

论 著

CT灌注成像参数对急性脑梗死侧支循环的评估价值及与术后近期预后的相关性*

时建文^{1,*} 杨忠泽² 刘 森²

1.鸡西市人民医院CT核磁室

(黑龙江 鸡西 158100)

2.鸡西市人民医院医学影像科

(黑龙江 鸡西 158100)

【摘要】目的 探讨CT灌注成像(CTPI)参数对急性脑梗死(ACI)侧支循环的评估价值及与术后近期预后的相关性。方法 选取我院2022年1月-2023年2月收治的106例ACI患者,以数字血管造影(DSA)作为诊断“金标准”,将其分为有侧支循环组(46例)与无侧支循环组(60例)。两组患者均进行CTPI检查,对比两组受试者CTPI参数[脑血容量(CBV)、脑血流量(CBF)、平均通过时间(MTT)及达峰时间(TTP)],采用受试者工作特征(ROC)曲线分析CTPI参数对ACI侧支循环的预测价值;比较CTPI参数评估急性缺血性脑梗死侧支循环与DSA检查的一致性;采用Pearson相关性分析ACI患者的CTPI参数与美国国立卫生研究院卒中量表(NIHSS)、改良Ranking量表(mRS)评分的相关性。结果 有侧支循环组CBV、CBF均高于无侧支循环组($P<0.05$),MTT、TTP均低于无侧支循环组($P<0.05$)。ROC曲线分析显示,CBV、CBF、MTT、TTP及联合检测对ACI侧支循环均有预测效能($P<0.05$),其AUC分别为0.793、0.705、0.841、0.669、0.879,单独检测中MTT效能最高,但仍低于联合检测效能。CTPI参数联合检查对ACI侧支循环的诊断灵敏度为84.78%、特异性为90.00%、准确率为87.74%、阳性预测值为86.67%、阴性预测值为88.52%、Kappa值为0.750。有侧支循环组NIHSS、mRS评分均低于无侧支循环组($P<0.05$);Pearson相关分析发现,CBV、CBF与NIHSS、mRS评分呈负相关($P<0.05$),MTT、TTP与NIHSS、mRS评分呈正相关($P<0.05$)。结论 ACI有侧支循环患者的CBV、CBF均较无侧支循环患者高,MTT、TTP均较无侧支循环患者低,CTPI参数用于评估ACI侧支循环具有较高的诊断效能,且有侧支循环患者近期预后较好,同时CBV、CBF、MTT、TTP与ACI患者近期预后均存在相关性,可通过检测CBV、CBF、MTT、TTP预测患者近期预后。

【关键词】CT灌注成像;急性脑梗死;侧支循环;评估价值;近期预后;相关性

【中图分类号】R742.3

【文献标识码】A

【基金项目】鸡西市科学技术计划项(41408654-5)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2024.02.013

Evaluated Value of CT Perfusion Imaging Parameters on Collateral Circulation of Acute Cerebral Infarction and Correlation with Postoperative Short-term Prognosis*

SHI Jian-wen^{1,*}, YANG Zhong-ze², LIU Sen².

1.CT and MRI Room, Jixi People's Hospital, Jixi 158100, Heilongjiang Province, China

2.Medical Imaging Department, Jixi People's Hospital, Jixi 158100, Heilongjiang Province, China

ABSTRACT

Objective To explore the evaluated value of CT perfusion imaging (CTPI) parameters on collateral circulation of acute cerebral infarction (ACI) and its correlation with postoperative short-term prognosis. **Methods** 106 patients with ACI admitted to the hospital from January 2022 to February 2023 were selected. Digital subtraction angiography (DSA) was used as the "gold standard" for diagnosis, and the patients were divided into collateral circulation group (46 cases) and non-collateral circulation group (60 cases). CTPI examination was performed in both groups. CTPI parameters [cerebral blood volume (CBV), cerebral blood flow (CBF), mean transit time (MTT), time to peak (TTP)] were compared between the two groups of subjects, and the predictive value of CTPI parameters on ACI collateral circulation was analyzed by receiver operating characteristic (ROC) curve. The consistency of CTPI parameters in evaluating collateral circulation of acute ischemic cerebral infarction with DSA examination was compared. Pearson correlation analysis was used to analyze the correlation between CTPI parameters of patients with ACI and scores of National Institutes of Health Stroke Scale (NIHSS) and Modified Ranking Scale (mRS). **Results** The CBV and CBF in collateral circulation group were higher than those in non-collateral circulation group ($P<0.05$), and the MTT and TTP were shorter than those in non-collateral circulation group ($P<0.05$). ROC curve analysis showed that the CBV, CBF, MTT, TTP and combined detection had predictive efficiency on ACI collateral circulation ($P<0.05$), and their AUCs were 0.793, 0.705, 0.841, 0.669 and 0.879 respectively. MTT had the highest efficiency in single detection, but it was still lower than combined detection. The sensitivity, specificity, accuracy rate, positive predictive value, negative predictive value and Kappa value of the combination of CTPI parameters in the diagnosis of ACI collateral circulation were 84.78%, 90.00%, 87.74%, 86.67%, 88.52% and 0.750 respectively. NIHSS score and mRS score were lower in collateral circulation group than those in non-collateral circulation group ($P<0.05$). Pearson correlation analysis found that CBV and CBF were negatively correlated with NIHSS score and mRS score ($P<0.05$), but MTT and TTP were positively correlated with NIHSS score and mRS score ($P<0.05$). **Conclusion** The CBV and CBF of ACI patients with collateral circulation are higher than those of patients without collateral circulation, and the MTT and TTP are shorter than those of patients without collateral circulation. CTPI parameters have high diagnostic efficiency on evaluating the collateral circulation of ACI, and the short-term prognosis of patients with collateral circulation is better. CBV, CBF, MTT and TTP are correlated with short-term prognosis of ACI patients. The short-term prognosis of patients can be predicted by detecting CBV, CBF, MTT and TTP.

Keywords: CT Perfusion Imaging; Acute Cerebral Infarction; Collateral Circulation; Evaluated Value; Short-term Prognosis; Correlation

急性脑梗死(acute cerebral infarction, ACI)是指脑血管堵塞引起脑组织局部血流降低,造成脑组织坏死,而引起导致神经功能缺失的脑血管疾病,该病发病率高,病情进展快且变化大,若延误治疗,病死率及致残率会大幅增加^[1]。目前认为,ACI的发病机制主要是由于动脉粥样硬化或血栓阻塞血管等所致,血管狭窄或血管闭塞引起脑部供血不足,导致ACI发生^[2]。脑组织缺血、缺氧后形成的软化、坏死等损伤属于不可逆性损伤,而侧支循环代偿对于减轻脑组织损伤起到关键作用,既往研究中也提出,侧支循环为颅内动脉血管狭窄患者发生ACI的独立预测因素^[3],因此,准确评估ACI患者的侧支循环状况对其早期明确诊断以及预后改善有着重要意义。但常规CT扫描往往仅显示梗死区域内血流动力学异常,需要联合患者体征,存在局限^[4]。与普通的CT扫描相比,CT灌注成像(CTPI)属于功能成像技术,通过在静脉快速团注对比剂时,对感兴趣区层面进行连续CT扫描,获取感兴趣区时间-密度曲线(TDC),并计算脑血容量(CBV)、脑血流量(CBF)、平均通过时间(MTT)及达峰时间(TTP)等灌注参数值,可定量评估ACI患者病灶组织的血流灌注变化及侧支循环状况,为ACI的早期诊断以及预后评估提供依据^[5]。基于此,本研究探讨CTPI参数在ACI侧支循环的评估价值及与术后近期预后的相关性,现将结果报告如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取我院2022年1月至2023年2月收治的106例ACI,以数字血管造影(DSA)作为诊断“金标准”,将其分为有侧支循环组(46例)与无侧支循环组(60例)。

纳入标准:符合ACI诊断标准^[6],且首次发病,均完成DSA检查;患者生命体征平

【第一作者】时建文,男,副主任医师,主要研究方向:中枢神经系统核磁诊断。E-mail: linlin_20051982@163.com

【通讯作者】时建文

稳；发病时间在6~24h内；接受CTPI检查，影像资料清晰可用；临床资料完整。排除标准：临床资料不完整；既往有心脑血管病史；CTPI检查禁忌症；合并颅内出血者。

1.2 方法

1.2.1 CTPI检查 在发病24h内，患者去除全身金属物，仰卧于扫描床，利用飞利浦64排CT进行头颅定位平扫，确定感兴趣层面作为动态扫描平面，后再进行CTPI扫描，具体操作如下：利用双筒高压注射器以5mL/s的速率经肘静脉注射对比剂[生理氯化钠溶液(西安京西双鹤药业有限公司，国药准字H20058668，250mL：2.25g)40mL+碘佛醇注射液(江苏恒瑞医药股份有限公司，国药准字H20113430，100mL：32g)50mL]；同时，进行同层动态CT扫描(150mA、80kV，0.75秒/圈，间隔时间1.5s，32次循环，总扫描时间48s，层厚5mm，覆盖范围40mm)，共获取128张影像。

借助CT功能灌注软件获取CT灌注图像，并获得CBV、CBF、MTT及TTP参数及相应的伪彩图。

影像资料由2名阅片经验丰富的医师诊断，结果有异议时共同协商诊断。判断是否建立侧支循环标准如下^[7]：有侧支循环：前、后交通动脉，眼动脉逆流及一系列软脑膜动脉侧支形成、新生血管；无侧支循环：不存在以上3种侧支循环建立。

1.2.2 预后判断 在患者溶栓后7天时，采用美国国立卫生研究院卒中量表(NIHSS)^[8]评估患者神经功能缺损程度，共包括意识水平、

上下肢运动等11个项目，总分42分，得分越高表示神经功能缺损越严重。随访3个月，采用改良Ranking量表(mRS)^[9]评估患者预后，按损伤严重程度从轻至重分为0~5分，评分0~1分为预后良好，2~5分为预后不良，死亡记作6分。

1.3 统计学方法 采用SPSS 22.0统计学软件统计分析数据，计数资料以n(%)表示，采用 χ^2 检验；计量资料以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示，所有数据经检验均呈正态分布，两组间比较采用t检验；CBV、CBF、MTT及TTP对ACI侧支循环的预测效能采用受试者工作特征(ROC)曲线分析；CTPI参数评估急性缺血性脑梗死侧支循环与DSA检查的一致性比较采用Kappa检验；ACI患者的CBV、CBF、MTT及TTP与NIHSS、mRS评分相关性采用Pearson相关分析；以P<0.05表示有统计学意义。

2 结果

2.1 两组CTPI参数比较 有侧支循环组CBV、CBF均高于无侧支循环组(P<0.05)，MTT、TTP均低于无侧支循环组(P<0.05)，见表1。

2.2 CTPI参数对ACI侧支循环的评估价值 ROC曲线分析显示，CBV、CBF、MTT、TTP及联合检测对ACI侧支循环均有预测效能(P<0.05)，其AUC分别为0.793、0.705、0.841、0.669、0.879，单独检测中MTT效能最高，但仍低于联合检测效能，见表2、图1。

表1 两组CTPI参数比较

侧别	n	CBV(mL·100g ⁻¹)	CBF(mL·100g ⁻¹ ·min ⁻¹)	MTT(s)	TTP(s)
有侧支循环组	46	2.33±0.52	32.32±9.85	2.96±0.39	21.78±3.26
无侧支循环组	60	1.77±0.45	23.33±7.58	5.23±0.56	24.43±4.87
t值		5.934	5.312	23.463	3.183
P值		<0.001	<0.001	<0.001	0.002

表2 CTPI参数对ACI侧支循环的评估价值

指标	最佳截断值	约登指数	AUC	95%CI	敏感性(%)	特异性(%)	Z值	P值
CBV(mL·100g ⁻¹)	2.143	0.515	0.793	0.704~0.866	66.67	84.67	6.594	<0.001
CBF(mL·100g ⁻¹ ·min ⁻¹)	28.522	0.373	0.705	0.609~0.790	63.33	73.91	4.032	<0.001
MTT(s)	3.434	0.671	0.841	0.757~0.905	86.67	80.43	8464	<0.001
TTP(s)	23.579	0.342	0.669	0.571~0.757	73.33	60.87	3.004	0.003
联合		0.767	0.879	0.802~0.935	76.67	100.00	10.843	<0.001

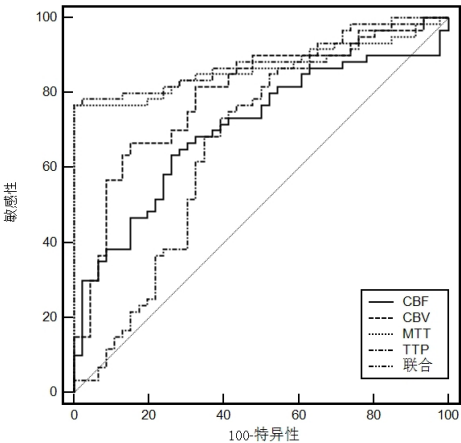


图1 CTPI参数对ACI侧支循环的评估价值ROC曲线

2.3 CTPI参数评估ACI侧支循环与DSA检查结果一致性比较 CTPI参数对ACI侧支循环的诊断灵敏性为84.78%、特异性为90.00%、准确率为87.74%、阳性预测值为86.67%、阴性预测值为88.52%、Kappa值为0.750，见表3。

表3 CTPI参数评估ACI侧支循环与DSA检查结果比较

检查方法		DSA检查		合计
		有侧支循环	无侧支循环	
CTPI	有侧支循环	39	6	45
	无侧支循环	7	54	61
合计		46	60	106

2.4 CTPI参数与NIHSS的相关性分析 有侧支循环组NIHSS、mRS评分均低于无侧支循环组(P<0.05)，见表4；Pearson相关分析发现，CBV、CBF与NIHSS、mRS评分呈负相关(P<0.05)，MTT、TTP与NIHSS、mRS评分呈正相关(P<0.05)，见表5。

表4 两组NIHSS、mRS评分比较(分)

侧别	n	NIHSS	mRS
有侧支循环组	46	3.76±1.14	1.54±0.47
无侧支循环组	60	7.23±2.35	3.11±1.02
t值		9.211	9.674
P值		<0.001	<0.001

表5 CTPI参数与NIHSS的相关性分析

CTPI参数	NIHSS		mRS	
	r	P	r	P
CBV(mL·100g ⁻¹ ·min ⁻¹)	-0.276	0.004	-0.371	<0.001
CBF(mL/100g)	-0.377	<0.001	-0.294	0.002
MTT(s)	0.500	<0.001	0.610	<0.001
TTP(s)	0.339	0.017	0.271	0.005

2.5 典型病例影像分析 典型病例影像分析结果见图2-图9。患者男，53岁，入院后CTPI灌注成像，图2A提示：左侧额颞顶叶脑实质密度略减低；图2B提示：左侧大脑中动脉重度狭窄，侧支循环稀疏；图2C-图2F提示：左侧额颞顶叶TTP、MTT、CBV增高、CBF降低。

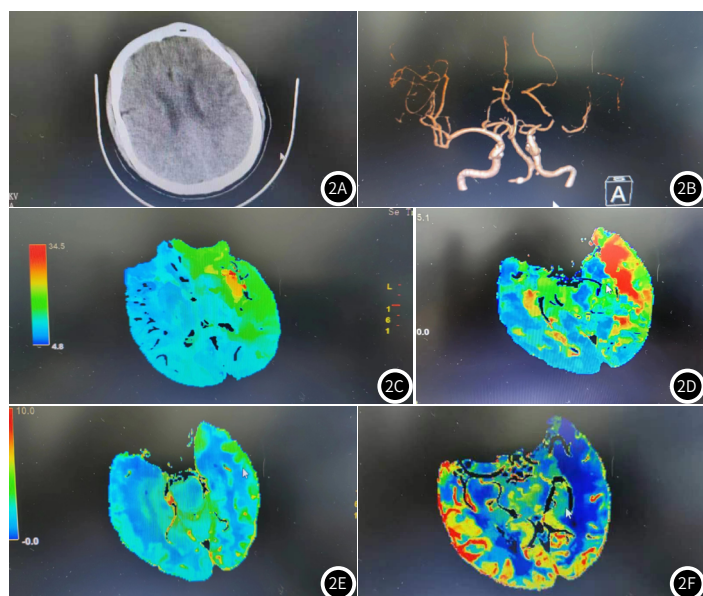


图2A-图2F 1例患者CTPI检查影响结果

3 讨论

ACI发病与脑组织血流动力学改变相关，且起病突然，病情发展快，发病后数小时或1~2d内达到高峰，具有较高的致死率及致残率^[10]。研究发现，ACI患者预后与病情程度密切相关，脑梗死面积越大，患者预后越差，病死率越高^[11]，而侧支循环在ACI疾病发生、病情发展中起着关键作用，通过建立侧支循环可以有效改善病灶缺血、缺氧状况，缩小梗死区域面积，提高血管再通获益率，对改善ACI的预后具有重要的意义^[12-13]。侧支循环代偿良好患者，病灶具有局限性，面积较小，预后较好；而侧支循环代偿较差患者，病灶面积较大，预后不佳，也反映出侧支循环好坏对患者预后具有参考价值。CTPI可直接通过具体的参数准确反映ACI患者病灶组织的血流灌注变化及侧支循环状况^[14]。

CTPI参数中CBV是反映单位质量内血容量的重要指标，在ACI早期病灶内缺血会导致CBV显著降低；CBF是评估血流动力学指标，可反映脑组织的毛细血管流量，MTT能区分正常与缺血脑组织，反映血液自动脉端流至静脉端的循环时间，在ACI早期单位时间内流经特定脑区的血容量减少，通过血管的血流时间延长，致使CBF下降，MTT延长；TTP可反映血流受损情况，在ACI早期血流灌注异常，导致TTP延长；这些指标均与侧支循环建立密切相关^[15-16]。ACI患者由于脑组织循环功能障碍，导致颅脑灌注量减少，血流动力学降低，血流通过受阻，脑灌注压力增高，表现为CBV、CBF降低，MTT、TTP升高。此外，ACI的发生发展过程中，炎症反应、免疫调节机制的紊乱均会导致血管内皮细胞损伤，从而影响血流灌注^[17]。而ACI存在侧支循环代偿的患者仍可通过侧支循环维持一定程度的脑血流灌注，虽然CBV、CBF低于正常值，MTT、TTP高于正常值，但与无侧支循环代偿的患者比较，其CBV、CBF更高，MTT、TTP更低。与本研究有侧支循环组CBV、CBF均高于无侧支循环组($P<0.05$)，MTT、TTP均低于无侧支循环组($P<0.05$)的结果相符合。

且经ROC曲线分析显示，CBV、CBF、MTT、TTP及联合检测对ACI侧支循环均有预测效能($P<0.05$)，其AUC分别为0.793、0.705、0.841、0.669、0.879，其中联合检测的AUC最大，敏感性为76.67%，特异性为100.00%。另外，本研究发现CTPI检查与DSA检查结果一致性较高，提示CTPI参数用于诊断ACI侧支循环具有较高的诊断效能。CTPI参数(CBV、CBF、MTT、TTP)可量化评价ACI患者脑血流动力学变化，直观地反映病灶区域内的血流灌注情况，在有或无侧支循环患者中差异较为显著，可作为判断是否建立侧支循环的敏感指标。TTP的延长与侧支循环及血流速度减缓有关，MTT作为评估脑组织灌注压降低和灌注储备的损害的指标；而CBV、CBF均是评价ACI危险性及缺血性损害程度的敏感指标，联合上述指标并综合分析，能够对ACI患者侧支循环

状态作出正确的评估^[18-19]。

NIHSS、mRS适用于评价ACI患者神经功能缺损程度及预后的常用量表^[20]。本研究结果显示，有侧支循环组NIHSS、mRS评分均低于无侧支循环组($P<0.05$)，提示有侧支循环患者神经功能损害轻，近期预后较好。ACI发生后，脑部血管、神经会受到缺血、缺氧性损伤，严重时会出现细胞、神经元不可逆性凋亡，而损伤严重程度与是否建立侧支循环密切相关^[21]。侧支循环作为一种潜在的或新生的血管吻合方式，作为ACI后的代偿机制，减轻或延缓脑损伤，对改善患者神经功能损害和预后具有重要临床价值^[22]。本研究经Pearson相关分析发现，CBV、CBF与NIHSS、mRS评分呈负相关($P<0.05$)，MTT、TTP与NIHSS、mRS评分呈正相关($P<0.05$)，提示CBV、CBF、MTT、TTP与ACI患者近期预后均存在相关性，可通过检测CBV、CBF、MTT、TTP预测患者近期预后。可能与CBV、CBF、MTT、TTP可反映患者侧支循环建立状态有关。当CBV、CBF高，MTT、TTP低则表示ACI患者侧支循环代偿状态良好，病灶缺血、缺氧损害轻，梗死区域面积小，血管再通获益率高，故而神经组织损害程度轻，预后良好。

综上所述，ACI有侧支循环患者的CBV、CBF均较无侧支循环患者高，MTT、TTP均较无侧支循环患者低，CTPI参数用于评估ACI侧支循环具有较高的诊断效能，且有侧支循环患者近期预后较好，同时CBV、CBF、MTT、TTP与ACI患者近期预后均存在相关性，可通过检测CBV、CBF、MTT、TTP预测患者近期预后。

参考文献

- [1] 李雪梅. NLR与急性脑梗死并发症及预后关系的研究进展[J]. 检验医学与临床, 2023, 20(1): 128-131.
- [2] 沙霞, 庄建华, 祝滨, 等. N末端-B型脑钠肽与急性脑梗死病因、神经功能缺损严重程度及预后的相关性分析[J]. 中风与神经疾病杂志, 2020, 37(9): 817-822.
- [3] 王亮, 李鸿波, 吴西子, 等. T₂-FLAIR联合SWI序列评估急性脑梗死侧支循环和预后的价值[J]. 影像科学与光化学, 2022, 32(6): 916-918, 1018.
- [4] 唐勇, 王远军. CT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.
- [5] 韩龙, 张海莲, 马琼. CT灌注成像联合miR-195在急性脑梗死诊断及预后分析中的应用[J]. 影像科学与光化学, 2022, 40(4): 927-931.
- [6] 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. 中国急性缺血性脑卒中诊治指南2018[J]. 中华神经科杂志, 2018, 51(9): 666-682.
- [7] 赵启媛, 金平, 陈生, 等. CT灌注成像在急性缺血性脑血管病中的诊断价值[J]. 安徽医学, 2018, 39(7): 841-844.
- [8] Chalos V, van der Ende NAM, Lingsma HF, et al. National Institutes of Health stroke scale: an alternative primary outcome measure for trials of acute treatment for ischemic stroke[J]. Stroke, 2020, 51(1): 282-290.
- [9] Dewilde S, Annemans L, Peeters A, et al. Modified Rankin scale as a determinant of direct medical costs after stroke[J]. Int J Stroke, 2017, 12(4): 392-400.
- [10] Zhao Y, Zhang X, Chen X, et al. Neuronal injuries in cerebral infarction and ischemic stroke: from mechanisms to treatment (Review)[J]. Int J Mol Med, 2022, 49(2): 15.
- [11] 张晓璇, 马征, 莫志杰, 等. 急性脑梗死患者血清闭锁蛋白水平与颈动脉粥样硬化、梗死面积及预后关系的分析[J]. 中国临床神经科学, 2022, 30(4): 400-406, 420.
- [12] 杜鑫, 张翼, 杨旭, 等. TCD脑血流动力学参数与大面积脑梗死颅内侧支循环代偿及神经预后的关系[J]. 中国实用神经疾病杂志, 2023, 26(5): 627-631.
- [13] 冯中全, 钱伟军, 李杰, 等. 磁共振成像评估大面积脑梗死慢性期患者预后的临床价值[J]. 新乡医学院学报, 2020, 37(1): 52-56.
- [14] Fang B, Zhai H. Adoption of computerized tomography perfusion imaging in the diagnosis of acute cerebral infarct under optimized deconvolution algorithm[J]. Pak J Med Sci, 2021, 37(6): 1687-1692.
- [15] 辛奕, 苗重昌, 顾艳, 等. CTA联合CTPI评估急性缺血性脑卒中患者侧支循环和临床预后[J]. 放射学实践, 2022, 37(8): 966-970.
- [16] 朱友友, 高峰. 脑CT灌注成像联合血清miR-210水平在急性缺血性脑卒中侧支循环状态评估和预后预测中的价值[J]. 放射学实践, 2023, 38(5): 553-558.
- [17] Ontario Health (Quality). Automated CT perfusion imaging to aid in the selection of patients with acute ischemic stroke for mechanical thrombectomy: a health technology assessment[J]. Ont Health Technol Assess Ser, 2020, 20(13): 1-87.
- [18] 车静, 蔡耘, 刘娜, 等. 急性脑梗死患者血糖波动与NIHSS评分、mRS评分及血清炎症因子水平的相关性研究[J]. 老年医学与保健, 2022, 28(1): 92-97.
- [19] 任长安, 王文娟, 戚游. CTA检查侧支循环代偿评估急性脑梗死预后的价值分析[J]. 现代科学仪器, 2022, 39(2): 94-98.
- [20] 楚宝, 谷永胜, 何伟亮, 等. 单侧大脑中动脉病变患者侧支循环对脑梗死体积及预后的影响[J]. 脑与神经疾病杂志, 2022, 30(4): 249-253.

(收稿日期: 2023-04-25)

(校对编辑: 姚丽娜)