

DOI:10.3969/j.issn.1005-202X.2025.07.010

医学影像物理

## 头颅CT灌注成像参数与头颈CT血管造影联合评估急性缺血性脑卒中侧支循环状态及预后预测价值

房海燕<sup>1</sup>, 葛亚莉<sup>2</sup>, 张宇辰<sup>1</sup>, 李丽环<sup>1</sup>, 高敏<sup>1</sup>

1. 南京大学医学院附属泰康仙林鼓楼医院放射科, 江苏 南京 210023; 2. 江苏省中医院放射科, 江苏 南京 210004

**【摘要】目的:**探讨头颅CT灌注成像(CTP)参数联合头颈CT血管造影(CTA)对急性缺血性脑卒中(AIS)侧支循环状态评估和预后预测价值。**方法:**回顾性纳入2018年6月至2023年6月于泰康仙林鼓楼医院就诊的AIS患者83例,入院后24 h内行CTP和头颈CTA检查。以数字减影-血管造影(DSA)检查结果为金标准,评估AIS患者侧支循环状态。收集患者一般资料,在患者AIS发生后90 d,通过电话或门诊随访,使用改良Rankin量表(mRS)评估患者的预后情况。皮尔逊(Pearson)或斯皮尔曼(Spearman)相关性分析侧支循环分级与CTP参数及头颈CTA评分的相关性。多因素Logistic回归分析CTP参数及头颈CTA评分对AIS患者预后预测的价值。受试者工作特征曲线(ROC)分析CTP参数、头颈CTA及联合对AIS患者预后的预测价值。**结果:**侧支循环良好组患者的脑血容量(CBV)、脑血流量(CBF)、CT血管造影(CTA)评分均高于侧支循环不良组,平均通过时间(MTT)、达峰时间(TTP)均低于侧支循环不良组( $P<0.05$ )。CBV、CBF、CTA评分与AIS患者侧支循环状态呈负相关,MTT、TTP与AIS患者侧支循环状态呈正相关( $P<0.05$ )。预后良好组患者的CBV、CBF、CTA评分均高于预后不良组,MTT、TTP均低于预后不良组( $P<0.05$ )。多因素Logistic回归分析结果显示,MTT、TTP是AIS患者预后不良的危险因素,CBV、CBF、CTA评分是AIS患者预后不良的保护因素( $P<0.05$ )。ROC结果显示,CBV、MTT、CBF、TTP、CTA评分及以上指标联合预测AIS患者预后的曲线下面积(AUC)为0.897、0.864、0.835、0.920、0.918、0.979;AUC比较结果显示,联合预测优于单独预测( $Z=2.194、2.910、2.521、2.229、2.171,P<0.05$ )。**结论:**CTP参数联合CTA可有效评估AIS患者侧支循环,并且在预测患者预后中有重要价值。

**【关键词】**急性缺血性脑卒中;头颅灌注成像;头颈CT血管造影;侧支循环;预后

**【中图分类号】**R318;R743.3

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2025)07-0911-07

## Cranial CT perfusion imaging parameters combined with head and neck CT angiography to assess collateral circulation status in acute ischemic stroke and its potential for prognostic prediction

FANG Haiyan<sup>1</sup>, GE Yali<sup>2</sup>, ZHANG Yuchen<sup>1</sup>, LI Lihuan<sup>1</sup>, GAO Min<sup>1</sup>

1. Department of Radiology, Taikang Xianlin Drum Tower Hospital, Nanjing University School of Medicine, Nanjing 210023, China;

2. Department of Radiology, Jiangsu Province Hospital of Chinese Medicine, Nanjing 210004, China

**Abstract: Objective** To explore the value of cranial CT perfusion imaging (CTP) parameters combined with head and neck CT angiography (CTA) in assessing collateral circulation status and predicting prognosis in acute ischemic stroke (AIS). **Methods** A retrospective analysis was carried out on 83 AIS patients who were treated in Taikang Xianlin Drum Tower Hospital from June 2018 to June 2023. CTP and head and neck CTA examinations were performed within 24 hours after admission. Digital subtraction angiography is the gold standard for assessing collateral circulation status in AIS patients. The general information of these patients was collected, and the patient's prognosis was evaluated using the modified Rankin scale through telephone or outpatient follow-up 90 days after the occurrence of AIS. Pearson or Spearman correlation was used to analyze the correlation between collateral circulation assessment and CTP parameters and head and neck CTA scores. The value of CTP parameters and head and neck CTA scores in predicting the prognosis of AIS patients was discussed using

**【收稿日期】**2025-01-22

**【基金项目】**江苏省重点研发计划一般项目(202282731)

**【作者简介】**房海燕,主管技师,研究方向:CT血管成像,E-mail: 15850660377@163.com

**【通信作者】**高敏,主管技师,研究方向:CT血管成像,E-mail: minminmin163163@163.com

multivariate Logistic regression. Moreover, the receiver operating characteristic (ROC) curve was used to analyze the predictive value of CTP parameters, head and neck CTA, and the combination for the prognosis of AIS patients. **Results** The cerebral blood volume (CBV), cerebral blood flow (CBF), and CTA score were higher, while mean transit time (MTT) and time to peak (TTP) were shorter in the good collateral circulation group than in poor collateral circulation group ( $P<0.05$ ). The collateral circulation status in AIS patients was negatively correlated with CBV, CBF, and CTA score, while positively correlated with MTT and TTP ( $P<0.05$ ). Compared with poor prognosis group, good prognosis group had higher CBV, CBF, CTA, and shorter MTT and TTP ( $P<0.05$ ). Multivariate Logistic regression analysis identified MTT and TTP as risk factors for poor prognosis, and CBV, CBF, and CTA scores as protective factors for poor prognosis in AIS patients ( $P<0.05$ ). The ROC results showed that the area under the curve (AUC) of CBV, MTT, CBF, TTP, CTA score and the combination to predict the prognosis of AIS patients were 0.897, 0.864, 0.835, 0.920, 0.918, and 0.979, respectively, showing better predictive performance of the combination than single index alone ( $Z=2.194, 2.910, 2.521, 2.229, 2.171; P<0.05$ ). **Conclusion** CTP parameters combined with CTA may effectively assess collateral circulation in patients with AIS and is significant for prognosis prediction.

**Keywords:** acute ischemic stroke; cranial perfusion imaging; head and neck CT angiography; collateral circulation; prognosis

## 前言

急性缺血性脑卒中(AIS)是一种危害人类健康和生命的常见神经系统疾病<sup>[1]</sup>。然而,由于AIS的发病时间不确定,且患者就诊延迟较普遍,因此及时准确地评估脑梗死的范围和程度对于指导脑卒中的诊断和治疗具有重要意义<sup>[2]</sup>。侧支循环是指当脑供血动脉发生狭窄或闭塞时,侧支或新生血管吻合向缺血区提供血流的一种代偿机制<sup>[3]</sup>。研究表明,侧支循环的开放程度是影响AIS患者预后的重要因素之一<sup>[4]</sup>,因此,及时准确地评估AIS患者的侧支循环分级,对于选择判断治疗效果和预测预后具有重要意义。数字减影-血管造影(DSA)被认为是评估侧支循环的金标准,但DSA是一种有创性、有电离辐射暴露风险的检查<sup>[5]</sup>。头颅灌注成像(CTP)是一种反映脑血流动力学变化的功能性影像学技术,可以提供灌注参数,对于评价AIS患者的脑血流灌注情况、指导溶栓或血管内治疗的适应证等具有重要意义<sup>[6]</sup>。头颈CT血管造影(CTA)是一种快速、无创的血管成像技术,可清晰地显示颅内外动脉狭窄或闭塞部位以及侧支循环代偿范围<sup>[7]</sup>。目前,关于CTP参数联合头颈CTA对AIS患者侧支循环状态评估和预后预测的临床相关研究还不够充分。因此,本研究旨在探讨CTP参数联合头颈CTA对AIS侧支循环分级评估和预后预测的价值,为临床治疗和患者预后评估提供参考依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 研究对象

回顾性纳入2018年6月至2023年6月于泰康仙林鼓楼医院就诊的AIS患者83例,入院后24 h内行CTP和头颈CTA检查。根据DSA检查结果,将患者分为侧支循环良好组(57例)和侧支循环不良组(26

例)。纳入标准:①符合《中国脑血管病影像应用指南》<sup>[8]</sup>中AIS的诊断标准,患者发病时间 $<24$  h;②均行DSA、CTP与头颈CTA检查;③患者无对碘造影剂过敏史或不能耐受碘造影剂;④患者临床与影像学资料完整;⑤前循环近端动脉闭塞定义为颅内颈内动脉(ICA)或大脑中动脉(MCA)M1段或近端M2段的完全或不完全阻塞;⑥接受血管内介入治疗。排除标准:①有颅内出血、肿瘤、感染、外伤等其他原因导致的神经功能障碍;②有严重的心、肝、肾等器官功能不全或全身感染;③患者CTP或头颈CTA图像质量不佳;④患者有后循环闭塞。本研究经医院伦理委员会批准。收集患者一般资料,包括性别、年龄、发病时间、高血压、糖尿病、吸烟、饮酒、高脂血症、冠心病、心房颤动情况。

### 1.2 影像学检测

所有患者均使用GE Revolution CT机进行CTP和头颈CTA检查。以5 mL/s的速率通过肘静脉注射45 mL造影剂碘海醇。扫描范围从颅底到颅顶,得到时间密度曲线。扫描结束后,使用GE Advantage Workstation 4.6软件进行图像重建和后处理,得到以下CTP参数:脑血容量(CBV)、脑血流量(CBF)、平均通过时间(MTT)、达峰时间(TTP)。头颈CTA扫描范围包括颈部和颅内血管,以4 mL/s的速度中心注射55 mL的碘海醇造影剂,随后注入40 mL生理盐水。在扫描结束图像重建后,重建获得多平面重组、最大密度投影和容积再现等图像,并根据头颈CTA结果,采用Tan评分方法<sup>[9]</sup>对侧支循环进行评分,评分标准如下:0分:无侧支循环可见;1分:侧支循环充盈小于闭塞区域的50%;2分:侧支循环充盈大于50%但小于100%;3分:侧支循环充盈等于100%。

### 1.3 患者预后评估

在患者AIS后90 d,通过电话或门诊随访,使用改良Rankin量表(mRS)<sup>[10]</sup>评估患者的预后情况,将

mRS 评分≤2 定义为良好预后, mRS 评分>2 定义为不良预后。

### 1.4 统计学分析

使用 SPSS 25.0 软件进行统计学分析。计量资料的正态性检验采用 Kolmogorov-Smirnov 法, 符合正态分布的计量资料用均数±标准差表示, 组间比较采用单因素方差分析, 组内比较采用配对 *t* 检验。计数资料以频数(*n*)和百分比(%)表示, 组间比较采用卡方检验。皮尔逊(Pearson)或斯皮尔曼(Spearman)相关性分析侧支循环分级与 CTP 参数及头颈 CTA 评分

的相关性。多因素 Logistic 回归分析影响 AIS 患者预后的因素。受试者工作特征曲线(ROC)分析 CTP 参数、头颈 CTA 及联合对 AIS 患者预后的预测价值。*P*<0.05 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 不同侧支循环状态组基线资料比较

不同侧支循环状态组患者间性别、年龄、发病时间、高血压、糖尿病、吸烟、饮酒、高脂血症、冠心病、心房颤动差异均无统计学意义(*P*>0.05), 见表 1。

表 1 不同侧支循环状态组基线资料比较

Table 1 Comparison of baseline data between different collateral circulation status groups

基线资料	侧支循环良好组( <i>n</i> =57)	侧支循环不良组( <i>n</i> =26)	$\chi^2/t$ 值	<i>P</i> 值
性别[例(%)]			0.018	0.895
男	32(56.14)	15(57.69)		
女	25(43.86)	11(42.31)		
年龄(岁, $\bar{x}\pm s$ )	61.30±9.88	62.80±10.90	0.621	0.536
发病时间(h, $\bar{x}\pm s$ )	8.90±2.40	8.50±2.70	0.677	0.500
高血压[例(%)]	26(45.61)	17(65.38)	2.795	0.095
糖尿病[例(%)]	17(29.82)	6(23.08)	0.533	0.466
吸烟史[例(%)]	26(45.61)	10(38.46)	0.372	0.542
饮酒史[例(%)]	19(33.33)	7(26.92)	0.341	0.559
高脂血症[例(%)]	21(36.84)	9(34.62)	0.038	0.845
冠心病[例(%)]	13(22.81)	5(19.23)	0.134	0.714
心房颤动[例(%)]	8(14.04)	3(11.54)	0.062	0.803

### 2.2 CTP 和头颈 CTA 超声结果图

不同 Tan 评分患者 CTP 和头颈 CTA 超声检测结

果, 如图 1~图 5 所示。

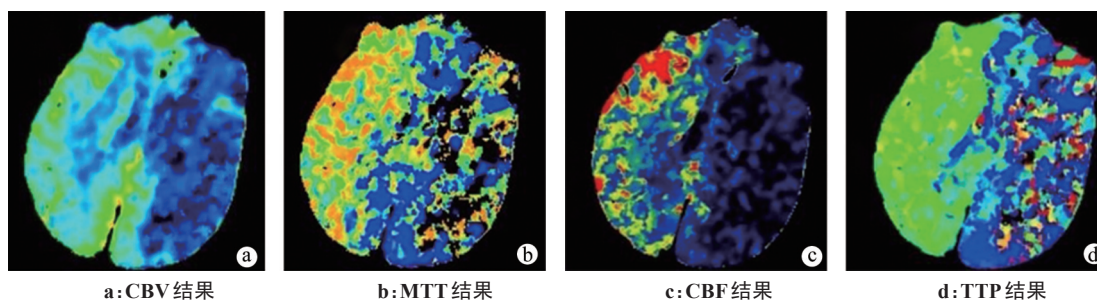


图 1 Tan 评分为 0 分的患者 CTP 检测结果图  
Figure 1 CTP results of patients with Tan score of 0

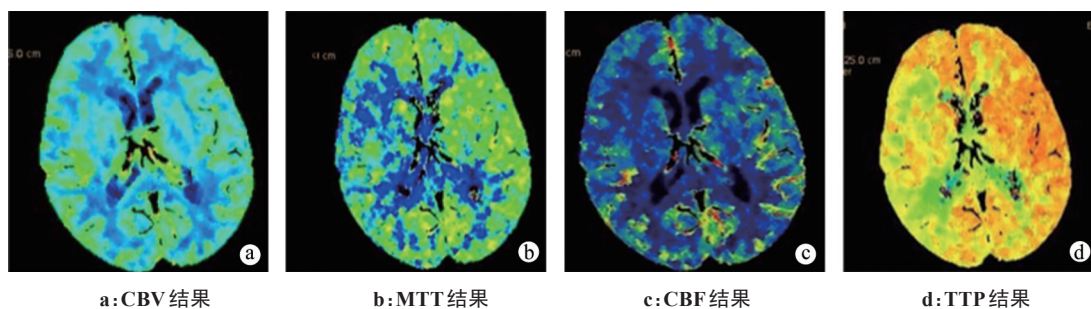


图 2 Tan 评分为 1 分的患者 CTP 检测结果图  
Figure 2 CTP results of patients with Tan score of 1

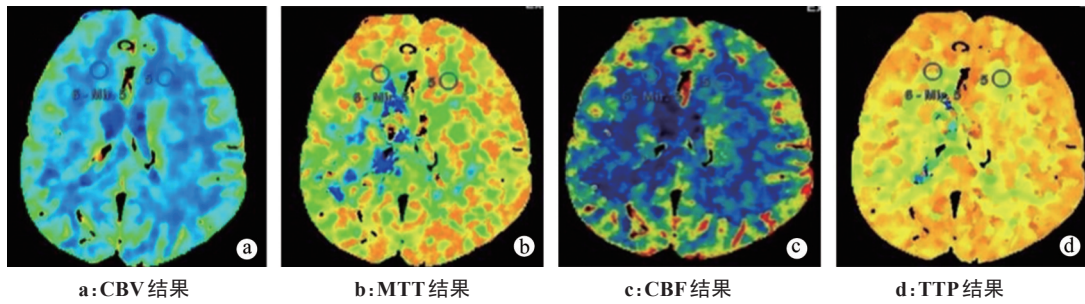


图3 Tan评分为2分的患者CTP检测结果图  
Figure 3 CTP results of patients with Tan score of 2

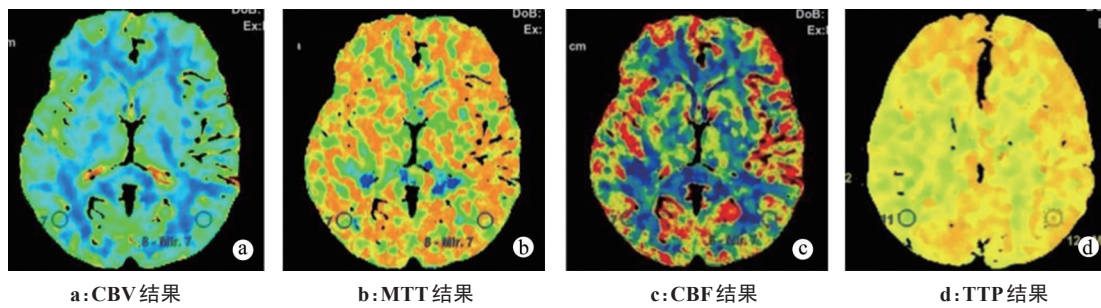


图4 Tan评分为3分的患者CTP检测结果图  
Figure 4 CTP results of patients with Tan score of 3

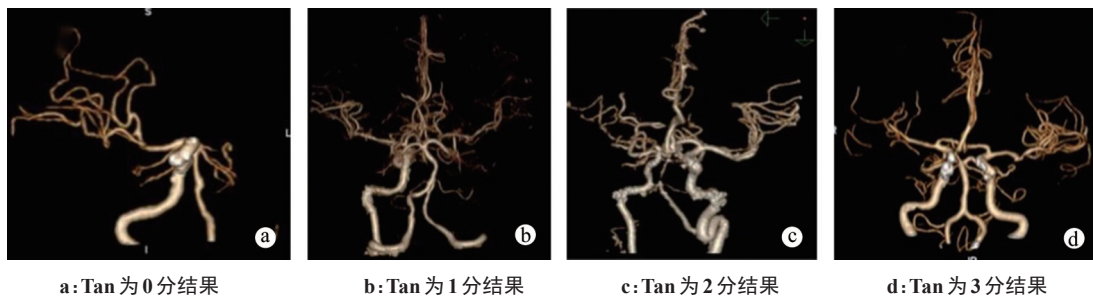


图5 不同Tan评分患者CTA检测结果图  
Figure 5 CTA results of patients with different Tan scores

### 2.3 不同侧支循环状态组 CTP 参数及头颈 CTA 评分比较

侧支循环良好组患者的 CBV、CBF、CTA 评分均

高于侧支循环不良组, MTT、TTP 均低于侧支循环不良组, 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ), 见表 2。

表 2 不同侧支循环状态组 CTP 参数及头颈 CTA 评分比较  
Table 2 Comparison of CTP parameters and head and neck CTA scores in different collateral circulation status groups

参数	侧支循环良好组 (n=57)	侧支循环不良组 (n=26)	t 值	P 值
CBV/mL·100 g <sup>-1</sup>	2.43±0.21	1.89±0.23	10.546	0.000
MTT/s	5.46±0.42	6.18±0.48	6.924	0.000
CBF/mL·100 g <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup>	26.93±2.06	21.38±2.02	11.453	0.000
TTP/s	15.06±1.21	16.83±1.08	6.385	0.000
CTA 评分/分	2.52±0.23	1.86±0.35	10.226	0.000

## 2.4 CTP 参数及头颈 CTA 评分侧支循环状态相关性分析

CBV、CBF、CTA 评分与 AIS 患者侧支循环状态呈负相关,MTT、TTP 与 AIS 患者侧支循环状态呈正相关( $P<0.05$ ),见表 3。

## 2.5 不同预后结局组基线资料比较

不同预后结局组患者间性别、年龄、发病时间、高血压、糖尿病、吸烟、饮酒、高脂血症、冠心病、心房颤动差异均无统计学意义( $P>0.05$ ),见表 4。

表 3 CTP 参数及头颈 CTA 评分侧支循环状态相关性分析  
Table 3 Correlation analysis of collateral circulation status and CTP parameters and head and neck CTA score

指标	侧支循环状态	
	r 值	P 值
CBV	-0.574	<0.001
MTT	0.612	<0.001
CBF	-0.519	<0.001
TTP	0.663	<0.001
CTA 评分	-0.583	<0.001

表 4 不同预后结局组基线资料比较

Table 4 Comparison of baseline data in different prognostic outcome groups

基线资料	预后良好组(n=63)	预后不良组(n=20)	$\chi^2/t$ 值	P 值
性别[例(%)]			0.028	0.866
男	36(57.14)	11(55.00)		
女	27(42.86)	9(45.00)		
年龄(岁, $\bar{x}\pm s$ )	61.50±9.76	62.62±9.98	0.445	0.658
发病时间(h, $\bar{x}\pm s$ )	8.80±2.40	8.54±2.28	0.427	0.671
高血压[例(%)]	30(47.62)	13(65.00)	1.837	0.175
糖尿病[例(%)]	18(28.57)	5(25.00)	0.681	0.409
吸烟史[例(%)]	28(44.44)	8(40.00)	0.122	0.727
饮酒史[例(%)]	22(34.92)	4(20.00)	1.571	0.210
高脂血症[例(%)]	22(34.92)	8(40.00)	0.170	0.680
冠心病[例(%)]	14(22.22)	4(20.00)	0.044	0.834
心房颤动[例(%)]	9(14.29)	2(10.00)	0.243	0.622

## 2.6 不同预后结局组 CTP 参数及头颈 CTA 评分比较

预后良好组患者的 CBV、CBF、CTA 评分均高于

预后不良组,MTT、TTP 均低于预后不良组,差异有统计学意义( $P<0.05$ ),见表 5。

表 5 不同预后结局组 CTP 参数及头颈 CTA 评分比较

Table 5 Comparison of CTP parameters and head and neck CTA scores in different prognosis groups

参数	预后良好组(n=63)	预后不良组(n=20)	t 值	P 值
CBV/mL·100 g <sup>-1</sup>	2.37±0.24	1.91±0.22	7.612	0.000
MTT/s	5.43±0.54	6.49±0.43	7.999	0.000
CBF/mL·100 g <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup>	26.22±2.01	21.95±2.13	8.160	0.000
TTP/s	15.00±1.28	17.55±1.17	7.916	0.000
CTA 评分/分	2.44±0.26	1.91±0.23	8.153	0.000

## 2.7 多因素 Logistic 回归分析

以 AIS 患者预后结局(良好=0,不良=1)为因变量,CBV、MTT、CBF、TTP、CTA 评分为自变量进行多因素 Logistic 回归分析,结果显示,MTT、TTP 是 AIS 患者预后不良的危险因素,CBV、CBF、CTA 评分是 AIS 患者预后不良的保护因素( $P<0.05$ ),见表 6。

## 2.8 CTP 参数、头颈 CTA 及联合对 AIS 患者预后的预测价值

ROC 结果显示,CBV、MTT、CBF、TTP、CTA 评分及以上指标联合预测 AIS 患者预后的曲线下面积(AUC)为 0.897、0.864、0.835、0.920、0.918、0.979;AUC

表 6 多因素 Logistic 回归分析

Table 6 Multivariate Logistic regression analysis

指标	B	SE	Wald $\chi^2$	OR	95%CI	P 值
CBV	-0.265	0.101	6.898	0.767	0.629~0.935	0.008
MTT	0.712	0.267	7.110	2.038	1.208~3.439	0.007
CBF	-0.286	0.118	5.888	0.751	0.596~0.946	0.015
TTP	0.669	0.231	8.384	1.952	1.241~3.069	0.003
CTA 评分	-0.507	0.156	10.583	0.602	0.443~0.817	0.001

比较结果显示,联合预测优于单独预测( $Z=2.194$ 、 $2.910$ 、 $2.521$ 、 $2.229$ 、 $2.171$ , $P<0.05$ )。见图 6、表 7。

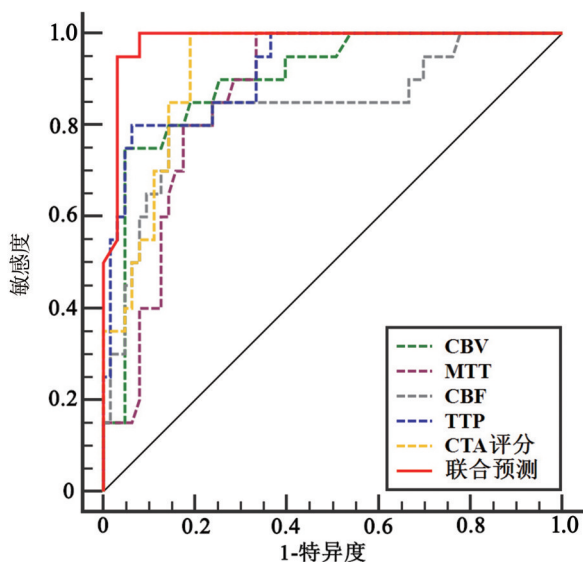


图6 CTP参数、头颈CTA及联合预测AIS患者预后的ROC图  
Figure 6 ROC curves of CTP parameters, head and neck CTA and the combination to predict the prognosis of AIS patients

### 3 讨论

AIS是一种常见的神经系统疾病,其发病率和死亡率居高不下,给患者带来沉重的负担<sup>[11]</sup>。AIS的预后与缺血区域的灌注状态密切相关,灌注缺损越严重,预后越差。侧支循环是一种自身的保护机制,可以通过血管重建或侧枝开放,为缺血区域提供血液供应,从而减轻或逆转缺血损伤<sup>[12-13]</sup>。因此,评估AIS患者的侧支循环状态,对指导临床治疗和预测预后具有重要的意义。目前,评估侧支循环的方式主要有DSA、CTA、磁共振血管造影等影像学技术。其中,DSA被认为是金标准,但其具有创伤性、侵入性、费用高、并发症多等缺点<sup>[14]</sup>。CTA是一种快速、方便、准确的方法,可以清晰地显示颅内血管的形态和狭窄程度,以及侧支循环的建立情况<sup>[15]</sup>。CTA在评估侧支循环方面具有一定的优势,但其仍然存在一些局限性,如不能直接反映血流动力学参数、不能区分真正的侧支循环和迂曲血管等<sup>[16]</sup>。CTP是一种基于

表7 CTP参数、头颈CTA及联合对AIS患者预后的预测价值

Table 7 Predictive value of CTP parameters, head and neck CTA and the combination for prognosis of AIS patients

变量	AUC	95%CI	截断值	灵敏度/%	特异度/%	Youden指数
CBV	0.897	0.811~0.953	1.99	75.00	95.24	0.702
MTT	0.864	0.771~0.929	5.73	80.00	66.67	0.667
CBF	0.835	0.738~0.908	23.45	80.00	85.71	0.657
TTP	0.920	0.839~0.968	17.04	80.00	93.65	0.737
CTA评分	0.918	0.840~0.961	2.21	75.00	80.95	0.809
联合预测	0.979	0.926~0.991	-	90.00	92.06	0.921

CT的灌注成像技术,可以定量或半定量地测量脑组织的血流动力学参数,如CBF、CBV、MTT、CPP等,可反映缺血区域的灌注状态,以及侧支循环的功能水平。然而,CT扫描仪的差异可能会导致检测结果差异,并且探测器尺寸较小的CT扫描仪无法提供全脑覆盖<sup>[17]</sup>。

在本次研究中,侧支循环良好组患者的CBV、CBF、CTA评分均高于侧支循环不良组,MTT、TTP均低于侧支循环不良组,提示侧支循环可以改善缺血脑组织的血流灌注<sup>[18]</sup>。此外,CBV、CBF、CTA评分与AIS患者侧支循环状态呈负相关,MTT、TTP与AIS患者侧支循环状态呈正相关,这说明CTP参数及CTA评分可以反映侧支循环的质量和效果,为侧支循环的评估提供一种客观的量化指标。此外,本研究还分析CTP参数和头颈CTA与AIS患者预后的关系。预后良好组患者的CBV、CBF、CTA评分均高于预后不良组,MTT、TTP均低于预后不良组。进一步行多因素Logistic回归分析,结果显示,MTT、TTP是

AIS患者预后不良的危险因素,CBV、CBF、CTA评分是AIS患者预后不良的保护因素,提示CTP参数和头颈CTA不仅可以描述缺血脑组织的状态,还可以预测AIS患者的预后结局。此外,本研究还进行ROC曲线比较CTP参数、头颈CTA及联合预测AIS患者预后的价值,结果显示,CTP参数与头颈CTA联合预测优于单独预测,表明CTP参数和头颈CTA的综合分析能够更准确和敏感地反映缺血脑组织的损伤程度和潜在的可逆性,为AIS患者的临床决策和治疗提供有力的依据。

综上所述,CTP参数、头颈CTA联合应用可以有效评估AIS患者的侧支循环状态与患者预后。同时,本研究也存在一定的局限性,本研究的样本量较小,可能存在偶然误差或选择偏倚,需要更大规模的多中心研究来验证本研究结果,并且本研究仅进行了单次的CTP检查,未能动态观察缺血脑组织的灌注变化,未来可以考虑进行多次或连续的CTP检查来监测灌注恢复情况。

## 【参考文献】

- [1] Mendelson SJ, Prabhakaran S. Diagnosis and management of transient ischemic attack and acute ischemic stroke: a review[J]. JAMA, 2021, 325(11): 1088-1098.
- [2] 闫雯, 赵于飞, 宫玉哲, 等. 缺血性脑卒中分子流行病学筛查及其危险因素分析[J]. 临床军医杂志, 2023, 51(1): 65-68.  
Yan W, Zhao YF, Gong YZ, et al. Molecular epidemiological screening and risk factor analysis of ischemic stroke[J]. Clinical Journal of Medical Officers, 2023, 51(1): 65-68.
- [3] 季一飞, 余静梅. 不同 TOAST 分型急性缺血性脑卒中诊疗指南及专家共识解读[J]. 西部医学, 2022, 34(11): 1565-1570.  
Ji YF, Yu JM. Interpretation of guidelines and expert consensus on diagnosis and treatment of acute ischemic stroke with different TOAST classifications[J]. Medical Journal of West China, 2022, 34(11): 1565-1570.
- [4] 张高祺, 张华纲, 樊东升. 急性缺血性卒中早期复发的研究进展[J]. 中华内科杂志, 2022, 61(3): 342-348.  
Zhang GQ, Zhang HG, Fan DS. Research progress on the early recurrence of acute ischemic stroke[J]. Chinese Journal of Internal Medicine, 2022, 61(3): 342-348.
- [5] 张嘉楠, 张金. 急性缺血性卒中血管内治疗侧支循环影像评估的研究进展[J]. 中国实用神经疾病杂志, 2023, 26(6): 769-773.  
Zhang JN, Zhang J. Research progress of imaging assessment of cerebral collateral circulation in endovascular treatment of acute ischemic stroke[J]. Chinese Journal of Practical Nervous Diseases, 2023, 26(6): 769-773.
- [6] 陈磊. 侧支循环及其在缺血性脑卒中诊疗中的研究和应用现状[J]. 中南医学科学杂志, 2021, 3(10): 10-17.  
Chen L. Collateral circulation and its research and application in the diagnosis and treatment of ischemic stroke[J]. Medical Science Journal of Central South China, 2021, 3(10): 10-17.
- [7] 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.  
Song CH, Chang YH, Di YQ, et al. The clinical value of CTP-CTA parameters in predicting brain injury in patients with acute ischemic stroke[J]. Journal of Medical Imaging, 2023, 33(11): 2101-2104.
- [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. 中国脑血管病影像应用指南[J]. 中华神经科杂志, 2016, 49(3): 164-181.  
Neurology Branch of Chinese Medical Association, Cerebrovascular Disease Group, Neurology Branch, Chinese Medical Association. Guidelines for imaging application of cerebrovascular disease in China[J]. Chinese Journal of Neurology, 2016, 49(3): 164-181.
- [9] Tan IY, Demchuk AM, Hopyan J, et al. CT angiography clot burden score and collateral score: correlation with clinical and radiologic outcomes in acute middle cerebral artery infarct[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2009, 30(3): 525-531.
- [10] Quinn TJ, Dawson J, Walters MR, et al. Reliability of the modified Rankin Scale: a systematic review[J]. Stroke, 2009, 40(10): 3393-3395.
- [11] Sperti M, Arba F, Acerbi A, et al. Determinants of cerebral collateral circulation in acute ischemic stroke due to large vessel occlusion[J]. Front Neurol, 2023, 14: 1181001.
- [12] 刘奕娟, 王绮婧, 刘星辰, 等. 侧支循环对再灌注治疗后出血转化及短期预后的影响[J]. 中华神经医学杂志, 2021, 20(11): 1108-1116.  
Liu YX, Wang QJ, Liu XC, et al. Effect of collateral circulation on hemorrhagic transformation or short-term prognoses in patients with acute ischemia stroke after different reperfusion therapies[J]. Chinese Journal of Neuromedicine, 2021, 20(11): 1108-1116.
- [13] 姜海龙, 苏文, 陈慧铀, 等. 双参数动脉自旋标记成像在评估急性缺血性卒中侧支循环和预后中的应用价值[J]. 磁共振成像, 2023, 14(3): 53-57.  
Jiang HL, Su W, Chen HY, et al. Application value of arterial spin labeling imaging with dual parameters in evaluating collateral circulation and prognosis of acute ischemic stroke[J]. Chinese Journal of Magnetic Resonance Imaging, 2023, 14(3): 53-57.
- [14] Bani-Sadr A, Aguilera M, Cappucci M, et al. Comparison of magnetic resonance angiography techniques to brain digital subtraction arteriography in the setting of mechanical thrombectomy: a non-inferiority study[J]. Rev Neurol (Paris), 2022, 178(6): 539-545.
- [15] 阮成伟, 梁琰, 李展展, 等. 多模态 CT 扫描成像技术对老年急性缺血性脑卒中患者侧支循环及预后的评估价值[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2023, 21(1): 29-31.  
Ruan CW, Liang Y, Li ZZ, et al. Assessment value of multimodal CT scan imaging technique on collateral circulation and prognosis in elderly patients with acute ischemic stroke[J]. Chinese Journal of CT and MRI, 2023, 21(1): 29-31.
- [16] 金巍, 尹豆, 李彬寅, 等. 侧支循环及其在缺血性脑卒中诊疗中的研究和应用现状[J]. 中华脑血管病杂志(电子版), 2021, 15(3): 185-190.  
Jin W, Yin D, Li BY, et al. Collateral circulation in diagnosis and treatment of ischemic stroke and related application[J]. Chinese Journal of Cerebrovascular Diseases (Electronic Edition), 2021, 15(3): 185-190.
- [17] Katyal A, Bhaskar S. CTP-guided reperfusion therapy in acute ischemic stroke: a meta-analysis[J]. Acta Neurol Scand, 2021, 143(4): 355-366.
- [18] Pan H, Lin CC, Chen LN, et al. Multiple-factor analyses of futile recanalization in acute ischemic stroke patients treated with mechanical thrombectomy[J]. Front Neurol, 2021, 12: 704088.

(编辑:陈丽霞)