



电子、语音版

· 论 著 ·

## 平扫计算机体层成像值变化对急性脑梗死发病时间的预测价值

方建欧, 陈璨, 喻科, 郑兴友

长沙市第四医院/长沙市中西医结合医院, 湖南长沙 410200

**摘要:**目的 评估平扫计算机体层成像(CT)值变化(CT衰减率)对急性脑梗死发病时间的预测效能。方法 回顾性收集2021年3月—2025年3月长沙市第四医院收治的190例急性脑梗死患者的临床和影像学资料。根据急性脑梗死静脉溶栓时间窗将患者分为 $\leq 4.5$  h组和 $> 4.5$  h组,采用多因素Logistic回归分析筛选出急性脑梗死发病时间的影响因素,Spearman分析上述影响因素与急性脑梗死发病时间的相关性以及采用受试者操作特征(ROC)曲线分析上述影响因素对预测急性脑梗死发病时间的效能。结果  $\leq 4.5$  h组患者患侧CT值、CT衰减率均高于 $> 4.5$  h组( $P < 0.05$ )。患侧CT衰减率与急性脑梗死发病时间呈负相关性( $r_s = -0.764, P < 0.001$ )。CT衰减率预测急性脑梗死发病时间 $\leq 4.5$  h的曲线下面积(AUC)为0.893(95%CI:0.848 ~ 0.938,  $P < 0.001$ ),最佳临界值为0.825(约登指数为0.645),灵敏度为89.70%,特异度为74.80%。结论 平扫CT衰减率对预测急性脑梗死发病时间是否在4.5 h内具有较高的诊断效能,可为临床判断患者是否符合静脉溶栓条件提供客观影像依据。

**关键词:**计算机体层成像;急性脑梗死;发病时间

中图分类号:R743.3;R445.3

DOI:10.16636/j.cnki.jinn.1673-2642.2025.06.009

### Value of the change in non-contrast computed tomography value in predicting the onset time of acute cerebral infarction

FANG Jianou, CHEN Can, YU Ke, ZHENG Xingyou

The Fourth Hospital of Changsha/Integrated Traditional Chinese and Western Medicine Hospital of Changsha, Changsha, Hunan 410200, China

Corresponding author: ZHENG Xingyou, Email: zhengxy0614@163.com

**Abstract:** **Objective** To investigate the performance of the change in non-contrast computed tomography (CT) value (CT attenuation rate) in predicting the onset time of acute cerebral infarction (ACI). **Methods** A retrospective analysis was performed for the clinical and imaging data of 190 ACI patients who were admitted to The Fourth Hospital of Changsha from March 2021 to March 2025, and according to the time window of intravenous thrombolysis for ACI, the patients were divided into  $\leq 4.5$  hours group and  $> 4.5$  hours group. A logistic regression analysis was used to identify the influencing factors for the onset time of ACI; a Spearman analysis was used to investigate the correlation between the above influencing factors and the onset time of ACI; a receiver operating characteristic (ROC) curve analysis was used to assess the performance of the above influencing factors in predicting the onset time of ACI. **Results** Compared with the  $> 4.5$  hours group, the  $\leq 4.5$  hours group had significantly higher CT value and CT attenuation rate of the affected side ( $P < 0.05$ ). CT attenuation rate of the affected side was negatively correlated with the onset time of ACI ( $r_s = -0.764, P < 0.001$ ). CT attenuation rate had an area under the ROC curve of 0.893 (95% confidence interval: 0.848–0.938,  $P < 0.001$ ) in predicting

基金项目:湖南省卫生健康委科研计划项目(202209012923);长沙市科技计划项目(kq2403200)。

收稿日期:2025-06-16;修回日期:2025-11-26

作者简介:方建欧(1990—),男,主治医师,硕士研究生在读,影像医学与核医学专业,主要从事神经影像的研究。Email:15073120336@163.com。

通信作者:郑兴友(1981—),男,副主任医师,科副主任,硕士研究生,主要从事神经影像的研究。Email:zhengxy0614@163.com。

an ACI onset time of  $\leq 4.5$  hours, with an optimal cut-off value of 0.825 (Youden index=0.645), a sensitivity of 89.70%, and a specificity of 74.80%. **Conclusions** Non-contrast CT attenuation rate has high diagnostic efficacy in predicting whether ACI onset time is within 4.5 hours, and it can provide an objective imaging basis for determining the eligibility of patients for intravenous thrombolysis in clinical practice.

**Keywords:** non-contrast computed tomography; acute cerebral infarction; onset time

急性脑梗死是临床常见的神经系统疾病,是全球范围内导致死亡和长期残疾的主要原因之一<sup>[1]</sup>,在所有类型的脑卒中中占比超过85%<sup>[2]</sup>,据不完全统计,脑梗死患者入院后病死率达到32.8%,30 d病死率为11.4%<sup>[3]</sup>,已严重影响人民生命安全。静脉溶栓仍是急性脑梗死首选治疗方法<sup>[4-5]</sup>,可在有效时间内开通闭塞血管、恢复梗死动脉血管的正常血流,挽救缺血半暗带区,减小梗死范围。但静脉溶栓治疗时间窗窄,且相关指南指出,若患者发病时间未知,其卒中多已超出溶栓时间窗<sup>[6]</sup>。在临床实际治疗中,多数患者在就医时不能说明确切的发病时间,导致错失溶栓治疗机会。因此,准确鉴别急性脑梗死发病时间已成为临床研究重点方向。目前,头颅计算机断层成像(CT)、磁共振成像(MRI)是诊断急性脑梗死的常用技术,其中MRI可有效评估患者梗死部位、缺血半暗带区及侧支循环情况,但其存在操作复杂、检查成本高,预约检查周期长等问题,临床应用受限<sup>[7-8]</sup>。CT因检查速度快,常作为急诊患者首选影像学检查方式,不仅可排除脑出血等其他原因,还能通过调节窗宽、窗位等方式增加图像对比度,清楚地显示急性脑梗死的CT征象<sup>[9]</sup>,但CT在判断急性脑梗死发病时间方面仍存在一定难度。CT值是衡量人体组织或器官密度的计量单位,与CT图像中组织的X射线衰减系数直接对应。研究表明,急性脑梗死发病后,脑组织含水量每增加1%,CT值会降低1.3~2.6HU<sup>[10]</sup>,基于此特性,通过头颅CT值可间接检测脑组织含水量,进而评价脑组织衰减程度。因此,能否通过测量平扫CT值准确鉴别急性脑梗死发病时间,成为当前临床研究的关键问题。基于上述背景,本研究通过测量急性脑梗死病灶平扫CT值随发病时间的变化关系,探讨平扫CT值变化预测发病时间的可行性和准确性。

## 1 资料与方法

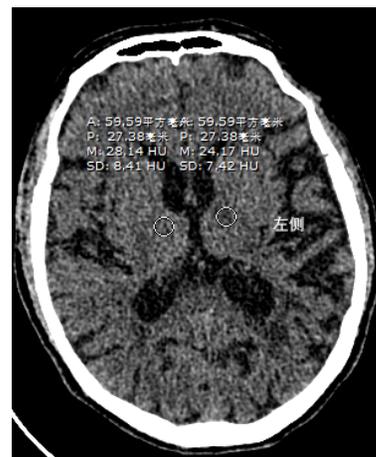
### 1.1 临床资料

回顾2021年3月—2025年3月长沙市第四医院收治的190例急性脑梗死患者的临床和影像学资料。其中,男性133例,女性57例;年龄20~88岁,平均(63.33±12.76)岁;发病时间 $\leq 4.5$  h患者87例, $>4.5$  h为103例,发病时间距CT检查时间最短为23 min,最长为127.3 h。纳入标准:①急性起病,具有明确发病时间;②局灶神经功能缺损(一侧面部或肢体无力或麻木,语言障碍等),少数为全面神经功能缺损;③影像学出现责任病灶或症状/体征持续24 h以上;④均符合急性脑梗死诊断标准<sup>[11]</sup>;⑤发病时间

明确;⑥均在入院后完成头颅CT平扫检查;⑦影像学资料完整。排除标准:①脑出血患者;②伴颅内肿瘤、感染、脑炎等颅脑疾病者;③双侧同一部位有对称性病灶者;④影像学资料有伪影、软化灶、钙化灶等影响感兴趣区(region of interest, ROI)CT值测量;⑤入院时已通过静脉溶栓或血管内治疗者;⑥临床或影像资料不全者。本研究已通过我院医学伦理委员会审批(CSSDSYY-LLSC-KYXM-2021-12-11)。

### 1.2 方法

入院患者均采用头颅CT平扫检查,在Revolution Ace(64排,航卫通用电气医疗系统有限公司,国械注准20193060525),Incisive CT(64排,飞利浦医疗(苏州)有限公司,国械注准20183060512)扫描获得头颅CT平扫影像学图像。设备经过严格校准和使用标准操作流程,以确保检测结果的准确性和可比性。患者均取头部扫描标准体位,扫描整个颅脑部位,扫描参数:管电压为120 kV,管电流为210 mAs,层厚为5 mm,螺距1.0,矩阵为512×512。由2名工作时间 $>10$ 年的影像学医师进行图像判断,对CT图像上提示脑梗死的低密度病灶,于最大梗死面积层面采用椭圆形或圆形进行勾画ROI,尽量包括所有的梗死病灶;在勾画ROI时,需要剔除脑脊液、钙化灶、周围白质等因素,若意见出现分歧,则通过讨论达成一致;同时在健侧对应位置正常脑组织区勾画ROI,双侧ROI大小一致,于CT图像ROI区域内分别测量患侧与健侧对应位置的CT值。CT衰减率=患侧CT值/健侧CT值。见图1。



左侧基底节区急性脑梗死患者,发病距CT检查时间178 min,患侧CT值为24.2 HU,健侧CT值为28.1 HU,CT衰减率为0.86。

图1 ROI勾画及CT衰减率计算

1.3 统计学方法

采用SPSS 27.0统计学软件进行数据分析。符合正态分布的计量资料以均数±标准差( $\bar{x}\pm s$ )表示,组间比较采用t检验;不符合正态分布的计量资料以中位数(四分位数间距) $[M(P_{25}, P_{75})]$ 表示,组间比较采用Mann-Whitney U检验;计数资料以例(%)表示,组间比较采用 $\chi^2$ 检验;影响因素分析采用多因素Logistic回归分析;相关性分析采用Spearman相关分析;采用受试者操作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线及曲线下面积(area under the curve, AUC)评估CT衰减率对急性脑梗死发病时间的预测价值。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 比较两组资料

两组在年龄、性别、发病部位及健侧CT值方面比较,差异无统计学意义( $P>0.05$ );发病时间 $\leq 4.5$  h组的患侧CT值、CT衰减率均高于 $>4.5$  h组,差异有统计学意义( $P<0.05$ )。见表1。

表1 不同发病时间患者资料比较

项目	$\leq 4.5$ h组 (n=87)	$>4.5$ h组 (n=103)	$\chi^2/Z/t$ 值	P值
性别 例(%)				
男	65(74.71)	68(66.02)	1.697	0.193
女	22(25.29)	35(33.98)		
年龄[岁, $M(P_{25}, P_{75})]$	64.0 (55.0, 72.0)	64.0 (56.0, 70.0)	-0.231	0.818
发病部位 例(%)				
前循环	74(85.06)	90(87.38)	0.215	0.643
后循环	13(14.94)	13(12.62)		
患侧CT值/[HU, $M(P_{25}, P_{75})]$	25.0 (22.5, 28.4)	19.7 (16.6, 23.0)	-7.092	$<0.001$
健侧CT值/[HU, $M(P_{25}, P_{75})]$	27.5 (25.0, 31.0)	27.1 (24.7, 31.0)	-0.564	0.573
CT衰减率/ (%, $\bar{x}\pm s$ )	0.91±0.07	0.72±0.14	11.909	$<0.001$

2.2 多因素Logistic回归分析结果

CT衰减率是急性脑梗死发病时间的影响因素( $P<0.05$ )。见表2。

表2 多因素Logistic回归分析

因素	b	$S_b$	Wald $\chi^2$ 值	OR值	95%CI	P值
患侧CT值	0.001	0.051	0.000	1.001	0.907~1.105	0.987
CT衰减率	-18.479	3.158	34.242	0.000	0.000~0.000	0.000

2.3 相关性分析

患侧CT衰减率与急性脑梗死发病时间呈负相关性( $r_s=-0.764, P<0.001$ )。见图2。

2.4 模型评价

以CT衰减率预测发病时间4.5 h内的结局变量进行ROC曲线分析,结果显示模型具有较高的预测效能(AUC=0.893, 95%CI: 0.848~0.938,  $P<0.001$ );根据最大约登指数(约登指数为0.645)确定最佳临界值为0.825,灵敏度为89.70%,特异度为74.80%。见图3。

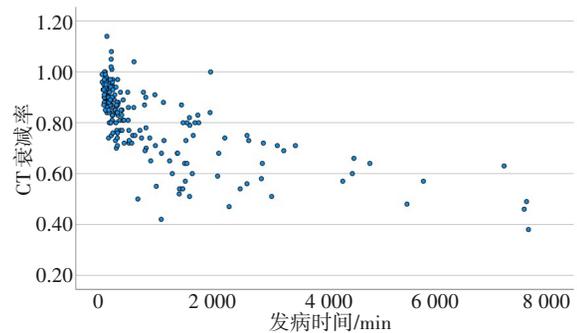


图2 CT衰减率与急性脑梗死发病时间关系散点图

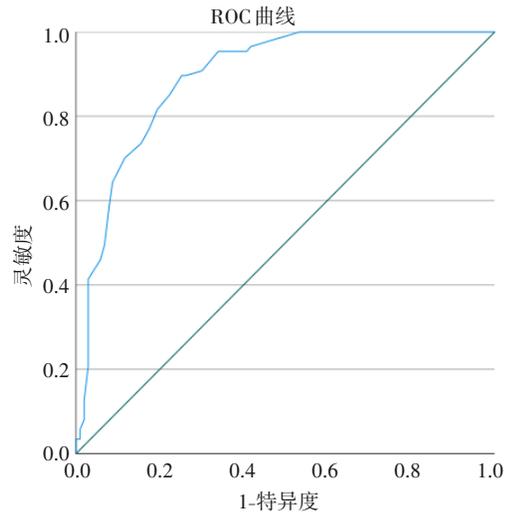


图3 CT衰减率诊断脑梗死发病时间的ROC曲线

3 讨论

急性脑梗死是由多因素造成脑组织供血不足及缺乏,进而导致局部组织不可逆性损伤<sup>[12]</sup>。由于本病进展快,治疗不及时会增加患者死亡风险,故早期诊断并及时有效的治疗方法对改善患者预后具有重要意义。静脉溶栓是恢复患者闭塞动脉血管血流灌注的重要手段,其早期治疗及快速复通可明显降低患者病死率及病残率,改善其临床结局<sup>[13-14]</sup>。但部分患者由于各种原因不能明确发病时间,使部分患者超出溶栓时间窗。另外部分患

者在睡眠期发病,并在醒后发生卒中,即为觉醒型卒中,即使平扫CT检查未见颅内出血,此类患者也被归于静脉溶栓的禁忌证<sup>[6, 15]</sup>。Alzahrani等<sup>[16]</sup>通过平扫CT可以评估急性脑梗死后脑组织的活力,CT衰减率能够识别缺血半暗带。Peng等<sup>[17]</sup>发现平扫CT衰减率可以用于在CT图像上不确定的低密度病变中区分急性脑梗死和陈旧性脑梗死,但不能判断急性脑梗死发病时间。颈内或大脑中动脉高密度征(患侧动脉CT值高于健侧CT值)是判断早期脑梗死的主要CT征象<sup>[18]</sup>,可为早期干预提供重要提示,但是该征象亦不能判定急性脑梗死具体发病时间。Mair等<sup>[19]</sup>已初步探索平扫CT衰减率可以准确估计急性脑梗死的起始时间,但是,其研究发病时间为22 min~36 d,对

早期溶栓治疗指导有待考证。张晶<sup>[20]</sup>发现CT衰减率在急性脑梗死发病24 h之内与发病时间呈负相关,对发病12 h以内急性脑梗死患者具体发病时间的预测价值最高,但其未具体量化平扫CT衰减率与急性脑梗死发病时间4.5 h内的关系(见表3)。综上所述,平扫CT可用于急性脑梗死的诊断,并且平扫CT衰减率在急性脑梗死发病时间推断中的价值已获得共识,但是,不同的时间窗聚焦为本研究提供了补充空间。故探索一种更为客观、有效的诊断方法用于评估患者是否处于静脉溶栓时间窗内显得颇为重要。本研究通过构建模型,明确了CT衰减率在预测发病时间4.5 h内诊断效能,为临床提供了更精准的时间推断参考。

表3 平扫CT衰减率对急性脑梗死的相关研究文章

文献序号	作者	主要研究结果
[16]	Alzahrani A, et al	平扫CT可以评估急性脑梗死后脑组织的活力,CT衰减率能够识别缺血半暗带
[17]	Peng Y, et al	平扫CT衰减率可以用于在CT图像上不确定的低密度病变中区分急性脑梗死和陈旧性脑梗死或陈旧性脑梗死和不对称性脑白质疏松症。然而,将急性脑梗死与不对称脑白质疏松症区分开来仍具有一定困难
[19]	Mair G, et al	平扫CT衰减率可以准确估计急性脑梗死的起始时间,并且在0~9 h内比较准确
[20]	张晶	CT衰减率在急性脑梗死发病24 h之内与发病时间呈负相关,对发病12 h以内急性脑梗死患者具体发病时间的预测价值最高

本研究结果显示,发病时间≤4.5 h组患者患侧CT值、CT衰减率均高于>4.5 h组( $P<0.05$ )。这之前研究相符<sup>[20]</sup>,再次验证了平扫CT衰减率可作为急性脑梗死发病时间的推断指标。多因素 Logistic 回归分析表明,CT衰减率是急性脑梗死发病时间的影响因素,究其原因可能是平扫患侧CT值仅显示梗死区脑组织水肿程度,而不同患者个体差异明显,且部分超早期患者占位效应不明显,CT主要是根据占位效应进行疾病诊断,此时占位效应不明显均会干扰CT检查结果。CT衰减率是患侧/健侧CT值比值,正常双侧脑实质密度基本相同,而在梗死区平扫CT值减低,与健侧差异较大,故根据CT衰减率对预测患者发病时间≤4.5 h具有较高的临床价值。相关性分析结果显示,CT衰减率与急性脑梗死发病时间呈负相关,随着急性脑梗死发病时间延长,头颅梗死病灶CT衰减率随之降低,原因是CT检查是根据水的衰减系数进行校准的,CT值可反映机体组织含水量,脑组织水肿越明显,CT值越低,在疾病发生早期,此时脑组织水肿不明显,CT值较高,而随着疾病进展,脑组织从细胞毒性水肿进展至离子型水肿、血管源性水肿<sup>[21]</sup>,此时脑组织肿胀最为严重,CT值明显减低,相应CT衰减率亦降低。因此根据平扫CT衰减率可在一定程度上评价急性脑梗死的发病时间,为疾病发病时间诊断提供参考依据。同时研究显示,CT衰减率预测急性脑梗死发病时间≤4.5 h的AUC值为0.893,最佳临界值为0.825(约登指数为0.645),灵敏度为

89.70%,特异度为74.80%,提示CT衰减率在预测急性脑梗死发病时间在4.5 h内具有较高的诊断效能,为患者静脉溶栓治疗提供客观依据。

综上所述,随着急性脑梗死发病时间的延长,CT衰减率逐渐降低,根据CT衰减率对预测急性脑梗死发病时间是否在4.5 h内具有较高的准确性,准确判断患者是否具备静脉溶栓的机会,值得应用。但研究属于回顾性分析,临床数据不完整,均可能会造成研究结果偏倚,因此在以后研究中仍需要建立更为精准、有效的预测模型准确评价急性脑梗死的发病时间。

参 考 文 献

[1] MARTHA SR, PEN AY, MCGUIRE LS, et al. Lipidomics, acute ischemic stroke, symptoms, and outcomes: observational study protocol[J]. Nurs Res, 2023, 72(4): 326-333.

[2] DING QQ, LIU SW, YAO YD, et al. Global, regional, and national burden of ischemic stroke, 1990-2019[J]. Neurology, 2022, 98(3): e279-e290.

[3] BLIXT JP, KRISTOFFERSEN DT, HELGELAND J, et al. In-hospital versus postdischarge 30-day mortality in patients admitted after acute myocardial infarction (AMI), cerebral stroke or hip fracture: a cohort study based on registry data[J]. BMJ Open Qual, 2025, 14(1): e003030.

[4] 李丽娜, 刘震, 张文友, 等. 发病4.5小时内老年急性脑梗死接受介入治疗的预后分析[J]. 心脑血管病杂志, 2022, 41(8): 898-902.

[5] 郭莉. 血塞通联合阿替普酶静脉溶栓治疗急性脑梗死患者

- 的效果[J]. 中国民康医学, 2025, 37(6): 74-77.
- [6] 中国卒中学会,《中国卒中学会急性缺血性卒中再灌注治疗指南 2024》编写组,王拥军. 中国卒中学会急性缺血性卒中再灌注治疗指南 2024[J]. 中国卒中杂志, 2024, 19(12): 1460-1478.
- [7] 高翔宇,米星宇,韩伟,等. CT及MRI影像设备对急性脑梗死的诊断价值分析[J]. 现代医用影像学, 2024, 33(12): 2190-2193.
- [8] 张春海,刘扬,闫坤,等. PWI-DWI评估超急性脑梗死缺血半暗带指导静脉溶栓的价值分析[J]. 医学影像学杂志, 2025, 35(2): 6-10.
- [9] 张月慧,夏营营. CT平扫在超急性期脑梗死诊断中的应用分析[J]. 世界最新医学信息文摘, 2018, 18(29): 136.
- [10] 吴蓉蓉. 基于 ASPECTS 评分的摄水分数在急性缺血性脑卒中患者中的临床应用研究[D]. 南京: 南京医科大学, 2023.
- [11] 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.
- [12] WANG XP, YAN D, JIN XP, et al. The role of amino acid metabolism alterations in acute ischemic stroke: from mechanism to application[J]. Pharmacol Res, 2024, 207: 107313.
- [13] XIONG YY, WAKHLOO AK, FISHER M. Advances in acute ischemic stroke therapy[J]. Circ Res, 2022, 130(8): 1230-1251.
- [14] LEI YS, LI H, LEI JY, et al. Effect of intravenous thrombolysis in acute ischemic stroke patients with cerebral microbleeds and analysis of risk factors for hemorrhagic transformation[J]. Eur Rev Med Pharmacol Sci, 2022, 26(3): 779-786.
- [15] ROALDSEN MB, ELTOFT A, WILSGAARD T, et al. Safety and efficacy of tenecteplase in patients with wake-up stroke assessed by non-contrast CT (TWIST): a multicentre, open-label, randomised controlled trial[J]. Lancet Neurol, 2023, 22(2): 117-126.
- [16] ALZHRANI A, ZHANG XY, ALBUKHARI A, et al. Assessing brain tissue viability on nonenhanced computed tomography after ischemic stroke[J]. Stroke, 2023, 54(2): 558-566.
- [17] PENG Y, LUO CY, WANG H, et al. Feasibility of CT attenuation values in distinguishing acute ischemic stroke, old cerebral infarction and leukoaraiosis[J]. BMC Med Imaging, 2024, 24(1): 160.
- [18] 郑兴友,黄荣慧,许顺驰,等. 磁敏感血管征在显示超急性脑梗死颅内动脉血栓中的应用[J]. 国际神经病学神经外科学杂志, 2021, 48(3): 235-238.
- [19] MAIR G, ALZHRANI A, LINDLEY RI, et al. Feasibility and diagnostic accuracy of using brain attenuation changes on CT to estimate time of ischemic stroke onset[J]. Neuroradiology, 2021, 63(6): 869-878.
- [20] 张晶. 头颅CT衰减率在预测急性缺血性脑卒中发病时间中的作用研究[D]. 广州: 广州医科大学, 2023.
- [21] 邓一伦. 应激性高血糖及新型血清炎症标志物与急性脑梗死后脑水肿和功能预后的相关性研究[D]. 成都: 四川大学, 2022.

责任编辑:王荣兵