

CTA-APCIIS联合CTP-ASPECTS评估急性前循环卒中预后的价值

李汶轩, 张晓冬*, 徐睿, 朱继

重庆医科大学附属第一医院神经外科, 重庆

收稿日期: 2026年2月3日; 录用日期: 2026年2月26日; 发布日期: 2026年3月6日

摘要

目的: 本研究旨在探讨并验证将CT血管成像(CTA)衍生的APCIIS评分与CT灌注成像(CTP)衍生的ASPECTS评分相结合进行联合评估的方法, 在预测急性前循环缺血性卒中(AIS)患者90天功能预后中的临床应用价值。方法: 采用回顾性队列研究设计, 连续纳入发病24小时内完成一站式CTA/CTP检查的前循环大血管闭塞性AIS患者。评估指标包括基于CTA的改良血栓负荷评分(APCIIS)、基于CTP的核心梗死范围评分(CTP-ASPECTS)。收集患者90天改良Rankin量表(mRS)评分, 并依据mRS ≤ 2 与mRS > 2 分为预后良好组与预后不良组。采用单因素及多因素Logistic回归分析筛选预后独立预测因素。通过受试者工作特征(ROC)曲线评估各单一评分及将多个影像学参数纳入Logistic回归模型后所得综合预测概率对不良预后的预测效能, 并比较其曲线下面积(AUC)。结果: 共纳入90例患者, 其中预后良好69例(76.7%), 预后不良21例(23.3%)。单因素分析显示, 预后不良组患者基线美国国立卫生研究院卒中量表(NIHSS)评分、CTA-APCIIS评分显著更高, 而CTP-ASPECTS评分显著更低(均 $P < 0.05$)。多因素Logistic回归分析显示, 在校正基线NIHSS评分后, 较高的CTA-APCIIS评分(OR = 1.32, 95% CI: 1.05~1.66)与较低的CTP-ASPECTS评分(OR = 0.76, 95% CI: 0.59~0.98)是预后不良的独立危险因素。ROC曲线分析显示, 联合了CTA-APCIIS与CTP-ASPECTS评分的多因素模型, 其预测90天不良预后的AUC为0.927 (95% CI: 0.867~0.987), 预测效能显著高于单一的CTA评分(AUC = 0.845)或单一的CTP-ASPECTS评分(AUC = 0.883)。结论: 基于多模态CTA/CTP构建的侧支循环的多参数联合评估模型, 整合了血管闭塞负荷、核心梗死范围及侧支循环状态信息, 在预测急性前循环AIS患者预后方面, 较任何单一影像学评分具有更高的预测效能, 为临床提供了一个更全面、精准的预后评估策略。

关键词

急性缺血性卒中, 前循环, 计算机断层扫描血管成像, 计算机断层扫描灌注成像, 侧支循环, 预后

The Value of Combined CTA-APCIIS and CTP-ASPECTS in Evaluating Prognosis of Acute Anterior Circulation Stroke

*通讯作者。

文章引用: 李汶轩, 张晓冬, 徐睿, 朱继. CTA-APCIIS 联合 CTP-ASPECTS 评估急性前循环卒中预后的价值[J]. 临床医学进展, 2026, 16(3): 1176-1185. DOI: 10.12677/acm.2026.163894

Wenxuan Li, Xiaodong Zhang*, Rui Xu, Ji Zhu

Department of Neurosurgery, The First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

Received: February 3, 2026; accepted: February 26, 2026; published: March 6, 2026

Abstract

Objective: This study aimed to explore and validate the clinical utility of a combined assessment model integrating the APCIIS score derived from CT angiography (CTA) and the ASPECTS score derived from CT perfusion (CTP) in predicting 90-day functional outcomes for patients with acute anterior circulation ischemic stroke (AIS). **Methods:** A retrospective cohort study was designed, consecutively enrolling AIS patients with large vessel occlusion in the anterior circulation who underwent one-stop CTA/CTP examination within 24 hours of onset. Evaluation metrics included the modified thrombus burden score (APCIIS) based on CTA and the core infarction extent score (CTP-ASPECTS) based on CTP. The 90-day modified Rankin Scale (mRS) scores were collected, and patients were categorized into favorable (mRS ≤ 2) and unfavorable (mRS > 2) outcome groups. Univariate and multivariate logistic regression analyses were performed to identify independent predictors of prognosis. The predictive efficacy of individual scores and the comprehensive probability derived from a logistic regression model incorporating multiple imaging parameters for unfavorable outcomes were evaluated using receiver operating characteristic (ROC) curves, and their areas under the curve (AUC) were compared. **Results:** A total of 90 patients were included, comprising 69 (76.7%) with favorable outcomes and 21 (23.3%) with unfavorable outcomes. Univariate analysis revealed that patients in the unfavorable outcome group had significantly higher baseline National Institutes of Health Stroke Scale (NIHSS) scores and CTA-APCIIS scores, while their CTP-ASPECTS scores were significantly lower (all $P < 0.05$). Multivariate logistic regression analysis demonstrated that, after adjusting for baseline NIHSS scores, a higher CTA-APCIIS score (OR = 1.32, 95% CI: 1.05~1.66) and a lower CTP-ASPECTS score (OR = 0.76, 95% CI: 0.59~0.98) were independent risk factors for unfavorable outcomes. ROC curve analysis showed that the multivariate model combining CTA-APCIIS and CTP-ASPECTS scores achieved an AUC of 0.927 (95% CI: 0.867~0.987) for predicting 90-day unfavorable outcomes. This predictive performance was significantly superior to that of the CTA-APCIIS score alone (AUC = 0.845) or the CTP-ASPECTS score alone (AUC = 0.883). **Conclusion:** The multiparameter combined assessment model based on multimodal CTA/CTP, integrating information on vascular occlusion burden, core infarction extent, and collateral circulation status, exhibits superior predictive efficacy for the prognosis of acute anterior circulation AIS patients compared to any single imaging score. This approach offers a more comprehensive and precise strategy for clinical prognosis evaluation.

Keywords**Acute Ischemic Stroke, Anterior Circulation, Computed Tomography Angiography, Computed Tomography Perfusion, Collateral Circulation, Prognosis**

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

急性缺血性卒中(acute ischemic stroke, AIS)是全球范围内致残和致死的主要原因之一, 其中前循环大

血管闭塞所致卒中往往病情更重,预后更差[1]。快速、准确地评估患者病情严重程度并预测其功能转归,对于临床决策制定、医疗资源分配及家属沟通均至关重要。目前,临床广泛使用的预后评估工具主要包括反映神经功能缺损程度的美国国立卫生研究院卒中量表(National Institute of Health Stroke Scale, NIHSS),以及基于影像学的评分系统,如阿尔伯塔卒中项目早期CT评分(alberta stroke program early CT score, ASPECTS)和血栓负荷评分(clot burden score, CBS) [2]-[4]。然而,这些工具各有侧重亦存在局限。NIHSS评分虽能有效评估神经功能,但受主观因素影响较大,且无法直观反映颅内血管及血流动力学状态。ASPECTS评分主要评估早期缺血性改变的范围,但对侧支循环代偿能力的评估不足。CBS等血管评分量化了闭塞血管的解剖负荷,却未能直接体现侧支循环对下游脑组织的实际灌注效果。

随着多模态CT成像技术的普及,CTA与CTP检查已成为高级卒中中心评估急性AIS的常规流程[5]。该技术能够在一次检查中,无创、快速地同步提供脑血管的解剖学信息(CTA)和脑组织微循环的血流动力学信息(CTP)。其中,CTA可精确显示责任血管的闭塞部位与范围[6],而CTP特别是其脑血容量参数图,已被证实能可靠地界定已发生不可逆损伤的梗死核心区域[7]。这为我们同时获取“血管病变”与“实际血供”这两大关键预后决定因素提供了技术可能。本项目组前期已经构建并验证一种新型急性缺血性脑卒中(acute ischemic stroke, AIS)评分系统-前后循环梗死评分系统(anterior and posterior circulation infarction image score, APCIIS),该评分系统利用主干血管的闭塞程度预测预急性缺血性脑卒中患者预后具有很高的敏感度和特异度,但其对侧支循环以及脑组织血流的实际灌注评估能力仍是不足的[8]。

因此,本研究创新性地将能够反映大血管闭塞严重程度的CTA评分(APCIIS)与能够反映核心梗死范围及侧支代偿功能的CTP-ASPECTS评分进行整合,旨在拓展多模态CT技术的临床应用维度,提升病情评估的有效性与可靠性。基于此,本研究拟深入探讨CTA-APCIIS联合CTP-ASPECTS在预测急性前循环缺血性卒中患者预后中的价值,以期加深对侧支循环在卒中转归中作用机制的理解。

2. 资料与方法

2.1. 研究对象

本研究为一项单中心回顾性观察性研究。收集了2024年7月至2025年7月期间于重庆医科大学附属第一医院就诊的急性前循环缺血性卒中患者的临床及影像学资料。纳入标准如下:(1)年龄 ≥ 18 岁;(2)临床诊断为急性缺血性卒中,并经头颅CT或MRI弥散加权成像(DWI)序列证实;(3)一站式CTA/CTP检查证实存在前循环大血管(包括颈内动脉末端、大脑中动脉M1或M2段)重度狭窄或闭塞;(4)从发病到完成CTA/CTP检查的时间在24小时以内;(5)具备完整的90天门诊随访或电话随访改良Rankin量表(mRS)评分。排除标准包括:(1)后循环梗死;(2)入院前已存在严重残疾(基线mRS > 2 分);(3)合并颅内出血或其他非缺血性颅内病变;(4)CTA/CTP图像质量差,存在严重运动伪影影响评估;(5)临床资料不完整。本研究已获得伦理审查委员会的批准,并获得了所有参与患者或其法定代理人的知情同意。

2.2. 影像学数据采集与后处理

所有患者均采用西门子双源CT扫描仪完成检查。标准化扫描序列包括:头颅非增强CT、全脑CT灌注成像及头颈部CT血管成像。CTP扫描采用去卷积算法模型,经肘静脉团注碘对比剂后获得全脑动态数据。所有原始图像均传输至专用后处理工作站进行重建与分析。

2.3. 影像学评分方法

由2名神经影像专科医师通过双盲法独立进行评分,意见不一致时由第3位高年资医师做出最后决定。

2.3.1. CTA-APCIIS 评分

参考彭世鑫等提出的 APCIIS 评分原则, 针对前循环进行评分, 评估血管包括: 颈内动脉床突上段、大脑中动脉 M1 段、M2 段上干、M2 段下干、大脑前动脉 A1 段。其中血管闭塞 2 分、部分闭塞分配 1 分, 通畅分配 0 分, 并按评分高低将 APCIIS 分为 3 级(I 级: <5 分, II 级: 6~10 分, III 级: >10 分)(见表 1)。

Table 1. Anterior circulation APCIIS score summary table

表 1. 前循环 APCIIS 评分总结表

血管	通畅	部分闭塞	闭塞
床突上段	0	1	2
床突下段	0	1	2
大脑中动脉 M1 段近端	0	1	2
大脑中动脉 M1 段远端	0	1	2
大脑中动脉 M2 段上干	0	1	2
大脑中动脉 M2 段下干	0	1	2
大脑前动脉	0	1	2

2.3.2. CTP-ASPECTS 评分

在 CTP 后处理生成的脑血容量参数图上进行评估。将大脑中动脉皮质供血区划分为 10 个标准区域, 包括深部核团区(尾状核 C、豆状核 L、内囊 IC)和皮层区(岛叶 I, 以及 M1 至 M6 区)。以对侧半球相应区域为正常参照, 若任一区域的脑血容量值出现显著性降低(通常定义为较对侧下降超过 30%), 则认为该区域已纳入梗死核心, 扣除 1 分。评分起始为 10 分, 分值越低, 提示不可逆的梗死核心范围越大。

2.4. 临床结局评估

主要结局指标为发病后 90 天的神经功能状态, 采用改良 Rankin 量表(mRS)通过门诊随访或电话访谈进行评估。将 mRS 评分 ≤ 2 分定义为预后良好, mRS > 2 分定义为预后不良。

2.5. 统计学分析

采用 SPSS 25.0 及 MedCalc 20.0 软件进行数据处理与统计分析。符合正态分布的计量资料以均数 \pm 标准差表示, 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中位数(四分位间距)表示, 组间比较采用 Mann-Whitney U 检验。在进行多因素 Logistic 回归分析前, 对计划纳入的连续型自变量进行了多重共线性诊断, 以排除变量间高度相关对模型稳定性的影响。诊断采用线性回归方法, 计算基线 NIHSS 评分、CTA-APCIIS 评分及 CTP-ASPECTS 评分的方差膨胀因子(Variance Inflation Factor, VIF)和容差(Tolerance)。为构建联合预测模型, 将具有独立预测价值的影像学变量(CTA-APCIIS 评分、CTP-ASPECTS 评分)及其他相关临床变量共同纳入一个新的 Logistic 回归模型, 并保存该模型为每位患者计算的“综合预测概率”。分别绘制 CTA-APCIIS 评分、CTP-ASPECTS 评分及“综合预测概率”预测 90 天不良预后曲线, 计算并比较各曲线下面积。采用 DeLong 检验对不同 AUC 进行两两比较。所有统计学检验均为双侧检验, 以 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

3. 结果

3.1. 患者基线特征

根据纳排标准, 最终共 90 例急性前循环大血管缺血性卒中患者被纳入本研究。其中男性 58 例

(64.4%)，女性 32 例(35.6%)，总体平均年龄为(65.2±13.8)岁。依据 90 天 mRS 评分，分为预后良好组(69 例，76.7%)和预后不良组(21 例，23.3%)。两组患者在性别、年龄、高血压、糖尿病、高血脂、吸烟史等基线人口学特征及血管危险因素方面，差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$)。然而，预后不良组患者的基线神经功能缺损程度显著更重，其 NIHSS 评分中位数[14 (11, 19)分]显著高于预后良好组[5 (2, 10)分， $P < 0.001$]。此外，预后不良组房颤比例更高(47.6% vs. 23.2%， $P = 0.031$) (见表 2)。

Table 2. Comparison of baseline characteristics and clinical indicators between the favorable prognosis group and the poor prognosis group

表 2. 预后良好组与预后不良组的基线特征与临床指标对比

项目	预后良好组(n = 69)	预后不良组(n = 21)	$\chi^2/t/U$ 值	P 值
男性	47 (68.1%)	11 (52.4%)	1.7401	0.187
年龄(岁)	64.59 ± 12.01	67.33 ± 19.03	-0.6232	0.539
高血压	46 (66.7%)	12 (57.1%)	0.6371	0.425
糖尿病	29 (42.0%)	8 (38.1%)	0.1031	0.748
冠心病	6 (8.7%)	5 (23.8%)	3.4281	0.064
高血脂	19 (27.5%)	5 (23.8%)	0.1141	0.735
房颤	16 (23.2%)	10 (47.6%)	4.6781	0.031
吸烟	28 (40.6%)	6 (28.6%)	0.9881	0.320
NIHSS (入院)	5 (2, 10)	14 (11, 19)	208.0003	<0.001
CTA-APCIIS	3 (2, 6)	8 (6, 12)	225.0003	<0.001
CTP-ASPECTS	7 (5, 8)	2 (2, 3.0)	169.5003	<0.001
溶栓	8 (11.6%)	3 (14.3%)	0.1091	0.742
取栓	21 (30.4%)	10 (47.6%)	2.1061	0.147
溶栓 + 取栓	6 (8.7%)	2 (9.5%)	0.0141	0.907

表注：¹卡方检验；²独立样本 t 检验；³Mann-Whitney U 检验。本表格比较两组患者在人口学特征、合并症、入院神经功能评分(NIHSS、CTA-APCIIS、CTP-ASPECTS)及治疗方式上的差异。结果显示，预后不良组的 NIHSS、CTA-APCIIS 及 CTP-ASPECTS 评分均显著高于预后良好组(均 $P < 0.001$)，房颤比例也更高($P = 0.031$)，提示基线神经功能、影像严重程度及特定合并症与预后显著相关。

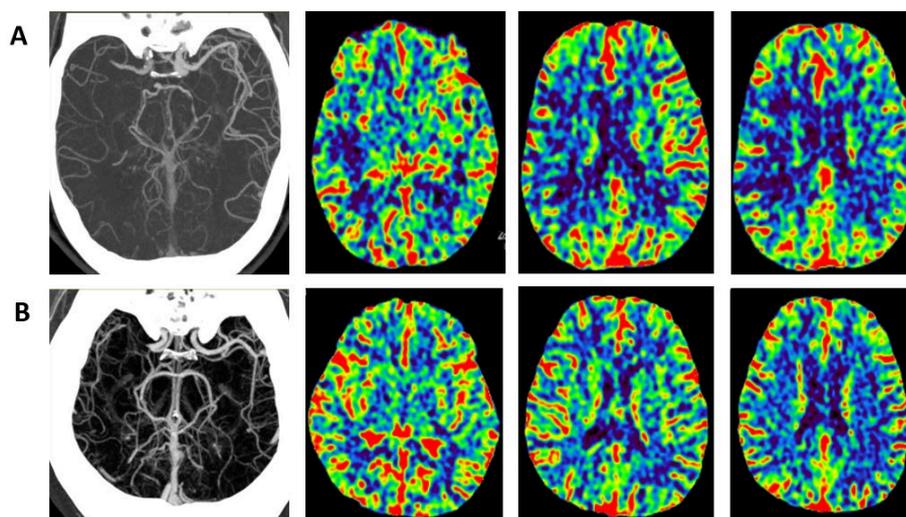
3.2. 影像学评分组间比较

在影像学评估方面，预后不良组患者的 CTA-APCIIS 评分中位数显著高于预后良好组[8 (6, 12)分 vs. 3 (2, 6)分， $P < 0.001$]，表明其大血管闭塞的解剖负荷更重。同时，预后不良组患者的 CTP-ASPECTS 评分中位数显著低于预后良好组[2 (2, 3)分 vs. 7 (5, 8)分， $P < 0.001$]，提示其梗死核心范围更大。两组患者在是否接受溶栓、取栓或其联合治疗方面，差异无统计学意义(见表 2)。

3.3. 典型病例研究血管闭塞部位、灌注模式与临床结局的关系

为了研究 CTA 与 CTP 在不同预后情况的 AIS 患者中的影像特征，我们收集了几例具有特征性影像表现与不同预后的 AIS 患者临床影像信息，逐一分析显示：图 1 中，患者 A 的 CTA 证实存在大脑中动脉 M1 段远端闭塞(CTA-APCIIS 评分 6 分)，且 CTP 显示 CBV 较对侧明显降低(CTP-ASPECTS 评分 0 分)，提示核心梗死区已形成。患者临床神经功能缺损严重(NIHSS 评分高)，后续血管再通治疗效果有限，

90 天随访改良 Rankin 量表(mRS)评分为 4 分, 预后不良。患者 B 中尽管 CTA 显示大脑中动脉 M1 段近端严重闭塞(CTA-APCIIS 评分 8 分), 但 CTP 未显示明确的灌注缺损, 尤其是 CBV 较对侧基本对称(CTP-ASPECTS 评分 10 分) (见图 1)。这表明患者通过良好的软脑膜侧支循环等代偿机制, 有效地维持了缺血区域的灌注, 可能保留了较大的缺血半暗带。患者接受了紧急血管内取栓治疗并实现成功再通, 神经功能迅速改善, 90 天 mRS 评分为 1 分, 预后良好。



图注: 患者 A 的 CTA 示右侧大脑中动脉 M1 段远端及其以远分支血管未见显影, 提示该血管节段存在闭塞; CTP 示右侧额顶叶皮层及皮层下区域可见明确的灌注异常, 表现为该区域脑血容量(CBV)较对称显著降低, CTA-APCIIS 评分 6 分, CTP-ASPECTS 评分 0 分。患者 B 的 CTA 示右侧大脑中动脉 M1 段近端完全闭塞; CTP 示右侧大脑半球 CBV 与健侧对比未见显著差异, CTA-APCIIS 评分 8 分, CTP-ASPECTS 评分 10 分。

Figure 1. Representative case illustrates the relationship between vessel occlusion site, perfusion pattern, and clinical outcome

图 1. 代表性病例体现血管闭塞部位、灌注模式与临床结局的关系

3.4. 影响预后的多因素 Logistic 回归分析

将单因素分析中有意义的变量(包括基线 NIHSS 评分、CTA-APCIIS 评分、CTP-ASPECTS 评分)纳入多因素 Logistic 回归模型进行分析。多重共线性诊断结果显示, 基线 NIHSS 评分、CTP-ASPECTS 评分与 CTA-APCIIS 评分的 VIF 值分别为 1.657、1.544 和 1.581 (相应容差分别为 0.604、0.648 和 0.632)。所有 VIF 值均远小于 10, 表明这三个核心预测变量之间不存在严重的多重共线性, 满足同时纳入多因素 Logistic 回归模型的条件。结果显示, 在校正了基线神经功能缺损严重程度(NIHSS 评分)的影响后, 较高的 CTA-APCIIS 评分(OR = 1.32, 95% CI: 1.05~1.66, P = 0.018)与较低的 CTP-ASPECTS 评分(OR = 0.76, 95% CI: 0.59~0.98, P = 0.034)仍然是预测 90 天不良功能预后的独立危险因素(见表 2)。

3.5. 血管成功再通患者亚组分析

为探究在理想血管再通状态下影像学评分的预测价值, 我们对实现成功再通(mTICI 2b-3 级)的患者进行了亚组分析。本组共纳入 28 例患者, 其中预后良好 22 例(78.6%), 预后不良 6 例(21.4%)。结果表明预后不良患者的基线 CTP-ASPECTS 评分显著低于预后良好患者(3.33 ± 1.51 vs. 6.09 ± 1.77 , $*t^* = 3.476$, P = 0.002)。NIHSS (P = 0.136)与 CTA-APCIIS (P = 0.101)评分在两组间虽未达统计学显著性, 但呈现一致趋势(见表 3)。

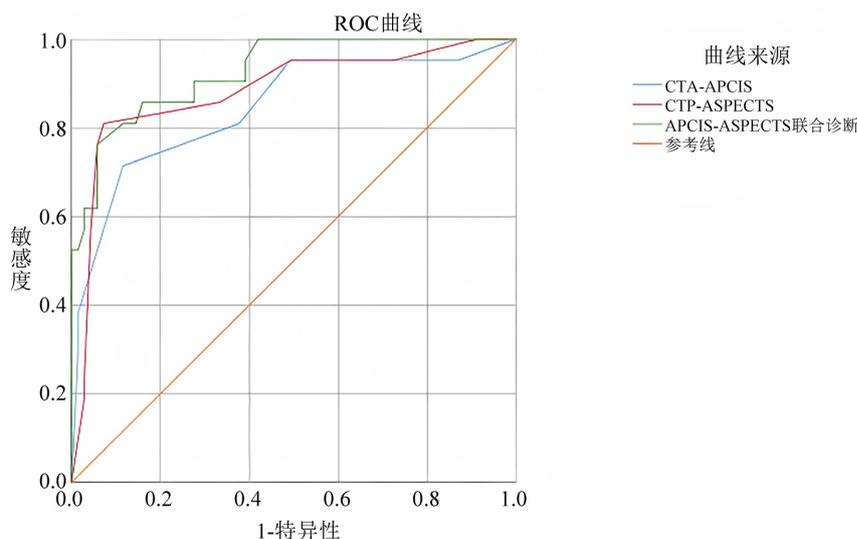
Table 3. Comparison of baseline imaging and clinical scores in the successful recanalization subgroup
表 3. 血管成功再通亚组患者基线影像与临床评分比较

项目	预后良好组(n = 22)	预后不良组(n = 6)	统计检验值*t*	P 值
NIHSS (入院)	8.73 ± 5.16	12.33 ± 4.76	-1.540	0.136
CTA-APCIIS	4.45 ± 2.24	6.50 ± 3.78	-1.702	0.101
CTP-ASPECTS	6.09 ± 1.77	3.33 ± 1.51	3.476	0.002

表注：¹数据以均值±标准差表示；²组间比较采用独立样本 *t* 检验。本表格展示了在血管成功再通(mTICI 2b-3 级)亚组中，预后良好与预后不良患者的基线影像学及临床评分差异。结果显示，预后不良患者的 CTP-ASPECTS 评分显著更低($P = 0.002$)，提示即使在实现血管成功再通后，较大的基线核心梗死范围仍是导致不良功能结局的关键危险因素。NIHSS ($P = 0.136$)与 CTA-APCIIS ($P = 0.101$)评分在两组间虽未达统计学显著性，但呈现一致趋势。

3.6. 各评估模型预测效能的比较

为比较不同评估策略的预测能力，我们进行了 ROC 曲线分析。单一的影像学评分均显示出良好的预测价值：CTA-APCIIS 评分的 AUC 为 0.845 (95% CI: 0.739~0.951)，CTP-ASPECTS 评分的 AUC 为 0.883 (95% CI: 0.790~0.976)。然而，将这两个独立的、具有重要病理生理意义的影像学标志物通过多因素 Logistic 回归模型进行整合，所产生的综合预测概率展现出了最佳的判别效能，其 AUC 提升至 0.927 (95% CI: 0.867~0.987)。进一步的 DeLong 检验证实，该综合预测模型的 AUC 显著高于单一的 CTA-APCIIS 评分 ($Z = 2.15, P = 0.032$)和单一的 CTP-ASPECTS 评分($Z = 2.01, P = 0.044$) (见表 4，图 2)。



图注：本图展示 CTA-APCIIS 评分、CTP-ASPECTS 评分及两者联合模型预测概率的 ROC 曲线，参考线代表无诊断价值(AUC = 0.5)。联合模型预测概率的曲线最接近左上角，说明其区分能力最强，与数据分析结果一致，支持其作为预后评估的有效工具。

Figure 2. ROC curves for the predictive probabilities of the CTA-APCIIS, CTP-ASPECTS, and combined models

图 2. CTA-APCIIS、CTP-ASPECTS 与联合模型预测概率的 ROC 曲线

Table 4. Comparison of the area under the ROC curve of three imaging evaluation indicators

表 4. 三种影像评估指标的 ROC 曲线下面积比较

参数	AUC	95% CI	SE	P
CTA-APCIIS 评分	0.845	0.739~0.951	0.054	<0.001

续表

CTP-ASPECTS 评分	0.883	0.790~0.976	0.047	<0.001
联合预测	0.927	0.867~0.987	0.031	<0.001

表注：本表展示三种指标的 ROC 曲线下面积、标准误差及 95%置信区间。结果显示三者均具有统计学显著性(均 <0.001)，其中联合预测模型的 AUC 值最高(0.927)，提示其在区分预后良好与不良方面具有最佳的预测效能。

4. 讨论

在急性脑缺血状态下，无论其具体的病因机制如何，大脑均会启动内在的代偿机制，通过动员不同的侧支循环通路以最大限度减轻缺血所致的神经损伤[9]。这些侧支通路(主要包括完整的 Willis 环以及分布于脑表面的软脑膜吻合血管)的个体差异，直接导致了颅内大血管疾病(ICVD)患者临床表现的多样性及神经功能恢复程度的显著不同[10]。此外，急性颅内血管闭塞后形成的缺血半暗带，其范围与可挽救潜力从根本上取决于该区域的残余血流量及其通过侧支循环所能获得的代偿性血流灌注[11]。在近期的临床实践中，多期 CT 血管成像(mCTA)与 CT 灌注成像(CTP)已成为指导血管闭塞患者治疗决策的重要影像工具[12][13]。CTP 能够提供定量化的脑血流动力学与灌注功能成像，清晰呈现侧支循环及微血管层面的血流动态变化[14]；而 mCTA 则可获取延迟期脑动脉与静脉系统的显影图像，同时清晰展示血栓的具体位置、形态尺寸以及颅外血管的通畅情况[15]。相较于多期 CTA，CTP 的一项显著优势在于其能够对缺血脑组织的后续转归进行预测评估[16]。

本研究首先通过收集 AIS 患者 CTA 与 CTP 影像初步分析发现，在一些特征性患者中虽均存在大脑中动脉重度狭窄或闭塞，但临床结局迥异，这深刻揭示了侧支循环的代偿效能是决定预后的核心机制。部分患者因侧支循环卓越，在 CTP 上未出现灌注缺损，保留了巨大的可挽救潜力，故血管再通后预后极佳；而另一群患者因侧支代偿不足或部分代偿，在 CTP 上已形成不同范围的梗死核心(CBV 较对侧降低)，导致预后较差或中等(见图 1)。这些对比说明，单纯依据血管“解剖闭塞”的评估严重不足，必须结合反映“组织损伤”的 CTP 灌注信息进行综合判断。

随后本研究通过系统分析发现，在急性前循环大血管闭塞性缺血性卒中患者中，基于一站式 CTA/CTP 检查所获取的两个核心影像学参数——量化大血管闭塞负荷的 CTA-APCIIS 评分和界定梗死核心范围的 CTP-ASPECTS 评分，均是 90 天不良功能预后的强力独立预测因子。更重要的是，本研究的关键结论在于：与单独使用其中任何一个评分相比，通过统计模型将二者进行联合评估，能够显著提升预后预测的准确性与综合性。这一发现验证了我们的研究假设，并强调了在多模态影像时代，采用集成化、多参数的评估策略相对于传统单一指标评估的显著优势。此外，本研究针对血管成功再通患者的亚组分析进一步揭示，“再通”并不等同于“良好预后”。在此亚组中，基线 CTP-ASPECTS 评分(反映核心梗死范围)仍是功能结局的强有力独立预测因子，表明在血管开通前即已形成的不可逆脑组织损伤范围，为神经功能恢复设定了一个潜在的“天花板”。值得注意的是，CTA-APCIIS 评分(反映血管闭塞负荷)在此亚组中的独立预测价值未达显著水平，提示成功再通可能部分“修正”了初始闭塞解剖负荷的影响，而使组织层面的损伤成为更决定性的残余风险因素。这一发现不仅与“缺血半暗带”理论高度契合，也印证了本研究中多参数联合模型的合理性：CTA-APCIIS 与 CTP-ASPECTS 在卒中超急性期评估中具有互补价值，前者在总体人群中识别高风险闭塞模式，后者则在更精细层面(包括成功再通者)持续提供关键的预后信息。

本研究的结果与当前该领域的研究进展高度契合，并提供了更深入的证据。既往研究已分别证实了 CTA 侧的血栓负荷评分(如 CBS)与 CTP 侧的 ASPECTS 评分对于卒中预后的预测价值。例如，本课题组前期开发的前后循环梗死评分系统(APCIIS)强调了全面量化血栓负荷的重要性[8]；而褚金鑫等人的研究

则显示了 CTP-ASPECTS 联合 CTA-CBS 在预测大脑中动脉卒中患者预后的价值[17]。我们的工作不仅独立验证了这两个维度(“闭塞源头”与“梗死核心”)的关键作用,更通过严谨的统计比较证明,二者所承载的预后信息具有互补性,其联合产生的预测效能超越了任一信息的简单叠加。这从量化角度说明,一个患者的最终结局,既取决于血管闭塞的“打击”强度,也取决于脑组织已形成的损伤范围,两者结合方能更完整地描绘疾病的严重程度。我们的模型(AUC = 0.927)在扩大样本量后仍保持优异性能,进一步证实了其稳健性。

本研究的创新性与临床意义在于,它提出并验证了一种切实可行的“集成评估”临床思维模式。我们利用成熟的多因素分析方法,将临床上易于获取且明确的 CTA 和 CTP 的影像学生物标志物进行了最优组合。这种方法避免了主观赋权可能带来的偏倚,更具客观性和稳健性。它提示临床医生,在面对急性卒中患者的 CTA/CTP 影像时,应有意识地进行结构化、系统化的解读:即同时评估“血管怎么了”(CTA-APCIIS 评分)和“脑组织损伤到什么程度了”(CTP-ASPECTS 评分),并将这两个问题的答案纳入统一的预后判断框架。这种双管齐下的评估策略,比仅关注其中一点能够更精准地识别出高危患者,有助于早期识别可能从积极再通治疗中获益有限的患者,从而为个体化治疗决策和医疗资源调配提供更有可靠的依据。

此外,本研究也存在一定的局限性。首先作为一项单中心回顾性研究,尽管样本量有所增加,但预后不良组的病例数仍相对有限,可能对纳入更多潜在预测因子(如更精细的侧支循环分级)的分析能力构成限制。其次,尽管我们校正了基线 NIHSS 评分,但未能将影响预后的其他关键治疗相关变量,如发病至再通的时间、血管内治疗的具体技术细节和再通等级等,全部纳入最终的预测模型,这可能会对模型的预测效能产生一定影响。未来需要在前瞻性设计的大规模多中心队列中,纳入更全面的临床、治疗及影像学变量(如自动化侧支评分、缺血半暗带体积等),以构建和验证更强大的、可用于临床决策支持的预后预测工具。最后,本研究得出的联合预测模型尚未在外部独立人群中进行验证,其普遍适用性有待进一步确认。

5. 结论

本研究证实在急性前循环大血管闭塞性缺血性卒中的超急性期,利用一站式 CTA/CTP 检查,探讨 CTA-APCIIS 联合 CTP-ASPECTS 在预测急性前循环缺血性卒中预后中的价值研究,这标志着卒中影像学预后评估正从依赖单一参数向整合多维度信息的新范式演进。该策略充分利用了多模态 CT 提供的互补信息,为临床实现更早期、更精准的预后判断提供了简单而有力的工具。未来,有必要开展多中心、前瞻性的研究,进一步优化和验证此类联合评估模型,并探索其与临床决策流程整合的具体路径,最终为改善卒中患者的临床管理结局提供更有力的影像学支持。

参考文献

- [1] Herpich, F. and Rincon, F. (2020) Management of Acute Ischemic Stroke. *Critical Care Medicine*, **48**, 1654-1663. <https://doi.org/10.1097/ccm.0000000000004597>
- [2] Tsivgoulis, G., Katsanos, A.H., Sandset, E.C., Turc, G., Nguyen, T.N., Bivard, A., *et al.* (2023) Thrombolysis for Acute Ischaemic Stroke: Current Status and Future Perspectives. *The Lancet Neurology*, **22**, 418-429. [https://doi.org/10.1016/s1474-4422\(22\)00519-1](https://doi.org/10.1016/s1474-4422(22)00519-1)
- [3] Seyedsaadat, S.M., Neuhaus, A.A., Pederson, J.M., Brinjikji, W., Rabinstein, A.A. and Kallmes, D.F. (2020) Location-specific ASPECTS Paradigm in Acute Ischemic Stroke: A Systematic Review and Meta-Analysis. *American Journal of Neuroradiology*, **41**, 2020-2026. <https://doi.org/10.3174/ajnr.a6847>
- [4] Li, G., Wu, G., Qin, Z., Li, H., Cheng, X. and Cai, Y. (2019) Prognostic Value of Clot Burden Score in Acute Ischemic Stroke after Reperfusion Therapies: A Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, **28**, Article ID: 104293. <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2019.07.009>

- [5] Cullen, S.P., Symons, S.P., Hunter, G., Hamberg, L., Koroshetz, W., González, R.G., *et al.* (2002) Dynamic Contrast-Enhanced Computed Tomography of Acute Ischemic Stroke: CTA and CTP. *Seminars in Roentgenology*, **37**, 192-205. [https://doi.org/10.1016/s0037-198x\(02\)80019-0](https://doi.org/10.1016/s0037-198x(02)80019-0)
- [6] Regenhardt, R.W., Potter, C.A., Huang, S.S. and Lev, M.H. (2023) Advanced Imaging for Acute Stroke Treatment Selection: CT, CTA, CT Perfusion, and MR Imaging. *Radiologic Clinics of North America*, **61**, 445-456. <https://doi.org/10.1016/j.rcl.2023.01.003>
- [7] Katyal, A. and Bhaskar, S. (2020) CTP-Guided Reperfusion Therapy in Acute Ischemic Stroke: A Meta-Analysis. *Acta Neurologica Scandinavica*, **143**, 355-366. <https://doi.org/10.1111/ane.13374>
- [8] 彭世鑫, 仇玉龙, 朱继, 张晓冬, 蒋理, 徐睿. 前后循环梗死评分系统:1 种评估急性缺血性卒中患者预后的新方法[J]. 重庆医科大学学报, 2024, 49(2): 217-221.
- [9] Gao, Y., Liu, X., Xu, B., Zhang, X., Wang, Y., Ni, J., *et al.* (2023) Effect of Collateral Circulation in Patients with Multiple Craniocervical Artery Stenoses. *Clinical and Translational Science*, **16**, 2779-2790. <https://doi.org/10.1111/cts.13673>
- [10] Wang, H., Shen, L., Zhao, C., Liu, S., Wu, G., Wang, H., *et al.* (2023) The Incomplete Circle of Willis Is Associated with Vulnerable Intracranial Plaque Features and Acute Ischemic Stroke. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*, **25**, 23. <https://doi.org/10.1186/s12968-023-00931-2>
- [11] Ermine, C.M., Bivard, A., Parsons, M.W. and Baron, J. (2020) The Ischemic Penumbra: From Concept to Reality. *International Journal of Stroke*, **16**, 497-509. <https://doi.org/10.1177/1747493020975229>
- [12] Peng, G., Lu, W., Chen, K., Yang, X., Wei, J., Wang, B., *et al.* (2022) Study on Collateral Circulation Level and Prognosis of Acute Ischemic Stroke by 4D CTA-CTP Integrated Technology and Serum S100B. *Microvascular Research*, **140**, Article ID: 104270. <https://doi.org/10.1016/j.mvr.2021.104270>
- [13] Kamran, A., Paryani, N.S., Suri, N.F., Khan, J., Amir, F., Mehmood, M., *et al.* (2024) Incidence of Acute Kidney Injury in Patients with Acute Ischaemic Stroke Undergoing CT Angiography (CTA) and CT Perfusion (CTP): A Systematic Review and Meta-analysis. *BMJ Neurology Open*, **6**, e000558. <https://doi.org/10.1136/bmjno-2023-000558>
- [14] Lin, L., Hu, M., Wei, D., Li, J., Liang, J., Xie, Y., *et al.* (2024) Quantitative Evaluation of CTP Derived Time-Density Alterations versus CTP for Collateral Status Prediction with Stroke. *European Journal of Radiology*, **177**, Article ID: 111571. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2024.111571>
- [15] Gupta, A., Garg, P.K., Khera, P.S., Panda, S., Bohra, G.K., Yadav, T., *et al.* (2022) Multiphase Computed Tomography Angiography (mCTA) Derived Source Images in Acute Ischemic Stroke: Beyond Collaterals. Can It Obviate the Need for Computed Tomography Perfusion (CTP)? *Clinical Neurology and Neurosurgery*, **222**, Article ID: 107421. <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2022.107421>
- [16] Siddiqi, A.Z. and Wadhwa, A. (2023) Treatment of Acute Stroke: Current Practices and Future Horizons. *Cardiovascular Revascularization Medicine*, **49**, 56-65. <https://doi.org/10.1016/j.carrev.2022.11.012>
- [17] 褚金鑫, 姜亦伦. CTPI-ASPECTS 联合 CTA-CBS 对急性大脑中动脉缺血性卒中患者出血性转化的诊断价值及与预后的相关性[J]. 影像研究与医学应用, 2025, 9(14): 40-42.