

论 著

# 动态头颈CTP-CTA扫描指导急性缺血性脑卒中早期诊疗的价值

王诗雨<sup>1</sup> 朱 凤<sup>1</sup> 范心廷<sup>2,\*</sup>

1. 昆山市中医医院放射科

2. 昆山市第一人民医院心胸外科

(江苏 昆山 215300)

**【摘要】目的** 探讨动态头颈全脑CT灌注成像联合CT血管成像(CTP-CTA)扫描指导急性缺血性脑卒中(AIS)早期诊疗的价值。**方法** 选取2022年7月至2024年6月本院收治的126例疑似AIS患者,入院后均接受动态头颈全脑CTP、CTA检查,确诊AIS患者即刻给予溶栓治疗,治疗7d后给予CTP、CTA检查。以数字减影血管造影(DSA)为金标准,分析动态头颈全脑CTP-CTA诊断AIS和CTA检查诊断血管狭窄程度的准确性;比较AIS患者动态头颈全脑CTP脑血流灌注参数;Spearman相关性分析动态头颈全脑CTP参数与CTA颈动脉狭窄程度的关系;比较治疗前后动态头颈全脑CTP检查脑血流灌注参数及CTA评分。**结果** 126例疑似AIS患者,经DSA检查诊断确诊AIS 115例;以DSA检查为金标准,CTP-CTA检查诊断AIS 112例,准确率为96.03%,Kappa值为0.761;DSA检出狭窄血管179处,CTA诊断AIS患者颈动脉狭窄程度的准确率为91.18%,Kappa值为0.885( $P<0.05$ )。梗死区脑血流量(CBF)、脑血容量(CBV)明显低于半暗带区,平均通过时间(MTT)、达峰时间(TTP)明显高于半暗带区( $P<0.05$ )。AIS患者CBF、CBV与CTA颈动脉狭窄程度负相关,TTP、MTT与CTA颈动脉狭窄程度正相关( $P<0.05$ )。治疗7d后,AIS患者CBF、CBV、CTA评分高于治疗前,TTP、MTT 低于治疗前( $P<0.05$ )。**结论** 动态头颈全脑CTP-CTA扫描对AIS具有较高诊断效能,可有效评估脑组织血流动力学和血管狭窄程度变化情况,在指导AIS诊疗方面有重要意义。

**【关键词】** 急性缺血性脑卒中;  
动态头颈全脑CT灌注成像;  
CT血管成像;早期诊疗

【中图分类号】R743

【文献标识码】A

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2026.01.008

# Value of Dynamic Head and Neck CTP-CTA Scan in the Early Diagnosis and Treatment of AIS

WANG Shi-yu<sup>1</sup>, ZHU Feng<sup>1</sup>, FAN Xin-ting<sup>2,\*</sup>

1. Department of Radiology, Kunshan Hospital of Traditional Chinese Medicine, Kunshan 215300, Jiangsu Province, China

2. Department of Cardiothoracic Surgery, Kunshan First People's Hospital, Kunshan 215300, Jiangsu Province, China

## ABSTRACT

**Objective** To explore the value of dynamic head and neck whole-brain CT perfusion combined with CT angiography (CTP-CTA) scan in the early diagnosis and treatment of acute ischemic stroke (AIS). **Methods** A total of 126 patients with suspected AIS admitted to the hospital were enrolled between July 2022 and June 2024, and all underwent dynamic head and neck whole-brain CTP and CTA after admission. For patients confirmed with AIS, thrombolysis was performed immediately, and they underwent CTP and CTA after 7d of treatment. Taking digital subtraction angiography (DSA) as the golden standard, the accuracy of dynamic head and neck CTP-CTA in the diagnosis of AIS and CTA in the diagnosis of vascular stenosis degree was analyzed. The cerebral blood perfusion parameters of dynamic head and neck whole-brain CTP in AIS patients were compared. The relationship between CTP parameters and the severity of carotid stenosis under CTA was analyzed by Spearman correlation analysis. The cerebral blood perfusion parameters and CTA scores were compared before and after treatment. **Results** In the 126 patients with suspected AIS, DSA showed that there were 115 confirmed cases. Taking DSA as the golden standard, CTP-CTA showed that there were 112 cases with AIS, its accuracy and Kappa value were 96.03% and 0.761, respectively. DSA showed that there were 179 stenosis vessels, accuracy and Kappa value of CTA in the diagnosis of carotid stenosis degree were 91.18% and 0.885, respectively ( $P<0.05$ ). The cerebral blood flow (CBF) and cerebral blood volume (CBV) in infarction area were significantly lower than those in penumbra area, mean transit time (MTT) and time to peak (TTP) were significantly higher than those in penumbra area ( $P<0.05$ ). In AIS patients, CBF and CBV were negatively correlated with the severity of carotid stenosis, while TTP and MTT were positively correlated with it ( $P<0.05$ ). After 7d of treatment, CBF, CBV and CTA score were increased, while TTP and MTT were decreased ( $P<0.05$ ). **Conclusion** Dynamic head and neck whole-brain CTP-CTA scan has high diagnostic efficiency for AIS, which can effectively evaluate changes of hemodynamics in brain tissues and vascular stenosis degree, and is of important guidance significance in the diagnosis and treatment of AIS.

**Keywords:** Acute ischemic stroke; Dynamic head and neck whole-brain CT perfusion; CT angiography; Early diagnosis and treatment

急性缺血性脑卒中(acute ischemic stroke, AIS)是脑血管梗阻狭窄致脑组织血供障碍引起局部脑组织缺血坏死的急性脑血管疾病,其发病人群呈现年轻化趋势,已成为全球范围内最常见的致死和致残原因<sup>[1]</sup>。研究发现,发病短期内早期识别AIS患者临床症状并及时给予规范再灌注治疗,是改善预后的关键<sup>[2]</sup>。数字减影血管造影(digital subtraction angiography, DSA)是当前脑血管疾病的诊断金标准,但该有创性技术流程复杂、射线剂量大且重复性差,限制了其在AIS病灶普筛和预后评价中的应用<sup>[3]</sup>。CT血管成像(computed tomography angiography, CTA)是具有较高时间空间分辨率的头颈一体化快速血管成像技术,可清晰显示和客观评估颈部、颅内血管狭窄闭塞部位和侧支循环代偿情况,从形态学为临床诊疗提供准确参考依据<sup>[4]</sup>。CT灌注成像(computed tomography perfusion, CTP)通过连续动态扫描时间密度曲线得到血流动力学参数和灌注图像表现,是评价脑组织灌注状态的功能成像<sup>[5-6]</sup>。但目前临床关于CTP联合CTA对AIS早期诊疗评估系统尚未达成共识。本研究主要探讨分析探讨动态头颈全脑CTP-CTA扫描指导AIS早期诊疗的价值,旨在为相关临床诊疗决策提供参考依据。

## 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 选取2022年7月至2024年6月本院收治的126例疑似AIS患者,男73例,女53例,年龄28~93岁,平均年龄(69.72±5.23)岁,发病至就诊时间0~6h,平均就诊时间(3.19±0.47)h。

纳入标准: AIS符合指南诊断标准<sup>[7]</sup>;发病6h内;入组前未接受溶栓治疗;患者及家属了解并知情同意。排除标准: 存在碘制剂过敏史;影像学图像质量差;高度怀疑占位或脑出血;合并恶性肿瘤或精神、心理疾病。本研究经医院伦理委员会通过。

## 1.2 方法

**1.2.1 CTP检查** CT扫描仪先行平扫,根据结果选择CTP感兴趣层面,肘静脉注射50mL碘普罗胺以5mL/s速度横轴位扫描,数据导入Vitrea工作站。手动勾画感兴趣区获得时间-

【第一作者】王诗雨,女,主治医师,主要研究方向:头颈部。E-mail: 3945692911@qq.com

【通讯作者】范心廷,男,副主任医师,主要研究方向:胸部良恶性肿瘤的微创治疗。E-mail: lww5731@126.com

密度曲线。选取感兴趣区和健侧相应区域,测量梗死区、半暗带和健侧相应区域的脑血流量(CBF)、脑血容量(CBV)、平均通过时间(MTT)和达峰时间(TTP)。由2名影像科高资历医师以双盲法独立读片,意见不一致时协商解决。

**1.2.2 CTA检查** CTP扫描完成后,4mL/s追加80mL欧乃派克,由主动脉弓至颅顶开始扫描,图像导入Vitrea工作站,测量评估颈动脉狭窄程度<sup>[8]</sup>。记录血管狭窄程度、斑块情况及脑侧支循环状态,采用5级评分法评估CTA评分,判断标准<sup>[9]</sup>:0分为大脑中动脉支配区无侧支灌注;1分为持续充盈缺损;2分为部分充盈缺损;3分为缓慢侧支血流灌注到缺血区;4分为有快速侧支血流灌注到缺血区。

**1.2.3 治疗方法** 由神经内科医生评估患者溶栓指征后给予溶栓治疗,治疗方案:按0.9 mg/kg给予重组组织型纤溶酶原激活剂,最大剂量90 mg,10%静脉注射,90%静脉滴注,时间1 h以上。治疗后7d后进行随访检查,分析患者灌注异常部位变化情况。

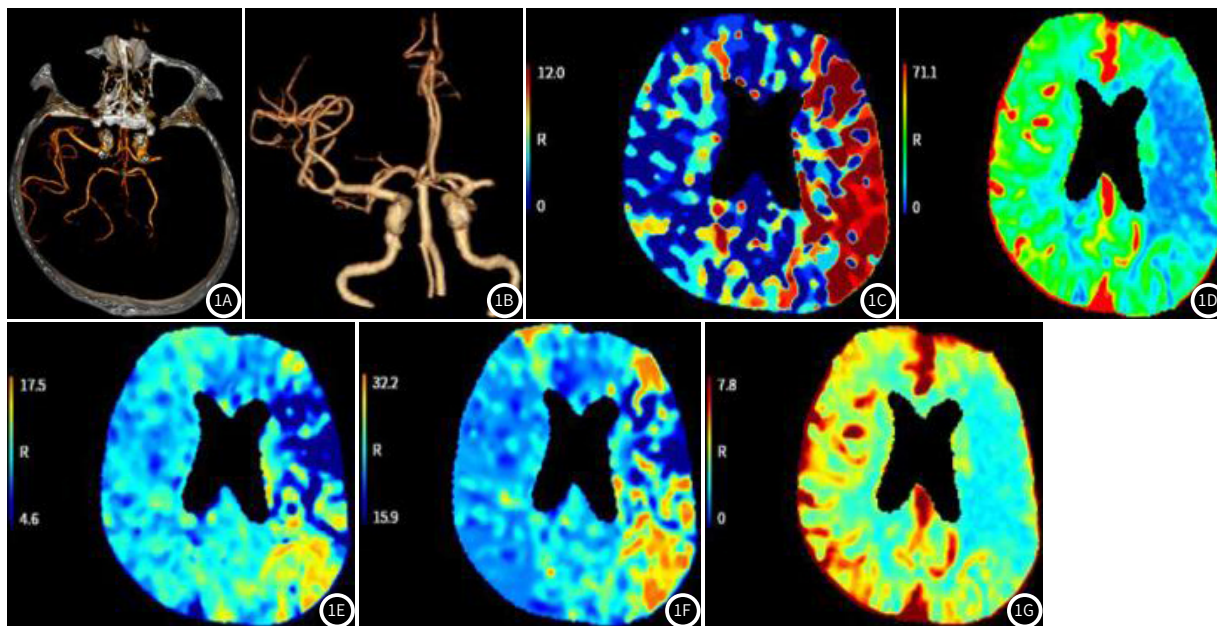
**1.3 观察指标** (1)以DSA检查为金标准,分析动态头颈全脑CTP-CTA诊断AIS的准确性,CTP-CTA诊断以CTP和CTA检查诊断中一项试验结果为阳性则判定为阳性,两项试验结果均为阴性则判定为阴性<sup>[10]</sup>。(2)以DSA检查为金标准,分析CTA检查AIS患者血管

狭窄程度的准确性。(3)比较AIS患者动态头颈全脑CTP检查CBF、CBV、TTP、MTT等动态头颈全脑CTP检查脑血流灌注参数。(4)比较AIS患者治疗前后动态头颈全脑CTP检查脑血流灌注参数及CTA评分。

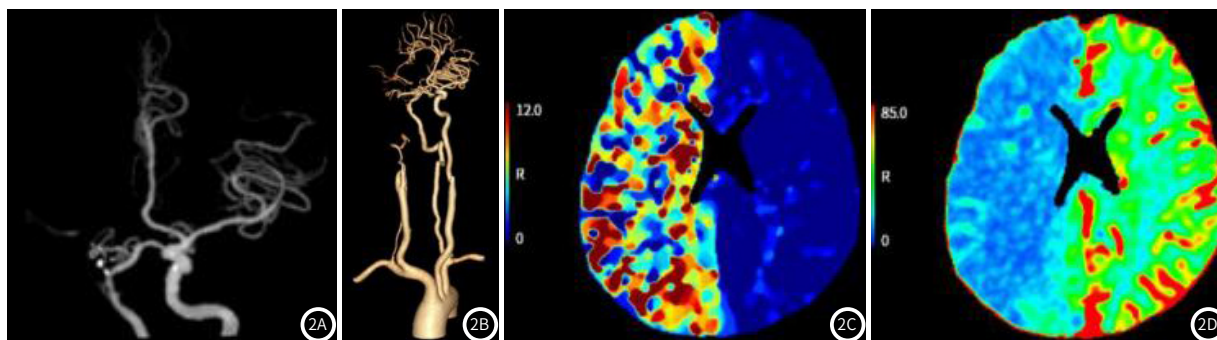
**1.4 统计学方法** SPSS 22.0软件分析数据,计量资料(AIS患者动态头颈全脑CTP检查脑血流灌注参数等)用( $\bar{x} \pm s$ )表示,两组比较采用t检验,多组间比较采用重复测量方差分析;计数资料用%表示,差异采用 $\chi^2$ 检验; $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 动态头颈全脑CTP-CTA扫描诊断AIS的准确性分析** 126例疑似AIS患者,经DSA检查诊断确诊AIS有115例。以DSA检查为金标准,CTP检查诊断AIS有109例,灵敏度为94.78%,特异度为63.64%,准确度为92.06%,Kappa值为0.540;CTA检查诊断AIS有105例,灵敏度为91.30%,特异度为63.64%,准确度为88.89%,Kappa值为0.441;CTP-CTA检查诊断AIS有112例,灵敏度为97.39%,特异度为81.82%,准确度为96.03%,Kappa值为0.761,与金标准诊断的一致性较好( $P < 0.05$ )。见图1~2和表1。



**图1** 左侧额颞枕叶及基底核脑梗死。患者男性,90岁,突发右侧肢体活动不能4h,颅脑CT提示左侧额颞枕叶及基底核脑梗死。1A、1B: 头颅CTA,左侧大脑中动脉M1段闭塞;1C: 头颅CTP,左侧额颞枕叶Tmax延长及基底核Tmax正常;1D: 头颅CTP,左侧额颞枕叶CBF降低及基底核CBF正常;1E: 头颅CTP,左侧额颞枕叶MTT延长及基底核MTT正常;1F: 头颅CTP,左侧额颞枕叶及基底核TTP延长;1G: 头颅CTP,左侧额颞枕叶CBV降低及基底核CBV正常。



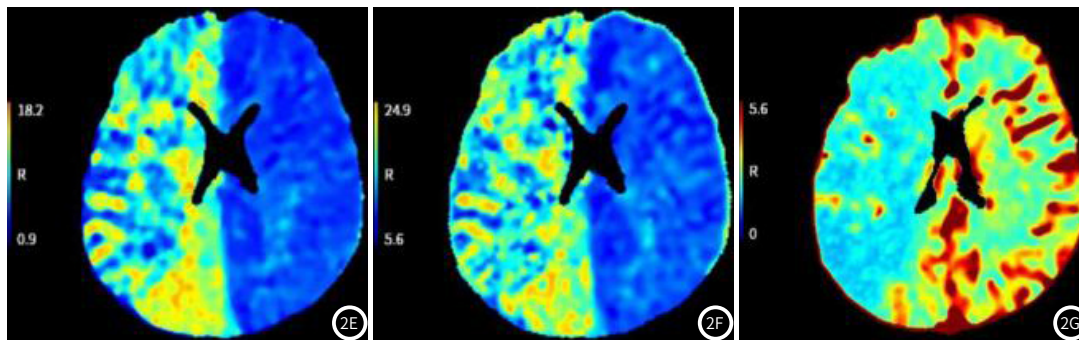


图2 右侧额颞叶及基底核脑梗死。患者女性，40岁，突发左侧肢体活动不能40min，颅脑CT提示右侧额颞叶及基底核脑梗死。2A~2B：头颅CTA，右侧颈内动脉闭塞，大脑中动脉次全闭塞；2C：头颅CTP，右侧额颞叶及基底核Tmax延长；2D：头颅CTP，右侧额颞枕叶及基底核CBF降低；2E：头颅CTP，右侧额颞枕叶及基底核MTT延长；2F：头颅CTP，右侧额颞枕叶及基底核TTP延长；2G：头颅CTP，右侧额颞枕叶及基底核CBV降低。

表1 动态头颈全脑CTP-CTA扫描与金标准诊断结果的一致性

检查方法	DSA	敏感性	特异性	准确度	阳性预测值	阴性预测值	Kappa值		
								+	-
CTP	+	109	4	94.78%	63.64%	92.06%	96.46%	53.85%	0.540
	-	6	7						
CTA	+	105	4	91.30%	63.64%	88.89%	96.33%	41.18%	0.441
	-	10	7						
CTP-CTA	+	112	2	97.39%	81.82%	96.03%	98.24%	75.00%	0.761
	-	3	9						

2.2 CTA检查AIS患者血管狭窄程度分析 115例患者经DSA检出狭窄血管179处，其中轻、中、重度狭窄各39、76、54处，闭塞10处。以DSA检查结果为金标准，CTA诊断AIS患者颈动脉狭窄程度的准确度为91.18%(165/179)，Kappa值为0.885(P<0.05)。见表2。

2.3 AIS患者动态头颈全脑CTP检查脑血流灌注参数比较 115例确诊AIS患者，经CTP检查发现梗死、缺血半暗带病灶各90、87例，同时存在81例。与半暗带区比，梗死区CBF、CBV降低，TTP、MTT升高(P<0.05)。见表3。

表2 CTA检查与金标准诊断AIS患者颈动脉狭窄程度的Kappa一致性分析

CTA	DSA				Kappa值
	轻度狭窄	中度狭窄	重度狭窄	闭塞	
轻度狭窄	38	2	1	0	0.885
中度狭窄	1	71	4	0	
重度狭窄	0	3	47	1	
闭塞	0	0	2	9	

2.4 AIS患者动态头颈全脑CTP参数与CTA颈动脉狭窄程度的相关性分析 Spearman相关性分析，AIS患者动态头颈全脑CTP参数CBF、CBV与CTA颈动脉狭窄程度负相关，TTP、MTT与其正相关(P<0.05)。见表4。

2.5 AIS患者治疗前后动态头颈全脑CTP检查脑血流灌注参数及CTA评分比较 治疗7d后，AIS患者CBF、CBV、CTA评分均显著高于治疗前，TIP、MTT均显著低于治疗前(P<0.05)。见表5。

表4 AIS患者动态头颈全脑CTP参数与CTA颈动脉狭窄程度的相关性分析

CTA颈动脉狭窄程度	动态头颈全脑CTP参数			
	CBF	CBV	TTP	MTT
r值	-0.579	-0.503	0.468	0.447
P值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

表3 AIS患者动态头颈全脑CTP检查脑血流灌注参数比较

脑区域	例数	CBF(mL/100 g·min)	CBV(mL/100g)	TIP(s)	MTT(s)
梗死区	90	8.26±0.74*	0.72±0.13*	14.59±1.62*	11.08±2.19*
半暗带区	87	23.41±5.13#	1.49±0.41#	12.93±4.35#	8.23±1.07#
对侧健区	102	47.39±9.46	2.92±0.55	9.40±0.98	4.86±0.35
F值		913.198	714.821	95.854	477.930
P值		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注：与对侧健区比，\*P<0.05；与半暗带区比，#P<0.05。

表5 AIS患者治疗前后动态头颈全脑CTP检查脑血流灌注参数及CTA评分比较

组别	例数	CBF(mL/100 g·min)	CBV(mL/100g)	TIP(s)	MTT(s)	CTA评分(分)
治疗前	115	2.43±0.61	18.94±2.06	37.86±9.15	13.53±1.85	1.58±0.19
治疗后	115	2.91±0.85	21.17±2.73	32.41±7.54	11.06±1.27	3.28±0.31
t值		4.920	6.992	4.929	11.804	50.140
P值		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

### 3 讨论

以往临床应用的DSA检查对脑血管狭窄程度的评估准确性较差,限制了其在AIS诊断和疗效评价中的应用推广<sup>[11-13]</sup>。CTP可通过序贯灌注成像血流动力学差异反映AIS脑缺血病理改变,CTA则根据灌注情况评估AIS患者脑缺血情况,为临床诊疗提供了准确参考依据<sup>[14]</sup>。本文主要研究探讨动态头颈全脑CTP-CTA扫描指导AIS早期诊疗的价值。

本研究结果显示,126例疑似AIS患者经DSA检查诊断确诊AIS 115例,以DSA检查为金标准,CTP-CTA扫描诊断AIS的准确度和Kappa值分别为96.03%和0.761,高于CTP和CTA单独诊断,说明动态头颈全脑CTP-CTA扫描诊断AIS与金标准诊断的一致性更好。AIS早期发病病灶脑组织变化以微循环和电解质改变为主,准确评估患者受累脑组织缺血状态和识别动脉狭窄情况,可为本病诊疗决策制定实施提供快速准确的判断依据<sup>[15]</sup>。动态头颈全脑CTP可通过分析脑灌注参数显示AIS患者灌注缺损情况和准确评估其脑组织的缺血半暗带,通过灌注成像参数客观评估患侧脑组织灌注状态<sup>[16]</sup>。本研究发现,半暗带区、梗死区CBF、CBV明显低于对侧健区,TTP、MTT明显高于对侧健区,且梗死区CBF、CBV明显低于半暗带区,TTP、MTT明显高于半暗带区,说明动态头颈全脑CTP可通过血流动力学参数变化定量诊断和评估AIS患者脑损伤程度。分析原因,AIS患者血流灌注明显减低表现为CBF、CBV显著降低,脑供血动脉狭窄阻塞致侧支循环代偿性开放,导致脑组织血流量发生异常,表现为MTT、TTP随主干供血动脉阻塞程度的加剧呈现异常延长表现<sup>[17]</sup>。

本研究以DSA检查结果为金标准,CTA诊断AIS患者颈动脉狭窄程度的准确度和Kappa值分别为91.18%和0.885,说明CTA对AIS患者颈动脉狭窄程度具有较高诊断准确性,对指导临床根据颈动脉狭窄程度给予针对性治疗具有重要意义。具体分析,颈动脉狭窄与脑血管疾病发病过程中管腔内斑块增多和管壁弹性下降丧失有关,也是AIS形成的重要因素。CTA可客观评估颈部、颅内血管狭窄闭塞部位和侧支循环代偿情况,通过识别闭塞血管实现头颈部血管的实时成像<sup>[18]</sup>。本研究以Spearman相关性分析AIS患者动态头颈全脑CTP参数与CTA颈动脉狭窄程度的关系,结果显示患者动态头颈全脑CTP参数CBF、CBV与CTA颈动脉狭窄程度负相关,TTP、MTT与CTA颈动脉狭窄程度正相关,提示AIS患者血管狭窄病变与其血流动力学改变密切相关。本研究结果还发现,治疗7d后,AIS患者CBF、CBV、CTA评分均显著高于治疗前,TIP、MTT均显著低于治疗前,说明对AIS患者进行早期溶栓治疗可快速开通阻塞血管并恢复缺血部位血流灌注,改善颈动脉狭窄程度,证实了动态头颈全脑CTP-CTA扫描在指导AIS诊疗方面具有重要意义。CTA可通过造影剂薄层断面重建后处理客观评估脑梗死区供血脑动脉的狭窄和闭塞情况<sup>[19]</sup>。动态头颈全脑CTP可通过准确检测AIS患者梗死核心区域的CBF、CBV、TIP和MTT等血流动力学参数反映治疗前后血流灌注状态,CTA评分则以血管狭窄程度、斑块情况和侧支循环明确治疗前后脑组织侧支循环状态,为AIS临床诊疗评估提供了客观依据<sup>[19-20]</sup>。值得注意的是,动态头颈全脑CTP-CTA扫描在临床实际应用中仍较易受影像科工作人员操作习惯和熟练程度的影响导致误诊漏诊,这也提示临床应加强操作人员的培训考核以降低误漏诊发生风险。

综上所述,动态头颈全脑CTP-CTA扫描对AIS具有较高诊断效能,可有效评估脑组织血流动力学和血管狭窄程度变化情况,在指导AIS诊疗方面具有重要意义,值得临床推广应用。

### 参考文献

- [1] Sheth SA. Mechanical thrombectomy for acute ischemic stroke[J]. Continuum (Minneapolis, Minn), 2023, 29(2): 443-461.
- [2] Renu A, Millan M, San Roman L, et al. Effect of intra-arterial alteplase vs placebo following successful thrombectomy on functional outcomes in patients with large vessel occlusion acute ischemic stroke: the choice randomized clinical trial[J]. JAMA, 2022, 327(9): 826-835.
- [3] Mittmann BJ, Braun M, Runck F, et al. Deep learning-based classification of DSA image sequences of patients with acute ischemic stroke[J]. Int J Comput Assist Radiol Surg, 2022, 17(9): 1633-1641.
- [4] 周思超. 颅脑CT血管成像对急性缺血性脑卒中患者诊断及预后判断的价值[J]. 中国CT和MRI杂志, 2022, 20(1): 28-31.
- [5] Ozkara BB, Karabacak M, Margetis K, et al. Assessment of computed tomography perfusion research landscape: a topic modeling study[J]. Tomography, 2023, 9(6): 2016-2028.
- [6] 宋彩虹, 畅彦红, 邱亚芹, 等. 急性缺血性脑卒中患者CTP-CTA参数对脑损伤判断的临床价值[J]. 医学影像学杂志, 2023, 33(11): 2101-2104.
- [7] 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.
- [8] 中华医学会外科学分会血管外科学组. 颈动脉狭窄诊治指南[J]. 中国血管外科杂志(电子版), 2017, 2(3): 169-175.
- [9] 孟媛媛, 钟孟飞, 陈晓辉, 等. CTA评分对发病6~24 h急性基底动脉闭塞血管内治疗临床结局的预测价值[J]. 介入放射学杂志, 2021, 30(11): 1100-1104.
- [10] 吴雯菁, 姚柳, 吴俊泉, 等. 多时相CTA联合CTP全脑灌注成像在缺血性脑卒中患者侧支循环影像学诊断中的应用价值[J]. 卒中与神经疾病, 2020, 27(1): 38-41, 46.
- [11] Tsui B, Chen IE, Nour M, et al. Perfusion collateral index versus hypoperfusion intensity ratio in assessment of collaterals in patients with acute ischemic stroke[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2023, 44(11): 1249-1255.
- [12] 张小乐. 评估rt-PA联合尿激酶静脉溶栓治疗急性缺血性脑卒中预后动态监测血栓弹力图的临床意义[J]. 罕见疾病杂志, 2025, 32(4): 9-11.
- [13] Kurmann CC, Kaesmacher J, Pilgram-Pastor S, et al. Correlation of collateral scores derived from whole-brain time-resolved flat panel detector imaging in acute ischemic stroke[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2022, 43(11): 1627-1632.
- [14] 吕沙沙, 曹萌萌. CT血管成像与CT灌注成像对急性缺血性脑卒中的诊断价值分析[J]. 实用放射学杂志, 2020, 36(5): 816-818, 830.
- [15] 张士玉, 姚柳, 姜亦伦. 全脑CTP及动态CTA评估单侧大脑中动脉狭窄或闭塞患者侧支循环状态及预后的价值[J]. 医学影像学杂志, 2023, 33(7): 1137-1140.
- [16] 张要宇, 王博. 磁共振灌注成像与CT灌注成像在老年缺血性脑血管病患者中的应用[J]. 中国CT和MRI杂志, 2020, 18(9): 14-16, 27.
- [17] 段森, 陈大有, 郭泽春, 等. 全脑灌注CTP联合头颈CTA诊断早期AIS的价值观察[J]. 中国CT和MRI杂志, 2024, 22(1): 4-6.
- [18] 潘景江, 余翔, 刘斌. CTP联合mCTA对急性缺血性脑卒中取栓后出血性转化(PH2型)的预测[J]. 临床放射学杂志, 2023, 42(5): 722-728.
- [19] 居敏昊, 花纯香, 姚柳, 等. CT血管成像与CT灌注成像联合对急性缺血性脑卒中患者侧支循环及预后评估价值分析[J]. 影像研究与医学应用, 2023, 7(20): 62-64.
- [20] 杨中杰, 郭爱菊, 高敬平. 急性缺血性脑卒中易患体质类型与颈动脉易损斑块CTA影像表现相关性研究[J]. 罕见疾病杂志, 2025, 32(5): 27-29.

(收稿日期: 2024-10-11)

(校对编辑: 姚丽娜)