

论 著

CT灌注成像(CTP)联合CT血管成像在短暂性脑缺血发作后继发脑梗死的预测价值

张 芳\* 孙艳霞 姜贝贝  
漯河市第二人民医院神经内科  
(河南 漯河 462000)

【摘要】目的 探讨CT灌注成像(CTP)联合CT血管成像对短暂性脑缺血发作后继发脑梗死的预测价值。方法 回顾性分析2021年8月~2023年4月期间于我院诊治的72例短暂性脑缺血患者临床资料,所有患者入院24h内均进行CTP、CT血管成像检查,根据患者短暂性脑缺血发作后7 d内继发脑梗死发生情况分为继发脑梗死组、无继发脑梗死组,对比两组CTP参数、CT血管成像特征,并展开ROC曲线分析,比较CTP、CT血管成像联合检测对短暂性脑缺血发作后继发脑梗死的预测价值。结果 本研究中,72例患者短暂性脑缺血发作7 d内继发脑梗死共发生14例,发生率19.44%;继发脑梗死组脑血流量(CBV)、脑血流量(CBF)均低于无继发脑梗死组( $P<0.05$ ),对比剂平均通过时间(MTT)、对比剂峰值时间(TTP)均高于无继发脑梗死组( $P<0.05$ );继发脑梗死组血管狭窄度高于无继发脑梗死组( $P<0.05$ );经ROC曲线分析,CBV、CBF、MTT、TTP及其CTP联合检测对短暂性脑缺血发作后继发脑梗死均具有较好的预测价值[AUC分别为0.823、0.905、0.809、0.911、0.903;特异性分别为0.714、0.857、0.643、0.928、0.857;敏感度分别为0.845、0.862、0.983、0.776、0.948]( $P<0.05$ );CTP联合CT血管成像AUC为0.947,特异性0.966,敏感度0.929,提示CTP联合CT血管成像对短暂性脑缺血发作后继发脑梗死预测价值更优( $P<0.05$ )。结论 CTP与CT血管成像对短暂性脑缺血发作后继发脑梗死均具有一定预测价值,但二者联合预测价值更高,可作为临床早期预测继发脑梗死客观依据。

【关键词】CT灌注成像;CT血管成像;  
短暂性脑缺血;继发脑梗死  
【中图分类号】R743.31  
【文献标识码】A  
DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.03.008

Predictive Value of CT Perfusion Imaging (CTP) Combined with CT Angiography for Cerebral Infarction after Transient Ischemic Attack

ZHANG Fang\*, SUN Yan-xia, LOU Bei-bei.  
Department of Neurology, Luohe Second People's Hospital, Luohe 462000, Henan Province, China

**ABSTRACT**  
**Objective** To investigate the predictive value of CT perfusion imaging (CTP) combined with CT angiography for cerebral infarction after transient ischemic attack. **Methods** A retrospective analysis was conducted on the clinical data of 72 patients with transient cerebral ischemia who were treated in the hospital from August 2021 to April 2023. All patients received CTP and CT angiography within 24 h after admission. According to the occurrence of cerebral infarction within 7 d after transient ischemic attack, patients were divided into the secondary cerebral infarction group and the non-secondary cerebral infarction group. CTP parameters and CT angiography features of the two groups were compared. ROC curves were used to evaluate the predictive value of CTP and CT angiography for cerebral infarction after transient ischemic attack. **Results** In this study, 14 patients had cerebral infarction within 7 d after transient ischemic attack, with an incidence rate of 19.44%. Cerebral blood volume (CBV) and cerebral blood flow (CBF) in the secondary cerebral infarction group were lower than those in the non-secondary cerebral infarction group ( $P<0.05$ ). The mean transit time (MTT) and time to peak (TTP) of contrast agent were longer than those in the non-secondary cerebral infarction group ( $P<0.05$ ). Angiostenosis in the secondary cerebral infarction was more severe than that in the non-secondary cerebral infarction group ( $P<0.05$ ). ROC curves indicated that the AUC values of CBV, CBF, MTT, TTP, and their combination for predicting cerebral infarction after transient ischemic attack were 0.823, 0.905, 0.809, 0.911, and 0.903, respectively. The specificity was 0.714, 0.857, 0.643, 0.928, and 0.857, respectively. The sensitivity was 0.845, 0.862, 0.983, 0.776, and 0.948, respectively ( $P<0.05$ ). The AUC, specificity and sensitivity of CTP combined with CT angiography were 0.947, 0.966 and 0.929, indicating higher predictive value ( $P<0.05$ ). **Conclusion** Both CTP and CT angiography have certain predictive value for cerebral infarction after transient ischemic attack. Their combination can achieve better predictive performance and provide an objective basis for early clinical prediction of secondary cerebral infarction.  
**Keywords:** CT Perfusion Imaging; CT Angiography; Transient Cerebral Ischemia; Secondary Cerebral Infarction

短暂性脑缺血不同于脑梗死,一般因脑、脊髓、视网膜局灶性缺血导致的短暂性神经功能缺损症状,相关研究表明,短暂性脑缺血在老年人群中较为常见,其发生受持续发作时间、年龄、高血压病史等因素影响<sup>[1]</sup>。该病发病急促,短时间内即可恢复,因此容易被患者忽视,导致病情进展,短暂性脑缺血一般被临床认为是继发性脑梗死先兆症状,不仅严重危害患者生存质量,还会加重患者心理与经济负担,有研究<sup>[2-3]</sup>认为,短暂性脑缺血发展为继发脑梗死可能与血清生物学指标、颈动脉及大脑动脉狭窄、血管内皮功能等有关。早期预测是避免继发脑梗死发生与发展的关键,对此临床已有诸多研究,如血清蛋白水平变化率<sup>[4]</sup>、ABCD3-I评分联合血栓弹力图<sup>[5]</sup>等。脑梗死发生的关键在于脑部血液循环障碍,因此采取影像学手段进行预测也具有一定可行性,CT灌注成像(CTP)是临床常见影像学检查方式,即通过静脉快速团注对比剂,对局灶区进行连续CT扫描,计算相关灌注参数,从而辅助临床诊断,在急性缺血性脑卒中、创伤性脑损伤等多种疾病中应用广泛<sup>[6-7]</sup>。CT血管成像即利用计算机断层扫描与重建技术,构建血管三维立体影像,实现大范围血管成像与小血管分支精细显像的影像检查方式,在颅内动脉瘤诊断等方面显现独特优势<sup>[8]</sup>。以上两种影像学检查方式均具有较高临床应用价值,但关于二者联合检测对短暂性脑缺血发作后继发脑梗死的预测价值尚缺乏高质量文献资料,具有一定新颖性与可研究价值,故此次研究拟行回顾性分析,探讨CTP联合CT血管成像对短暂性脑缺血发作后继发脑梗死的预测价值。具体报道如下。

1 资料与方法

**1.1 一般资料** 回顾性分析2021年8月至2023年4月期间于我院诊治的72例短暂性脑缺血患者临床资料,均符合短暂性脑缺血发作中国专家共识组制定的短暂性脑缺血相关诊断标准<sup>[9]</sup>。  
纳入标准:年龄>18岁,症状持续时间不超过24h,经CT等影像学确诊为短暂性脑缺血;入组前脑、脊髓、视网膜等脑梗死相关病灶未发生梗死;凝血功能正常,颅内、蛛网膜下腔无出血倾向;未加入其他临床试验;临床资料完整。排除标准:合并其他脑血管疾病,如脑动脉瘤、颅内血管畸形等;影像学检查禁忌症,对造影剂过敏;肝、肾等重要器官功能异常;合并精神疾病、全身感染性疾病、自身免疫性疾病等。

【第一作者】张 芳,女,副主任医师,主要研究方向:脑血管病、癫痫。E-mail: ltheyzf0527@126.com  
【通讯作者】张 芳

患者中男女比例38:34, 年龄最小36岁, 最大72岁, 平均年龄(55.43±6.32)岁, 合并症: 高血压16例、糖尿病9例。短暂性脑缺血危险分层<sup>[9]</sup>: 低危36例、中危28例、高危8例。

**1.2 方法** 所有患者入院24h内进行CTP、CT血管成像检查, 操作者向患者解释检查的目的与要求, 并告知对比剂可能引起的不适症状, 检查前6h禁食禁水。

**1.2.1 检查方法** (1)CTP检查: 患者检查前清除身上金属饰品、假牙等, 取仰卧位, 头颅正位, 提醒患者检查时勿进行吞咽动作, 采用本院CT扫描仪(上海西门子医疗器械有限公司, 国械注准20223061086), 设置相关参数: 管电压120kv, 管电流300~400mAs, 层间距5mm, 矩阵512×512, 重建层厚5mm; 使用CT造影注射装置(南京巨鲨显示科技有限公司, 苏械注准20182061320)肘静脉注射碘海醇对比剂(上海旭东海普药业有限公司, 国药准字H20084036, 规格: 50mL: 15g, 注射剂), 单次注射50mL, 注射速率4.0~6.0mL/s, 冲洗液为50mL生理盐水, 对感兴趣区层面进行连续CT扫描, 获取时间-密度曲线, 完成数据采集, 保存原始图像数据, 上传至工作站进行处理分析, 统计各种灌注参数值, 包括: 脑血流量(cerebral blood volume, CBV)、脑血流量(cerebral blood flow, CBF)、对比剂平均通过时间(mean transit time, MTT)、对比剂峰值时间(transit time to the peak, TTP)。(2)CT血管成像检查: 患者完成CTP检查后5min再进行CT血管成像检查, 患者取仰卧位, 碘海醇对比剂用法用量同CTP检查, 设置CT扫描仪相关参数: 管电压120kv, 管电流200~300mAs, 层间距0.75mm, 矩阵512×512, 重建层厚0.75mm; 依次扫描主动脉弓至头顶, 多角度观察颅内血管情况, 保存原始图像数据, 上传至工作中进行图像处理, 评估血管狭窄程度, 参考北美症状性颈动脉狭窄试验法(North American symptomatic carotid endarterectomy trial, NASCET)<sup>[10]</sup>, 计算血管狭窄度, 血管狭窄度=(1-血管最狭窄处管腔直径/狭窄远端正常管腔直径)×100%, 以最小值为统计结果。

**1.2.2 分组方法** 患者完成CTP检查、CT血管成像检查后, 结合病情与禁忌症进行常规抗血小板、降纤药物等治疗, 观察患者短暂性脑缺血发作后7d内继发脑梗死发生情况, 继发性脑梗死诊断标准参考, 即经头颅CT或MRI扫描显示存在梗死病灶, 或排除脑出血、非血管性原因, 表现为失语、感觉功能缺损, 运动功能障碍等局灶性神经功能缺损症状; 出现继发脑梗死患者归为继发脑梗死组, 其余患者归为无继发脑梗死组。

死组, 其余患者归为无继发脑梗死组。

**1.3 观察指标** (1)短暂性脑缺血发作后继发脑梗死发生情况; (2)继发脑梗死组、无继发脑梗死组CTP相关参数比较: 比较两组CBV、CBF、MTT、TTP; (3)继发脑梗死组、无继发脑梗死组CT血管成像结果比较: 比较两组血管狭窄度; (4)CTP对短暂性脑缺血发作后继发脑梗死预测价值; (5)CTP联合CT血管成像检查对短暂性脑缺血发作后继发脑梗死预测价值。

**1.4 统计学方法** 本研究使用SPSS 22.0版本统计软件对数据进行分析处理, 数据均符合正态分布, 计量资料采用( $\bar{x} \pm s$ )来表示, 采用t检验, 预测价值ROC曲线分析, 以P<0.05为差异具有统计学意义。

**2 结果**

**2.1 短暂性脑缺血发作后继发脑梗死发生情况** 经统计, 此次72例短暂性脑缺血患者发作7 d内出现继发脑梗死14例, 发生率为19.44%。

**2.2 继发脑梗死组、无继发脑梗死组CTP相关参数比较** 继发脑梗死组CBV、CBF均明显低于无继发脑梗死组(P<0.05), 继发脑梗死组MTT、TTP均明显高于无继发脑梗死组(P<0.05), 见表1。

**2.3 继发脑梗死组、无继发脑梗死组CT血管成像结果比较** 继发脑梗死组血管狭窄度(64.94±8.32)%, 无继发脑梗死组血管狭窄度(56.69±4.17)%, 继发脑梗死组明显高于无继发脑梗死组(t=5.330, P<0.001)。

**2.4 CTP对短暂性脑缺血发作后继发脑梗死预测价值** 经ROC曲线分析, CBV、CBF、MTT、TTP提示AUC分别为0.823、0.905、0.809、0.911; 特异性分别为0.714、0.857、0.643、0.928; 敏感度分别为0.845、0.862、0.983、0.776; CTP参数联合检测AUC为0.903、特异性为0.857, 敏感度为0.948; 结果提示CBV、CBF、MTT、TTP及其联合检测均对短暂性脑缺血发作后继发脑梗死具有较好的预测价值(P<0.05)。见表2、图1。

**2.5 CTP联合CT血管成像检查对短暂性脑缺血发作后继发脑梗死预测价值** 经ROC曲线分析, CT血管成像AUC为0.846, 特异性、敏感度分别为0.983、0.714, CTP联合CT血管成像AUC为0.947, 特异性、敏感度分别为0.966、0.929, 提示CTP、CT血管成像检查对短暂性脑缺血发作后继发脑梗死具有较好的预测价值, 且二者联合检测预测价值更优(P<0.05)。见表3、图2。

**表1 继发脑梗死组、无继发脑梗死组CTP相关参数比较**

| 组别      | 例数 | CBV(mL/100g) | CBF(mL/min·100g) | MTT(s)    | TTP(s)     |
|---------|----|--------------|------------------|-----------|------------|
| 继发脑梗死组  | 14 | 2.71±0.30    | 21.34±5.32       | 6.66±2.27 | 10.71±2.30 |
| 无继发脑梗死组 | 58 | 3.15±0.34    | 30.15±6.04       | 4.13±1.24 | 8.65±1.14  |
| t值      |    | 4.438        | 5.026            | 5.716     | 4.84       |
| P值      |    | <0.001       | <0.001           | <0.001    | <0.001     |

注: CBV: 脑血流量; CBF: 脑血流量; MTT: 对比剂平均通过时间; TTP: 对比剂峰值时间。

**表2 CTP对短暂性脑缺血发作后继发脑梗死预测价值**

| 指标      | 曲线下面积(AUC) | 95%置信区间     | 约登指数  | 截断值              | 特异性   | 敏感度   | P值     |
|---------|------------|-------------|-------|------------------|-------|-------|--------|
| CBV     | 0.823      | 0.718~0.927 | 0.559 | 2.87mL/100g      | 0.714 | 0.845 | <0.001 |
| CBF     | 0.905      | 0.818~0.992 | 0.719 | 25.10mL/min·100g | 0.857 | 0.862 | <0.001 |
| MTT     | 0.809      | 0.658~0.960 | 0.626 | 5.72s            | 0.643 | 0.983 | <0.001 |
| TTP     | 0.911      | 0.838~0.985 | 0.704 | 9.28s            | 0.928 | 0.776 | <0.001 |
| CTP参数检测 | 0.903      | 0.755~1.000 | 0.805 | 0.5              | 0.857 | 0.948 | <0.001 |

表3 CTP联合CT血管成像检查对短暂性脑缺血发作后继发脑梗死预测价值

| 指标      | 曲线下面积(AUC) | 95%置信区间     | 约登指数  | 截断值    | 特异性   | 敏感度   | P值     |
|---------|------------|-------------|-------|--------|-------|-------|--------|
| CTP参数检测 | 0.903      | 0.755~1.000 | 0.805 | 0.5    | 0.857 | 0.948 | <0.001 |
| CT血管成像  | 0.846      | 0.695~0.997 | 0.697 | 64.00% | 0.983 | 0.714 | <0.001 |
| 联合检测    | 0.947      | 0.000~1.000 | 0.894 | 0.5    | 0.966 | 0.929 | <0.001 |

2.6 典型病例 以下图3A~图6B为本院同一患者CTP影像学结果，CBV、CBF、TTP、MTT每一个序列选取2~3个层面，结果提示 左侧颞顶叶CBV较对侧减低，CBF较对侧增加，TTP显著缩短，MTT较对侧缩短。

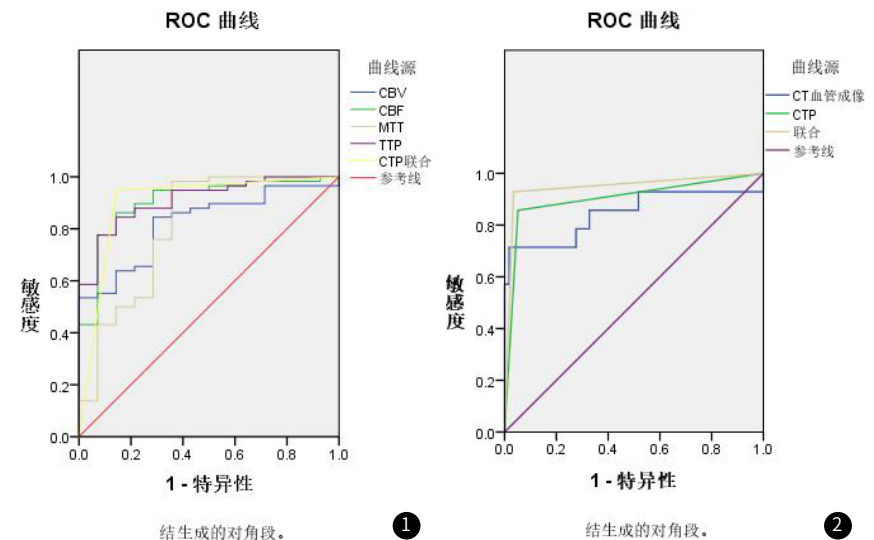
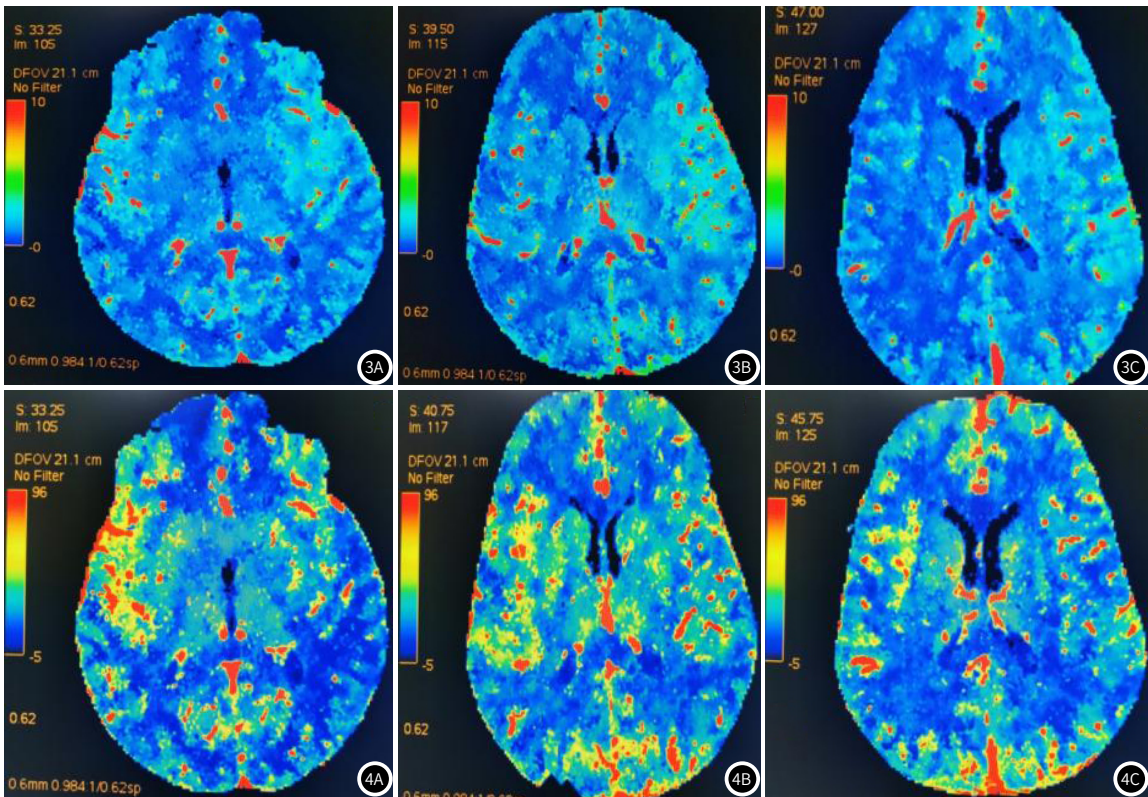
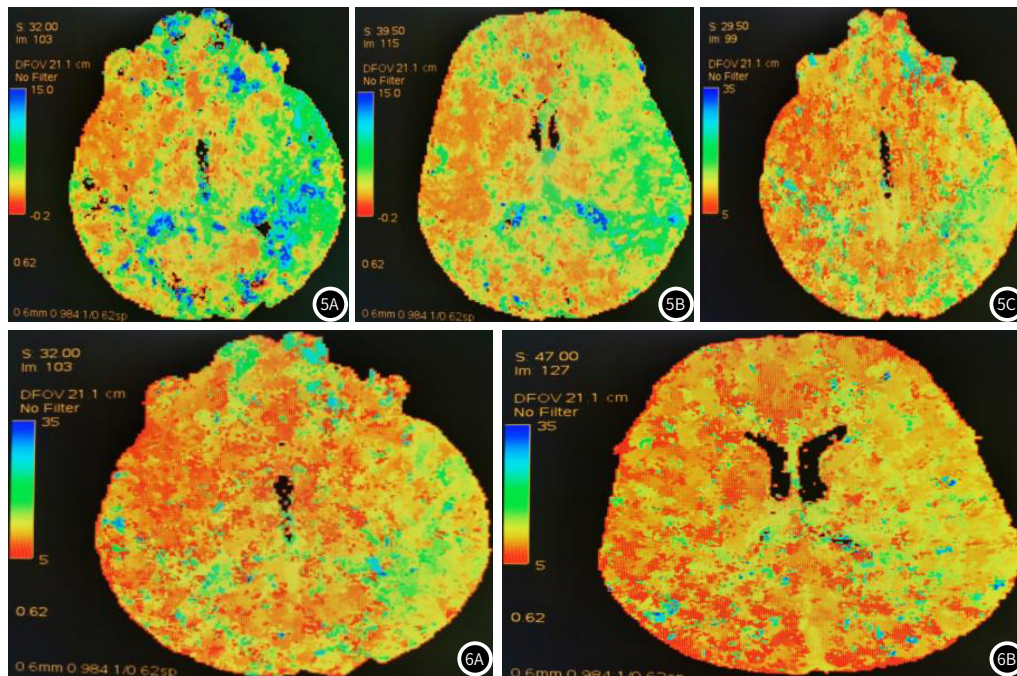


图1 CTP参数检测ROC曲线图。图2 CTP联合CT血管成像ROC曲线图。





### 3 讨论

早期识别与预测短暂性脑缺血发作后继发脑梗死高危人群对临床诊疗意义重大,本次研究基于影像学层面,分析CTP联合CT血管成像对短暂性脑缺血发作后继发脑梗死的预测价值,结果如下。

本研究结果显示,此次纳入的72例短暂性脑缺血患者中,发作7 d出现继发脑梗死占比19.44%,对比两组CTP相关参数,继发脑梗死组CBV、CBF较无继发脑梗死组低,MTT、TTP较无继发脑梗死组高,提示CTP相关参数在短暂性脑缺血进展为继发脑梗死患者中存在明显差异性表达。CT灌注成像属于功能成像,能够量化反映局部组织血流灌注量情况和代谢状态,当患者出现继发脑梗死倾向时,由于血管狭窄/闭塞、脑动脉硬化等原因,导致CBV、CBF下降,而对比剂在颅内动脉侧至静脉侧所需时间延长,流动速度下降,故MTT、TTP延长,通过监测CTP相关参数,能够为继发性脑梗死提供理论依据。相关研究表明,颈动脉内膜中层厚度与短暂性脑缺血发作患者卒中风险相关<sup>[11]</sup>。关于CTP参数对短暂性脑缺血发作进展为急性脑梗死的预测价值临床已有研究加以证实<sup>[12-13]</sup>。进一步佐证本研究结果,此外CTP兼具非侵入性、快速、精准、重复性好优势,具有较好的发展前景。本研究结果显示,继发脑梗死组血管狭窄度高于无继发脑梗死组。采用CT血管成像通过对血管完整形态与病变进行三维重建,可直接显示血管腔内外、血管管壁病变,空间分辨率高,还可反应血管壁钙化情况,故可有效诊断血管闭塞及狭窄情况,在头颈部血管疾病中具有较高诊断价值<sup>[14]</sup>。经ROC曲线分析,结果表明CBV、CBF、MTT、TTP及CTP参数联合检测对短暂性脑缺血发作后继发脑梗死具有一定预测价值,与前人研究基本一致<sup>[15]</sup>。此外,ROC曲线分析结果表明,CT血管成像特异性、敏感度较高,且CTP联合CT血管成像对短暂性脑缺血发作后继发脑梗死相较于单独检测预测价值更优,与张园园<sup>[16]</sup>等结果一致。CTP、CT血管成像虽然成像方式、血管解剖面角度不同,但对于脑血管狭窄/闭塞分析具有一定重合性,二者联合可一定程度提高预测准确性。此结果的临床意义在于早期对短暂性脑缺血患者进行CTP、CT血管成像检查,能够较为准确地预测继发脑梗死发生风险,从而提前进行干预治疗,保障患者生存质量。

由上可知,对短暂性脑缺血患者进行CTP联合CT血管成像检查可一定程度预测继发脑梗死风险,从而为临床诊疗方案制定提供理论依据,降低继发性脑梗死发生率,但患者继发性脑梗死发生受多种因素影响,临床仍需进一步完善相关检查,进行综合评估。

### 参考文献

- [1] 张宇,刘静,钟声,等.短暂性脑缺血发作影响因素及其预后预测效能[J].山东医药,2021,61(12):64-67.
- [2] 刘杰,王保爱.短暂性脑缺血发作进展为脑梗死的相关危险因素研究进展[J].医学综述,2021,27(22):4486-4490.
- [3] 刘晓娟,程宏.短暂性脑缺血发作患者血管内皮功能与脑梗死发生风险的相关性[J].医学临床研究,2022,39(11):1726-1728.
- [4] 薛莉,王鑫,李转会.治疗前后血清脑缺血修饰蛋白、可溶性血管黏附蛋白1水平变化率对短暂性脑缺血发作患者继发急性脑梗死的预测价值研究[J].实用心脑血管病杂志,2021,29(2):46-53.
- [5] 苏一星,严涛,严明科,等.ABCD3-I评分联合血栓弹力图对短暂性脑缺血发作后发生急性脑梗死的预测价值[J].中国急救复苏与灾害医学杂志,2022,17(9):1169-1173.
- [6] 谢安明,王柳仙,魏文峰,等.CT灌注成像在创伤性脑损伤中的诊断与预测价值[J].实用放射学杂志,2024,40(3):356-360.
- [7] 唐璇,张根平,陈先锋,等.CT灌注成像及血清CRP、ET-1水平与急性缺血性脑卒中患者病情程度及预后的相关性分析[J].中国CT和MRI杂志,2024,22(6):21-23.
- [8] 刘艺超,修良昌,王超,等.三维CT血管成像对颅内动脉瘤的诊断价值[J].中国CT和MRI杂志,2023,21(11):31-33.
- [9] 短暂性脑缺血发作中国专家共识组.短暂性脑缺血发作的中国专家共识更新版(2011年)[J].中华内科杂志,2011,50(6):530-533.
- [10] Ferguson GG, Eliasziw M, Barr HW, et al. The North American symptomatic carotid endarterectomy trial: surgical results in 1415 patients[J]. Stroke, 1999, 30(9): 1751-1758.
- [11] 郭莎莎,骆嵩,胡林壮,等.颈动脉内膜中层厚度与短暂性脑缺血发作患者卒中风险的关系[J].中国临床研究,2022,35(7):986-990.
- [12] 赵静,刘巧珍,苗耀巍,等.颅脑CT灌注成像参数与TIA患者颈动脉IMT的关系及对进展为急性脑梗死的预测价值分析[J].中国CT和MRI杂志,2023,21(10):36-38.
- [13] 刘姝姝,陈婷,郭大静,等.全脑CT灌注联合ABCD3评分预测短暂性脑缺血发作继发脑梗死[J].中国医学影像技术,2022,38(6):831-836.
- [14] 孙青,李耀锋,杨伟兵,等.动脉CT血管成像诊断头颈部血管疾病的价值[J].检验医学与临床,2022,19(13):1795-1798.
- [15] 陈丽颖,余辉云,向入平,等.CTP参数对短暂性脑缺血发作近期进展为急性脑梗死的预测价值探讨[J].国际神经病学神经外科学杂志,2022,49(2):20-23.
- [16] 张园园,任思颢,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.

(收稿日期:2024-08-06)

(校对编辑:韩敏求)