

论 著

CTA/CTP评估在缺血性脑血管病介入治疗中的应用

周新华^{1,*} 陈良义² 张丹彤¹

1. 厦门大学附属中山医院影像科、厦门市放射质量控制中心 (福建 厦门 3610000)
2. 厦门大学附属中山医院神经内科 (福建 厦门 3610000)

【摘要】目的 探讨CT血管成像(CTA)/CT灌注成像(CTP)在缺血性脑血管病介入治疗中的应用价值。方法 选取2021年1月至2023年9月我院收治的200例缺血性脑血管病患者，均在入院后接受CTA及CTP检查，分析其影像资料，探究CTA及CTP缺血性脑血管病介入治疗中的应用价值。结果 脑血容量(CBV)比较：缺血半暗带>健侧>梗死区($P<0.05$)；脑血流量(CBF)比较：健侧>缺血半暗带>梗死区($P<0.05$)；平均通过时间(MTT)、目标组织中浓度达峰时间(TTP)、目标组织中所有残余功能全部达峰时间(Tmax)比较：健侧<缺血半暗带<梗死区($P<0.05$)。CTA检出左侧、右侧大脑中动脉(MCA)闭塞或狭窄分别59例(29.50%)、91例(45.50%)，左侧、右侧颈内动脉(ICA)闭塞分别16例(8.00%)、12例(6.00%)，双侧ICA狭窄为6例(3.00%)；代偿分支血管显影基本满意129例(64.50%)，显影不足71例(35.50%)，其余16例(8.00%)患者CTA影像资料显示无异常，敏感度为92.00%。预后不良组患侧CBV、CBF小于预后良好组，MTT、TTP、Tmax长于预后良好组，代偿血管建立比例低于预后良好组($P<0.05$)。采用受试者工作特征曲线分析显示，CBV、CBF、MTT、TTP、Tmax对介入治疗预后均有一定的预测效能($P<0.05$)，其曲线下面积分别为0.839、0.815、0.673、0.713、0.710，其中CBV预测效能最高，敏感性为83.20%，特异性为73.33%。结论 CTA/CTP可反映大脑、颈内动脉狭窄或闭塞、代偿分支建立情况，也可反映血流灌注情况，在介入治疗合理时机的判断方面可提供准确依据，提高患者预后。

【关键词】CT血管成像；CT灌注成像；缺血性脑血管病；介入治疗；指导；预后
【中图分类号】R743；R730.7
【文献标识码】A
DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2024.04.007

Application of CTA/CTP Evaluation in Interventional Therapy of Ischemic Cerebrovascular Diseases

ZHOU Xin-hua^{1,*}, CHEN Liang-yi², ZHANG Dan-tong¹.

1. Imaging Department of Zhongshan Hospital Affiliated to Xiamen University, Xiamen 3610000, Fujian Province, China
2. Department of Neurology, Zhongshan Hospital Affiliated to Xiamen University, Xiamen 3610000, Fujian Province, China

ABSTRACT

Objective To explore the application value of CT angiography (CTA)/CT perfusion (CTP) in interventional therapy of ischemic cerebrovascular diseases. **Methods** 200 patients with ischemic cerebrovascular diseases in our hospital were selected from January 2021 to September 2023. All patients underwent CTA examination and CTP examination after admission. The imaging data were analyzed to explore the application value of CTA and CTP in interventional therapy of ischemic cerebrovascular diseases. **Results** Comparison of cerebral blood volume (CBV) revealed ischemic penumbra>healthy side>infarction area ($P<0.05$). Cerebral blood flow (CBF) was as follows: healthy side> ischemic penumbra> infarction area ($P<0.05$). Mean transit time (MTT), time to peak (TTP) and time to maximum (Tmax) showed healthy side<ischemic penumbra< infarction area ($P<0.05$). CTA detected left and right middle cerebral artery (MCA) occlusion or stenosis in 59 cases (29.50%) and 91 cases (45.50%), left and right internal carotid artery (ICA) occlusion in 16 cases (8.00%) and 12 cases (6.00%), and bilateral ICA stenosis in 6 cases (3.00%). The development of compensatory branch vessels was basically satisfactory in 129 cases (64.50%) and insufficient in 71 cases (35.50%), and the CTA imaging data of the remaining 16 cases (8.00%) showed no abnormality, with a sensitivity of 92.00%. The CBV and CBF of the affected side in poor prognosis group were lower than those in good prognosis group, and the MTT, TTP and Tmax were longer than those in good prognosis group, and the proportion of compensatory vascular establishment was lower than that in good prognosis group ($P<0.05$). Receiver operating characteristic curve analysis showed that CBV, CBF, MTT, TTP and Tmax had certain predictive efficiency on the prognosis of interventional therapy ($P<0.05$), and the areas under the curves were 0.839, 0.815, 0.673, 0.713 and 0.710 respectively. CBV had the highest predictive efficiency, with a sensitivity of 83.20% and a specificity of 73.33%. **Conclusion** CTA/CTP can reflect the stenosis or occlusion of the brain and internal carotid artery, the establishment of compensatory branches, and the blood perfusion. It can provide an accurate basis for judging the reasonable timing of interventional therapy and improve the prognosis of patients.

Keywords: CT Angiography; CT Perfusion Imaging; Ischemic Cerebrovascular Diseases; Interventional Therapy; Guidance; Prognosis

缺血性脑血管病是威胁中老年健康的重大神经内科疾病，主要是由于脑血管病变、血流动力学改变引起的脑组织缺血缺氧，造成脑组织坏死，并引发一系列的神经功能障碍，具有较高的致残率与病死率^[1]。头颅CT平扫是缺血性脑血管病的首选检查方式，具有操作简便、诊断快速的优势，但在发病早期CT征象特异性并不高，且容易出现伪影无法良好的显示病灶，易错失最佳治疗时机，因此常用作初步筛查手段，后续仍需进一步检查明确病灶^[2-3]。血管减影造影虽是缺血性脑血管病诊断的金标准，但因创伤性操作、重复性低、价格昂贵等导致临床应用受限^[4]。CT平扫、CT血管成像(CTA)、CT灌注成像(CTP)联用被称为多模态头颅CT成像，近些年，在缺血性脑血管病中的应用优势逐渐体现，在CT平扫的基础上CTP可确定脑梗死病灶位置与面积以及有无半暗带，CTA可确定狭窄或闭塞血管，观察有无代偿血管建立，进一步提高缺血性脑血管病诊断效能，并为介入治疗合理时机的判断提供依据，降低致残率、致死率与复发率^[5-6]。研究提出，缺血性脑血管病发病，12h~24h内患者，利用多模态头颅CT成像技术明确缺血半暗带存在，并尽早实施介入治疗，45%~49%的患者介入治疗3个月后改良Ranking量表(mRS)评分为0~2分^[7]。基于此，本研究探讨CTA/CTP在缺血性脑血管病介入治疗中的应用价值，以为缺血性脑血管病介入治疗提供参考，现将结果报告如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取2021年1月至2023年9月我院收治的200例缺血性脑血管病患者。

纳入标准：符合缺血性脑血管病诊断标准^[8]；生命体征平稳；发病至入院时间<6h；接受CTA、CTP检查，且影像资料清晰可用；接受介入治疗；临床资料完整。排除标准：影像资料质量不达标；发病时间不明确；既往有心脑血管病史；合并颅内出血者。

1.2 方法

1.2.1 检查方法 在发病24h内，利用GE Revolution256排CT进行头颅CT平扫，患者取平卧位，扫描范围为颅顶至颅底，参数设置为：管电流405mAs，管电压140kV，层厚5mm，层间距5mm。确认全脑无出血性病灶后，定位可疑缺血层面或病灶作

【第一作者】周新华，男，副主任技师，主要研究方向：X线、CT、DSA影像技术。E-mail: yzzhang0215@163.com

【通讯作者】周新华

为CTP扫描区域，利用双筒高压注射器，通过肘静脉以4~5 mL/s的速率注入碘普罗胺(拜耳医药保健有限公司，国药准字HJ20171340,100mL: 76.89g)50mL，并以生理盐水(石家庄四药有限公司，国药准字H13023200，500mL:4.5g)30 mL进行冲管，注射完成后5s进行扫描，参数设置为：管电流240mAs，管电压80kV，层厚5mm，层间距5mm，共连续扫描32层，总共扫23期，获取影像图片。

CTP扫描结束间隔5min后，即可开始头颈部CTA扫描，扫描范围为主动脉弓水平至颅顶，具体操作同CTP检查，不同之处在于：碘普罗胺用量45mL，扫描管电压140kV，管电流445mAs，层厚5mm，层间距0.625mm，螺距1.2，矩阵512mm×512mm，注射造影剂后8s监测扫描，升主动脉内CT值达120HU，2s后进行扫描，头颈CTA扫描时间为3.6s。采用螺旋扫描方式进行增强扫描，升主动脉内阈值大120HU即可获得原始影像图片。

1.2.2 影像学评估 通过CT功能灌注软件处理影像资料，由2名经验丰富的医师阅片，结果有异议时共同协商。确定梗死区与缺血半暗带，并获取脑血容量(CBV)、脑血流量(CBF)、平均通过时间(MTT)、目标组织中浓度达峰时间(TTP)以及目标组织中所有残余功能全部达峰时间(Tmax)参数及相应的伪彩图。并利用独立工作站将螺旋扫描获取影像图片及重建数据，运用多平面重组、曲面重组、容积再现等技术处理，获得血管直径、动脉狭窄、闭塞等情况，定位责任血管。通过横断位最大密度投影评价代偿血管，代偿血管填充面积≥50%则为代偿血管建立。

1.2.3 预后判断 在患者介入治疗后，随访3个月，利用mRS^[9]评估预后，按损伤严重程度从轻至重分为0~5分，评分0~2分为预后良好，3~5分为预后不良。

1.3 观察指标 (1)分析健侧、梗死区、缺血半暗带CTP参数；(2)分析CTA影像表现；(3)分析介入治疗预后不同患者CTP参数以及代偿血管建立情况。

1.4 统计学方法 采用SPSS 22.0软件进行分析，计数资料以n(%)

表示，采用 χ^2 检验；计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示，所有数据经检验均呈正态分布，两组间比较采用独立样本t检验，多组比较采用单因素方差分析；采用受试者工作特征(ROC)曲线分析CTP参数对介入治疗预后的评估价值；以P<0.05表示有统计学意义。

2 结果

2.1 健/患侧CTP参数比较 CBV比较：缺血半暗带>健侧>梗死区(P<0.05)；CBF比较：健侧>缺血半暗带>梗死区(P<0.05)；MTT、TTP、Tmax比较：健侧<缺血半暗带<梗死区(P<0.05)，见表1。

2.2 CTA检查结果 本研究200例患者中，检出左侧、右侧大脑中动脉(MCA)闭塞或狭窄分别59例(29.50%)、91例(45.50%)，左侧、右侧颈内动脉(ICA)闭塞分别16例(8.00%)、12例(6.00%)，双侧ICA狭窄为6例(3.00%)，CTA表现为狭窄或闭塞管腔呈阶段性或跳跃性，远端管腔不显影；并根据影像判断代偿分支血管显影基本满意129例(64.50%)，显影不足71例(35.50)。其余16例(8.00%)患者CTA影像资料显示无异常，敏感度为92.00%。

2.3 介入治疗不同预后组患者CTP参数、CTA征象比较 预后不良组患侧CBV、CBF小于预后良好组，MTT、TTP、Tmax长于预后良好组，代偿血管建立比例低于预后良好组(P<0.05)，见表2。

2.4 CTP参数对介入治疗预后的评估价值 ROC曲线分析显示，CBV、CBF、MTT、TTP、Tmax对介入治疗预后均有一定的预测效能(P<0.05)，其曲线下面积(AUC)分别为0.839、0.815、0.673、0.713、0.710，其中CBV预测效能最高，敏感性为83.20%，特异性为73.33%，见表3、图1。

2.5 典型病例影像分析 典型病例影像分析结果见图1。患者男性，57岁，因“左侧肢体无力，伴语言含糊8小时”入院，入院后当天行CT、CTA及CTP检查，图2A CT平扫显示：右侧岛叶、基底节区、放射冠区脑梗塞可能；图2B-图2F CTP显示：右侧大脑半球处于低灌注状态，CBV、CBF降低，TTP、MTT、Tmax明显延长，；图2G-图2H CTA显示：右侧大脑中动脉M1段重度狭窄闭塞。

表1 健/患侧CTP参数比较

分组	n	CBV(mL·100g ⁻¹)	CBF(mL·100g ⁻¹ ·min ⁻¹)	MTT(s)	TTP(s)	Tmax(s)
健侧	200	3.15±0.37	50.35±6.78	5.77±0.92	15.87±2.63	2.26±0.81
患侧	梗死区	200	1.62±0.32 ^a	8.25±2.47 ^a	9.56±1.27 ^a	26.54±5.21 ^a
	缺血半暗带	200	3.34±0.35 ^{ab}	31.45±9.04 ^{ab}	6.03±1.39 ^{ab}	20.87±3.27 ^{ab}
F值		1474.682	1994.052	612.392	382.085	1298.543
P值		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注：与健侧比较，^aP<0.05；与梗死区比较，^bP<0.05。

表2 介入治疗不同预后组患者患侧CTP参数、CTA征象比较[n(%)]

分组	n	CBV(mL·100g ⁻¹)	CBF(mL·100g ⁻¹ ·min ⁻¹)	MTT(s)	TTP(s)	Tmax(s)	代偿血管建立
预后良好组	125	2.69±0.37	21.89±3.37	7.49±1.17	22.50±3.37	9.87±1.59	102(81.60)
预后不良组	75	2.19±0.41	16.45±4.21	8.31±1.56	25.71±4.52	11.28±2.21	27(26.00)
t/ χ^2 值		8.882	10.049	4.224	5.723	5.229	42.568
P值		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

表3 CTP参数对介入治疗预后的评估价值

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)	2.395	0.565	0.839	0.781~0.887	83.20	73.33	11.657	<0.001
CBF(mL·100g ⁻¹ ·min ⁻¹)	20.153	0.509	0.815	0.755~0.867	69.60	81.33	9.781	<0.001
MTT(s)	7.278	0.296	0.673	0.603~0.737	45.60	84.00	4.336	<0.001
TTP(s)	23.964	0.368	0.713	0.645~0.775	72.80	64.00	5.320	<0.001
Tmax(s)	10.823	0.424	0.710	0.642~0.772	78.40	64.00	5.267	<0.001

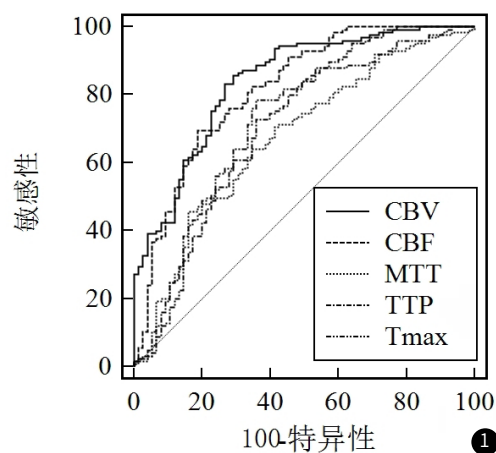
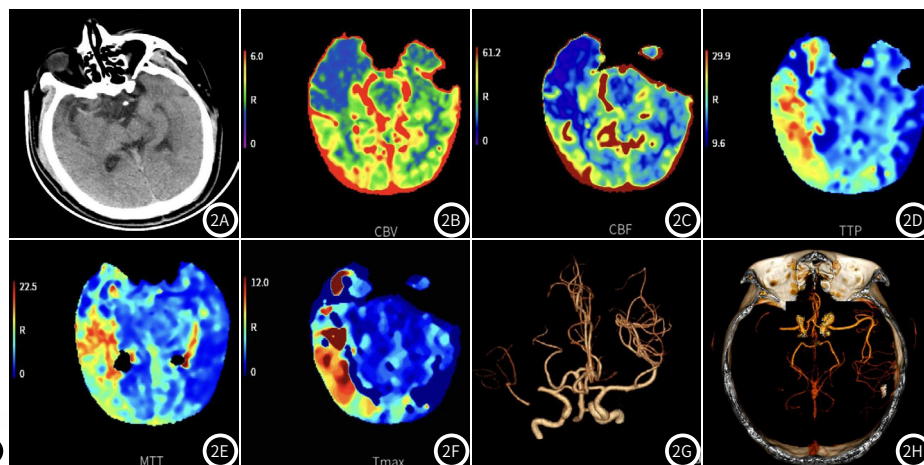


图1 CTP参数对介入治疗预后的评估价值; 图2A-图2H 缺血性脑血管病患者CT/CTP/CTA检查影像结果



3 讨论

缺血性脑血管病好发于50岁以上人群,尤其是患有高血糖、高血脂等基础疾病的老年人群,具有较高的致残率与致死率^[10]。缺血性脑血管的治疗原则为尽早恢复脑组织血流,挽救缺血半暗带^[11]。然而,传统CT平扫通常在缺血性脑血管病发病24 h以后才出现特异性征象,且如果梗死发生于脑实质深部或脑干等较为隐蔽的部位时,CT平扫影像则会受到颅骨的干扰,使显影质量不高,伪影严重^[12]。因此,临床迫切需要寻求一种更准确、更及时的检查手段,对缺血性脑血管病进行早期、准确的诊断,以争取最佳治疗时间窗。

本研究对200例患者进行CTP扫描发现,缺血半暗带区域CBV、CBF、MTT、TTP、Tmax值与健侧、梗死区比较存在显著统计学差异($P<0.05$)。提示CTP参数CBV、CBF、MTT、TTP、Tmax可作为区分缺血半暗带的有效指标,并可准确诊断出梗死区,可为临床介入治疗提供可靠依据。缺血半暗带在临床上被定义为可挽救的区域,尽早治疗恢复其血流灌注,可有效避免其向梗死区转变,提高患者受益可能^[13]。CTP扫描可获得多层面、多序列血流动力学参数(CBV、CBF、MTT、TTP、Tmax)以及灌注图,有益于临床医师区分低灌注区(缺血半暗带)与核心梗死区,并为介入治疗时机的判定提供有效的依据^[14-15]。对CTP扫描显示患侧处于低灌注状态,且代偿血流量不足的患者,提示短时间内发生大面积梗死风险较高,应立即接受急诊介入治疗;对存在大片缺血半暗带的患者,紧急介入手术治疗患者受益可能较大。此外,本研究对200例患者进行CTA检查发现,284例(92.00%)患者存在MCA、ICA闭塞或狭窄的情况,16例(8.00%)患者CTA影像资料显示无异常,敏感度为92.00%。CTA检查其影像学特征可直接显示血管病变,狭窄或闭塞动脉呈阶段性或跳跃性,远端动脉不显影,对于血管狭窄和闭塞可清楚显示,有利于定位患者梗死血管,指导介入治疗方案^[16-17]。对于头、颈动脉重度狭窄或闭塞患者,患侧大脑半球处于低灌注状态,且考虑持续的低灌注可能引发新的脑梗死病灶,引起脑梗死病情持续加重风险较高,该类患者因立即接受急诊介入治疗,纠正脑血流灌注。且CTA检查影像判断出代偿分支血管显影基本满意129例(64.50%),显影不足71例(35.50)。代偿血管的建立在一定程度上可维持脑血流动力学稳定,有效抑制缺血半暗带转化为梗死灶,对前、后循环代偿血管均建立不足的患者应尽早实施介入手术治疗,提高患者受益^[18]。因此,临床推荐首先采用CTP扫描评估缺血性脑血管病患者核心梗死区与缺血半暗带,后续在采用CTA检查确定责任血管与代偿血管的建立情况,帮助筛选适合介入治疗的患者与判定介入治疗的时机;同时,CTP/CTA联合检查不仅可以节约检查时间,还可减少患者辐射及对比剂用量^[19-20]。

最后,本研究对介入治疗不同预后组患者患侧CTP参数、CTA征象比较发现,预后不良组患侧CBV、CBF小于预后良好组,MTT、TTP、Tmax长于预后良好组,代偿血管建立比例低于预后良好组($P<0.05$)。ROC曲线分析显示,CBV、CBF、MTT、TTP、Tmax对介入治疗预后均有一定的预测效能($P<0.05$),其AUC分别为0.839、0.815、0.673、0.713、0.710,其中CBV预测

效能最高,敏感性为83.20%,特异性为73.33%。提示CTP/CTA联合检查结果可预测介入治疗预后。CBV、CBF值更高,MTT、TTP、Tmax值更短、代偿血管建立说明缺血半暗带区域内血流灌注情况相对较好,患者早期接受介入治疗受益提高,术后重新恢复灌注效果更好,控制最终坏死脑组织区域在更小范围,有利于患者神经功能、肢体功能的恢复,提高预后^[21-22]。

综上所述,CTA/CTP可反映大脑、颈内动脉狭窄或闭塞、代偿分支建立情况,也可反映血流灌注情况,在介入治疗合理时机的判断方面可提供准确依据,提高患者预后。

参考文献

- [1] Joundi RA, Menon BK. Thrombus composition, imaging, and outcome prediction in acute ischemic stroke[J]. *Neurology*, 2021, 97(2): S68-S78.
- [2] Václavík D, Volný O, Cimřlová P, et al. The importance of CT perfusion for diagnosis and treatment of ischemic stroke in anterior circulation[J]. *J Integr Neurosci*, 2022, 21(3): 92.
- [3] 李佳, 马淑华. CT平扫联合CTP、CTA检查在早期急性缺血性脑血管病中的应用价值分析[J]. *中国CT和MRI杂志*, 2019, 17(9): 8-10.
- [4] 冯飞阳, 许家华, 林庆兰, 等. DSA对动脉粥样硬化相关性缺血性脑血管病的诊断价值分析[J]. *罕少疾病杂志*, 2023, 30(9): 19-20.
- [5] 李飞, 马新强, 耿云平, 等. CT血管成像对ACI患者颈动脉狭窄程度及侧支循环的价值研究[J]. *罕少疾病杂志*, 2024, 31(1): 32-34.
- [6] Sousa JA, Sondermann A, Bernardo-Castro S, et al. CTA and CTP for Detecting distal medium vessel occlusions: a systematic review and meta-analysis[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2023, 45(1): 51-56.
- [7] Ditttrich TD, Sporns PB, Kriemler LF, et al. Mechanical thrombectomy for large vessel occlusion between 6 and 24h: outcome comparison of DEFUSE-3/DAWN eligible versus non-eligible patients[J]. *Int J Stroke*, 2023, 18(6): 697-703.
- [8] 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.
- [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] 梁振. 磁共振多延迟三维动脉自旋标记和一站式CTA-CTP对急性缺血性脑血管病患者诊断价值比较[J]. *中国CT和MRI杂志*, 2023, 21(12): 42-44.
- [11] 张明哲, 王亚丽, 郭洪, 等. 保守治疗与血运重建在缺血性脑血管病患者中应用效果比较研究[J]. *临床军医杂志*, 2023, 51(4): 375-377.
- [12] 陈蝶, 陈红, 吴晶晶, 等. 颈部血管超声、CT血管成像及磁共振血管造影诊断急性脑梗死患者颈动脉狭窄的研究[J]. *中国医学装备*, 2023, 20(4): 52-55.
- [13] 于蒙蒙, 任昕晨, 邓雯雯, 等. 全脑CT灌注联合头颈部CTA"一站式"检查在前循环急性缺血性脑卒中的诊断价值[J]. *中国CT和MRI杂志*, 2023, 21(7): 8-11.
- [14] Yedavalli V, Kihira S, Shahrouki P, et al. CTP-based estimated ischemic core: a comparative multicenter study between Olea and RAPID software[J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2023, 32(11): 107297.
- [15] 邹社昌, 凌容, 张泽微, 等. CTP参数与MCA重度狭窄或闭塞患者脑梗死病情的关系[J]. *影像科学与光化学*, 2022, 40(4): 741-745.
- [16] Regenhardt RW, Potter CA, Huang SS, et al. Advanced Imaging for Acute Stroke Treatment Selection: CT, CTA, CT Perfusion, and MR Imaging[J]. *Radiol Clin North Am*, 2023, 61(3): 445-456.
- [17] 张亦弛, 吴凌霄, 沈洁. 头颈CTA联合血清HCY、sLDL-C对脑梗死的诊断价值[J]. *临床和实验医学杂志*, 2023, 22(4): 432-436.
- [18] 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.
- [19] 张园园, 任思聪, 李盼盼, 等. 探讨CT灌注成像(CTP)联合CT血管造影(CTA)对短暂性脑缺血发作(TIA)患者进展为急性脑梗死(ACI)的预测价值[J]. *中国CT和MRI杂志*, 2023, 21(7): 27-29.
- [20] 崔香香, 何荣新, 梁捷凤, 等. 头颈部CTA联合颅脑灌注一站式检查在预测脑梗死预后中的临床价值[J]. *长春中医药大学学报*, 2023, 39(7): 787-791.
- [21] 杜静波, 刘迎新, 李振武. CTA联合CTP在预测急性脑梗死预后中的价值[J]. *影像科学与光化学*, 2022, 40(1): 78-82.
- [22] 王绘峰, 王俊杰, 闫静. CTA联合CTP对急性脑梗死患者康复的预测临床价值[J]. *医学影像学杂志*, 2023, 33(3): 516-519.

(收稿日期: 2024-02-27)

(校对编辑: 姚丽娜)