

CT 脑灌注成像对急性脑梗死溶栓治疗窗评估的临床价值

崔航帆

(许昌市立医院 放射科, 河南许昌 461000)

【摘要】目的 探讨 CT 脑灌注成像 (CTP) 在急性脑梗死 (ACI) 溶栓治疗窗评估中的临床价值。**方法** 前瞻性纳入许昌市立医院放射科于 2023 年 1 月至 2024 年 12 月收治的 ACI 患者 64 例, 均于发病后 24h 内行头颅 CT 平扫及 CTP 检查, 并经后续 MRI 确诊。根据真实起病至影像学检查时间 (OIT) 分为早期窗组 ($\leq 4.5\text{h}$, $n=30$) 与延长窗组 ($>4.5\text{h}$, $n=34$)。患者分组在未知 CTP 结果的前提下进行。比较两组患者一般资料、CTP 参数 [脑血流量 (CBF)、脑血容量 (CBV)、平均通过时间 (MTT)、达峰时间 (TTP)] 以及缺血核心区与半暗带体积差异。分析 CTP 判定结果与临床时间窗的一致性, 采用 Kappa 检验并绘制受试者工作特征 (ROC) 曲线评估诊断效能。同时监测辐射剂量及门急诊关键绩效指标 (KPIs)。所有患者治疗 3 个月后进行随访, 采用改良 Rankin 量表 (mRS) 评价预后。**结果** 两组患者一般资料差异无统计学意义 ($P>0.05$)。早期窗组 CBF、CBV 显著高于延长窗组, 而 MTT、TTP 显著低于延长窗组 ($P<0.05$)。早期窗组缺血核心区体积较小、半暗带体积及不匹配比值较大 ($P<0.05$)。CTP 与临床时间窗在溶栓适宜性判断中的总体一致率为 90.6%, Kappa 值 0.812 ($P<0.05$)。ROC 曲线显示, 不匹配比值预测溶栓可行性的 AUC 最高 (0.901), 优于单一参数。平均 CT DIvol 为 (49.2 ± 6.3) mGy, DLP 为 (820 ± 95) mGy·cm, 检查成功率 96.9%, 平均周转时长约 34min, 均处于安全与高效范围。3 个月随访显示, 早期窗组良好预后比例显著高于延长窗组 (73.3% vs. 38.2%, $P<0.05$); 不匹配比值 ≥ 2 的患者预后优于 <2 者 ($P<0.05$)。**结论** 基于独立时间窗分组的 CT 脑灌注成像分析能够客观反映 ACI 不同阶段的灌注状态, 并在溶栓治疗窗评估中具有较高一致性与诊断价值。不匹配比值较传统单一参数更具优势。在低剂量协议和优化流程下, CTP 能够兼顾影像质量与时效性, 为急诊溶栓评估提供安全、高效的实施途径。

【关键词】 CT 脑灌注成像; 急性脑梗死; 溶栓治疗窗; 缺血半暗带; 不匹配比值

【中图分类号】 R445

【文献标志码】 A

文章编号: 1674-1242 (2025) 06-0850-08

Clinical Value of CT Perfusion Imaging in Evaluating the Thrombolysis Window for Acute Cerebral Infarction

CUI Hangfan

(Department of Radiology, Xuchang Municipal Hospital, Xuchang, Henan 461000, China)

【Abstract】Objective To evaluate the clinical value of CT perfusion (CTP) imaging in assessing the thrombolysis window for acute cerebral infarction (ACI). **Methods** A total of 64 patients with ACI admitted to the Department of Radiology, Xuchang Municipal Hospital, between January 2023 and December 2024 were prospectively enrolled. All underwent non-contrast CT and CTP within 24 hours of onset, and the diagnosis was confirmed by MRI. Patients were divided into an early-window group ($\leq 4.5\text{h}$, $n=30$) and an extended-window group ($>4.5\text{h}$, $n=34$)

according to the actual onset-to-imaging time (OIT). Grouping was performed independently of CTP results to avoid circular reasoning bias. General characteristics, perfusion parameters [cerebral blood flow (CBF), cerebral blood volume (CBV), mean transit time (MTT), and time-to-peak (TTP)] and ischemic core and penumbra volumes were compared between the two groups. The consistency between CTP judgment and clinical time window was analyzed using the Kappa test, and receiver operating characteristic (ROC) curves were plotted to evaluate diagnostic performance. Radiation dose and key performance indicators (KPIs) for outpatient and emergency services were monitored simultaneously. All patients underwent follow-up after 3 months of treatment, with prognosis assessed using the modified Rankin Scale (mRS). **Results** No significant differences were found in baseline data between the two groups ($P>0.05$). The early-window group showed significantly higher CBF and CBV values but lower MTT and TTP values than the extended-window group ($P<0.05$). The ischemic core volume was smaller, whereas the penumbra volume and mismatch ratio were greater ($P<0.05$). The overall agreement between CTP assessment and the clinical time window was 90.6%, with a Kappa value of 0.812 ($P<0.05$). ROC curve analysis indicated that the mismatch ratio yielded the highest diagnostic accuracy ($AUC=0.901$), outperforming individual parameters. The mean CTDIvol was (49.2 ± 6.3) mGy and DLP was (820 ± 95) mGy·cm, with an overall success rate of 96.9% and an average turnaround time of approximately 34 minutes, demonstrating both safety and efficiency. The 3-month follow-up revealed that favorable outcomes ($mRS \leq 2$) were more frequent in the early-window group than those in the extended-window group (73.3% vs. 38.2%, $P<0.05$), and patients with a mismatch ratio ≥ 2 had better outcomes than those with a ratio <2 ($P<0.05$). **Conclusion** Independent OIT-based grouping combined with CTP quantitative analysis provides an objective evaluation of cerebral perfusion across different stages of ACI. CTP demonstrates strong consistency with the clinical time window and high diagnostic value for thrombolysis eligibility. The mismatch ratio offers greater advantages than traditional single parameters. Under low-dose protocols and optimized workflows, CTP effectively balances imaging quality and timeliness, providing a safe and efficient implementation pathway for emergency thrombolysis assessment.

【Key words】 CT Perfusion Imaging; Acute Cerebral Infarction (ACI); Thrombolysis Window; Ischemic Penumbra; Mismatch Ratio

0 引言

急性脑梗死 (Acute Cerebral Infarction, ACI) 是导致人类死亡和致残的主要疾病之一, 其发病率和致残率在我国逐年升高, 对社会公共健康和医疗资源造成了沉重负担^[1]。研究表明^[2], ACI的救治具有显著的时间依赖性, 早期静脉溶栓或动脉取栓治疗能够有效恢复缺血区血流, 从而减轻神经功能损害。然而, 传统临床实践主要依赖发病时间作为溶栓适应证的核心依据, 推荐的时间窗一般限定在4.5h内。在实际工作中, 部分患者由于发病时间不清楚 (如睡眠中卒中、独居患者) 或就诊延迟, 往往错过常规治疗时间窗, 导致可挽救的脑组织失去再灌注机会。

随着影像学技术的不断发展, CT脑灌注成像

(CT Perfusion, CTP) 已逐渐成为卒中急诊评估中的重要手段, 其能够通过多参数定量反映局部脑血流动力学状态, 其中脑血流量 (Cerebral Blood Flow, CBF)、脑血容量 (Cerebral Blood Volume, CBV)、平均通过时间 (Mean Transit Time, MTT) 和达峰时间 (Time-To-Peak, TTP) 等指标, 不仅可以帮助识别缺血核心区与半暗带, 还能以不匹配比值量化可挽救组织的范围^[3]。有研究表明, 与磁共振灌注成像相比, CTP具有检查时间短、可及性高、操作简便的优势, 尤其适用于急诊环境^[4]。近年来, 随着多层螺旋CT和先进后处理软件的普及, CTP的准确性和可重复性不断提高, 使其在ACI的早期诊断、治疗决策和预后评估中发挥了越来越重要的作用。然而, 目前国内关于CTP在ACI溶栓

治疗窗评估方面的研究仍相对有限,尤其缺乏与临床时间窗直接对比的系统分析。

本研究选取 64 例在发病 24h 内行 CTP 检查的 ACI 患者,通过比较不同时间窗患者的灌注参数、缺血核心区及半暗带体积,并结合临床时间窗标准与预后随访,探讨了 CTP 在评估溶栓治疗窗中的应用价值,旨在为临床在传统时间限制之外的治疗决策提供可靠的影像学依据,进一步提高 ACI 的救治效率与预后水平。

1 资料与方法

1.1 研究对象

本研究为前瞻性研究,病例来源于许昌市立医院放射科 2023 年 1 月至 2024 年 12 月期间收治的 ACI 患者。所有患者均在发病后 24h 内接受头颅 CT 平扫及 CTP 检查,并经临床及后续 MRI 随访确诊。本研究共筛选符合条件的患者 64 例,根据真实起病至影像学检查时间(Onset-to-Imaging Time, OIT)将患者分为两组:早期窗组($n=30$),发病时间 ≤ 4.5 h;延长窗组($n=34$),发病时间 >4.5 h。所有病例均在未知 CTP 结果的情况下分组,分组工作由临床数据管理员依据真实 OIT 独立完成,研究分组人员不参与 CTP 图像处理与结果判定,以保证分组独立性,避免分析偏倚。CTP 参数仅作为后续比较与一致性分析指标。两组患者在性别、年龄及常见危险因素(高血压、糖尿病、房颤、吸烟等)等一般资料上的差异无统计学意义($P>0.05$),具有可比性。本研究方案已通过我院医学伦理委员会审批。所有患者或其直系亲属在检查前均签署书面知情同意书,充分知晓研究目的及相关风险,确保其隐私权与自主权。

纳入标准:①符合急性缺血性脑卒中诊断;②起病时间明确,可准确计算 OIT,且 OIT 不超过 24h;③首次发作且临床及影像资料完整;④能够配合完成 CTP 检查及随访。

排除标准:①CT 或 MRI 提示颅内出血或颅内占位性病变;②既往有大面积脑梗死及明显神经功能缺损史;③合并严重心、肝、肾功能不全或碘造影剂禁忌;④灌注图像存在严重伪影或质量不佳,无法进行定量分析;⑤起病时间不明确者(如醒后

中风、独居患者发现时已存在神经缺损者)。

所有入组病例的发病时间均由患者本人或家属提供,临床时间窗界定以 OIT 计算。本研究未采用 DWI/FLAIR mismatch 等影像学指标推测起病时间,MRI 仅用于后续病灶确诊与排除出血性病变。

1.2 检查方法

所有患者均在入院后即行头颅 CT 平扫以排除颅内出血,随后在同一台 GE Revolution 256 排螺旋 CT 机上完成 CTP,并在 AW 4.7 工作站进行后处理。检查采用“平扫—灌注—必要时 CTA”的一体化流程,记录 OIT,以保证分析可比性。在检查前常规评估患者全身情况及造影剂禁忌,建立 18~20G 肘正中静脉通道。患者取仰卧位,头部固定,保持自然呼吸。造影剂采用碘海醇(370mgI/mL),通过高压注射器快速注入 40mL,流速 5mL/s,随后 20mL 生理盐水同速冲管。采集采用固定延迟启动模式,触发延迟约 5s,总扫描时间约 50s,时间分辨率 1s/相位。扫描参数统一为管电压 80kVp、参考管电流 200mAs、层厚 5mm、矩阵 512×512、视野 220~240mm。扫描范围覆盖基底节及半卵圆中心,必要时采用穿梭模式扩展覆盖。所有扫描均实时监控造影曲线质量,若因患者运动、心律不齐、静脉延迟等导致信号异常,系统将自动提示“去卷积失败”或“曲线异常”,此类病例由操作者即时复查。若未能在一次采集内获得有效动脉输入函数(Arterial Input Function, AIF)及静脉输出函数(Venous Output Function, VOF),则在 5min 内重新扫描一次。在灌注图像后处理阶段,若出现运动伪影或信号截断,系统将自动执行运动校正(Motion Correction)与伪影抑制(Artifact Suppression)算法。若经校正后仍无法生成稳定灌注曲线,则定义为“处理失败数据”,计入失败率并排除分析。

为控制辐射暴露,CTP 扫描采用低管电压(80kVp)联合迭代重建算法,平均体积 CT 剂量指数(volume CT dose index, CTDIvol)为(49.2 ± 6.3)mGy,剂量长度乘积(Dose Length Product, DLP)为(820 ± 95)mGy·cm。动态数据经软件自动进行运动校正和去卷积处理,生成多参数功能图,包括 CBF、CBV、MTT 及 TTP。AIF 优选病变同

侧大脑中动脉 M1 段或 A2 段, VOF 选取上矢状窦, 均由医师人工确认。

灌注分区标准: 灌注图像由 AW 4.7 工作站 (GE Healthcare) 采用内置脑灌注分析模块 (CTP 4D) 自动后处理, 软件基于去卷积算法生成多参数图 (CBF、CBV、MTT、TTP)。

①缺血核心区 (Ischemic Core) 定义: 以相对 CBF (rCBF) 下降 >70% 且 CBV 同步下降的区域判定为不可逆缺血核心区。

②缺血半暗带 (Ischemic Penumbra) 定义: 以 rCBF 下降 >70% 但 CBV 相对保留或轻度升高, 同时 MTT 或 TTP 延长的区域判定为可挽救组织。

③分割方式与 ROI 策略: 所有分析初步由软件自动生成感兴趣区 (ROI) 及不匹配区域 (Mismatch Region), 随后由两名放射科医师在 AW 工作站进行人工复核与必要修正 (如运动伪影、对称假阴区、静脉延迟等), 如自动识别误差 >10% 或边界不清, 则进行手动轮廓校正。最终以人工确认结果为准。不匹配比值计算公式为 $\text{Mismatch Ratio} =$

$\frac{\text{penumbra volume}}{\text{core volume}}$, 其中软件自动输出体积值 (mL),

比值 ≥ 2.0 判定为存在可挽救组织。该阈值参考 DEFUSE-3 与 EXTEND 试验推荐标准并经本院经验验证。对于不匹配比值介于 1.8 ~ 2.2 的边缘病例, 采用灵敏度分析双阈值法 (1.8 与 2.2) 重复检验, 一致性计算以主分析阈值 2.0 为准。

所有图像由两名放射科医师在未知患者临床信息的情况下独立判读。若两者结果差异超过核心区或半暗带体积的 10%, 则由第三名高年资医师复核并最终确认。部分病例随机抽取重复测量, 计算组内相关系数 (Intraclass Correlation Coefficient, ICC) 与 Kappa 值, 用于评价一致性。对存在明显运动伪影或输入曲线异常者, 应用运动校正与伪影抑制; 若仍不满足分析标准, 则判定为“不可评估数据”并剔除。对心律不齐或循环延迟个体适当延长采集时长, 以确保数据完整。CT 脑灌注成像检查核心流程图见图 1。

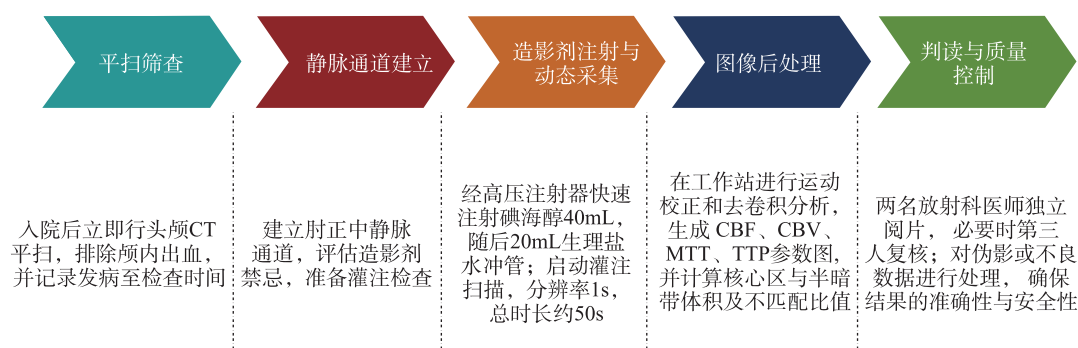


图 1 CT 脑灌注成像检查核心流程图
Fig. 1 Core process flowchart for CTP imaging

1.3 观察指标

(1) CT 灌注成像参数比较: 对所有患者的 CBF、CBV、MTT 和 TTP 进行定量测量, 并比较早期窗组与延长窗组之间的差异, 以明确不同灌注参数在评估 ACI 灌注状态中的价值。

(2) 缺血核心区与半暗带体积分析: 利用工作站软件自动计算缺血核心区与缺血半暗带的体积, 并结合人工校正, 获得核心区体积、半暗带体积以及二者的不匹配比值, 从而评估 CTP 在溶栓治疗获益预测中的作用。

(3) 影像学与时窗一致性评价: 在独立的时间窗分组基础上, 将 CTP 灌注结果与临床时间窗 (4.5h) 进行一致性分析。

(4) 预后相关性分析: 在治疗后 3 个月进行随访, 采用改良 Rankin 量表 (modified Rankin Scale, mRS) 评价患者的神经功能恢复情况, 并分析不同灌注模式 (核心区 / 半暗带比例) 与临床预后的相关性, 进一步探讨 CTP 在功能结局预测中的价值。

(5) 流程效率与质量控制指标: 统计所有患者的门急诊关键绩效指标 (Key Performance

Indicators, KPIs), 包括到院至 CTP 启动时间 (door-to-CT time)、CTP 检查至报告出具时间 (CT-to-report time) 以及检查成功率。

1.4 统计学方法

所有数据均采用 SPSS 26.0 统计软件进行处理。连续型资料首先进行正态性检验, 符合正态分布者以均数 \pm 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 组间比较采用独立样本 t 检验; 不符合正态分布者以中位数及四分位数间距 [$M(P25, P75)$] 表示, 采用 Mann-Whitney U 检验。分类资料以例数和百分比表示, 组间比较采用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法。为评价 CT 灌注成像参数在判断溶栓治疗窗中的诊断价值, 绘制受试者工作特征 (Receiver Operating Characteristic, ROC) 曲线, 并计算曲线下面积 (Area Under the Curve, AUC)、敏感度及特异度; 同时分析不匹配比值在不同时间窗组中的分布差异。采用 mRS 进行随访结果的分级评估, 并进一步探讨影像学指标与预后之间的相关性。所有检验均为双侧检验, 以 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料对比

早期窗组 30 例, 延长窗组 34 例。两组患者在性别、年龄、危险因素 (高血压、糖尿病、房颤、吸烟史) 等一般资料方面比较差异均无统计学意义 ($P > 0.05$), 提示两组患者具有可比性。两组患者一般资料比较见表 1。

表 1 两组患者一般资料比较 [$\bar{x} \pm s, n(\%)$]
Tab. 1 Comparison of general characteristics between the two groups of patients [$\bar{x} \pm s, n(\%)$]

指标	早期窗组 ($n=30$)	延长窗组 ($n=34$)	t/χ^2 值	P 值
年龄 (岁)	62.47 \pm 9.12	63.09 \pm 9.65	-0.255	0.800
男性	18 (60.0)	21 (61.8)	0.018	0.894
高血压	14 (46.7)	17 (50.0)	0.071	0.79
糖尿病	9 (30.0)	10 (29.4)	0.002	0.963
房颤	6 (20.0)	7 (20.6)	0.003	0.957
吸烟史	11 (36.7)	12 (35.3)	0.012	0.913

2.2 CT 灌注成像参数比较

两组患者 CT 灌注成像多参数比较结果显示, 早期窗组的 CBF 和 CBV 水平均明显高于延长窗组, 而 MTT 和 TTP 则显著低于延长窗组, 差异均具有

统计学意义 ($P < 0.05$)。两组患者 CT 灌注参数比较见表 2。

表 2 两组患者 CT 灌注成像参数比较 ($\bar{x} \pm s$)
Tab. 2 Comparison of CTP imaging parameters between the two groups of patient ($\bar{x} \pm s$)

组别	CBF (mL/100g/min)	CBV (mL/100g)	MTT (s)	TTP (s)
早期窗组 ($n=30$)	41.520	2.9120	4.8520	21.370
延长窗组 ($n=34$)	33.460	2.3760	6.1260	25.080
t 值	4.607	5.126	-7.168	-5.014
P 值	0.001	0.001	0.001	0.001

2.3 缺血核心区与半暗带体积比较

早期窗组的缺血核心区体积明显小于延长窗组, 而半暗带体积及不匹配比值显著大于延长窗组, 差异均具有统计学意义 ($P < 0.05$)。两组患者缺血核心区与半暗带体积比较见表 3。

表 3 两组患者缺血核心区与半暗带体积比较 ($\bar{x} \pm s$)
Tab. 3 Comparison of ischemic core and penumbra volumes between the two groups of patients ($\bar{x} \pm s$)

组别	缺血核心区 体积 (mL)	半暗带 体积 (mL)	不匹配比值 (半暗带/核心)
早期窗组 ($n=30$)	12.68 (半暗带)	42.71 (半暗带)	3.451 (半暗带)
延长窗组 ($n=34$)	22.34 (半暗带)	29.15 (半暗带)	1.385 (半暗带)
t 值	-8.082	6.507	10.09
P 值	0.001	0.001	0.001

2.4 影像学与时间窗一致性评价

在早期窗组中, 临床时间窗均为阳性 (30/30), CTP 判定阳性 27 例, 一致率 90.0% (27/30); 延长窗组中, 临床时间窗均为阴性 (0/34), CTP 判定阳性 3 例, 阴性 31 例, 一致率 91.2% (31/34)。总体一致率 90.6% (58/64), Kappa=0.812, $P < 0.05$ 。两组患者 CTP 判定与临床时间窗符合情况比较见表 4。

2.5 ROC 曲线分析

为评价 CT 灌注成像在溶栓治疗窗判定中的诊断效能, 以临床时间窗 (4.5h) 作为参考标准, 绘制各灌注参数及不匹配比值的 ROC 曲线。结果显示, 不匹配比值在预测溶栓可行性方面的 AUC 最大 (0.901), 诊断价值优于单一参数。其次为 CBF (AUC=0.847)、CBV (AUC=0.812), 而 MTT

表 4 两组患者 CTP 判定与临床时间窗符合情况比较 [n (%)]

Tab. 4 Comparison of the agreement between CTP assessment and clinical time window between the two groups of patients [n (%)]

分组	总例数	临床时间窗阳性	CTP 判定阳性	一致例数	一致率
早期窗组	30	30 (100.0)	27 (90.0)	27	90.0
延长窗组	34	0 (0.0)	3 (8.8)	31	91.2
合计	64	30 (46.9)	30 (46.9)	58	90.6

注：一致性判定标准为方向一致即视为一致，即早期窗组中CTP判定阳性视为与临床时间窗一致，延长窗组中CTP判定阴性视为一致；反之方向不一致者视为不一致。

和 TTP 的 AUC 相对较低（分别为 0.769 和 0.742）。其中，不匹配比值的敏感度和特异度分别为 89.3% 和 85.4%，具有较高的综合判断能力。CTP 参数及不匹配比值在溶栓治疗窗判定中的 ROC 分析结果见表 5、图 2。

表 5 CTP 参数及不匹配比值在溶栓治疗窗判定中的 ROC 分析结果
Tab. 5 ROC analysis results for CTP parameters and mismatch ratio in determining the thrombolysis window

指标	AUC	95% CI	敏感度 (%)	特异度 (%)
CBF	0.847	0.758 ~ 0.936	82.1	80.6
CBV	0.812	0.702 ~ 0.923	78.6	76.3
MTT	0.769	0.655 ~ 0.884	74.2	72.2
TTP	0.742	0.618 ~ 0.866	71.4	68.4
不匹配比值	0.901	0.828 ~ 0.974	89.3	85.4

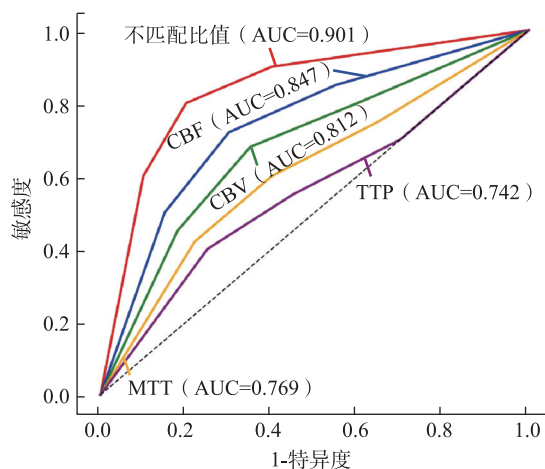


图 2 CTP 参数及不匹配比值在溶栓治疗窗判定中的 ROC 曲线示意图

Fig. 2 Schematic diagram of ROC curve for CTP parameters and mismatch ratio in determining the thrombolysis window

2.6 预后相关性分析

早期窗组患者的预后明显优于延长窗组，mRS 评分 ≤ 2 分的良好预后比例分别为 73.3% 与 38.2%，差异具有统计学意义 ($P < 0.05$)。进一步

分析不同灌注模式发现，不匹配比值较高 (≥ 2.0) 的患者预后显著优于比值较低 (< 2.0) 的患者 ($P < 0.05$)。两组患者随访 3 个月预后情况比较见表 6。

表 6 两组患者随访 3 个月预后情况比较 [n (%)]

Tab. 6 Comparison of 3-month follow-up outcomes between the two groups of patients [n (%)]

分组	总例数	良好预后 (mRS ≤ 2)	不良预后 (mRS > 2)	χ^2 值	P 值
早期窗组	30	22 (73.3)	8 (26.7)	6.12	0.013
延长窗组	34	13 (38.2)	21 (61.8)		
不匹配比值 ≥ 2.0	28	21 (75.0)	7 (25.0)	7.426	0.006
不匹配比值 < 2.0	36	14 (38.9)	22 (61.1)		

采用灵敏度分析与时间外验证策略，在主分析中固定阈值 2.0，进行 ± 0.2 范围 (1.8 与 2.2) 的灵敏度分析，检验结果方向一致性。将 2023 年入组病例作为训练样本、2024 年病例作为时间外验证样本，在不更改阈值的前提下重复分析，以评估阈值在不同时间段病例中的稳定性与可迁移性。结果显示不匹配比值 ≥ 2.0 患者的良好转归比例明显高于 < 2.0 者 ($P < 0.05$)；在灵敏度分析 (± 0.2 阈值) 与时间外验证样本中，结论方向一致，提示阈值具有较好的稳健性。

2.7 流程效率指标

本研究中，所有患者均成功完成 CTP 检查，整体检查成功率为 96.9% (62/64)，两例因明显运动伪影被排除。平均门急诊 KPIs 如下：到院至 CTP 启动时间为 (21.4 ± 5.7) min，CTP 检查至报告出具时间为 (12.6 ± 3.8) min，总体影像评估周转时长 < 35 min。

3 讨论

近年来，卒中救治体系不断完善，影像学检查在临床决策中的作用愈加突出。常规头颅 CT 平扫能够在最短时间内完成，适合急诊排除出血性病变，但对缺血性梗死的早期检出率有限；磁共振灌注及弥散成像在病灶显示和组织可救治性判断方面表现优越，但由于检查时间长、设备可及性受限及急诊流程复杂，难以在所有中心普及^[5-6]。相比之下，CTP 凭借其快速、可重复、参数化分析的优势，已逐渐被纳入卒中急诊的常规评估流程^[7]。

本研究结果显示,CTP 能够敏感地反映不同时间窗急性脑梗死患者的脑组织灌注状态,并对溶栓治疗窗的判断具有较高临床价值。早期窗组患者的 CBF、CBV 水平均明显高于延长窗组,而 MTT、TTP 则显著低于后者,提示脑组织在早期阶段仍具备较好的灌注与血管储备功能。这进一步说明,CTP 不仅能够量化局部灌注水平,还能作为评估缺血严重程度的重要工具^[8]。在缺血核心区与半暗带分析中,本研究发现早期窗组患者的半暗带范围明显大于核心区,而延长窗组则表现为核心区扩大、半暗带缩小,这一结果与组织学上“缺血半暗带逐渐向核心区转化”的演变规律高度吻合。不匹配比值作为灌注成像的重要定量指标,在本研究中表现出较好的区分能力,提示其在指导溶栓治疗中的临床应用价值。对于部分发病时间不明确或超过 4.5h 的患者,单纯依赖时间窗可能导致治疗机会丧失,而 CTP 通过影像学分区为个体化决策提供了客观依据。在影像学与时间窗一致性方面,本研究结果表明 CTP 与临床传统时间窗标准具有较高符合率,Kappa 值达 0.812 ($P<0.05$),说明其在判断溶栓可行性上具备较强的替代价值。更重要的是,ROC 曲线分析进一步确认,不匹配比值的 AUC 最大,敏感度与特异度均较高,优于单一灌注参数。这一发现进一步印证了 CT 灌注成像在延长溶栓或取栓时间窗中的价值^[9]。本研究的随访结果亦表明,早期窗组患者的良好预后比例显著高于延长窗组,而不匹配比值较高的患者预后亦更佳。这提示 CTP 不仅在溶栓治疗窗判断中具有指导意义,同时也可作为预测远期神经功能恢复的指标。影像学定量指标与临床结局的相关性,进一步强化了 CTP 在 ACI 管理中的地位。值得注意的是,本研究采用低管电压联合迭代重建技术,在保持诊断质量的同时显著降低了辐射剂量(平均 CTDIvol 约 49mGy)。门急诊 KPI 数据显示,从到院至影像出具的平均周转时间控制在 35min 以内,检查成功率达 96.9%,反映了 CTP 在卒中绿色通道中的可操作性与高时效性。这些指标表明,规范化 CTP 流程在保证安全性的同时,能够兼顾影像质量与救治时效,为影像先行模式的优化提供了可量化参考。

当然,本研究亦存在一定局限性。首先,仅纳入 64 例患者,样本规模尚不足以完全代表人群特征。其次,本研究为单中心研究,受设备型号、扫描参数及后处理软件影响,结果可能存在一定偏差。未来需扩大样本量,联合多中心前瞻性研究,并结合磁共振灌注成像及临床评分体系,进一步验证 CTP 在溶栓治疗窗评估中的可靠性和推广价值。

综上所述,CT 脑灌注成像通过多参数分析及缺血核心区与半暗带的定量评估,能够较为准确地反映 ACI 患者的灌注状态,对溶栓治疗窗的判断具有重要临床价值。不匹配比值作为关键指标,可在传统时间窗之外为临床个体化治疗决策提供参考,提示放射科在卒中急诊影像学评估中具有不可替代的作用。

参考文献

- [1] 闵朋, 杨锐. MRI 联合 DWI 成像评估早期脑梗死缺血半暗带患者价值分析[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2024, 22(6): 19-20, 30. MIN Peng, YANG Rui. The value of MRI combined with DWI imaging in patients with ischemic penumbra in early cerebral infarction[J]. Chinese Journal of CT and MRI, 2024, 22(6): 19-20, 30.
- [2] 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血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. JIANG Botao, CHEN Chanjuan, TAN Hong, et al. Analysis of the correlation between neurological function, prognosis, and common biochemical indicators after intravenous thrombolysis with alteplase in patients with acute cerebral infarction[J]. Chinese Journal of Geriatric Heart Brain and Vessel Diseases, 2024, 26(1): 63-66.
- [3] 逯瑶, 曹文博, 李京凯, 等. CT 灌注成像低灌注强度比预测急性缺血性卒中梗死核心进展及预后[J]. 中国医学影像技术, 2025, 41(5): 718-722. LU Yao, CAO Wenbo, LI Jingkai, et al. Prediction of infarct core progression and prognosis in acute ischemic stroke using low perfusion intensity ratio in CT perfusion imaging[J]. Chinese Journal of Medical Imaging Technology, 2025, 41(5): 718-722.
- [4] 唐勇, 王远军. CT 脑灌注成像定量分析在急性脑梗死早期诊断及手术指导中的临床价值研究[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2021, 19(10): 16-17, 86. TANG Yong, WANG Yuanjun. Clinical value of quantitative analysis of CT cerebral perfusion imaging in the early diagnosis and treatment of acute cerebral infarction[J]. Chinese Journal of CT and MRI,

- 2021, 19(10): 16-17, 86.
- [5] 唐清, 费宗茹, 董军, 等. 头颅 CT 灌注成像联合磁共振血管成像评估急性缺血性脑卒中患者预后的应用研究 [J]. **现代生物医学进展**, 2025, 25 (6): 1057-1064.
- TANG Qing, FEI Zongru, DONG Jun, *et al.* Application study of cranial CT perfusion imaging combined with magnetic resonance angiography in evaluating the prognosis of patients with acute ischemic stroke[J]. **Progress in Modern Biomedicine**, 2025, 25 (6): 1057-1064.
- [6] 胡俊秋, 赵江, 刘科位, 等. CT 与 MRI 对急性脑梗死患者脑血管及灌注的诊断效能对照研究 [J]. **中国急救复苏与灾害医学杂志**, 2024, 19 (6): 782-785.
- HU Junqiu, ZHAO Jiang, LIU Kewei, *et al.* Comparative study on the diagnostic efficacy of CT and MRI in cerebral vessels and perfusion in patients with acute cerebral infarction[J]. **Chinese Journal of Emergency Resuscitation and Disaster Medicine**, 2024, 19 (6): 782-785.
- [7] MITCHELLE A, GOROLAY VV, AITKEN M, *et al.* CTP for the screening of vasospasm and delayed cerebral ischemia in aneurysmal SAH: a systematic review and meta-analysis[J]. **Am J Neuroradiol**, 2024, 45(7): 871-878.
- [8] LIN X, WANG W, TAO T, *et al.* Synthetic role of miR-411-5p and CT perfusion information in predicting clinical outcomes after thrombolysis in acute cerebral infarction[J]. **Acta Neurol Belg**, 2023, 123(2): 457-464.
- [9] 邢海昌, 刘洋, 庄顺达, 等. CT 灌注成像联合 CT 血管造影对急性缺血性脑血管病患者溶栓疗效评价 [J]. **中国中西医结合影像学杂志**, 2025, 23 (1): 55-58.
- XING Haichang, LIU Yang, ZHUANG Shunda, *et al.* CT perfusion combined with CTA in therapeutic evaluation of thrombolysis in treating acute ischemic cerebrovascular disease[J]. **Chinese Imaging Journal of Integrated Traditional and Western Medicine**, 2025, 23 (1): 55-58.