

论 著

急性缺血性卒中核心CT灌注参数与预后的相关性研究*

任丽丽* 王 磊

哈尔滨医科大学附属第一医院重症医学科
(黑龙江 哈尔滨 150001)

【摘要】目的 急性缺血性卒中血管内治疗(EVT)前静脉溶栓(IVT)可引起脑出血,因而可评估急性缺血性卒中核心CT灌注参数可指导治疗及预后。**方法** 建脑白质CT参数模型(WML),并用医院收治急性缺血性卒中患者进行验证,根据改良的Rankin分级(MRS)将DL-WML和WML-FAZ与症状性脑出血(SICH)和90天的功能结果相关联,回归模型采用共同优势比(COR/ACOR)评价。**结果** 总共分析516例患者,DL-WML体积和WML-FAZ都与SICH和MRS相关。如果给予静脉内注射,则WML-FAZ与更多的脑出血相关($P=0.046$)。如果给予静脉血栓治疗,两种WML测量方法都与更差的MRS无关。**结论** DL-WML体积和WML-FAZ与功能结局和SICH的关系相似,值得注意。

【关键词】 急性缺血性卒中; 血管内治疗; 前静脉溶栓; 脑出血

【中图分类号】 R722.15+1

【文献标识码】 A

【基金项目】 江西省卫生健康委科技计划
(20204737)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.04.001

The Correlation between Core CT Perfusion Parameters and Prognosis in Acute Ischemic Stroke*

REN Li-li*, WANG Lei.

Department of Critical Care Medicine, the First Affiliated Hospital of Harbin Medical University, Harbin 150001, Heilongjiang Province, China

ABSTRACT

Objective Intravenous thrombolysis (IVT) before endovascular treatment (EVT) for acute ischemic stroke can cause cerebral hemorrhage, thus evaluating the core CT perfusion parameters of acute ischemic stroke can guide treatment and prognosis. **Methods** A CT perfusion parameter model (WML) was established and validated with hospitalized acute ischemic stroke patients. DL-WML and WML-FAZ were correlated with symptomatic intracerebral hemorrhage (SICH) and 90 day functional outcomes based on the improved Rankin classification (MRS). The regression model was evaluated using a common odds ratio (COR/ACOR). **Results** A total of 516 patients were analyzed, and both DL-WML volume and WML-FAZ were associated with SICH and MRS. If given intravenously, WML-FAZ is associated with more cerebral hemorrhage ($P=0.046$). If venous thrombolysis treatment is given, both WML measurement methods are not associated with poorer MRS. **Conclusion** The relationship between DL-WML volume and WML-FAZ with functional outcomes and SICH is similar and worth noting.

Keywords: Acute Ischemic Stroke; Intravascular Treatment; Anterior Venous Thrombolysis; Cerebral Hemorrhage

血管内治疗(EVT)前溶栓(IVT)治疗时机及预后一直存在争议。此外,脑白质损伤(WML)负荷高的AIS患者有发生脑出血的风险,在AIS期间进行IVT可能会加重ICH^[1]。目前,在非对比CT(NCCT)或MRI中,视觉评分(如Fazekas量表)用于对WML(WML-FAZ)进行分级^[2]。由于NCCT的获取速度更快,而且在急诊往往更容易获得,因此在AIS环境中,它往往比MRI更受欢迎,因为快速诊断评估至关重要^[3]。自动的WML分割方法可能支持专科医生对NCCT的评估,并将使急性卒中环境中的定量容量WML评估成为可能^[4]。但目前尚不清楚自动的WML容量测量是否与患者的预后有关,以及它是否是WML视觉分级标准的可行替代方案^[5]。因此,本研究旨在建立CT参数模型,用以评估急性缺血性卒中核心CT灌注参数可指导治疗及预后。

1 资料与方法

1.1 研究资料 纳入本院于2021年2月至2024年2月期间收治的118名急性缺血性卒中血管内治疗(EVT)前静脉溶栓(IVT)患者资料,提取DL-WML体积与结果测量。所有患者均在EVT前静脉注射阿替普酶(0.9mg/kg)或直接EVT。随机使用其中98名患者建立训练集(A),剩余20名患者作为验证集(B)。

1.2 研究方法 2位专家评估WML, A和B数据集用总WML体积、每个WML的平均体积和总WML计数来描述。用信噪比(NCCT中的平均体素值/背景体素值的标准差)和对比度噪声比来描述NCCT质量脑组织和周围WML周围5 mm的半径作为背景。

主要的结果测量是在AIS后90天用序贯改良Rankin量表(MRS)测量的功能结果^[6]。次要结果指标是功能独立性(MRS ≤ 2)、死亡率、SICH和AICH^[7]。使用二元和有序Logistic回归模型研究这两种WML测量与结果的相关性。此外,在分析IVT效应修正的回归模型中加入了WML测量和IVT的乘性交作用项。未调整的单变量模型和统计调整后的多变量模型的优势比(OR)为95%可信区间(95%CI),考虑了以下潜在混杂因素:年龄、性别、卒中前MRS、侧支循环评分、美国国立卫生研究院卒中评分(NIHSS)、艾伯塔省卒中计划早期CT评分(Aspects)、EVT前的IVT、神经功能障碍开始至动脉穿刺处的时间、闭塞位置、二次止血(INR:国际标准化比率)、高血压病史、糖尿病病史、既往心血管疾病包括外周动脉疾病、心肌梗死或缺血性中风。

1.3 统计学方法 我们描述了用似然比(LL)来描述模型。用方差分析、Kruskal-Wallis检验和卡方检验比较MR CLEAN No-IV的两个治疗分支的基线特征和WML测量的正态和非正态分布、连续分布和分类分布的基线变量。所有统计分析均在R软件3.6.3中进行。对于Logistic回归分析,考虑到所有潜在的混杂因素、结果测量和自变量。

2 结 果

2.1 脑白质病变分割分析 具体如图1所示,为测试集分割示例。扩大脑室(绿色)被用作感兴趣区,以排除不在白质内的假阳性节段。对于DL-WML体积测量,只考虑了感兴趣区域内的预测分段。A,测试集患者基线NCCT。B,实变分割(红色)。C, DL-WML预测(紫色)。

【第一作者】任丽丽,女,主管护师,主要研究方向:重症医学。E-mail: liyanling7712@126.com

【通讯作者】任丽丽

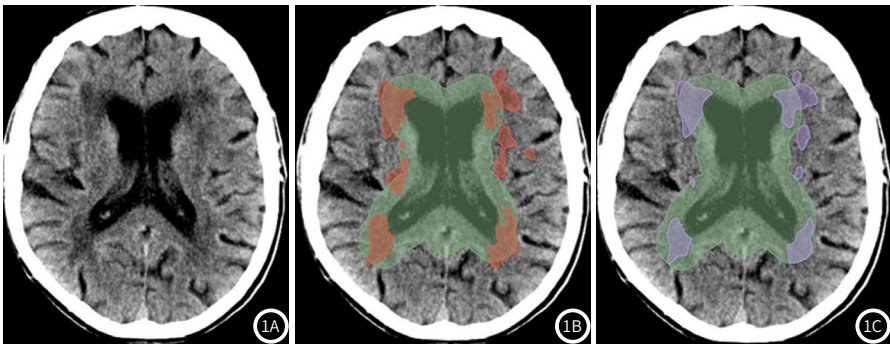


图1A-图1C 脑白质病变分割分析。

2.2 深度学习分析 具体如图2所示，图2A和2B描述了WML数量、对比度噪声比和DSC之间的关系。平均每WML体积和对比度噪声比与DSC呈对数线性相关。对于相似的每个WML的平均体

积和对比度噪声比，2A和2B都有类似的DSC。对于较低的WML-FAZ分数，2B比2A差。对于两个测试集，基于深度学习的分割与基本事实之间的体积一致性在ICC方面相似(图2C和2D)。

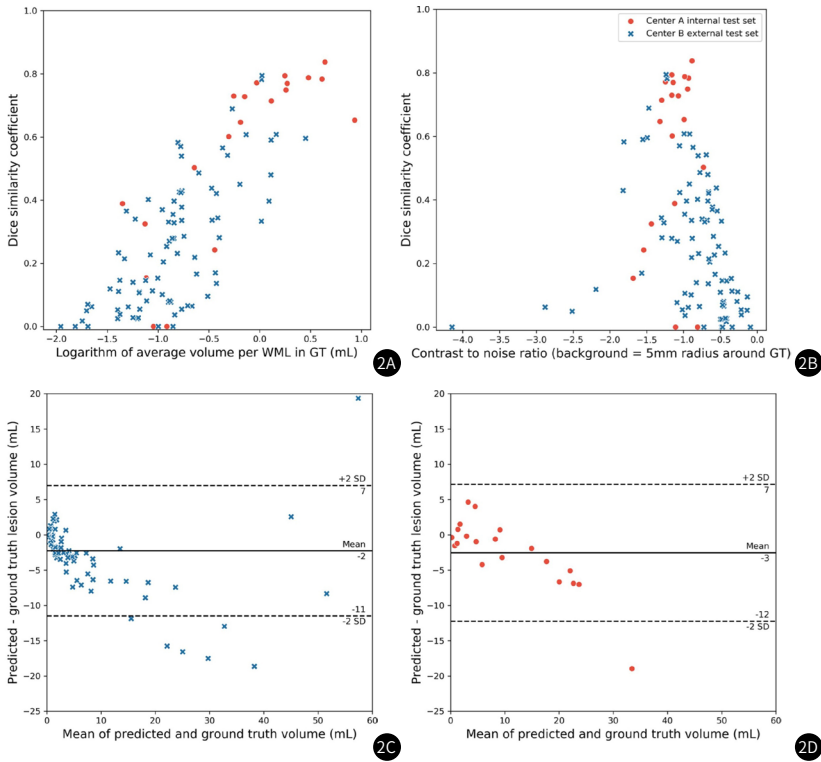
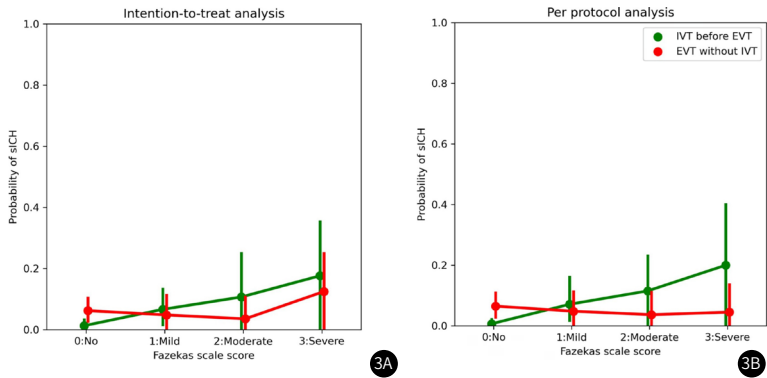


图2A-图2D 基于深度学习的WML分割与扩大脑室比较。

2.3 WML指导下IVT介入治疗前效果改进 具体如图3所示，描述了意向治疗分析和按方案分析的每个Fazekas量表分项分数和DL-

WML容量的SICH概率。在意向治疗分析和方案分析中，SICH发生率分别为28例(5.4%)和25例(5.1%)。



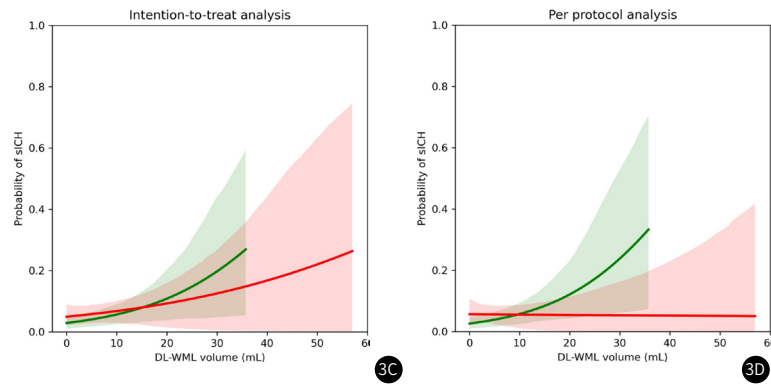


图3A-图3D 对症状性颅内出血的疗效改良。描述在血管内治疗前接受和未接受静脉溶栓治疗的患者根据白质病变负荷发生症状性颅内出血(sICH)的概率。

3 讨论

DL-WML体积和WML-Faz对于预测急性缺血性卒中急性期EVT后SICH的发生和功能预后的恶化同样有价值^[8]。两项WML指标均与AICH的发生无关^[9]。因此,在接受EVT的AIS患者中,WML的严重程度可能是发生脑出血或发生更严重脑出血的危险因素^[10]。由于目前的意向治疗和按方案分析对IVT和WML的相互作用有部分矛盾的结果,目前尚不清楚是否应该在EVT前使用DL-WML VOLUME或WML-FAZ来保留IVT^[11]。在EVT前考虑WML严重程度和IVT治疗时,功能结果没有差异。与使用离散的WML-FAZ评分相比,连续测量的DL-WML容量能够开发出一个量化的、更精确的阈值,在该阈值下,应在EVT之前保留IVT,以防止SICH和不良功能结局^[12]。

WML指标与结果的关联部分地与先前专门分析的结果一致^[13]。同样,我们还发现WML的严重程度与功能结局相关,但在对功能结局或SICH发生的EVT效应修改之前,我们没有发现与IVT的明显关联^[14]。与我们的发现相反,对直接MT的事后分析发现,WML-FAZ与SICH的发生没有关联,而与更高的死亡率相关^[15]。以前的研究报告的结果来自于三分之二的患者有中度到重度白质损害的人群,而我们的外部测试集主要由轻度WML患者组成^[16]。尽管在我们的研究中,WML分割的DSC可能看起来不太理想,但我们提出的DL-WML分割的体积一致性与先前研究的结果相当^[17]。因此,内部测试集、外部测试集和以前的研究之间的DSC差异可能归因于小病变的微小分割误差,这些小病变的体积测量接近准确^[18]。我们的外部测试集中相对较差的DSC,但可比较的体积对应也可以归因于NCCT与具有真实WML的FLAIR扫描匹配错误^[19]。此外,之前在NCCT中对WML进行的多评分者分段发现,评分者之间的对应关系类似于我们发现的基础事实和DL-WML分段之间的对应关系^[20]。

总而言之,NCCT测量的DL-WML体积和WML-FAZ与EVT后的功能结局和SICH的发生有相似的关系,但与AICH无关。因而需要患者水平的综合荟萃分析,以评估NCCT上的DL-WML体积或WML-FAZ是否可以在血管内治疗前暂停静脉溶栓,以防止颅内出血的发生和改善功能预后。

参考文献

- [1] Panyaping T, Udomkaewkanjana N, Keandoungchun J. Utility of dual energy CT in differentiating clot in acute ischemic stroke[J]. *Neuroradiol J*, 2023, 36(4): 435-441.
- [2] Huang Y H, Chen Z J, Chen Y F, et al. The value of CT-based radiomics in predicting hemorrhagic transformation in acute ischemic stroke patients without recanalization therapy[J]. *Front Neurol*, 2024, 15: 1255621.
- [3] Robbe M, Pinckaers F, van Oostenbrugge R J, et al. The correlation between CT perfusion deficits and immediate post-endovascular treatment contrast extravasation on dual energy CT in acute ischemic stroke patients[J]. *Eur J Radiol*, 2024, 173: 111379.

- [4] Ostmeier S, Axelrod B, Liu Y, et al. Random expert sampling for deep learning segmentation of acute ischemic stroke on non-contrast CT[J]. *J Neurointerv Surg*, 2024.
- [5] Amador K, Gutierrez A, Winder A, et al. Providing clinical context to the spatio-temporal analysis of 4D CT perfusion to predict acute ischemic stroke lesion outcomes[J]. *J Biomed Inform*, 2024, 149: 104567.
- [6] Xu J, Dai F, Wang B, et al. Predictive value of CT perfusion in hemorrhagic transformation after acute ischemic stroke: a systematic review and meta-analysis[J]. *Brain Sci*, 2023, 13(1).
- [7] 汤秀红, 刘婷, 朱荣华, 等. 冰刺激疗法联合肌电生物反馈治疗脑卒中后吞咽障碍的效果观察[J]. *罕少疾病杂志*, 2025, 32(03): 17-19.
- [8] Philippe D, Bernard A, Ricolfi F, et al. Prevalence of major embolic findings and incidental findings on early cardiac CT in patients with suspected ischemic stroke[J]. *Diagn Interv Imaging*, 2024.
- [9] Yu W, Xia C, Tao B, et al. CT hyperdense lesions after endovascular therapy in acute ischemic stroke: imaging findings and clinical significance[J]. *Cerebrovasc Dis*, 2023.
- [10] Zhang L, Wu J, Yu R, et al. Non-contrast CT radiomics and machine learning for outcomes prediction of patients with acute ischemic stroke receiving conventional treatment[J]. *Eur J Radiol*, 2023, 165: 110959.
- [11] 方阳阳, 魏海林, 朱盈. 以时间节点为导向的院内快速急救干预模式对接受静脉溶栓治疗的卒中神经功能的影响[J]. *罕少疾病杂志*, 2025, 32(03): 179-181.
- [12] Santo B A, Janbeh S S, McCall A D, et al. Multimodal CT imaging of ischemic stroke thrombi identifies scale-invariant radiomic features that reflect clot biology[J]. *J Neurointerv Surg*, 2023, 15(12): 1257-1263.
- [13] Fladt J, Kaesmacher J, Meinel T R, et al. MRI vs CT for baseline imaging evaluation in acute large artery ischemic stroke: a subanalysis of the SWIFT-DIRECT trial[J]. *Neurology*, 2024, 102(2): e207922.
- [14] Rappillo C M, Dunet V, Pistocchi S, et al. Moving from CT to MRI paradigm in acute ischemic stroke: feasibility, effects on stroke diagnosis and long-term outcomes[J]. *Stroke*, 2024.
- [15] Gutierrez A, Tuladhar A, Wilms M, et al. Lesion-preserving unpaired image-to-image translation between MRI and CT from ischemic stroke patients[J]. *Int J Comput Assist Radiol Surg*, 2023, 18(5): 827-836.
- [16] Kuang H, Wang Y, Liu J, et al. Hybrid CNN-transformer network with circular feature interaction for acute ischemic stroke lesion segmentation on non-contrast CT scans[J]. *IEEE Trans Med Imaging*, 2024, PP.
- [17] Wang T, Ding W, Chen Q, et al. Hemorrhagic transformation assessment based on dual energy CT of immediately and twenty-four hours after endovascular thrombectomy for acute ischemic stroke[J]. *Diagnostics (Basel)*, 2023, 13(15).
- [18] Hoelter P, Lang S, Beuscher V, et al. Extended multimodal flat detector CT imaging in acute ischemic stroke: a pilot study[J]. *J Digit Imaging*, 2023, 36(3): 1198-1207.
- [19] Dai Y, Xu H, Fang X, et al. Dual-energy CT in assessment of thrombus perviousness and its application in predicting outcomes after intravenous thrombolysis in acute ischemic stroke[J]. *Eur J Radiol*, 2023, 164: 110861.
- [20] van Voorst H, Pitkanen J, van Poppel L, et al. Deep learning-based white matter lesion volume on CT is associated with outcome after acute ischemic stroke[J]. *Eur Radiol*, 2024.

(收稿日期: 2024-03-20)

(校对编辑: 姚丽娜)