

DOI:10.3969/j.issn.1005-202X.2025.04.008

医学影像物理

一站式多模态CT评估急性缺血性脑卒中侧支循环及预后

李雪娇, 聂君洋, 谢艺才, 黄军荣, 苏泓燕
梧州市红十字会医院放射科, 广西 梧州 543000

【摘要】目的:探讨一站式多模态CT在急性缺血性脑卒中(AIS)侧支循环评估及预后判断中的应用效果。**方法:**纳入2022年2月~2024年5月在梧州市红十字会医院就诊的AIS患者115例为研究对象,患者入院时均进行一站式多模态CT检查,并行血管内治疗。分别依据多时相CT血管成像(mCTA)侧支循环评分量表及90 d改良Rankin量表(mRs)评分将患者分为侧支循环良好组($n=59$)、侧支循环不良组($n=56$)和预后良好组($n=48$)、预后不良组($n=67$),对各组间临床资料及影像学参数进行对比,AIS患者侧支循环情况及预后的独立影响因素通过多因素Logistic回归模型分析,基于多因素Logistic分析建立AIS患者预后不良预测模型,通过受试者工作特征(ROC)曲线分析预测模型对AIS患者预后的预测价值。**结果:**侧支循环不良组岛带征及脑灰白质模糊征比例高于侧支循环良好组($P<0.05$),而低灌注强度比值(HIR) <0.3 低于侧支循环良好组($P<0.05$);侧支循环不良组患者局部血容量(rCBV) $<40\%$ 、脑血流量(rCBF) $<30\%$ 、达峰时间(T_{\max}) >8 s、 $T_{\max}>10$ s体积均高于侧支循环良好组($P<0.05$),而ASPECTS评分低于侧支循环良好组($P<0.05$);多因素Logistic回归分析显示,ASPECTS评分、rCBV $<40\%$ 、rCBF $<30\%$ 、 $T_{\max}>10$ s是侧支循环不良的独立风险因素($P<0.05$)。预后不良组患者介入取栓术后出血、Mismatch比值 <1.8 比例高于预后良好组($P<0.05$),而HIR <0.3 低于预后良好组($P<0.05$);预后不良组患者的入院NIHSS评分、rCBV $<40\%$ 、rCBF $<30\%$ 、 $T_{\max}>4$ s、 $T_{\max}>6$ s、 $T_{\max}>10$ s体积均高于预后良好组($P<0.05$),而mCTA侧支循环评分低于预后良好组($P<0.05$)。多因素Logistic回归分析显示,入院NIHSS评分、mCTA侧支循环评分、rCBV $<40\%$ 、rCBF $<30\%$ 及 $T_{\max}>10$ s是预后不良的独立风险因素($P<0.05$),带入回归方差:Logit(P)=-0.184+入院NIHSS评分 $\times 0.134$ +mCTA侧支循环评分 $\times (-0.415)$ +rCBV $<40\%$ $\times 0.107$ +rCBF $<30\%$ $\times 0.089$ + $T_{\max}>10$ s $\times 0.028$;ROC曲线结果显示,基于多因素Logistic回归模型预测AIS患者预后不良的曲线下面积为0.775(95 CI:0.689~0.860, $P<0.001$)。**结论:**一站式多模态CT评估AIS患者侧支循环及预后具有较好的应用价值。

【关键词】一站式;多模态;计算机断层扫描成像;急性缺血性脑卒中;侧支循环

【中图分类号】R743.3;R816.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2025)04-0471-08

One-stop multi-modality CT to assess collateral circulation and prognosis in acute ischemic stroke

LI Xuejiao, NIE Junyang, XIE Yicai, HUANG Junrong, SU Hongyan

Department of Radiology, Wuzhou Red Cross Hospital, Wuzhou 543000, China

Abstract: Objective To investigate the potential of one-stop multi-modality CT in the assessment of collateral circulation and prognosis in acute ischemic stroke (AIS). **Methods** From February 2022 to May 2024, 115 patients diagnosed with AIS at Wuzhou Red Cross Hospital were enrolled in the study. All subjects were examined with one-stop multi-modality CT at admission and received endovascular therapy. According to the collateral circulation score derived from multi-phase CT angiography (mCTA) and the modified Rankin scale score at 90 days, these patients were divided into different groups: good ($n=59$) vs poor ($n=56$) collateral circulation groups, and favorable ($n=48$) vs unfavorable ($n=67$) outcome groups. Clinical and imaging parameters were compared between these groups. Independent risk factors for collateral circulation and prognosis of AIS patients were identified through multivariate Logistic regression analysis. A prediction model for unfavorable AIS prognosis was developed based on the results of multivariate Logistic analysis, and its predictive value was assessed using receiver operating characteristic (ROC) curve analysis. **Results** Poor collateral circulation group exhibited higher proportions of insular ribbon and gray-white matter junction blurring as compared with good collateral circulation

【收稿日期】2024-10-12

【基金项目】广西壮族自治区卫生健康委员会科研项目(Z-D20221732)

【作者简介】李雪娇,副主任医师,研究方向:放射诊断,E-mail: wzfsk3855246@163.com

group ($P<0.05$), while the ratio of hypoperfusion intensity ratio (HIR) <0.3 was lower in poor collateral circulation group ($P<0.05$). Relative cerebral blood volume (rCBV) $<40\%$, relative cerebral blood flow (rCBF) $<30\%$, peak time (T_{\max}) >8 s, and $T_{\max}>10$ s volume were all significantly higher in poor collateral circulation group ($P<0.05$), whereas the Alberta stroke program early CT score (ASPECTS) was lower ($P<0.05$). Multivariate Logistic regression analysis identified ASPECTS, rCBV $<40\%$, rCBF $<30\%$, and $T_{\max}>10$ s as independent risk factors for poor collateral circulation ($P<0.05$). Unfavorable outcome group had higher rates of hemorrhage following endovascular thrombectomy and mismatch ratio <1.8 than favorable outcome group ($P<0.05$), with a lower HIR <0.3 ratio ($P<0.05$). Compared with favorable outcome group, unfavorable outcome group also showed higher admission NIHSS scores, higher percentages of rCBV $<40\%$, rCBF $<30\%$, $T_{\max}>4$ s, $T_{\max}>6$ s, and $T_{\max}>10$ s volumes ($P<0.05$), but lower mCTA collateral circulation score ($P<0.05$). Multivariate Logistic regression analysis indicated that admission NIHSS score, mCTA collateral circulation score, rCBV $<40\%$, rCBF $<30\%$, and $T_{\max}>10$ s were independent risk factors for unfavorable outcomes ($P<0.05$). The regression equation was formulated as: $\text{Logit}(P) = -0.184 + (\text{admission NIHSS score} \times 0.134) + (\text{mCTA collateral circulation score} \times -0.415) + (\text{rCBV} < 40\% \times 0.107) + (\text{rCBF} < 30\% \times 0.089) + (T_{\max} > 10 \text{ s} \times 0.028)$. ROC curve analysis demonstrated an area under the curve of 0.775 (95 CI: 0.689-0.860, $P<0.001$) for the prediction model in assessing unfavorable AIS prognosis. **Conclusion** One-stop multi-modality CT has significant application value in assessing collateral circulation and predicting prognosis in AIS patients.

Keywords: one-stop; multi-modality; computed tomography; acute ischemic stroke; collateral circulation

前言

急性缺血性脑卒中 (Acute Ischemic Stroke, AIS) 是全球范围内人口致残和死亡的主要原因之一,其病理机制主要是由于脑部供血动脉突然阻塞,导致脑组织缺血、缺氧,进而引发不可逆的神经损伤^[1-2]。在 AIS 的管理中,脑侧支循环作为重要的代偿机制,能够在原发供血途径受阻时,通过旁路血管维持局部脑组织的血液供应,因此,侧支循环的评估对于理解患者的预后、指导临床决策、优化治疗方案具有重要的临床价值^[3]。近年来,多模态 CT 成像技术已广泛应用于 AIS 的诊断与评估^[4]。该技术具有无创、快速、易于获取等优势,能够在短时间内提供脑血流动力学、血管解剖结构和缺血性半暗带等关键信息,特别是在侧支循环的评估方面展现出独特潜力^[5]。有研究表明基于多模态 CT 的评估可通过定量分析,更精确地对 AIS 患者进行诊断及预后预测,并为个体化治疗提供支持^[6-7]。然而,目前仍存在如何最佳利用上述成像技术进行侧支循环评估的争议,且不同研究结果存在一定差异,特别是在国内大样本人群中,关于侧支循环的系统评估及其对患者预后的影响,尚未有统一结论。本研究旨在通过一站式多模态 CT 成像评估 AIS 患者的侧支循环状况,并探讨其与预后的关系,以期临床实践提供新的依据和策略。

1 资料和方法

1.1 一般资料

选择 2022 年 2 月~2024 年 5 月在梧州市红十字会医院就诊的 AIS 患者 115 例为研究对象。纳入标准:①符合《中国急性缺血性脑卒中诊治指南 2018》^[8]中 AIS 标准,发病时间 6~24 h;②入院后均行急诊一站

式多模态 CT 扫描,提示前循环大动脉颅内段重度狭窄或闭塞;③行急诊血管内治疗;④年龄 ≥ 18 岁;⑤临床和随访资料未缺失。排除标准:①合并颅内出血、颅内动脉瘤或动静脉畸形等病变;②合并严重心肺功能不全或其他无法完成 CT 检查的禁忌证;③既往有脑卒中史或其他严重神经系统疾病;④大脑后循环闭塞患者;⑤碘过敏体质。本研究通过医院伦理委员会审批(审批号:LL2022-35)。

1.2 临床资料收集

收集并整理患者年龄、性别、入院美国国立卫生研究院卒中量表(National Institutes of Health Stroke Scale, NIHSS)评分、介入取栓术后出血情况等指标。

1.3 一站式多模态 CT 扫描

入院后采用 Revolution 256 排 CT (GE 公司)对患者进行扫描,包括 CT 平扫、多时相 CT 血管成像(mCTA)及 CT 灌注成像(CTP)。(1)CT 平扫:扫描范围从颅底至颅顶,管电压 120 kV,自动管电流调节,层厚 5 mm。(2)mCTA 检查:使用碘基对比剂,通过自动注射器快速注射,注射速度 4.5~5.0 mL/s,注射剂量 40~50 mL,对比剂经肘静脉注入,随后注入生理盐水 50 mL。注射后延迟 5 s 开始扫描,对动脉期、静脉期、静脉晚期三期进行扫描。动脉期扫描范围自主动脉弓至颅顶,其余两期自颅底至颅顶,扫描间隔时间 8 s。扫描参数:管电压 120 kV、自动管电流,层厚 1 mm。(3)CTP 检测:管电压 80 kV,自动管电流,扫描范围覆盖全脑,共扫描 14 个循环,每循环扫描时间 0.33 s,间隔 4 s,层厚 5 mm,对比剂剂量 50 mL,注射速率为 5 mL/s,追加生理盐水 50 mL,注射速度 4.5~5.0 mL/s。

1.4 图像分析

1.4.1 CT 平扫 CT 平扫图像(图 1)经设备后台自动

重建获得,用于排除脑出血及初步评估梗死灶,并对梗死灶进行评分。阿尔伯特卒中项目早期CT评分(ASPECTS)^[9]:该评分将大脑中动脉供血区各主要功能区(包括4个皮层下区及6个皮层区)分别赋分,共10分,每累及1个功能区扣1分。观察CT表现,得到豆状核模糊征、大脑中动脉高密度征、岛带征及脑灰白质模糊征。

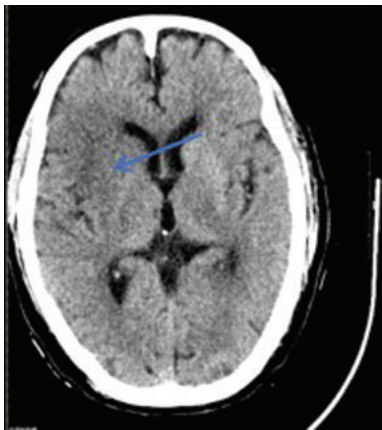


图1 AIS患者头颅平扫CT图像

Figure 1 CT image of AIS patient

CT平扫显示豆状核模糊、岛带征、脑灰白质模糊征象,提示右侧基底节区、额颞顶叶、岛叶大面积脑梗死,ASPECTS评分5分

1.4.2 mCTA 传输图像原始数据至GE AW4.7工作站,使用美国GE公司开发的半自动软件FastStroke进行重建,得到容积再现(VR)及多时相MIP图像(图2),用于分析颅内大血管包括颈内动脉颅内段、椎动脉V4段、基底动脉、大脑后动脉P1段、大脑前动脉A1段及大脑中动脉M1/M2段狭窄或闭塞情况,明确责任血管。同时得到侧支血管对比剂充盈状态与充盈时间延迟相结合的伪彩图(图3),更加直观评估侧支循环。通过mCTA侧支循环评分^[10]对侧支循环情况进行量化评分,得分范围0~5分,将得分0~3分的患者纳入侧支循环不良组,4~5分纳入侧支循环良好组。

1.4.3 CTP 原始数据经重建后自动传输至第3方软件头颈CT智能辅助诊断系统进行量化分析(图4和图5),分别得出局部血容量(rCBV)<40%、脑血流量(rCBF)<30%、达峰时间(T_{max})>4 s、 T_{max} >6 s、 T_{max} >8 s、 T_{max} >10 s的定量体积值、Mismatch(不匹配区)、Mismatch比值。定义 T_{max} >10 s/ T_{max} >6 s为低灌注强度比值(HIR)。



图2 AIS患者头颈部CTA图像

Figure 2 CTA image of the head and neck of AIS patient

CTA显示右侧颈内动脉完全闭塞,右侧大脑中动脉M1段重度狭窄,远端分支血管较少

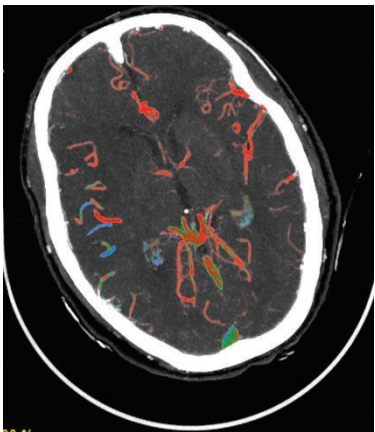


图3 AIS患者头颈部多时相CTA图像

Figure 3 Multi-phase CTA image of the head and neck of AIS patient

多时相CTA显示相较于左侧大脑半球,右侧大脑软膜血管充盈大程度正常,存在1个时相延迟(蓝色标记的血管影),侧支评分4分,提示侧支循环代偿良好

1.5 预后

通过门诊复查或线上形式,以改良Rankin量表(mRs)评分^[11]在发病后90 d对患者进行神经功能评价,以mRs得分3分为界,低于3分者纳入预后良好组,3分及以上者纳入预后不良组。

1.6 统计学方法

应用SPSS25.0统计学软件。计量资料采用中位数(M25, M75)形式描述,行Mann-Whitney U检验;计数资料采用例(%)表示,行 χ^2 检验或Fisher精确检验;AIS患者侧支循环情况及预后的独立影响因素通过多因素Logistic回归模型分析;通过受试者工作特征(ROC)曲线分析Logistic回归模型对AIS患者预后的预测价值。 $P<0.05$ 表示差异有统计学意义。

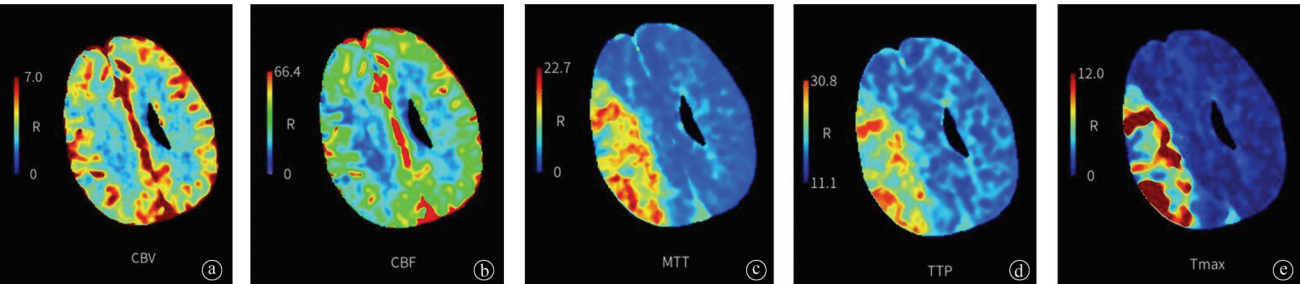


图4 AIS患者头颅CTP图像

Figure 4 CTP images of the head of AIS patient

a: 显示右侧大脑半球rCBV降低;b: 显示右侧大脑半球rCBF降低;c: 显示右侧大脑半球MTT延长;d: 显示右侧大脑半球TTP延长;e: 显示右侧大脑半球T_{max}延长

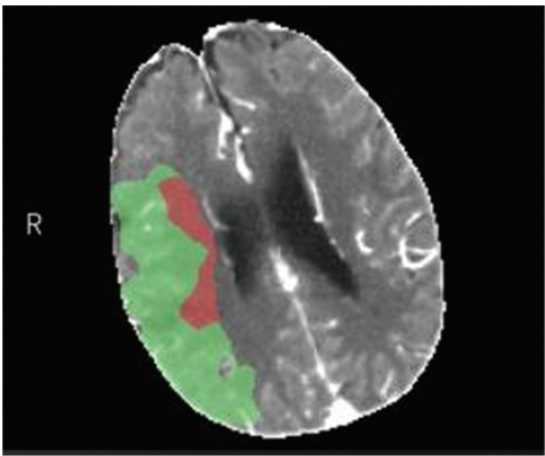


图5 AIS患者灌注参数图

Figure 5 Perfusion parameter map of AIS patient

低灌注区T_{max}>6 s体积155.4 mL,核心梗死区CBF<30%体积69.7 mL(红色区域);缺血半暗带体积85.7 mL(绿色区域),不匹配率为2.2,灌注功能成像提示存在可挽救的缺血脑组织

2 结果

2.1 侧支循环良好组及侧支循环不良组的临床资料及影像学参数比较

115例患者中,侧支循环良好组患者59例,侧支循环不良组56例。两组患者年龄、性别、高血压史、糖尿病史、高血脂症、介入取栓术后出血、豆状核模糊征、大脑中动脉高密度征、入院NIHSS评分、T_{max}>4 s体积、T_{max}>6 s体积、Mismatch及Mismatch比值比较,无统计学差异($P>0.05$);侧支循环不良组岛带征、脑灰白质模糊征比例高于侧支循环良好组($P<0.05$),而HIR<0.3比例低于侧支循环良好组($P<0.05$);侧支循环不良组患者rCBV<40%、rCBF<30%、T_{max}>8 s体积、T_{max}>10 s体积均高于侧支循环良好组($P<0.05$),而ASPECTS评分低于侧支循环良好组($P<0.05$)。见表1。

2.2 AIS患者侧支循环不良的多因素Logistic回归分析

ASPECTS评分、rCBV<40%、rCBF<30%、T_{max}>10 s是AIS患者侧支循环不良的独立影响因素($P<0.05$,表2)。

2.3 预后良好组及预后不良组的临床资料及影像学参数比较

115例患者完成90 d的随访,其中预后良好组48例,预后不良组67例。两组患者年龄、性别、高血压史、糖尿病史、高血脂症、豆状核模糊征、大脑中动脉高密度征、岛带征、脑灰白质模糊征、ASPECTS评分及Mismatch比较,无统计学差异($P>0.05$);预后不良组患者介入取栓术后出血、Mismatch比值<1.8比例高于预后良好组($P<0.05$),而HIR<0.3比例低于预后良好组($P<0.05$);预后不良组患者入院NIHSS评分、rCBV<40%、rCBF<30%、T_{max}>4 s、T_{max}>6 s、T_{max}>8 s、T_{max}>10 s体积均高于预后良好组($P<0.05$),mCTA侧支循环评分则低于预后良好组($P<0.05$)。见表3。

2.4 AIS患者预后不良的多因素Logistic回归分析

入院NIHSS评分、mCTA侧支循环评分、rCBV<40%、rCBF<30%及T_{max}>10 s为AIS患者预后不良的独立风险因素($P<0.05$,表4)。根据回归分析结果可得出预测模型为:Logit(P)=-0.184+入院NIHSS评分×0.134+mCTA侧支循环评分×(-0.415)+rCBV<40%×0.107+rCBF<30%×0.089+T_{max}>10 s×0.028。

2.5 多因素Logistic回归模型预测AIS患者预后的效能

根据回归模型绘制ROC曲线,结果显示基于多因素Logistic回归模型预测AIS患者预后不良的曲线下面积(AUC)为0.775(95 CI:0.689~0.860, $P<0.001$),灵敏度为82.97%,特异度为85.44%,预测效能较好。

3 讨论

在大脑供血动脉发生严重狭窄或闭塞时,不同级别的侧支循环会逐步形成,以维持局部脑血流灌

表1 侧支循环良好组及侧支循环不良组的临床资料及影像学参数比较

Table 1 Comparison of clinical data and imaging parameters between good and poor collateral circulation groups

项目	侧支循环良好组(n=59)	侧支循环不良组(n=56)	Z/ χ^2 值	P值
年龄/岁	70.50(58.75,76.00)	69.00(58.00,76.50)	0.820	0.412
性别/例(%)			0.235	0.628
男	30(50.85)	31(55.36)		
女	29(49.15)	25(44.64)		
高血压史/例(%)			0.030	0.862
是	43(72.88)	40(71.43)		
否	16(27.12)	16(28.57)		
糖尿病史/例(%)			0.019	0.892
是	11(18.64)	11(19.64)		
否	48(81.36)	45(80.36)		
高血脂症史/例(%)			1.452	0.228
是	22(37.29)	15(26.79)		
否	37(62.71)	41(73.21)		
介入取栓术后出血/例(%)	16(27.12)	21(37.50)	1.419	0.234
豆状核模糊征/例(%)	19(32.2)	24(42.86)	1.393	0.238
大脑中动脉高密度征/例(%)	9(15.25)	11(19.64)	0.385	0.535
岛带征/例(%)	17(28.81)	34(60.71)	11.847	<0.001
脑灰白质模糊征/例(%)	48(81.36)	55(98.21)	-	0.003
入院NIHSS评分/分	12.00(8.00,18.00)	11.50(8.00,18.00)	0.230	0.818
ASPECTS评分/分	7.00(6.00,8.00)	6.00(4.25,7.00)	3.177	0.001
rCBV<40%体积/mL	6.25(1.38,14.00)	12.80(3.05,59.38)	2.917	0.004
rCBF<30%体积/mL	4.30(0.00,15.20)	16.50(2.60,71.40)	3.394	0.001
T _{max} >4 s体积/mL	193.05(93.08,267.93)	190.60(115.40,252.40)	0.308	0.758
T _{max} >6 s体积/mL	106.05(44.53,160.35)	116.20(64.60,195.60)	1.511	0.131
T _{max} >8 s体积/mL	48.90(15.10,102.00)	75.80(27.10,146.10)	2.281	0.023
T _{max} >10 s体积/mL	23.00(0.00,54.13)	42.30(11.20,108.50)	2.563	0.010
Mismatch	96.00(41.80,136.20)	82.15(52.55,125.30)	0.325	0.746
HIR/例(%)			4.547	0.033
<0.3	37(62.71)	24(42.86)		
≥0.3	22(37.29)	32(57.14)		
Mismatch比值/例(%)			-	0.021
<1.8	2(3.39)	9(16.07)		
≥1.8	57(96.61)	47(83.93)		

表2 AIS患者侧支循环不良的多因素Logistic回归分析

Table 2 Multivariate Logistic regression analysis for poor collateral circulation in AIS patients

因素	β	S.E.	Wald	P值	OR	95% CI
岛带征	0.083	0.047	3.119	0.077	1.087	0.991~1.191
脑灰白质模糊征	0.124	0.079	2.464	0.116	1.132	0.970~1.322
ASPECTS评分	-0.228	0.104	4.806	0.028	0.796	0.649~0.976
rCBV<40%	0.029	0.012	5.840	0.016	1.029	1.005~1.054
rCBF<30%	0.046	0.022	4.309	0.038	1.047	1.003~1.094
T _{max} >8 s	0.013	0.008	2.613	0.106	0.987	0.971~1.003
T _{max} >10 s	0.104	0.042	6.131	0.013	1.110	1.022~1.205
HIR	0.174	0.105	2.746	0.097	1.190	0.969~1.462
Mismatch比值	0.060	0.037	2.718	0.100	1.063	0.989~1.143

注稳定,从而实现对缺血区的灌注代偿与平衡,较好的侧支循环在颅内动脉闭塞情况下,能增加缺血半暗带的血流供应,延缓脑组织不可逆损伤,缩小梗死区域体积,进而改善预后并降低卒中复发率^[12-13]。相反,侧支循环较差的患者,即使在治疗后成功再通,仍可能由于长时间的缺血损伤导致预后不佳。因此,系统评估侧支循环状态对于优化临床决策至关重要^[14]。

一站式多模态CT检查通常包括CT平扫、CTA和CTP。CT平扫用于排除脑出血等禁忌证,可识别脑组织缺血及大血管闭塞的早期征兆,CTA通过对脑血管的成像评估大血管闭塞情况及侧支循环状况,CTP则通过动态捕捉脑部的灌注过程,定量评估

表3 预后良好组及预后不良组的临床资料及影像学参数比较

Table 3 Comparison of clinical data and imaging parameters between favorable and unfavorable outcome groups

项目	预后良好组(n=48)	预后不良组(n=67)	Z/ χ^2 值	P值
年龄/岁	67.00(58.00,73.00)	71.00(59.00,77.00)	1.331	0.183
性别/例(%)			0.926	0.336
男	28(58.33)	33(49.25)		
女	20(41.67)	34(50.75)		
高血压/例(%)			0.074	0.786
是	34(70.83)	49(73.13)		
否	14(29.17)	18(26.87)		
糖尿病/例(%)			0.154	0.694
是	10(20.83)	12(17.91)		
否	38(79.17)	55(82.09)		
高血脂症/例(%)			1.943	0.163
是	12(25.00)	25(37.31)		
否	36(75.00)	42(62.69)		
介入取栓术后出血/例(%)	10(20.83)	27(40.30)	13.686	<0.001
豆状核模糊征/例(%)	13(27.08)	30(44.78)	3.739	0.053
大脑中动脉高密度征/例(%)	8(16.67)	12(17.91)	0.030	0.862
岛带征/例(%)	20(41.67)	31(46.27)	0.240	0.624
脑灰白质模糊征/例(%)	44(91.67)	59(88.06)	—	0.382
入院NIHSS评分/分	10.00(6.75,17.30)	15.00(10.00,20.00)	4.093	<0.001
mCTA侧支循环评分/分	4.00(3.00,4.00)	3.00(2.00,4.00)	2.066	0.039
ASPECTS评分/分	7.00(5.00,8.00)	6.00(5.00,8.00)	1.204	0.229
rCBV<40%体积/mL	3.35(1.33,16.23)	10.40(4.10,30.60)	2.949	0.003
rCBF<30%体积/mL	2.05(0.00,13.75)	15.20(4.10,52.10)	3.628	<0.001
T _{max} >4 s体积/mL	164.20(93.06,215.68)	210.50(114.20,276.40)	1.996	0.046
T _{max} >6 s体积/mL	98.25(46.43,64.60)	142.30(64.60,195.60)	2.300	0.021
T _{max} >8 s体积/mL	36.55(15.63,89.33)	75.00(34.20,146.10)	2.865	0.004
T _{max} >10 s体积/mL	12.80(0.00,43.70)	42.30(15.00,97.70)	3.300	0.001
Mismatch	82.15(45.40,110.65)	93.90(46.25,149.90)	1.200	0.230
HIR/例(%)			6.139	0.013
<0.3	32(66.67)	29(43.28)		
≥0.3	16(33.33)	38(56.72)		
Mismatch比值/例(%)			—	0.015
<1.8	1(2.08)	10(14.93)		
≥1.8	47(97.92)	57(85.07)		

表4 AIS患者预后不良的多因素Logistic回归分析

Table 4 Multivariate Logistic regression analysis for unfavorable outcome of AIS patients

因素	β	S.E.	Wald	P值	OR	95% CI
介入取栓术后出血	0.820	0.424	3.736	0.053	2.270	0.989~5.215
入院NIHSS评分	0.134	0.042	10.208	0.001	1.144	1.053~1.242
mCTA侧支循环评分	-0.415	0.206	4.058	0.043	0.660	0.441~0.989
rCBV<40%	0.107	0.051	4.402	0.036	1.113	1.007~1.230
rCBF<30%	0.089	0.033	7.274	0.007	1.093	1.025~1.166
T _{max} >4 s	0.002	0.005	0.160	0.689	1.002	0.992~1.012
T _{max} >6 s	0.010	0.012	0.680	0.410	1.010	0.987~1.033
T _{max} >8 s	0.023	0.016	2.066	0.151	1.023	0.992~1.056
T _{max} >10 s	0.028	0.014	3.906	0.048	1.029	1.000~1.058
HIR	0.601	0.498	1.457	0.227	1.823	0.688~4.834
Mismatch比值	0.142	0.079	2.231	0.072	1.153	0.987~1.346
常量	-0.184	0.073	6.353	0.012	0.832	—

CBF、CBV、及T_{max}等参数,为判断缺血性损伤的严重程度、梗死核心与缺血半暗带的界限以及侧支循环的代偿能力提供重要信息^[15-16]。因此,一站式多模态CT可提高AIS早期诊断的准确性,还为个体化治疗策略的制定提供可靠依据。本研究多因素Logistic回归结果显示,ASPECTS评分、rCBV<40%、rCBF<30%、T_{max}>10 s是AIS患者侧支循环不良的独立影响因素。ASPECTS是一种简便且易于解读的评分机制,能评估大脑中动脉灌注区的缺血性变化,可反映患者早期梗死程度,其评分越低,表明梗死核心区域越大^[17-18]。较差的侧支循环不能有效提供侧支血流,导致缺血半暗带向梗死核心转化,造成更严重的脑损伤。rCBV反映脑组织内的血容量,相对较低的rCBV提示脑区的缺血程度较为严重,尤其是侧支循环不良时,远端脑组织血流供应减少,导致rCBV显

著降低^[19]。rCBF是评估脑组织代谢状态的关键指标,通常用于反映单位时间内通过脑组织的血液量,rCBF的降低预示神经元异常凋亡,通常是严重脑缺血的早期征象^[20]。孙凤涛等^[21]研究指出rCBV及rCBF与患者侧支循环情况密切相关,可作为有效评估侧支循环状态的间接参数。 T_{\max} 反映对比剂从动脉到达脑组织的时间延迟, T_{\max} 延长表明侧支循环的代偿功能不足,无法及时恢复缺血区的血流供应^[22]。 $T_{\max}>10$ s对应严重脑血流灌注缺血区,此区通常表示侧支循环不良。

本研究同时对AIS患者预后情况进行研究,结果表明入院NIHSS评分、mCTA侧支循环评分、rCBV<40%、rCBF<30%、 $T_{\max}>10$ s为AIS患者预后不良的独立影响因素。NIHSS评分为评估卒中患者神经功能缺损程度的量化指标,可用于识别神经功能恶化及检测缺损严重程度,其评分越高,提示卒中严重程度越高^[23]。入院时的高NIHSS评分通常与更广泛的脑组织缺血及更差的神经功能恢复相关。本研究中入院NIHSS评分是AIS患者预后的独立影响因素,与李晓慧等^[24]研究结果相似,提示早期神经功能受损程度是预后评估的关键。mCTA侧支循环评分作为侧支循环功能的量化指标,反映侧支血管的开放程度和供血能力^[25]。较低的侧支循环评分提示侧支循环不良,良好的侧支循环能够为缺血区提供替代性的血液供应,减少梗死体积并改善神经功能恢复,反之侧支循环功能不佳的患者预后更差^[26]。rCBF可体现脑血流灌注状态,脑灌注量的降低提示脑组织长期处于低灌注状态,从而影响患者的功能恢复,影响预后^[27]。 T_{\max} 的延长时间反映灌注延迟的严重程度。 $T_{\max}>10$ s通常提示大范围血流重建失败,侧支循环代偿完全失效,无法有效恢复缺血区的血流供应,这种严重灌注延迟加剧缺血性损伤的范围,从而导致患者预后不良。同时,本研究ROC曲线分析多因素Logistic回归模型预测AIS患者预后的AUC为0.775,说明该模型具有较好的预测效能,临床可重点关注患者的入院NIHSS评分、mCTA侧支循环评分、rCBV、rCBF、 T_{\max} 结果,并依据上述因素评估患者病情情况,给予针对性治疗,从而改善预后。

综上所述,一站式多模态CT对于评估AIS患者的侧支循环情况及预后具有较好的应用价值,可为个体化治疗策略的制定提供重要依据。

【参考文献】

[1] Jolugbo P, Ariëns RAS. Thrombus composition and efficacy of thrombolysis and thrombectomy in acute ischemic stroke[J]. Stroke, 2021, 52(3): 1131-1142.
[2] 尚桐羽,陈首名,张蕾,等. CT灌注成像对急性缺血性脑卒中患者脑组织血流灌注情况、脑侧支血流循环状态及责任血管狭窄

的评估价值[J]. 分子影像学杂志, 2022, 45(5): 749-753.
Shang TY, Chen SM, Zhang L, et al. Evaluated value of CT perfusion imaging on cerebral tissue blood perfusion, cerebral collateral blood circulation status and responsible vessel stenosis in patients with acute ischemic stroke[J]. Journal of Molecular Imaging, 2022, 45(5): 749-753.
[3] Sharma A, Agarwal A, Vishnu VY, et al. Collateral circulation-evolving from time window to tissue window[J]. Ann Indian Acad Neurol, 2023, 26(1): 10-16.
[4] Caruso P, Ridolfi M, Lugnan C, et al. Multimodal CT pc-ASPECTS in infratentorial stroke: diagnostic and prognostic value[J]. Neurol Sci, 2021, 42(10): 4231-4240.
[5] Wassélius J, Arnberg F, von Euler M, et al. Endovascular thrombectomy for acute ischemic stroke[J]. J Intern Med, 2022, 291(3): 303-316.
[6] 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.
[7] Feng EY, Qin PL, Chai R, et al. MRI generated from CT for acute ischemic stroke combining radiomics and generative adversarial networks[J]. IEEE J Biomed Health Inform, 2022, 26(12): 6047-6057.
[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.
Chinese Society of Neurology, Chinese Stroke Society. Chinese guidelines for diagnosis and treatment of acute ischemic stroke 2018[J]. Chinese Journal of Neurology, 2018, 51(9): 666-682.
[9] 荆利娜, 高培毅, 杜万良, 等. 自动ASPECTS评分法在急性缺血性卒中早期影像评估中的应用价值[J]. 中国卒中杂志, 2021, 16(5): 463-469.
Jing LN, Gao PY, Du WL, et al. The value of automated ASPECTS scoring in imaging assessment of early ischemic changes in acute ischemic stroke[J]. Chinese Journal of Stroke, 2021, 16(5): 463-469.
[10] Menon BK, d'Este CD, Qazi EM, et al. Multiphase CT angiography: a new tool for the imaging triage of patients with acute ischemic stroke[J]. Radiology, 2015, 275(2): 510-520.
[11] Saver JL, Chaisinanunkul N, Campbell BCV, et al. Standardized nomenclature for modified Rankin scale global disability outcomes: consensus recommendations from stroke therapy academic industry roundtable XI[J]. Stroke, 2021, 52(9): 3054-3062.
[12] 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.
[13] Maguida G, Shuaib A. Collateral circulation in ischemic stroke: an updated review[J]. J Stroke, 2023, 25(2): 179-198.
[14] 陈乾, 彭明洋, 王同兴, 等. 基于低灌注强度比值的侧支循环对晚期时间窗急性脑卒中预后预测的研究[J]. 磁共振成像, 2024, 15(7): 76-80.
Chen Q, Peng MY, Wang TX, et al. A study on predicting the outcome of acute stroke in late-time windows using collateral circulation based on hypoperfusion intensity ratio[J]. Chinese Journal of Magnetic Resonance Imaging, 2024, 15(7): 76-80.
[15] H Buck B, Akhtar N, Alrohim A, et al. Stroke mimics: incidence, aetiology, clinical features and treatment[J]. Ann Med, 2021, 53(1): 420-436.
[16] Chu Y, Ma G, Xu XQ, et al. Total and regional ASPECT score for non-contrast CT, CT angiography, and CT perfusion: inter-rater agreement and its association with the final infarction in acute ischemic stroke patients[J]. Acta Radiol, 2022, 63(8): 1093-1101.
[17] 熊亮, 李胜, 曹阳, 等. 多模态CT的ASPECTS评分预测颅内动脉粥样硬化狭窄相关急性大血管闭塞患者预后的价值[J]. 临床放射学杂志, 2023, 42(7): 1062-1065.
Xiong L, Li S, Cao Y, et al. Value of ASPECTS on multimodal CT scan in predicting the prognosis of patients with large vessel occlusion related acute ischemic strokes caused by intracranial

- atherosclerotic stenosis[J]. Journal of Clinical Radiology, 2023, 42(7): 1062-1065.
- [18] 杨婧瑶, 肖叶玉, 张茜, 等. 急性缺血性脑卒中平扫CT表现预测机械取栓后早期预后[J]. 中国介入影像与治疗学, 2024, 21(8): 457-462.
- Yang JY, Xiao YY, Zhang Q, et al. Non-contrast CT findings of acute ischemic stroke for predicting early prognosis after mechanical thrombectomy[J]. Chinese Journal of Interventional Imaging and Therapy, 2024, 21(8): 457-462.
- [19] Lakhani DA, Balar AB, Koneru M, et al. The relative cerebral blood volume (rCBV) < 42% is independently associated with collateral status in anterior circulation large vessel occlusion[J]. J Clin Med, 2024, 13(6): 1588.
- [20] 郭艳利, 胡示超, 秦文宇. 颅脑CT灌注成像相关指标与IMT对TIA进展为急性脑梗死的预测价值[J]. 罕少疾病杂志, 2024, 31(3): 19-21.
- Guo YL, Hu SC, Qin WY. Prognostic value of cerebral CT perfusion imaging and IMT for TIA progression to acute cerebral infarction[J]. Journal of Rare and Uncommon Diseases, 2024, 31(3): 19-21.
- [21] 孙凤涛, 张厚宁, 禹璐, 等. 多模式CT检查在缺血性脑卒中侧支循环评估中的价值[J]. 放射学实践, 2021, 36(5): 584-589.
- Sun FT, Zhang HN, Yu L, et al. The value of multimodal CT in assessment of collateral circulation in ischemic stroke[J]. Radiologic Practice, 2021, 36(5): 584-589.
- [22] 夏倩倩, 王希明, 张征宇, 等. 急性缺血性脑卒中CTA侧支等级与CTP之间的相关性研究[J]. 临床放射学杂志, 2019, 38(2): 224-228.
- Xia QQ, Wang XM, Zhang ZY, et al. Imaging correlation between CT angiogram collaterals and CT perfusion in acute ischemic stroke[J]. Journal of Clinical Radiology, 2019, 38(2): 224-228.
- [23] Hurford R, Sekhar A, Hughes TA, et al. Diagnosis and management of acute ischaemic stroke[J]. Pract Neurol, 2020, 20(4): 304-316.
- [24] 李晓慧, 王瑶, 张华忠, 等. 高敏肌钙蛋白T对静脉溶栓后急性缺血性脑卒中患者预后判断的临床价值[J]. 南京医科大学学报(自然科学版), 2021, 41(12): 1786-1790.
- Li XH, Wang Y, Zhang HZ, et al. Prognostic clinical value of elevated high-sensitivity cardiac troponin T levels inpatients with acute ischemic stroke treated with intravenous thrombolytic therapy [J]. Journal of Nanjing Medical University (Natural Sciences), 2021, 41(12): 1786-1790.
- [25] 张远, 王浩, 朱杰, 等. 多期CT血管成像对急性缺血性卒中血管内治疗短期预后的价值[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2024, 30(1): 110-115.
- Zhang Y, Wang H, Zhu J, et al. Value of multiphase CT angiography for Short-Term prognosis of endovascular therapy in acute ischemic stroke[J]. Chinese Computed Medical Imaging, 2024, 30(1): 110-115.
- [26] 陆丽芳, 陈新悦, 唐小平, 等. 多模态CT评估急性缺血性脑卒中患者血管内治疗预后的价值[J]. 中国临床医学影像杂志, 2023, 34(9): 631-637.
- Lu LF, Chen XY, Tang XP, et al. Multimodal CT in evaluating the prognosis of patients with acute ischemic stroke after endovascular therapy[J]. Journal of China Clinic Medical Imaging, 2023, 34(9): 631-637.
- [27] 方玉荣, 崔冰, 周顺厚. 多时相CTA联合CTP对急性缺血性脑卒中患者脑血流灌注状态与预后评估的价值[J]. 北华大学学报(自然科学版), 2022, 23(1): 84-88.
- Fang YR, Cui B, Zhou SH. Evaluation value of multi-phase CTA combined with CTP on cerebral blood perfusion status and prognosis of patients with acute ischemic stroke[J]. Journal of Beihua University(Natural Science), 2022, 23(1): 84-88.

(编辑:黄开颜)