

论 著

CT灌注对急性缺血性卒中患者侧支状态评估的价值研究*

李权麟¹ 胡雪姣^{2,*} 庞占琪³

1. 联勤保障部队第九六七医院放射诊断科

(辽宁大连 116000)

2. 联勤保障部队大连康复疗养中心疗养

二科 (辽宁大连 116000)

3. 大连市中心医院神经内科

(辽宁大连 116010)

【摘要】目的 建立CT侧支循环灌注的定量评估方法,并探讨其在预测急性缺血性卒中(AIS)患者预后中的价值。**方法** 回顾性分析本院于2020年1月至2023年11月期间连续接受大脑中动脉M1段闭塞的204名AIS患者数据,他们接受了预处理灌注CT检查。计算侧裂内侧支血管的最大脑血流量(cCBFmax)。预后良好定义为90天改良Rankin评分0~2分。采用多变量Logistic回归分析cCBFmax与(A)出血转化和(B)临床预后的关系。**结果** 多变量Logistic回归分析显示,较高的cCBFmax是一个独立的预测因素:(A)在调整了卒中评分(NIHSS)、血管内血栓切除术、基线梗死核心体积和再通后,出血转化的风险较低(优势比[OR], 0.99; 95%可信区间[CI]: 0.98, 1.00; P=0.009); (B)在调整了年龄、基线NIHSS评分、血管内血栓切除术、高血压、基线心肌梗死核心体积和再通后,预后较好(OR, 1.02; 95%CI: 1.01, 1.03; P=0.001)。**结论** 测量侧裂内侧支血管的最大脑血流量是一种可行的定量侧支CT评估方法,侧支血管的最大脑血流量与急性缺血性卒中患者的临床转归相关。

【关键词】 CT灌注; 缺血性卒中; 侧支状态**【中图分类号】** R322.1+2**【文献标识码】** A**【基金项目】** 2021年度辽宁省省级继续医学教育项目(2021-03-01-041)**DOI:**10.3969/j.issn.1672-5131.2025.01.004

The Value of CT Perfusion in Evaluating Collateral Status of Patients with Acute Ischemic Stroke*

Li Quan-lin¹, HU Xue-jiao^{2,*}, PANG Zhan-qi³.

1. Department of Diagnostic Radiology, 967 Hospital of Joint Logistics Support Force, Dalian 116000, Liaoning Province, China

2. Department 2 of Convalescence, Dalian Rehabilitation and Recuperation Center, Joint Logistics Support Force, Dalian 116000, Liaoning Province, China

3. Department of Neurology, Dalian Municipal Central Hospital, Dalian 116010, Liaoning Province, China

ABSTRACT

Objective To establish a quantitative evaluation method for CT collateral circulation perfusion and to investigate its value in predicting the prognosis of patients with acute ischemic stroke (AIS). **Methods** Data of 204 patients with AIS who underwent continuous occlusion of the M1 segment of the middle cerebral artery between January 2020 and November 2023 were retrospectively analyzed. They underwent pre-perfusion CT examination. The maximum cerebral blood flow (cCBFmax) of the medial branch of the lateral fissure was calculated. A good prognosis was defined as a 90-day improved Rankin score of 0 to 2. Multivariate Logistic regression was used to analyze the relationship between cCBFmax and (A) bleeding transformation and (B) clinical prognosis. **Results** Multivariate Logistic regression analysis showed that higher cCBFmax was an independent predictor: (A) lower risk of bleeding conversion after adjustment for stroke score (NIHSS), intravascular thrombectomy, baseline infarct core volume, and recanalization (odds ratio [OR], 0.99; 95% confidence interval [CI]: 0.98, 1.00; P=0.009); (B) The prognosis was better after adjusting for age, baseline NIHSS score, intravascular thrombectomy, hypertension, baseline myocardial infarction core volume, and recanalization (OR, 1.02; 95%CI: 1.01, 1.03; P=0.001). **Conclusion** Measuring the maximum cerebral blood flow of medial collateral vessels of lateral fissure is a feasible quantitative collateral CT evaluation method, and the maximum cerebral blood flow of lateral vessels is related to the clinical outcome of patients with acute ischemic stroke.

Keywords: CT Perfusion; Ischemic Stroke; Collateral State

缺血半暗带是指急性缺血性卒中(AIS)后仍可挽救的有脑梗塞风险的脑组织,是再灌注治疗的目标。AIS患者的侧支循环可以维持血流灌注,并可能有助于延长半影区的支持时间,且更多的血管侧支循环与更好的神经学结果相关^[1]。根据CT血管成像对侧裂内血管充盈状态的评估,通过软脑膜侧支逆行重建大脑中动脉(MCA)直至闭塞远端,在数字减影血管造影和CT血管造影中都被定义为定性侧支良好^[2]。然而,目前还没有以此为基础的对血管的可靠定量评估。CT灌注成像在再灌注治疗前应用的频率越来越高,可以对血流动力学状态进行定量评估^[3]。我们假设侧裂内侧支血管的CT灌注血流可能反映了前循环大动脉闭塞患者通过软脑膜侧支的逆行充盈^[4]。因此,这项研究的目的是开发一种定量评估CT侧支循环灌注的技术,并探讨其在预测AIS患者预后中的价值。我们在灌注CT上定义了一个定量参数,即侧裂内侧支血管内的最大脑血流量(CCBFmax)^[5]。CCBFmax被认为反映了侧支循环对缺血组织的最大潜力。在这项研究中,我们调查了cCBFmax与现有侧支循环灌注定性评分的关系。我们还评估了AIS患者侧支循环灌注评分与临床预后的关系。

1 资料与方法

1.1 研究资料 回顾性分析本院于2020年1月至2023年11月期间连续接受大脑中动脉M1段闭塞的204名AIS患者数据,

纳入标准:经弥散加权成像或CT确诊为AIS;卒中后8小时内接受了CT灌注成像;MCA-M1节段有或无颈内动脉闭塞;在24小时接受了随访CT血管成像或飞行时间磁共振血管成像;在24小时接受了CT平扫或易感加权成像;在90天进行了临床随访,并评估了改良Rankin量表(MRS)评分。MRS定义了六个不同的残疾等级,从0级代表“完全没有症状”到5级代表“严重残疾或卧床不起、大小便失禁,需要持续护理和关注”;6级代表死亡。排除由于运动伪影或成像研究不完整而导致图像质量较差的患者。记录人口统计学、临床和放射学数据,包括年龄、性别、发病至打针时间(ONT)、血压、美国国立卫生研究院卒中评分(NIHSS)基线评分和既往使用抗血小板药物。同时记录吸烟史、高血压、糖尿病、高脂血症、卒中或短暂性脑缺血发作、房颤等危险因素。患者被一分为二,90天分为预后良好(MRS评分≤2分)或预后差(MRS评分>2分)组。

204名患者男性122名,中位年龄70岁[IQR, 59-77岁];女性82名,中位年龄76岁[IQR: 65-82岁], NIHSS评分中位数14(IQR, 11-18), ONT中位数218分钟(IQR, 152-289分钟),治疗和随访检查的中位时间(IQR, 21-28小时)。204例患者中有102例(50.0%)观察到出血转化,其中72例(35.3%)获得良好的预后(即术后90天的MRS2)。CCBFmax中

*【第一作者】李权麟,男,主治医师,主要研究方向:放射诊断。E-mail: 465921728@qq.com

【通讯作者】胡雪姣,女,主治医师,主要研究方向:脑血管疾病。E-mail: 1012404174@qq.com

位数为66毫升/100克/分(IQR为46-88毫升/100克/分)。

1.2 研究方法 使用64层CT扫描仪(西门子, 德国)进行基线灌注CT扫描, 包括平扫(120kV, 320 mA, 连续5 mm轴位断层, 7s采集时间)和灌注(z轴100 mm, 开始注射造影剂后4s延迟, 总成像时间74.5s, 80kv, 120 mA, 1.5 mm层厚, 32 31.2 mm层厚)CT扫描。灌注CT扫描包括26个连续的脑螺旋采集。26次CT扫描分为四个部分: a. 2次扫描, 周期时间为3秒; b. 15次扫描, 周期时间为1.5秒; c. 4次扫描, 周期时间为3秒; d. 5次扫描, 周期时间为6秒。横断面覆盖率为150 mm。一次注射60毫升造影剂, 流速为6毫升/秒。

在24小时CT血管成像或MR血管成像时用动脉闭塞病变评分评价血管再通情况。动脉闭塞2级和3级为再通, 0级和1级为无再通, 用24小时敏感性加权成像或平扫CT评估出血性转化。采用CT灌注前相对脑血流量<30%计算基础脑梗死灶体积。使用24小时弥散加权成像或平扫CT计算最终脑梗塞体积。以残余功能峰值时间(Tmax)大于6s为阈值, 在CT灌注扫描时对治疗前低灌注量进行容量测量。

根据CT血管成像高峰期的预定标准, 对CT灌注图像进行重建。我们使用了三个定性评分^[5-6]。(1)修正的Tan量表。如果侧支出现在50%或更多的MCA区域, 则被归类为良好, 如果它们出现在MCA区域的50%以下, 则被归类为差。(2)米特夫分级。这三评分被用来对大脑中动脉侧支相对于侧裂的状态进行分级, 如下: 良好(闭塞远端血管重建)、中等(侧裂内可见血管)或差(仅在远端浅支可见造影剂混浊)。(3)区域软脑膜侧支评分。这20分的评分是基于MCA-M1远端动脉有或没有颈内动脉闭塞(0, 动脉看不到; 1, 不明显; 2, 与对侧半球的匹配区域相等或更明显)在六个方面的皮质区域(M1-M6)、大脑前动脉旁矢状面前动脉区域和基底节的对比混浊程度的评分。侧脑沟内的软脑膜动脉评分为0、2或4。

通过使用Mistar软件进行基于Voxel的定量分析, 对10 mm厚最大密度投影的CT灌注图像进行重建, 得到CBF图^[7]。时间融合的最大强度投影重建是通过在整个灌注CT源图像的整个持续时间

内融合对比度混浊而产生的。为了实现定量的侧支评估, 首先, 在10 mm厚的薄片上识别在时间融合的最大强度投影灌注CT图像上显示的同侧侧裂内可见血管的图像切片。通过在每个图像切片(通常是两到三个切片)上勾勒出侧裂内整个可见血管的轮廓, 手动绘制感兴趣区(ROI)。对于侧裂内看不到血管的患者, ROI是在人们期望看到血管的区域绘制的。然后将每个ROI复制到相应的CBF图, 然后根据先前报道的类似方法获得每个ROI内的最大CBF值。最后, 所有节段的最高CBF值被记录为cCBFmax。

1.3 统计学方法 所有数据分析用SPSS 26.0软件进行。P值<0.05被认为具有统计学意义。连续变量被报告为四分位数范围(IQR)的中位数, 分类变量被报告为比例。对于分类变量, 采用 χ^2 检验比较组间差异。对于连续变量, 用Mann-Whitney U检验比较两组间的差异, 用Kruskal-Wallis和Dunn检验比较三组间的差异。用Spearman r检验两个变量之间的相关性, 用非参数受试者工作特性分析评价判别能力, 并计算受试者工作特征曲线下面积(AUC)。根据受试者的工作特性曲线得出最佳的临界值, 并根据这些最佳临界值计算灵敏度和特异度。观察者间的信度用基于双向随机效应模型的组内相关系数(ICC)进行评估。

2 结果

2.1 CT灌注成像定量侧支测量图示 具体如图1所示, 一名52岁男性左M1段和颈内动脉闭塞(1A)和一名77岁女性左M1段闭塞(1B)。重建的CT血管图像显示在左栏, 从灌注CT源图像获得的时间融合最大密度投影(TMIP)图(左中列)上勾勒出整个可见血管的感兴趣区(ROI), 然后复制到相应的灌注CT脑血流量(CBF)图(右中列)。随后测量ROI内的最大CBF值(cCBFmax)。a组cCBFmax为49mL/100g/min, 90d改良Rankin评分(MRS)为4分(预后差), b组cCBFmax为145mL/100g/min, 90d MRS评分为0(预后良好)。将CBF图以20%的不透明度叠加到tMIP图上, 得到合并图像(右列)。值得注意的是, 同侧侧裂相对较高的CBF区域与侧支血管重叠良好。

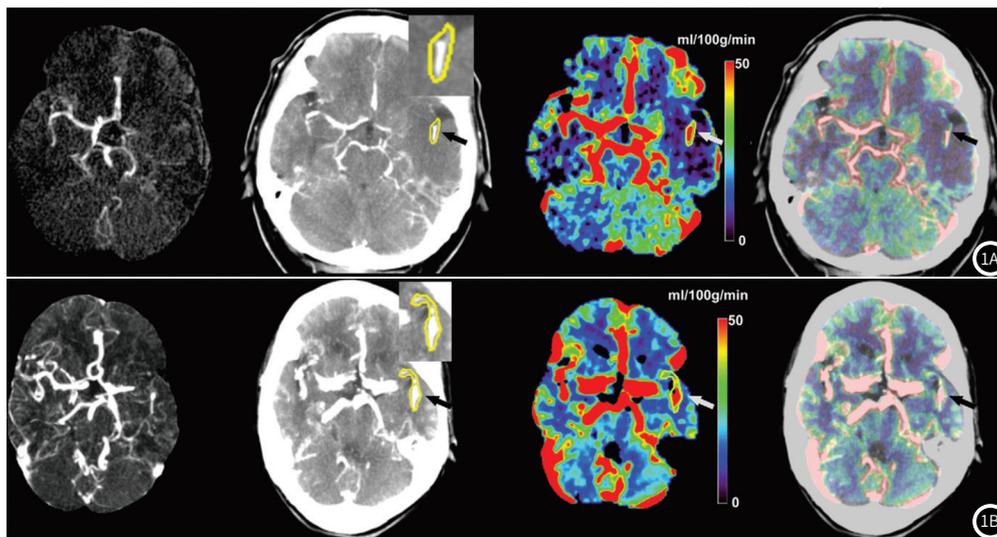


图1A-图1B CT灌注成像定量侧支测量图示。

2.2 cCBFmax的定性评价关系 具体如图2所示, 改良的TAN评分显示侧支循环差患者(侧支出现在MCA区域的50%以下)的cCBFmax低于侧支血流良好的患者(侧支出现在MCA区域的50%或以上)(中位数, 47mL/100g/min[IQR, 27-62mL/100g/min]比75mL/100g/min[IQR, 62-98mL/100g/min]; $P<0.001$)。Miteff量表显示侧支状态较差、中等和良好三组之间的cCBFmax差异有统计学意义(中位数, 46mL/100g/min[IQR, 25-59mL/100g/min] vs 61mL/100g/min[IQR, 43-94mL/100g/min] vs 80mL/100g/min[IQR, 65-107mL/100g/min]; $P<0.001$)。局部软脑膜侧支评分(区域软脑膜侧支[rLMC]范围1-20)显示cCBFmax与rLMC评分呈正相关($r=0.56$, $P<0.01$)。

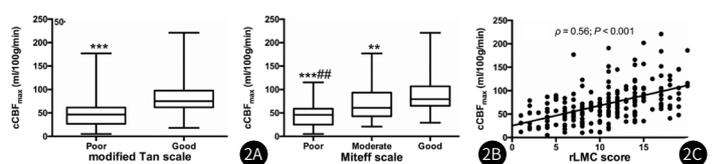


图2A-图2C 2A图、2B图和2C图显示侧裂侧支血管的最大脑血流量值与侧支循环评估之间的关系。

2.3 cCBFmax与临床结局的关系 具体如图3所示, 有出血性转化者的cCBFmax低于无出血性转化者(中位数, 55mL/100g/min[IQR, 35-79mL/100g/min]比74mL/100g/min[IQR,

54~103 mL/100 g/min]; $P=0.001$) (图3A)。如图3B所示,在调整后的模型中, cCBFmax是一个独立的前在调整基线NIHSS、血管内血栓清除术、基线梗塞核心体积和再通后,出血转化发生的危险因素(优势比[OR], 0.99; 95%可信区间[CI]: 0.98, 1.00; $P=0.009$)。CCBFmax与最终梗塞体积呈负相关($r=0.57$, $P<0.01$)。接受再通和未再通的患者之间cCBFmax的差异($P=0.14$) (图3C)。预后良好的患者(90天MRS-2)的cCBFmax高于预后较差的患者(90天MRS-2)(中位数分别为85 mL/100 g/min和55 mL/100 g/min [IQR, 35~75 mL/100 g/min]; $P<0.001$)

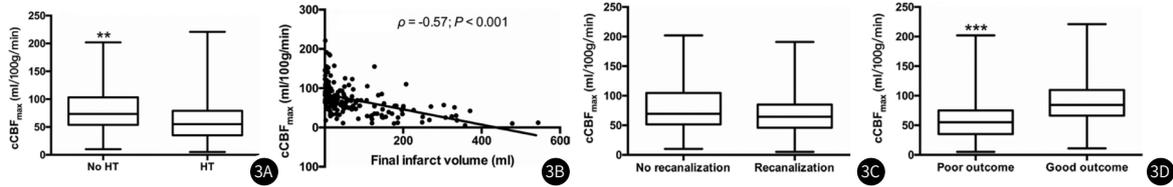


图3A-图3D 侧裂内侧支血管的最大脑血流量 (CCBFmax) 与再灌注治疗结果的关系。

3 讨论

急性缺血性卒中患者的侧支循环可以维持血流灌注,并可能有助于延长半影区的维持时间。根据CT血管造影术对侧裂内血管充盈状态的评估,提出了评估侧支循环的定性分级方法^[8]。在我们的研究中,我们研究了一种定量指标cCBFmax在从灌注CT获得的CBF图上评估侧支状态的实用性^[9]。我们发现,较高的cCBFmax是较低的出血性转化风险和较好的神经学结果的独立预测因子^[10]。cCBFmax阈值为64毫升/100克/分可区分预后良好的患者和预后较差的患者。观察者间cCBFmax的重复性很好,提示它可能是侧支循环的可靠和可重复性的定量评估。cCBFmax在评价急性缺血性卒中后的临床预后方面优于现有的侧支循环定性指标^[11]。

以前,通过软脑膜侧支循环逆行重建大脑中动脉至闭塞远端被定性地定义为良好的侧支循环^[12]。侧裂内侧支充盈时间延迟被用来定量评估侧支状态,而对对比剂衰减的测量是为了更准确地反映造影剂的总量,考虑到侧裂与侧支血管的距离可能会影响造影剂的充盈时间^[13]。但是,对比度衰减和对比度充盈时间延迟与临床结果无显著相关性。最大侧支脑血流量的定量评估结合解剖学信息和时间分辨率来评估侧支通路的结构和功能。理论上,cCBFmax与侧支循环血流速度呈正相关,可以反映侧支循环的能力^[14]。由cCBFmax的最佳截断值(64毫升/100克/分钟)确定的良好侧支循环与良好临床结果的可能性增加5倍相关。RLMC是一个20分的量表,具有相对的主观性和复杂性,可能导致与cCBFmax的适度相关性和更广泛的范围^[15]。通过AUC分析评估的诊断性能表明,cCBFmax比传统的三种侧支评估更能预测临床结果。此前,许多研究已证实侧支循环在预测AIS术后放射学和神经学预后方面的重要性,因为侧支循环在脑缺血的病理生理中起着关键作用。足够的侧支供应可以维持半暗带组织,防止梗塞核心扩大,而侧支供应不足可能增加出血性转化,导致再灌注治疗后预后不良^[16]。据我们所知,这是CBF地图上显示的第一个定量抵押品评估,用于预测AIS患者再灌注治疗后的神经学转归^[17]。这种相对客观和可重复的定量评估侧支状态的方法可能促进适当的患者分诊,因为全脑灌注CT越来越多地可用^[18]。此外,CBF图也可以从灌注CT图像中自动得出^[19]。在侧支状态良好的患者中,获得实质性临床益处的时间窗口可能更长。因此,基于血流灌注成像的cCBFmax识别良好的侧支循环状态是否可以帮助医生在AIS的晚期时间窗精细化选择符合再灌注条件的患者,这是值得探讨的^[20]。

综上所述,对接受再通治疗的大前动脉闭塞患者进行了侧裂侧支血管最大脑血流量的定量评估。侧支血管的最大脑血流量与神经预后独立相关,并且与现有的侧支循环血流灌注的定性指标相比更有利。对侧支循环血流灌注的定量评估有助于对患者进行适当的分诊,并指导缺血性卒中急性期的预后和治疗。

参考文献

[1]王善,段玲,邓晓燕.缺血性脑血管病患者脑白质高信号与侧支循环之间的关系[J].中国CT和MRI杂志,2024,22(10):23-26.

(图3D)。在调整了年龄、基线NIHSS评分、血管内血栓清除、高血压、基线梗死核心体积和再通状态的多变量模型中,良好的侧支循环(cCBFmax.64 mL/100 g/min)是良好预后的独立预测因素(OR, 5.43; 95%CI: 2.48, 11.89; $P<0.001$)。CCBFmax测量具有良好的观察者间重复性(ICC=0.92)。在定性评估中检测到良好的观察者间一致性(改良Tan评分、Mitef评分和RLMC评分的ICC分别为0.86、0.84和0.85)。观察者间对最终梗死体积的一致性也被计算出来(ICC=0.99)。

- [2]V K R,Sankaran R.Alberta stroke program early CT score can predict severity of spasticity and functional outcome in ischemic stroke survivors[J].Neurol India,2023,71(4):705-709.
- [3]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.
- [4]Fang T,Liu N,Nie S,et al.A deep learning and radiomics based Alberta stroke program early CT score method on CTA to evaluate acute ischemic stroke[J].J Xray Sci Technol,2023.
- [5]Shinohara Y,Ohmura T,Ibaraki M,et al.Non-contrast dual-energy CT using X-map for acute ischemic stroke:region-specific comparison with simulated 120-kVp CT and diffusion-weighted MR images[J].Jpn J Radiol,2023.
- [6]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.
- [7]Yao Y,Gu S,Liu J,et al.Comparison of three algorithms for predicting infarct volume in patients with acute ischemic stroke by CT perfusion software:Bayesian,CSVD,and OSVD[J].Diagnostics (Basel),2023,13(10).
- [8]Krongsut S,Naraphong W,Srikaew S,et al.Performance of serial CT ASPECTS for predicting stroke outcomes in patients with thrombolysed acute ischemic stroke[J].J Neurosci Rural Pract,2023,14(4):671-680.
- [9]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).
- [10]Adusumilli G,Christensen S,Yuen N,et al.CT perfusion to measure venous outflow in acute ischemic stroke in patients with a large vessel occlusion[J].J Neurointerv Surg,2023.
- [11]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.
- [12]de Vries L,van Herten R,Hoving J W,et al.Spatio-temporal physics-informed learning:a novel approach to CT perfusion analysis in acute ischemic stroke[J].Med Image Anal,2023,90:102971.
- [13]Agard T A,Hass R,Cavrak M E,et al.Neutrophil lymphocyte ratio (NLR) and systemic immune inflammatory index (SII) for the differential diagnosis of CT-negative mild acute ischemic stroke and transient ischemic attack[J].Int J Neurosci,2023:1-8.
- [14]Yen P S,Lin Y H,Chang T W,et al.Endovascular treatment for spontaneous bilateral carotid artery dissection with acute ischemic stroke:a case report with automated postprocessing CT perfusion findings and review of the literature[J].Acta Neurol Taiwan,2023,32(2):48-56.
- [15]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.
- [16]Brugnara G,Baumgartner M,Scholze E D,et al.Deep-learning based detection of vessel occlusions on CT-angiography in patients with suspected acute ischemic stroke[J].Nat Commun,2023,14(1):4938.
- [17]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.
- [18]Drozdov A A,Arora M,Sheikhy A,et al.Anterior ischemic stroke:analysis of the multivariable CT-based models for prediction of clinical outcome[J].J Stroke Cerebrovasc Dis,2023,32(8):107242.
- [19]Schartz D,Akkipedi S,Chittaranjan S,et al.CT hyperdense cerebral artery sign reflects distinct proteomic composition in acute ischemic stroke thrombus[J].J Neurointerv Surg,2023,15(12):1264-1268.
- [20]蔡青蓉,刘坚,徐良洲,等.4D CTA-CTP联合血S100B评估风痰阻络型急性缺血性卒中侧支循环及预后的研究[J].中国CTMRI杂志,2024,22(09):18-19+34.

(收稿日期:2023-12-18)

(校对编辑:翁佳鸿)