

• 论 著 • DOI:10.3969/j.issn.1672-9455.2026.16.008

# 血小板参数与凝血功能指标联合预测急性脑梗死患者 早期神经功能恶化的价值<sup>\*</sup>

范 坤,王 洁,刘成成,黄 奔,王 珏<sup>△</sup>

南京医科大学第一附属医院检验学部,江苏南京 210029

**摘 要:**目的 检测急性脑梗死(ACI)患者血小板参数及凝血功能指标,并分析其对患者发生早期神经功能恶化(END)的预测价值。方法 回顾性选取 2024 年 6 月至 2025 年 6 月在该院神经内科住院的 231 例 ACI 患者作为 ACI 组,选择同期在该院健康管理中心体检的 230 例健康志愿者作为健康对照组。收集 ACI 患者入院时和健康志愿者体检时的血小板计数(PLT)、血小板压积(PCT)、平均血小板体积(MPV)、血小板分布宽度(PDW)、凝血酶原时间(PT)、活化部分凝血活酶时间(APTT)、凝血酶时间(TT)、纤维蛋白原(FIB)和 D-二聚体(D-D),比较健康对照组与 ACI 组临床资料。ACI 患者入院后 7 d 内每隔 8 h 进行一次美国国立卫生研究院卒中量表(NIHSS)评分,根据 NIHSS 评分变化将患者分为非 END 组和 END 组,比较非 END 组与 END 组临床资料。采用 Lasso 回归及多因素 Logistic 回归分析 ACI 患者发生 END 的影响因素;绘制受试者工作特征(ROC)曲线分析筛选出的血小板参数及凝血功能指标对 ACI 患者发生 END 的预测效能。结果 与健康对照组相比,ACI 组 PLT 增加,MPV、PDW 增大,FIB、D-D 水平升高,而 PT、APTT 和 TT 明显缩短,差异均有统计学意义( $P<0.05$ )。非 END 组 159 例,END 组 72 例。与非 END 组相比,END 组合并高血压比例、合并糖尿病比例、颈动脉狭窄率 $>50\%$ 比例及 D-D 水平升高,PLT 增加,MPV、PDW 增大,PT、APTT 缩短,差异均有统计学意义( $P<0.05$ )。多因素 Logistic 回归分析结果显示,PLT 增加、MPV 增大及 D-D 水平升高均是 ACI 患者发生 END 的危险因素( $P<0.05$ ),而 PT、APTT 延长均是 ACI 患者发生 END 的保护因素( $P<0.05$ )。PLT、MPV、PT、APTT、D-D 5 项联合预测 ACI 患者发生 END 的 ROC 曲线下面积(AUC)为 0.831,均大于 5 项指标单独预测的 AUC( $P<0.05$ )。结论 血小板参数和凝血功能指标在 ACI 的发生、发展中具有重要的作用,二者联合对预测 ACI 患者发生 END 有良好的效果。

**关键词:**血小板; 凝血功能; 急性脑梗死; 神经功能恶化; 预测价值

中图法分类号:R446.1;R743.3

文献标志码:A

文章编号:1672-9455(2026)16-2213-07

## Predictive value of platelet parameters combined with coagulation function indicators for early neurological deterioration in patients with acute cerebral infarction<sup>\*</sup>

Fan Kun, Wang Jie, Liu Chengcheng, Huang Ben, Wang Jue<sup>△</sup>

Department of Laboratory Medicine, the First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing, Jiangsu 210029, China

**Abstract:** **Objective** To detect platelet parameters and coagulation function indicators in patients with acute cerebral infarction (ACI), and to analyze their predictive value for early neurological deterioration (END) in ACI patients. **Methods** Retrospectively, 231 ACI patients hospitalized in the Department of Neurology of this hospital from June 2024 to June 2025 were selected as the ACI group, and 230 healthy volunteers who underwent physical examinations at the Health Management Center of this hospital during the same period were selected as the healthy control group. Platelet count (PLT), plateletcrit (PCT), mean platelet volume (MPV), platelet distribution width (PDW), prothrombin time (PT), activated partial thromboplastin time (APTT), thrombin time (TT), fibrinogen (FIB) and D-dimer (D-D) were collected when ACI patients were admitted to the hospital and when healthy volunteers underwent physical examinations. The clinical data be-

<sup>\*</sup> 基金项目:江苏省医学重点学科项目(ZDXK202239)。作者简介:范坤,男,主管技师,主要从事病原微生物检测的相关研究。 <sup>△</sup> 通信作者, E-mail:13852299659@163.com。

中文引用格式:范坤,王洁,刘成成,等.血小板参数与凝血功能指标联合预测急性脑梗死患者早期神经功能恶化的价值[J]. 检验医学与临床, 2026, 23(16): 2213-2219.

英文引用格式:Fan K, Wang J, Liu C C, et al. Predictive value of platelet parameters combined with coagulation function indicators for early neurological deterioration in patients with acute cerebral infarction[J]. Lab Med Clin, 2026, 23(16): 2213-2219.

tween the healthy control group and the ACI group were compared. National Institutes of Health Stroke Scale (NIHSS) scores were performed on ACI patients every 8 h within 7 d after admission, ACI patients were divided into the non-END group and the END group according to the changes in NIHSS scores, and the clinical data between the non-END group and the END group were compared. Lasso regression and multivariate Logistic regression were used to analyze the influencing factors for END in ACI patients. Receiver operating characteristic (ROC) curves were drawn to analyze the predictive efficacy of the selected platelet parameters and coagulation function indicators for the occurrence of END in ACI patients. **Results** Compared with the healthy control group, the ACI group exhibited increased PLT, enlarged MPV and PDW, higher levels of FIB and D-D, and apparently shortened PT, APTT and TT, with statistically significant differences ( $P < 0.05$ ). There were 159 cases in the non-END group, and 72 cases in the END group. Compared with the non-END group, the END group showed higher proportions of comorbid hypertension, comorbid diabetes mellitus and carotid artery stenosis ( $>50\%$ ), elevated D-D level, increased PLT, and enlarged MPV and PDW, as well as shortened PT and APTT, with statistically significant differences ( $P < 0.05$ ). Multivariate Logistic regression analysis results showed that increased PLT, enlarged MPV and increased D-D level were risk factors for END in ACI patients ( $P < 0.05$ ), whereas prolonged PT and APTT were protective factors for END in ACI patients ( $P < 0.05$ ). The area under ROC curve (AUC) for the combined prediction of PLT, MPV, PT, APTT and D-D for END in ACI patients was 0.831, which was significantly higher than the AUC of individual detection of each indicator ( $P < 0.05$ ). **Conclusion** Platelet parameters and coagulation function indicators play an important role in the occurrence and development of ACI, and combined detection has a good predictive effect for END in ACI patients.

**Key words:** platelet; coagulation function; acute cerebral infarction; neurological deterioration; predictive value

急性脑梗死(ACI)是缺血性脑卒中最常见的类型,主要由脑动脉粥样硬化、血栓形成或栓塞等导致脑部血液供应障碍,引起脑组织缺血缺氧性坏死<sup>[1-2]</sup>,其起病急,病情进展快。研究指出,早期神经功能恶化(END)是 ACI 患者常见的并发症,与致残率升高及不良预后相关<sup>[3]</sup>。因此,缺血性神经细胞的早期抢救至关重要<sup>[4]</sup>。然而,受严格时间窗及适应证的限制,能够在急性期接受再灌注治疗的患者仍相对较少,无法接受急性治疗的患者则面临较高的遗留功能缺陷风险<sup>[5]</sup>。因此,寻找积极、有效的 END 相关标志物,对于 ACI 患者的治疗和预后具有重要的临床意义。

研究显示,血小板参与凝血及动脉粥样硬化形成,在 ACI 发生、发展中起重要的作用<sup>[6]</sup>。李子恒等<sup>[7]</sup>研究指出,对于静脉溶栓后病情进展的患者应早期进行抗血小板治疗,能降低 END 的发生率。此外,血小板相关指标,如血小板计数与中性粒细胞比值<sup>[8]</sup>、血清 D-二聚体/血小板计数比值<sup>[9]</sup>等被报道与 ACI 患者的出血性转化有关。血小板计数与平均血小板体积(MPV)的比值与患者梗死病灶面积及脑动脉狭窄具有一定的相关性<sup>[10]</sup>。然而,也有研究认为血小板与 ACI 无关<sup>[11]</sup>。此外,关于凝血功能指标,Yuan 等<sup>[12]</sup>研究指出,凝血酶原时间(PT)、活化部分凝血活酶时间(APTT)与患者病情无统计学关联,而云静等<sup>[13]</sup>却发现,PT、APTT 与 ACI 患者的早期病情进

展相关。因此,为充分了解血小板参数及凝血功能指标在 ACI 患者早期 END 中的作用,本研究回顾性分析本院 231 例 ACI 患者的临床资料,探讨血小板参数及凝血功能指标的临床意义,以期为 ACI 患者的病情评估提供参考。现报道如下。

## 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 回顾性选取 2024 年 6 月至 2025 年 6 月在本院神经内科住院的 231 例 ACI 患者作为 ACI 组,其中男 145 例、女 86 例,年龄 30~91 岁、中位年龄为 66 岁。纳入标准:(1)患者为首次因 ACI 就诊;(2)年龄 $>18$  岁;(3)发病至入院时间小于 6 h;(4)所有患者均经过头颅磁共振或 CT 等影像学检查确认为 ACI,诊断标准符合《中国急性缺血性脑卒中诊治指南》<sup>[14]</sup>;(5)入院时即完成美国国立卫生研究院卒中量表(NIHSS)评分和相关实验室检查。排除标准:(1)患者近期服用过影响凝血功能的药物;(2)存在认知障碍或者肢体功能障碍等影响 NIHSS 评分;(3)合并血液系统疾病;(4)合并恶性肿瘤;(5)临床资料不完整。另外,选择同期在本院健康管理中心体检的 230 例健康志愿者作为健康对照组,要求:(1)年龄 $>18$  岁;(2)既往无精神/神经系统疾病、消化系统疾病、免疫系统疾病、血液系统疾病、感染性疾病及肿瘤病史;(3)心、肝、肾功能相关指标均正常;(4)未服用过影响凝血功能的药物。本研究经本院医学伦理委员会批准(2026-SR-248),免除签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 资料收集 收集所有研究对象性别、年龄;收集患者入院时的基础疾病情况(是否伴有高血压、糖尿病、高脂血症)及颈动脉狭窄程度;收集患者入院时和健康志愿者体检时的血小板计数(PLT)、血小板压积(PCT)、MPV、血小板分布宽度(PDW)、PT、APTT、凝血酶时间(TT)、纤维蛋白原(FIB)和 D-二聚体(D-D)。PLT、PCT、MPV、PDW 使用 XN-1000 全自动血细胞分析仪(希森美康,日本)检测;PT、APTT、TT、FIB、D-D 使用日本希森美康 CS5100 全自动凝血仪检测。

1.2.2 END 的定义与分组 根据相关研究和指南<sup>[15-17]</sup>,ACI 患者发生 END 的判断标准为:患者入院后 7 d 内每隔 8 h 进行 1 次 NIHSS 评分评估,当评分升高>2 分,并且运动或意识相关水平项目得分升高 1 分时,表明患者发生神经功能的恶化。从病历中提取相关资料,根据患者 NIHSS 评分变化情况进一步划分为 END 组和非 END 组。在本研究中,每位患者的 NIHSS 评分均由神经内科临床医师完成,评估内容包括意识水平、对指令的配合程度、眼球运动、视野缺损、肢体运动障碍、共济失调以及语言表达能力,总分为 0~42 分,得分越高表示神经功能损伤越严重。

1.3 统计学处理 本研究采用 R4.4.2、GraphPad Prism 9.0 和 MedCalc 20.0.22 统计软件进行统计分析。计数资料以频数、百分比表示,组间比较采用  $\chi^2$  检验。采用 Shapiro-Wilk 检验对计量资料进行正态

性检验,偏态分布的计量资料以  $M(P_{25},P_{75})$  表示,2 组间比较采用 Mann-Whitney  $U$  检验;使用 R4.4.2 软件中的“glmnet”程序包进行 Lasso 回归分析与 END 相关的因素,并通过“cv.glmnet”函数进行 10 折交叉验证来确定最优的惩罚项系数  $\lambda$ ;采用多因素 Logistic 回归分析 ACI 患者发生 END 的影响因素;绘制受试者工作特征(ROC)曲线分析筛选出的血小板指标及凝血功能指标对 ACI 患者发生 END 的预测效能。检验水准  $\alpha=0.05$ ,以  $P<0.05$  为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 健康对照组与 ACI 组临床资料比较 与健康对照组相比,ACI 组 PLT 增加,MPV、PDW 增大,FIB、D-D 水平升高,而 PT、APTT 和 TT 明显缩短,差异均有统计学意义( $P<0.05$ )。健康对照组与 ACI 组性别、年龄、PCT 比较,差异均无统计学意义( $P>0.05$ )。见表 1。

2.2 非 END 组与 END 组临床资料比较 231 例 ACI 患者在住院期间有 72 例(31.2%)发生了 END。非 END 组 159 例,END 组 72 例。与非 END 组相比,END 组合并高血压比例、合并糖尿病比例、颈动脉狭窄率>50%比例及 D-D 水平升高,PLT 增加,MPV、PDW 增大,PT、APTT 缩短,差异均有统计学意义( $P<0.05$ )。非 END 组与 END 组性别、年龄、合并高脂血症比例、PCT 及 FIB 水平比较,差异均无统计学意义( $P>0.05$ )。见表 2。

表 1 健康对照组与 ACI 组临床资料比较[ $M(P_{25},P_{75})$ 或  $n(\%)$ ]

| 组别         | <i>n</i> | 年龄(岁)              | 性别         |           | PLT( $\times 10^9/L$ ) | PCT(%)          | MPV(fL)            |
|------------|----------|--------------------|------------|-----------|------------------------|-----------------|--------------------|
|            |          |                    | 男          | 女         |                        |                 |                    |
| ACI 组      | 231      | 66.00(57.50,73.00) | 145(62.77) | 86(37.23) | 278.00(244.00,317.00)  | 0.19(0.15,0.22) | 10.80(10.10,11.80) |
| 健康对照组      | 230      | 64.50(56.00,72.00) | 138(60.00) | 92(40.00) | 208.00(184.00,239.00)  | 0.18(0.16,0.21) | 8.87(8.11,9.68)    |
| $Z/\chi^2$ |          | 1.51               |            | 0.37      | 12.15                  | -0.10           | 14.79              |
| <i>P</i>   |          | 0.13               |            | 0.54      | <0.001                 | 0.92            | <0.001             |

| 组别         | <i>n</i> | PDW(%)             | PT(s)              | APTT(s)            | FIB(g/L)        | TT(s)              | D-D(mg/L)       |
|------------|----------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|
| ACI 组      | 231      | 16.92(16.44,17.21) | 8.20(7.50,8.60)    | 18.10(16.70,20.15) | 5.12(4.76,5.57) | 13.40(12.70,14.10) | 2.42(2.20,3.24) |
| 健康对照组      | 230      | 16.00(12.83,16.50) | 13.10(12.50,13.60) | 28.10(26.52,30.10) | 2.52(2.26,2.92) | 21.30(20.50,22.00) | 0.60(0.20,1.04) |
| $Z/\chi^2$ |          | 12.57              | -17.95             | -17.52             | 11.94           | -16.96             | 17.67           |
| <i>P</i>   |          | <0.001             | <0.001             | <0.001             | <0.001          | <0.001             | <0.001          |

表 2 非 END 组与 END 组临床资料比较[ $n(\%)$ 或  $M(P_{25},P_{75})$ ]

| 组别         | <i>n</i> | 合并高血压     |           | 合并糖尿病      |           | 合并高脂血症     |           |
|------------|----------|-----------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|
|            |          | 否         | 是         | 否          | 是         | 否          | 是         |
| 非 END 组    | 159      | 90(56.60) | 69(43.40) | 132(83.02) | 27(16.98) | 105(66.04) | 54(33.96) |
| END 组      | 72       | 10(13.89) | 62(86.11) | 38(52.78)  | 34(47.22) | 50(69.44)  | 22(30.56) |
| $\chi^2/Z$ |          |           | 36.83     |            | 23.32     |            | 1.52      |
| <i>P</i>   |          |           | <0.001    |            | <0.001    |            | 0.22      |

续表 2 非 END 组与 END 组临床资料比较[ $n(\%)$ 或  $M(P_{25}, P_{75})$ ]

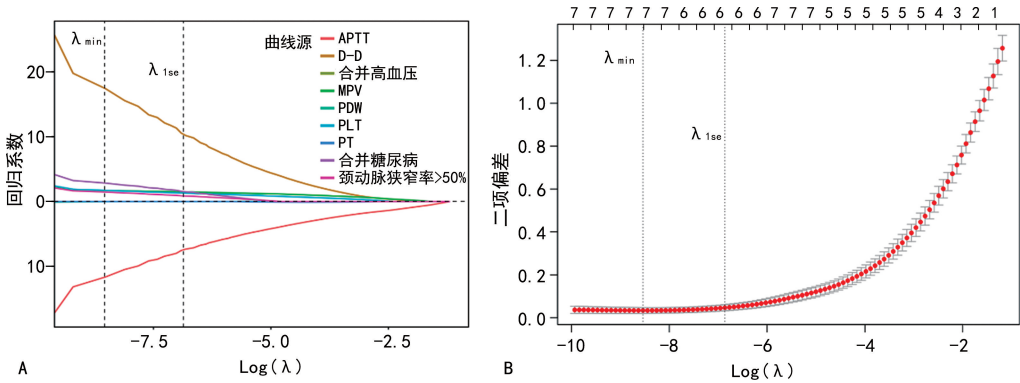
| 组别         | $n$ | 颈动脉狭窄度 $>50\%$ |           | 年龄(岁)              | 性别         |           |
|------------|-----|----------------|-----------|--------------------|------------|-----------|
|            |     | 否              | 是         |                    | 男          | 女         |
| 非 END 组    | 159 | 139(87.42)     | 20(12.58) | 66.00(58.00,74.00) | 102(64.15) | 57(35.85) |
| END 组      | 72  | 20(12.58)      | 52(72.22) | 65.50(56.00,72.00) | 43(59.72)  | 29(40.28) |
| $\chi^2/Z$ |     | 10.77          |           | -0.88              | 0.42       |           |
| $P$        |     | $<0.05$        |           | 0.38               | 0.52       |           |

| 组别         | $n$ | PLT( $\times 10^9/L$ ) | PCT( $\%$ )     | MPV(fL)            | PDW( $\%$ )        | PT(s)              |
|------------|-----|------------------------|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 非 END 组    | 159 | 202.00(169.00,233.00)  | 0.21(0.18,0.24) | 10.50(9.80,11.00)  | 15.80(12.45,16.30) | 11.20(10.70,11.70) |
| END 组      | 72  | 240.50(202.50,269.25)  | 0.20(0.18,0.23) | 11.95(11.25,12.40) | 16.45(13.05,16.80) | 9.80(9.20,10.70)   |
| $\chi^2/Z$ |     | -4.56                  | -1.09           | -7.86              | -3.87              | 8.11               |
| $P$        |     | $<0.001$               | 0.28            | $<0.001$           | $<0.001$           | $<0.001$           |

| 组别         | $n$ | APTT(s)            | FIB(g/L)        | TT(s)              | D-D(mg/L)       |
|------------|-----|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|
| 非 END 组    | 159 | 12.90(11.85,14.40) | 2.57(2.26,3.05) | 17.50(16.75,18.10) | 2.26(2.17,3.04) |
| END 组      | 72  | 9.35(8.28,11.20)   | 2.76(2.38,3.18) | 17.20(16.40,17.90) | 2.80(2.57,4.17) |
| $\chi^2/Z$ |     | 10.33              | -0.52           | -1.70              | -7.36           |
| $P$        |     | $<0.001$           | 0.60            | 0.09               | $<0.001$        |

2.3 Lasso 回归分析 以 ACI 患者是否发生 END (否=0,是=1)为因变量,合并高血压(否=0,是=1)、合并糖尿病(否=0,是=1)、颈动脉狭窄率 $>50\%$  (否=0,是=1)、PLT(原值输入)、MPV(原值输入)、PDW(原值输入)、D-D(原值输入)、PT(原值输入)、

APTT(原值输入)为自变量,进行 Lasso 回归分析。Lasso 回归交叉验证曲线分析结果显示,以  $\lambda_{1se}$  [ $\text{Log}(\lambda)=-6.863$ ]时交叉验证误差最小,所对应的自变量有 6 个:合并高血压、PLT、MPV、PT、APTT 和 D-D。见图 1。



注:A 为 Lasso 回归分析筛选变量的过程;B 为 Lasso 回归分析的交叉验证曲线图。

图 1 Lasso 回归分析

2.4 多因素 Logistic 回归分析 ACI 患者发生 END 的影响因素 将 Lasso 回归筛选得到的 6 个指标纳入多因素 Logistic 回归分析。以 ACI 患者是否发生 END(否=0,是=1)为因变量,合并高血压(否=0,是=1)、PLT(原值输入)、MPV(原值输入)、D-D(原值输入)、PT(原值输入)、APTT(原值输入)为自变量,进行多因素 Logistic 回归分析。结果显示,PLT 增加、MPV 增大及 D-D 水平升高均是 ACI 患者发生 END 的危险因素( $P<0.05$ ),而 PT、APTT 延长均是 ACI 患者发生 END 的保护因素( $P<0.05$ )。为评估 PLT、MPV、PT、APTT 和 D-D 单独成模的预测效能

(用于后续 ROC 曲线分析),另行拟合仅含 PLT、MPV、PT、APTT 和 D-D 的简化模型,结果显示 PLT、MPV、PT、APTT 和 D-D 仍与 ACI 患者发生 END 相关( $P<0.05$ )。见表 3。

表 3 多因素 Logistic 回归分析 ACI 患者发生 END 的影响因素

| 因素    | $\beta$ | SE   | Wald $\chi^2$ | $P$      | OR   | OR 的 95%CI |
|-------|---------|------|---------------|----------|------|------------|
| 模型 1  |         |      |               |          |      |            |
| 常数项   | -7.95   | 4.14 | 26.11         | 0.005    | —    | —          |
| 合并高血压 | -0.37   | 0.30 | 1.51          | 0.218    | 0.69 | 0.38~1.25  |
| PLT   | 0.03    | 0.01 | 3.25          | $<0.001$ | 1.03 | 1.01~1.05  |

续表 3 多因素 Logistic 回归分析 ACI 患者发生 END 的影响因素

| 因素   | $\beta$ | SE   | Wald $\chi^2$ | P      | OR   | OR 的 95%CI |
|------|---------|------|---------------|--------|------|------------|
| MPV  | 0.94    | 0.20 | 21.90         | <0.001 | 2.56 | 1.72~3.77  |
| PT   | -0.94   | 0.22 | 18.15         | <0.001 | 0.39 | 0.25~0.60  |
| APTT | -0.69   | 0.09 | 60.53         | 0.042  | 0.50 | 0.42~0.60  |
| D-D  | 1.53    | 0.35 | 19.45         | 0.003  | 4.62 | 2.34~9.13  |

模型 2

|      |       |      |       |        |      |           |
|------|-------|------|-------|--------|------|-----------|
| 常数项  | -8.89 | 4.17 | 4.53  | 0.033  | —    | —         |
| PLT  | 0.02  | 0.00 | 13.29 | <0.001 | 1.02 | 1.01~1.04 |
| MPV  | 1.17  | 0.18 | 43.69 | <0.001 | 3.22 | 2.26~4.59 |
| PT   | -1.32 | 0.21 | 40.99 | <0.001 | 0.27 | 0.18~0.40 |
| APTT | -1.58 | 0.25 | 41.24 | 0.020  | 0.21 | 0.13~0.33 |
| D-D  | 1.30  | 0.24 | 29.12 | 0.004  | 3.67 | 2.29~5.91 |

注:模型 1 是全模型;模型 2 是拟合仅含 PLT、MPV、PT、APTT 和 D-D 的简化模型,用于后续的 ROC 曲线分析;—表示无数据。

2.5 PLT、MPV、PT、APTT、D-D 单独及 5 项联合对 ACI 患者发生 END 的预测效能 以 ACI 患者是否发生 END(是=1,否=0)作为状态变量,以 PLT、MPV、PT、APTT、D-D 单独及 5 项联合作为检验变量,绘制 ROC 曲线。基于前面多因素 Logistic 回归分析结果,构

建 PLT、MPV、PT、APTT、D-D 5 项联合预测的回归方程:  $\text{Logit}(P) = -8.89 + 0.02X_{\text{PLT}} + 1.17X_{\text{MPV}} - 1.32X_{\text{PT}} - 1.58X_{\text{APTT}} + 1.30X_{\text{D-D}}$ 。结果显示,PLT、MPV、PT、APTT、D-D 5 项联合预测 ACI 患者发生 END 的曲线下面积(AUC)为 0.831,均大于 5 项单独预测的 AUC,差异均有统计学意义( $Z=4.448$ 、 $2.959$ 、 $4.896$ 、 $4.649$ 、 $2.448$ ,均  $P<0.05$ )。见图 2 和表 4。

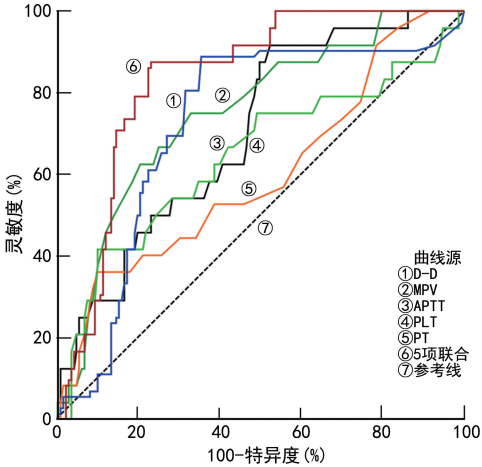


图 2 血小板参数及凝血功能指标预测 ACI 患者发生 END 的 ROC 曲线

表 4 血小板参数及凝血功能指标对 ACI 患者发生 END 的预测价值

| 指标    | 最佳截断值                        | AUC(95%CI)         | 灵敏度(%) | 特异度(%) | 约登指数 | P      |
|-------|------------------------------|--------------------|--------|--------|------|--------|
| PLT   | $206 \times 10^9 / \text{L}$ | 0.698(0.634~0.757) | 91.67  | 47.20  | 0.39 | <0.001 |
| MPV   | 10.70 fL                     | 0.742(0.680~0.797) | 75.00  | 66.46  | 0.41 | <0.001 |
| PT    | 12.10 s                      | 0.598(0.531~0.662) | 71.15  | 53.85  | 0.25 | 0.019  |
| APTT  | 24.70 s                      | 0.643(0.577~0.706) | 41.67  | 78.71  | 0.20 | 0.001  |
| D-D   | 0.39 mg/L                    | 0.703(0.640~0.761) | 88.89  | 62.26  | 0.51 | <0.001 |
| 5 项联合 | —                            | 0.831(0.776~0.878) | 87.50  | 76.62  | 0.64 | <0.001 |

注:5 项联合取多因素 Logistic 回归模型的预测概率值;—表示无数据。

3 讨 论

ACI 是一组由脑供血动脉突然出现血流减少或中断所引起的综合征,伴有相应的神经功能障碍<sup>[18-19]</sup>。临床上,尽早实现血管再通是治疗 ACI 的关键。早期 END 是 ACI 患者溶栓治疗后常见的并发症,与致残率增加及不良预后显著相关<sup>[20]</sup>。研究指出,血栓形成和动脉粥样硬化是 ACI 主要的病理过程,也是预防 ACI 的重要治疗策略<sup>[21]</sup>。这提示了血小板及其凝血途径在 ACI 的发生、发展中具有重要作用。

在血小板参数方面,本研究结果显示,与健康对照组相比,ACI 组入院时 PLT 增加,MPV、PDW 增大,提示 PLT、MPV、PDW 在 ACI 的发生、发展中具有重要的作用。生理条件下,健康个体的 PLT 通常稳定且变化很小,对维持体内生态平衡至关重要<sup>[22]</sup>。然而,有研究表明血小板及其参数广泛参与多种炎症

性疾病的病理过程<sup>[23]</sup>。ACI 是一种强烈的应激状态,脑组织缺血坏死会引发全身性的炎症反应,刺激生成和释放更多的血小板,尤其是体积更大、更年轻、活性更强的血小板,表现为 PLT 增加及 MPV、PDW 增大,这与本研究的发现一致。MPV 和 PDW 是反映血小板活化的指标,而血小板活化是推动动脉粥样硬化发生、发展的重要环节<sup>[24]</sup>。Lu 等<sup>[25]</sup>利用透射电子显微镜观察发现,ACI 发生后,血小板中的  $\alpha$  颗粒数量显著减少,高尔基体管状结构和囊泡明显增厚、增大且形状不规则,这提示血小板及其参数参与 ACI 的病理过程。此外,本研究 231 例 ACI 患者中,共有 72 例(31.2%)在住院期间发生 END。临床特征分析显示,与非 END 组相比,END 组患者合并高血压比例、合并糖尿病比例、颈动脉狭窄率  $>50\%$  比例更高,提示有这些基础疾病的 ACI 患者会增加 END 发生的风险。进一步分析显示,与非 END 组患者相比,END

组患者的 PLT 增加,MPV、PDW 增大。多因素 Logistic 回归分析表明,PLT 增加、MPV 增大均是 ACI 患者发生 END 的危险因素,提示血小板不仅参与了 ACI 的发生,其活化程度的高低直接与早期病情恶化相关。这可能是因为体积更大的血小板(高 MPV)含有更多的致密颗粒和  $\alpha$  颗粒,能释放更多的 ADP、血栓素 A2 等形成“血栓前状态”,更容易在血管或侧支循环中形成新的微栓子,促进神经功能缺损的进展,导致 END 的发生<sup>[26-27]</sup>。

在凝血功能指标方面,本研究发现 END 组患者呈现出更显著的高凝状态和纤溶激活,即 PT、APTT 缩短,D-D 水平升高。PT 和 APTT 主要反映了内源性和外源性凝血系统的功能。在高凝状态中,凝血时间显著缩短,大量的 FIB 被激活参与血栓形成。研究显示,对 ACI 患者有效治疗后,可以纠正患者的高凝状态,患者的 PT、APTT 会明显长于治疗前<sup>[28]</sup>。而 D-D 主要反映纤维蛋白的溶解情况,在血栓形成过程中,纤溶系统激活,血栓中的交联纤维蛋白会被降解产生大量的 D-D。Wen 等<sup>[29]</sup>研究发现,血浆 D-D 水平在含有颈动脉斑块的 ACI 患者中明显更高,并与疾病严重程度相关。在本研究中,多因素 Logistic 回归分析结果显示,D-D 水平升高是 ACI 患者发生 END 的危险因素,而 PT、APTT 延长均是 ACI 患者发生 END 的保护因素,这与云静等<sup>[13]</sup>的研究一致,但也存在不同报道<sup>[30]</sup>。这种差异可能源于人群的异质性。研究指出,END 的发生往往与血栓的再次形成或扩展有关<sup>[31]</sup>。此外,高水平的 D-D 反映了纤溶状态的亢进,可能导致血管壁的进一步损伤,增加了 END 的风险<sup>[32-33]</sup>。本研究结果提示,凝血功能指标的异常,尤其是高凝状态,可能参与了 END 的发生。

本研究 ROC 曲线分析结果显示,PLT、MPV、PT、APTT、D-D 5 项联合预测 ACI 患者发生 END 的 AUC 为 0.831,灵敏度为 87.50%,特异度为 76.62%,提示血小板参数和凝血功能指标联合具有良好的预测效能。分析其原因:在 ACI 发生的过程中,血小板激活参与血栓形成,并释放炎症介质,促进了炎症反应和脑部损伤,而凝血系统的失衡和纤溶状态的亢进加重了血管中的高凝状态和血管壁损伤,从而增加了 ACI 患者 END 发生率。

虽然本研究指出了血小板参数及凝血功能指标在 ACI 患者发生 END 中的临床意义,但也存在一定的局限性。首先,本研究为单中心的回顾性研究,结果外推性受限,未来仍需要多中心、大样本的数据来验证结果。其次,关于血小板参数及凝血相关指标在 ACI 患者病情中的分子作用机制,仍需要进一步的分子实验来验证。

综上所述,血小板参数和凝血功能指标在 ACI 进展中具有重要作用,二者联合对 ACI 患者发生 END 具有较好的预测效能。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突。

**作者贡献** 范坤:数据收集整理,统计分析,论文撰写;王洁:文献检索,数据及资料收集;刘成成:数据核对,统计分析;黄奔:可行性分析,论文修订;王珏:研究设计和论文审阅。

## 参考文献

- [1] Shao Y J, Zhang Y, Wu R R, et al. Network pharmacology approach to investigate the multitarget mechanisms of Zhishi Rhubarb Soup on acute cerebral infarction [J]. Pharm Biol, 2022, 60(1): 1394-1406.
- [2] Li L D, Zhou Y, Shi S F. Edaravone combined with Shuxuening versus edaravone alone in the treatment of acute cerebral infarction: a systematic review and Meta-analysis [J]. Medicine (Madr), 2023, 102(9): e32929.
- [3] Jin M Z, Peng Q X, Wang Y D. Post-thrombolysis early neurological deterioration occurs with or without hemorrhagic transformation in acute cerebral infarction: risk factors, prediction model and prognosis [J]. Heliyon, 2023, 9(5): e15620.
- [4] Anderson C S, Huang Y N, Lindley R I, et al. Intensive blood pressure reduction with intravenous thrombolysis therapy for acute ischaemic stroke (ENCHANTED): an international, randomised, open-label, blinded-endpoint, phase 3 trial [J]. Lancet, 2019, 393(10174): 877-888.
- [5] Furukawa T K, Miyake Y, Ito H, et al. Interleukin-27 deletion has neuroprotective effects in the acute ischemic stage of cerebral infarction [J]. Biochem Biophys Res Commun, 2025, 755: 151581.
- [6] Lukasik M, Rozalski M, Luzak B, et al. Platelet activation and reactivity in the convalescent phase of ischaemic stroke [J]. Thromb Haemost, 2010, 103(3): 644-650.
- [7] 李子恒, 刘毅. 急性缺血性卒中静脉溶栓后早期抗血小板治疗的研究现状与展望 [J]. 中国卒中杂志, 2025, 20(8): 1042-1050.
- [8] Liu F, Jin M, Zhang Z, et al. Platelet-to-neutrophil ratio is related to hemorrhagic transformation in patients with acute cerebral infarction [J]. Neurologist, 2022, 27(5): 230-234.
- [9] 赵静怡, 王慧词, 王欢, 等. 血清 D-二聚体/血小板比值对老年缺血性脑卒中患者并发消化道出血的预测效能 [J]. 中华老年多器官疾病杂志, 2025, 24(9): 692-696.
- [10] 李杰, 钟子安. PAI-1、MPV/PLT 与脑梗死患者梗死病灶面积及脑动脉狭窄的关系 [J]. 国际检验医学杂志, 2025, 46(8): 987-991.
- [11] Järemo P, Eriksson-Franzen M, Milovanovic M. Platelets, gender and acute cerebral infarction [J]. J Transl Med, 2015, 13: 267.
- [12] Yuan Q F, Yu L, Wang F. Efficacy of using thromboelastography to detect coagulation function and platelet function in patients with acute cerebral infarction [J]. Acta Neurol Belg, 2021, 121(6): 1661-1667.
- [13] 云静, 邓春颖, 左俊琴, 等. 血常规及凝血相关指标与急性

穿支动脉粥样硬化性脑梗死早期病情进展关系的研究[J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2024, 26(8): 906-910.

[14] 赵玲娟, 刘岩, 文力. 《中国急性缺血性卒中诊治指南 2023》治疗策略解析[J]. 临床药物治疗杂志, 2024, 22(11): 1-6.

[15] Chalos V, van der Ende N A M, Lingsma H F, et al. National institutes of health stroke scale: an alternative primary outcome measure for trials of acute treatment for ischemic stroke[J]. Stroke, 2020, 51(1): 282-290.

[16] Park S H, Kim J, Yoon C W, et al. Rescue therapy of early neurological deterioration in lacunar stroke[J]. BMC Neurol, 2024, 24(1): 329.

[17] 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. 中国急性缺血性卒中诊治指南 2023[J]. 中华神经科杂志, 2024, 57(6): 523-559.

[18] 林小惠, 陈鸿宾, 林菲菲, 等. 急性大脑中动脉闭塞患者血管再通治疗后早期神经功能恶化的预测指标及对预后的影响[J]. 中国医刊, 2022, 57(2): 201-204.

[19] Pensato U, Demchuk A M, Menon B K, et al. Cerebral infarct growth: pathophysiology, pragmatic assessment, and clinical implications[J]. Stroke, 2025, 56(1): 219-229.

[20] Zhang M, Zhu W S, Ma Y, et al. Early neurological deterioration and hypoperfusion volume ratio on arterial spin labeling in patients with acute ischemic stroke[J]. J Stroke Cerebrovasc Dis, 2021, 30(8): 105885.

[21] Wang Y, Mulder I A, Westendorp W F, et al. Immuno-thrombosis in acute ischemic stroke[J]. Stroke, 2025, 56(2): 553-563.

[22] Tyagi T, Jain K, Gu S X, et al. A guide to molecular and functional investigations of platelets to bridge basic and clinical sciences[J]. Nat Cardiovasc Res, 2022, 1(3): 223-237.

[23] van der Meijden P E J, Heemskerk J W M. Platelet biology and functions: new concepts and clinical perspectives[J]. Nat Rev Cardiol, 2019, 16(3): 166-179.

[24] 张建村, 王新星, 仝海波. 血小板活化在急性脑梗死中的作用研究进展[J]. 中国卒中杂志, 2024, 19(5): 579-585.

[25] Lu W, Xu D, Tu R, et al. Morphology of platelet golgi apparatus and their significance after acute cerebral infarction[J]. Neural Regen Res, 2013, 8(23): 2134-2143.

[26] 罗文平, 李小玉, 叶明, 等. NLR、MPV 与急性脑干梗死患者早期神经功能恶化的相关研究[J]. 牡丹江医科大学学报, 2025, 46(3): 102-106.

[27] Kanazawa K, Miyamoto N, Hira K, et al. Baseline platelet count may predict short-term functional outcome of cerebral infarction[J]. BMC Neurol, 2022, 22(1): 314.

[28] Xiao Z X, Zhang S D, Zeng L. Effect of Jin three needles combined with Tong Qiao and blood activation Tang on neurological function, coagulation function and serum level in stroke patients[J]. Medicine (Madr), 2023, 102(32): e34459.

[29] Wen H J, Wang N, Hou R H. Correlation analysis between D-dimer-to-fibrinogen-ratio and carotid plaque in young patients aged 18—45 with acute cerebral infarction[J]. Clin Neurol Neurosurg, 2022, 222: 107427.

[30] 陈森, 林月苹, 张玉霞. 联合检测凝血指标 APTT、TT、PT、Fbg 及血清 hs-CRP、Hcy 在预测急性脑梗死早期病情进展中的临床价值[J]. 中国医药指南, 2025, 23(8): 50-52.

[31] 韩志莹, 吴海华. 血小板聚集率联合 D-二聚体对急性缺血性卒中患者静脉溶栓后早期神经功能恶化的预测研究[J]. 临床血液学杂志, 2025, 38(8): 593-597.

[32] 杨雪, 陈洪, 易兴阳, 等. 血小板活化相关基因多态性与脑梗死患者颈动脉狭窄的相关性研究[J]. 卒中与神经疾病, 2022, 29(6): 545-549.

[33] Wang Q W, Yin J W, Xu L, et al. Development and validation of outcome prediction model for reperfusion therapy in acute ischemic stroke using nomogram and machine learning[J]. Neurol Sci, 2024, 45(7): 3255-3266.

(收稿日期: 2025-12-05 修回日期: 2026-05-08)  
(编辑: 陈秋莲 廖薇薇)

(上接第 2212 页)

[22] Kure N, Krogstrup N V, Oltean M, et al.  $\beta$ -trace protein and  $\beta$ 2-microglobulin do not improve estimation of glomerular filtration rate in kidney transplant recipients compared with creatinine and cystatin C[J]. Transplant Proc, 2023, 55(9): 2071-2078.

[23] Hofbauer D, Mougiakakos D, Broggin L, et al.  $\beta$ 2-microglobulin triggers NLRP3 inflammasome activation in tumor-associated macrophages to promote multiple myeloma progression[J]. Immunity, 2021, 54(8): 1772-1787.e9.

[24] Wada H, Yata K, Mikami M, et al. Multiple myeloma complicated by autoimmune hemolytic anemia[J]. Intern Med, 2004, 43(7): 595-598.

[25] Leung N, Rajkumar S V. Multiple myeloma with acute light chain cast nephropathy[J]. Blood Cancer J, 2023, 13(1): 46.

[26] Liu M, Zhang J Y. Reduction rate of monoclonal protein as a useful prognostic factor in standard-risk group of newly diagnosed multiple myeloma[J]. World J Clin Cases, 2023, 11(24): 5643-5652.

[27] 程旭, 陆晔, 李蓉, 等. 多发性骨髓瘤患者血清铁调素与白细胞介素-6 表达水平及其与贫血的关系[J]. 国际输血及血液学杂志, 2015, 38(4): 289-292.

(收稿日期: 2025-12-19 修回日期: 2026-07-17)  
(编辑: 陈秋莲 廖薇薇)