2 两组患者CT相关结果比较

| 项目                                             | N-HT组(n=54) | HT组(n=46)  | t值     | P值     |
|------------------------------------------------|-------------|------------|--------|--------|
| CBV                                            | 3.24±0.87   | 2.25±0.81  | 5.853  | <0.001 |
| [mL·(100 g) <sup>-1</sup> ]                    |             |            |        |        |
| CBF                                            | 21.76±8.12  | 18.97±7.63 | 1.760  | 0.081  |
| [mL·(100 g) <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> ] |             |            |        |        |
| TTP(s)                                         | 18.31±4.75  | 20.13±4.96 | 1.871  | 0.064  |
| MTT(s)                                         | 12.87±3.51  | 14.29±3.84 | 1.931  | 0.056  |
| Tmax(s)                                        | 8.74±1.62   | 10.86±1.98 | 5.889  | <0.001 |
| TTD(s)                                         | 12.03±2.14  | 12.48±2.17 | 1.041  | 0.300  |
| FED                                            | 2.25±0.62   | 5.53±1.24  | 17.100 | <0.001 |
| [mL·(100 g) <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> ] |             |            |        |        |
| rCBV                                           | 0.88±0.21   | 0.62±0.16  | 6.867  | <0.001 |
| rCBF                                           | 0.54±0.15   | 0.49±0.11  | 1.872  | 0.064  |
| rTTP                                           | 1.38±0.34   | 1.49±0.38  | 1.527  | 0.130  |
| rMTT                                           | 2.74±0.25   | 2.83±0.29  | 1.667  | 0.099  |
| rTmax                                          | 5.82±1.42   | 6.39±1.54  | 1.924  | 0.057  |
| rTTD                                           | 3.31±0.99   | 3.70±1.05  | 1.909  | 0.059  |
| rFED                                           | 2.39±0.77   | 6.84±1.63  | 17.868 | <0.001 |
| 侧支循环评分(分)                                      | 16.67±3.25  | 11.29±1.87 | 9.912  | <0.001 |

**2.3 LASSO回归筛选影响HT发生的潜在因素** 以两组患者比较差异显著( $P<0.05$ )的指标为自变量,以是否发生HT为因变量,通过LASSO回归模型的三折交叉验证最终筛选出5个潜在因素,分别为基线NIHSS评分、PDGF、VEGF、FED、侧支循环评分,见图1。

**2.4 多因素Logistic回归分析HT的独立影响因素** 将LASSO回归筛选出的影响因素作为自变量并赋值(计量资料按实际数值),以是否发生HT(“否”=0,“是”=1)为因变量,纳入多因素Logistic回归分析,结果显示基线NIHSS评分、PDGF、VEGF、FED、侧支循环评分均是HT的独立影响因素( $P<0.05$ ),见表3。

表3 多因素Logistic回归分析

| 变量        | $\beta$ | SE    | Wald $\chi^2$ | OR(95%CI)          | P     |
|-----------|---------|-------|---------------|--------------------|-------|
| 基线NIHSS评分 | 0.861   | 0.127 | 45.938        | 2.365(1.196~3.062) | 0.005 |
| PDGF      | 0.987   | 0.136 | 52.623        | 2.682(1.457~3.641) | 0.012 |
| VEGF      | 1.084   | 0.159 | 46.466        | 2.956(1.436~3.716) | 0.009 |
| FED       | 1.009   | 0.152 | 44.070        | 2.743(1.389~3.472) | 0.016 |
| 侧支循环评分    | -0.625  | 0.165 | 14.370        | 0.535(0.163~0.876) | 0.001 |

**2.5 各影响因素对HT的预测效能分析** 探讨加入基线NIHSS评分、PDGF、VEGF、FED是否会提高CTA侧支循环评分对HT的预测能力。C-Statistics、NRI、IDI结果具有一致性,说明CTA侧支循环评分加入基线NIHSS评分、PDGF、VEGF、FED,预测能力最优,见表4。

**2.6 预测评分模型的构建及评价** 根据多因素Logistic回归分析的 $\beta$ 值进行赋分, $\beta$ 值最低的因素赋予1分,其他因素的赋分为其 $\beta$ 值与所有因素中最低 $\beta$ 值的比值。基线NIHSS评分赋予1.4分、PDGF赋予1.6分、VEGF赋予1.7分、FED赋予1.6分、侧支循环评分赋予1.0分,构建预测评分模型。预测评分模型总分1~7.3分,分数越高则HT发生概率越高,见图2。

预测评分模型在训练集和验证集中的AUC分别为0.925(95%CI: 0.844~0.967)和0.908(95%CI: 0.823~0.949),见图3。训练集和验证集的最佳临界值均为3.2分。在训练集中,当预测评分 $\geq 3.2$ 分时,共有43例患者被预测为发生HT,其灵敏度为93.48%(43/46),特异度为83.33%(45/54),一致性为88.00%(88/100);在验证集中,当预测评分 $\geq 3.2$ 分时,共有13例患者被预测为发生HT,其灵敏度为86.67%(13/15),特异度为84.21%(16/19),一致性为85.29%(29/34)。

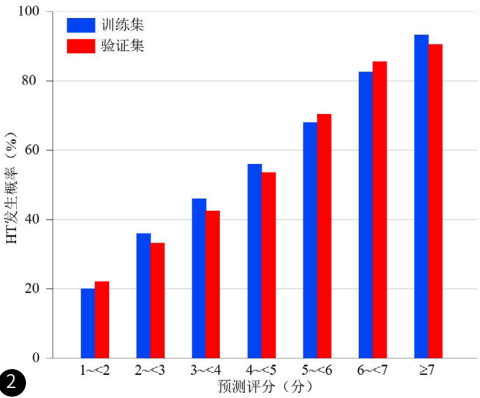
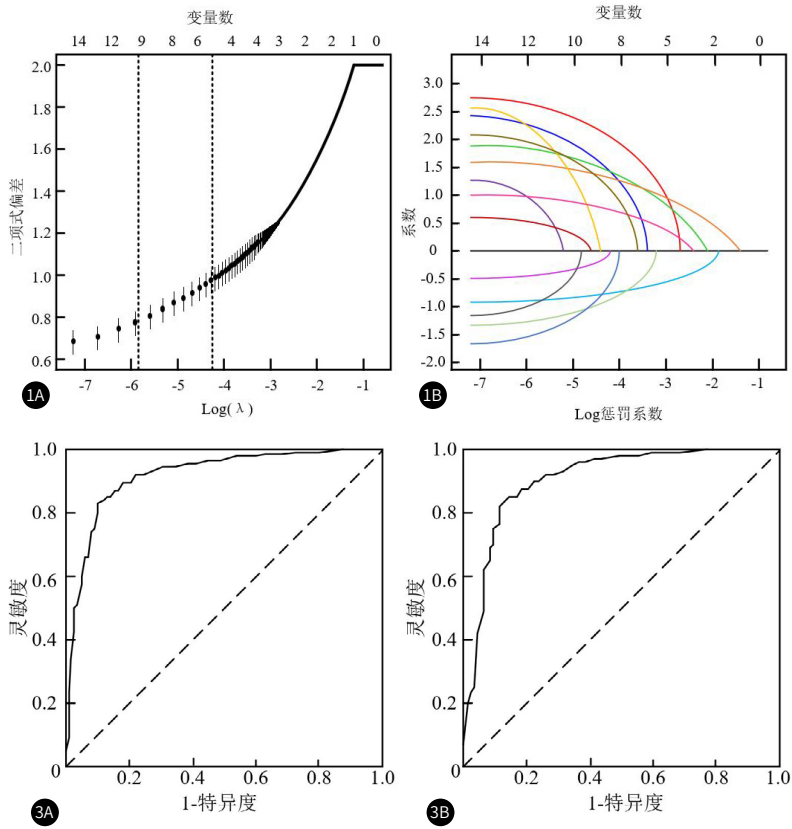


图1A-图1B LASSO逻辑回归分析(1A:交叉验证结果,1B:系数路径)  
图2 不同预测评分模型评分区间患者HT发生概率。  
图3A-图3B 预测评分模型的ROC曲线(3A:训练集,3B:验证集)

表4 各指标对HT的预测效能分析

| 因子                  | C-Statistics<br>(95%CI) | C-Statistics<br>P值 | NRI<br>(95%CI)     | NRI<br>P值 | IDI<br>(95%CI)     | IDI<br>P值 |
|---------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|-----------|--------------------|-----------|
| 发生HT                |                         |                    |                    |           |                    |           |
| CTA侧支循环评分           | 0.723(0.465~0.831)      | -                  | -                  | -         | -                  | -         |
| 基线NIHSS评分+CTA侧支循环评分 | 0.815(0.624~0.901)      | 0.003              | 0.798(0.523~0.896) | 0.004     | 0.225(0.161~0.350) | 0.003     |
| PDGF+CTA侧支循环评分      | 0.759(0.518~0.874)      | 0.009              | 0.764(0.412~0.857) | 0.007     | 0.187(0.102~0.263) | 0.005     |
| VEGF+CTA侧支循环评分      | 0.793(0.547~0.892)      | 0.007              | 0.783(0.439~0.877) | 0.006     | 0.206(0.153~0.322) | 0.004     |
| FED+CTA侧支循环评分       | 0.746(0.493~0.859)      | 0.014              | 0.723(0.389~0.835) | 0.010     | 0.154(0.061~0.387) | 0.008     |
| 基线NIHSS评分+PDGF+     | 0.877(0.696~0.942)      | <0.001             | 0.821(0.610~0.932) | <0.001    | 0.279(0.186~0.392) | <0.001    |
| VEGF+FED+CTA侧支循环评分  |                         |                    |                    |           |                    |           |

### 3 讨 论

近年来脑卒中发病率持续上升,其MCA M1段闭塞的血流灌注严重影响患者预后<sup>[2]</sup>,在血管再通前以侧支循环代偿维持血流灌注<sup>[4]</sup>。HT是脑卒中常见并发症,其发生造成患者预后变差<sup>[3]</sup>,思考治疗前侧支循环状态是否可以预测HT的发生。近年来CTA被广泛应用于评价卒中患者的侧支循环状态<sup>[5]</sup>。因此,本研究以MCA M1段闭塞卒中患者100例为研究对象,根据CT复查结果分为N-HT组和HT组,探究CTA侧支循环评分对其HT的预测价值,构建模型预测患者HT风险,以期为临床预测脑卒中患者的预后提供参考。

已有研究表明,脑血管闭塞后脑组织缺氧,血脑屏障通透性被破坏,脑细胞发生肿胀,使局部的微血管受压变窄阻塞,从而血管内皮细胞连接性破坏、出现炎症反应和坏死,缺血区脑组织血管再灌注恢复后,缺血改变的动脉漏出血液,导致HT<sup>[8]</sup>。随着年龄增长,全身炎症反应加重,血脑屏障通透性增大,易并发高血压、糖尿病等,卒中时导致血脑屏障损伤,致使HT发生风险增加<sup>[9]</sup>。高血压可直接作用于脑血管系统,加剧炎症反应,并通过血管重构影响侧支循环、内皮功能等多种机制,HT发生风险增加<sup>[3,9]</sup>。多数伴发房颤的脑卒中患者为心源性栓塞,患者通常动脉闭塞速度快,侧支循环不发达,半暗带面积小,核心梗死区大,且心源性栓子不稳定会自发溶解或向远端移动,致使缺血性损伤血管再灌注,引起梗死区出血,最终导致HT<sup>[10-11]</sup>。NIHSS评分可用以评估神经功能损伤程度,评分越高梗死面积越大,脑水肿和细胞缺血缺氧越严重,再灌注治疗后更易出现HT<sup>[7,12]</sup>。抵抗素是近年来发现的一种可以减退血管内皮细胞功能、加速平滑肌细胞迁移及动脉粥样硬化的进程的多肽类激素<sup>[13]</sup>。神经胶质细胞受到损伤时合成的PDGF量增加,因脑出血导致的脑水肿及缺血会增加胶质细胞的增值及分泌,让PDGF从血脑屏障转运至血液中,而脑激活受损细胞与血小板会导致PDGF产生高表达<sup>[14]</sup>。VEGF在创伤修复、缺血、缺氧等病理状况下,均能通过对血管内皮细胞特异性受体作用而引起内皮细胞的增殖并加速血管形成,使受累脑组织再灌注和供氧量增加,由此有助于缓解脑水肿、促进损伤脑组织修复<sup>[15]</sup>。本研究中,与N-HT组比较,HT组年龄、高血压、房颤、心源性栓塞、基线NIHSS评分、抵抗素、PDGF、VEGF显著增加,与前人研究结果一致<sup>[9-15]</sup>。还有研究表明,侧支循环的存在可以在一定程度上缓解脑梗死区域的缺血,减少脑组织的损伤,良好的侧支循环能显著提高脑组织的再灌注率,延长缺血半暗带的维持时间,防止梗死核心的扩大,降低术后HT风险,改善患者预后<sup>[4,16]</sup>。FED是反映血管通透性的参数,表示对比剂通过被破坏的血脑屏障从血管内间隙外渗到血管外间隙的流出率,其值越高,表明通透性增加,提示血脑屏障被破坏,而HT发生在血脑屏障被破坏和表面通透性升高的区域,FED可能是CTP指标中最为敏感的参数<sup>[17-18]</sup>。rFED代表患侧与健侧FED之比,比值高者指示血脑屏障损伤程度差异较大,且红细胞较易从患侧扩张的细胞间隙渗出<sup>[18]</sup>。近年来研究发现,CT检查中CBV、rCBV、CBF、rCBF降低及TTP、MTT、rMTT、Tmax延长也与HT相关<sup>[19-20]</sup>。本研究中,与N-HT组比较,HT组CBV、rCBV、侧支循环评分显著降低,Tmax、FED、rFED显著增加。LASSO回归筛选出影响HT发生的5个潜在因素,进一步多因素Logistic回归分析结果显示,基线NIHSS评分、PDGF、VEGF、FED、侧支循环评分均是HT的独立影响因素。分析各影响因素对发生HT的预测能力,结果显示CTA侧支循环评分加入基线NIHSS评分、PDGF、VEGF、FED,对发生HT的预测能力最优。构建发生HT的预测评分模型,总分1~7.3分,分数越高则HT发生概率越高,最佳临界值为3.2分。

综上所述,CTA侧支循环评分以及基线NIHSS评分、PDGF、VEGF、FED均是HT的独立影响因素,基于此构建发生HT的预测评分模型,可用于临床上较准确地预测脑卒中患者发生HT的风险。本研究仅限于本院收治的100例MCA M1段闭塞卒中患者,样本量较少不足以充分支持研究结果,难以广泛地应用于临床,样本来源局限也可能影响结果的普适性,未来需扩大样本容量,同时纳入多中心样本,以期得到更加科学严谨的结果。

### 参考文献

- [1] Yu H, Wang H, Liu M, et al. Effects of transcranial direct current stimulation on stroke based on brain functional networks[J]. *IEEE T Magn*, 2021, 57(6): 1-4.
- [2] 郑超波, 吴炯, 陈林辉, 等. SWIM技术治疗急性大脑中动脉M1段闭塞患者首次血管再通的影响因素分析[J]. *中国中西医结合急救杂志*, 2021, 28(4): 422-425.
- [3] Qiu L, Fu F, Zhang W, et al. Prevalence, risk factors, and clinical outcomes of remote intracerebral hemorrhage after intravenous thrombolysis in acute ischemic stroke: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Neurol*, 2023, 270(2): 651-661.
- [4] Fukuda K A, Liebeskind D S. Evaluation of collateral circulation in patients with acute ischemic stroke[J]. *Radiol Clin N Am*, 2023, 61(3): 435-443.
- [5] Yang R, Wang M, Dong Q, et al. Transcranial Doppler versus CT angiography: a comparative analysis for the diagnosis of ischaemic cerebrovascular disease[J]. *Clin Radiol*, 2023, 78(4): 350-357.
- [6] 中华医学会神经病学分会, 中华医学会神经病学分会脑血管病学组. 中国急性脑梗死后出血转化诊治共识[J]. *中华神经科杂志*, 2019, 52(4): 252-265.
- [7] Linzhe D, Yuqiao Z, Xiaohui L, et al. Blood pressure excursion on admission and intravenous thrombolysis in ischemic stroke[J]. *J Hypertens*, 2023, 41(8): 1265-1270.
- [8] 刘晓明, 翟韶, 赵会玲. 急性脑梗死患者血小板参数变化对静脉溶栓后出血转化的预测分析[J]. *罕少疾病杂志*, 2023, 30(8): 24-26.
- [9] Cao Y Z, Zhao L B, Jia Z Y, et al. Cerebral blood volume Alberta stroke program early computed tomography score predicts intracranial hemorrhage after thrombectomy in patients with acute ischemic stroke in an extended time window[J]. *Acta Radiol*, 2022, 63(3): 393-400.
- [10] 据肖肖, 李艳, 宋昆鹏. 阵发性房颤患者房颤负荷、左心房直径与不良心血管事件的关系[J]. *罕少疾病杂志*, 2025, 32(2): 64-66.
- [11] 鲍婕好, 赵建华, 刘娜, 等. 症状性大脑中动脉不同部位闭塞的临床和影像特征[J]. *中风与神经疾病杂志*, 2022, 39(2): 115-118.
- [12] 谢孟桥, 黄惠英, 佐小丽, 等. 低剂量阿替普酶治疗轻型缺血性脑卒中的疗效及安全性分析[J]. *国际神经病学神经外科学杂志*, 2022, 49(6): 7-12.
- [13] Wakiya R, Ueda K, Shimada H, et al. AB0287 effects of hydroxychloroquine on peripheral blood cytokine expression associated with atherosclerosis in systemic lupus erythematosus[J]. *Ann Rheum Dis*, 2021, 80(1): 1169-1170.
- [14] Han J H, Park H S, Lee D H, et al. Regulation of autophagy by controlling Erk1/2 and mTOR for platelet-derived growth factor-BB-mediated vascular smooth muscle cell phenotype shift[J]. *Life Sci*, 2021, 267(1): 118978-118978.
- [15] Ibrahim M A, Haleem M, Abdelwahab S A, et al. Sildenafil ameliorates Alzheimer disease via the modulation of vascular endothelial growth factor and vascular cell adhesion molecule-1 in rats: [J]. *Hum Exp Toxicol*, 2021, 40(4): 596-607.
- [16] 刘奕娟, 王婧婧, 刘星辰, 等. 侧支循环对再灌注治疗后出血转化及短期预后的影响[J]. *中华神经医学杂志*, 2021, 20(11): 1108-1116.
- [17] 陈婷玉, 苏凯奇, 阮晓迪, 等. 中药调控缺血性脑卒中后紧密连接的研究进展[J]. *中国比较医学杂志*, 2023, 33(1): 10.
- [18] 王艳, 李倩文, 郭道德, 等. CTP预测急性缺血性卒中患者脑动脉机械取栓术后对比剂外渗风险的初步研究[J]. *医学影像学杂志*, 2022, 32(7): 1085-1089.
- [19] 尹辰琳, 赵雯, 韩丹. 多模态CT在急性缺血性脑卒中出血转化预测中的研究新进展[J]. *临床放射学杂志*, 2022, 41(11): 2148-2152.
- [20] 潘景江, 余翔, 刘斌. CTP联合mCTA对急性缺血性脑卒中取栓后出血性转化(PH2型)的预测[J]. *临床放射学杂志*, 2023, 42(5): 722-728.

(收稿日期: 2024-04-12)

(校对编辑: 赵望淇)