

# 短暂性脑缺血发作患者脑血流量与脑小血管病的相关性研究

郭佳\*, 冀驰, 宫希军#

安徽医科大学第二附属医院放射科, 安徽 合肥

收稿日期: 2026年1月27日; 录用日期: 2026年2月22日; 发布日期: 2026年2月28日

## 摘要

目的: 探讨亚急性期及慢性期短暂性脑缺血发作(Transient ischemic attack, TIA)患者脑血流量(Cerebral blood flow, CBF)与脑小血管病(Cerebral small vessel disease, CSVD)的相关性。方法: 回顾性收集TIA患者的临床资料、实验室检查结果、CSVD评分及各脑区CBF数据。根据CSVD评分将患者分为无CSVD组(0分)与CSVD组( $\geq 1$ 分), 进一步将CSVD组分为轻度组(1~2分)与重度组(3~4分), 比较组间各脑区CBF的差异。采用二元Logistic回归分析CSVD发生的影响因素, 通过Spearman相关性分析验证CSVD与各脑区CBF的关系。将基底节区CBF与CSVD各亚型进行Spearman相关分析。结果: 无CSVD组与CSVD组比较, CSVD组各脑区CBF水平显著降低, 差异均有统计学意义( $P < 0.05$ ); 二元Logistic回归分析显示, 基底节区CBF是CSVD发生的独立影响因素。CSVD亚组分析显示, 两组间基底节区CBF差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。Spearman相关分析显示, CSVD评分与各脑区CBF值均呈负相关( $P < 0.05$ ), 且与基底节区CBF相关性最强。基底节区CBF与CSVD各亚型Spearman相关分析显示, 基底节区CBF与脑白质高信号(WMHs)评分、腔隙性梗死(LIs)数量、脑微出血数量(CMBs)均呈负相关( $P < 0.05$ )。结论: TIA患者基底节区CBF水平与CSVD的发生及严重程度密切相关, 其降低提示CSVD发生风险增高且病情更重, 检测各脑区尤其是基底节区CBF对评估TIA患者合并CSVD的风险及病情分级具有重要临床价值。

## 关键词

短暂性脑缺血发作, 脑血管疾病, 脑小血管病, 灌注成像

## Study on the Correlation between Cerebral Blood Flow and Cerebral Small Vessel Disease in Patients with Transient Ischemic Attack

\*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 郭佳, 冀驰, 宫希军. 短暂性脑缺血发作患者脑血流量与脑小血管病的相关性研究[J]. 临床医学进展, 2026, 16(3): 26-33. DOI: 10.12677/acm.2026.163759

Jia Guo\*, Chi Ji, Xijun Gong#

Department of Radiology, The Second Hospital of Anhui Medical University, Hefei Anhui

Received: January 27, 2026; accepted: February 22, 2026; published: February 28, 2026

## Abstract

**Objective:** To investigate the correlation between cerebral blood flow (CBF) and cerebral small vessel disease (CSVD) in patients with Subacute phase and chronic phase transient ischemic attack (TIA), so as to provide a theoretical basis for clinical evaluation of CSVD comorbidity risk and disease severity in this patient population. **Methods:** Clinical data, laboratory test results, CSVD scores, and CBF data of each brain region were collected retrospectively from TIA patients admitted to our department. According to the established CSVD scoring criteria, all enrolled patients were divided into two groups: a CSVD-free group (patients with a CSVD score of 0) and a CSVD group (patients with a CSVD score  $\geq 1$ ). Furthermore, the CSVD group was subdivided into a mild subgroup (CSVD scores ranging from 1 to 2) and a severe subgroup (CSVD scores ranging from 3 to 4) based on the severity of the disease. Statistical analysis was performed to compare the differences in CBF levels of each brain region among the groups. Binary logistic regression analysis was applied to screen out the independent influencing factors for the occurrence of CSVD in TIA patients, while *Spearman* correlation analysis was conducted to clarify the correlation between CSVD scores and CBF values of each brain region. *Spearman* correlation analysis was performed between basal ganglia CBF and each subtype of CSVD. **Result:** Compared with the CSVD-free group, the CSVD group exhibited a significant reduction in CBF levels in all detected brain regions, and the differences between the two groups were statistically significant ( $P < 0.05$ ). Binary *logistic* regression analysis further revealed that basal ganglia CBF was an independent influencing factor for the occurrence of CSVD in TIA patients ( $P < 0.05$ ). Subgroup analysis of the CSVD group demonstrated that there was a statistically significant difference in basal ganglia CBF between the mild and severe subgroups, with the severe subgroup showing lower basal ganglia CBF levels ( $P < 0.05$ ). *Spearman* correlation analysis indicated that CSVD scores were negatively correlated with CBF values in all brain regions ( $P < 0.05$ ), and among these correlations, the association between CSVD scores and basal ganglia CBF was the strongest. *Spearman* correlation analysis between basal ganglia CBF and each subtype of CSVD showed that basal ganglia CBF was negatively correlated with White Matter Hyperintensities (WMHs) score, the number of Lacunar Infarcts (LIs), and the number of Cerebral Microbleeds (CMBs) ( $P < 0.05$ ). **Conclusion:** Basal ganglia CBF in TIA patients is closely correlated with the occurrence and severity of CSVD. A decrease in basal ganglia CBF is associated with an increased risk of CSVD development and a more severe disease status in TIA patients. Therefore, the detection of CBF in all brain regions, especially the accurate measurement of basal ganglia CBF, possesses important clinical value for assessing the risk of CSVD comorbidity and grading the disease severity in TIA patients.

## Keywords

Transient Ischemic Attack, Cerebrovascular Disease, Cerebral Small Vessel Disease, Perfusion Imaging

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

短暂性脑缺血发作(Transient ischemic attack, TIA)是由于局部脑、脊髓或视网膜缺血引起的短暂性神经功能缺损,无急性梗死证据,症状通常在数分钟至数小时内自行缓解,是缺血性脑卒中发生的重要预警信号,部分 TIA 患者在发病后短时间内会进展为脑卒中,严重威胁患者的生命健康[1]。脑小血管病(Cerebral small vessel disease, CSVD)是一组由脑内小动脉、微动脉、毛细血管及小静脉病变导致的脑血管疾病,以腔隙性梗死、脑白质高信号、脑微出血等为典型影像学表现,在老年人群及脑血管疾病患者中发病率较高[2]。近年来研究发现, TIA 与 CSVD 存在密切关联, CSVD 可能是 TIA 发生的潜在病理基础之一,同时 TIA 患者合并 CSVD 时,其神经功能缺损程度更重、复发风险更高,预后更差[3] [4]。CTP 脑灌注成像技术通常多提供脑灌注参数(如脑血流量, Cerebral blood flow, CBF)可客观反映脑血流动力学状态及脑组织的供血情况,是评估脑血管功能的重要影像学指标。目前已有部分研究探讨了脑灌注参数与 CSVD 的相关性,但多数研究仅简单对比有无 CSVD 患者的脑灌注差异,缺乏对 CSVD 严重程度分层后的深入分析,且针对 TIA 这一高风险人群的专项研究较少[5] [6]。同时相关研究表明 TIA 急性期存在显著的脑血流动力学波动,该类血流变化会对慢性 CSVD 的脑灌注状态评估造成干扰,难以客观反映二者的真实关联。基于此,本研究严格纳入亚急性期及慢性期 TIA 患者,排除急性期 TIA 患者,采用分层对比结合二元 Logistic 回归及 Spearman 相关性分析的方法,旨在明确 TIA 患者脑灌注参数(以 CBF 为核心)与 CSVD 发生及严重程度的相关性,为临床早期识别 TIA 患者合并 CSVD 的风险、评估病情严重程度及制定个体化干预策略提供影像学依据和理论支持。

## 2. 资料与方法

### 2.1. 一般资料

本研究招募 2024 年 6 月~2025 年 4 月在安徽医科大学第二附属医院就诊亚急性及慢性短暂性脑缺血发作病患者 174 例。纳入标准:(1) 完成头部 MRI 及 CTP 检查;(2) 符合《中国各类主要脑血管病诊断要点 2019》关于亚急性及慢性 TIA 的诊断标准;(3) 患者配合良好,扫描图像质量佳[7]。排除标准:(1) 既往有创伤性脑损伤史、颅脑手术史等;(2) 合并急性脑梗死、脑肿瘤、重要器官功能障碍等;(3) 昏迷、严重精神障碍等。

### 2.2. 检查方法

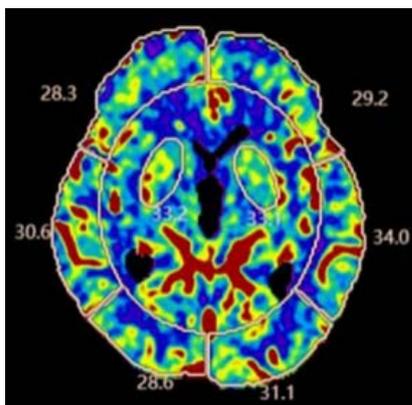
所有患者均于一天内完成头颅 MRI 检查与头颅 CTP 检查,检查不分先后且间隔 4~6 小时。MRI 检查采用(Ingenia3.0TCX, PHILIPS)扫描仪进行 T1WI 序列、T2WI 序列、T2WI-液体衰减反转恢复(fluidattenuated inversion recovery, FLAIR)序列、弥散加权成像序列及磁敏感加权成像序列扫描。CTP 检查应用德国西门子 SOMATOM Force 双源螺旋 CT 扫描仪。

### 2.3. 图像分析

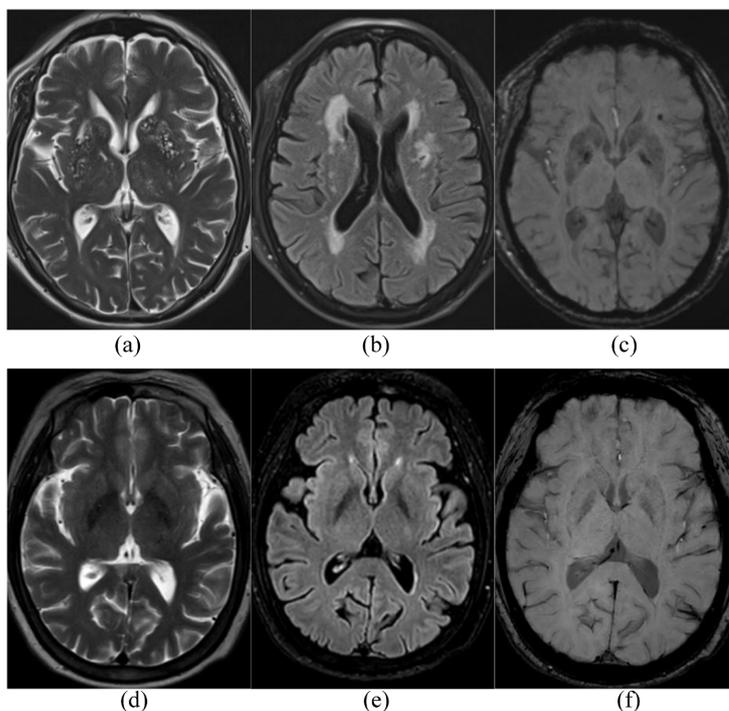
CTP 图像于后处理软件(数坤数坤科技股份有限公司)自动勾画椭圆形感兴趣区(ROI),依次选中双侧基底节区、额叶、顶叶、颞叶、枕叶及小脑半球,获得其 CBF 的测量值平均值。见图 1。

脑小血管病(CSVD)总负荷评分由两名放射科医师独立评估,涵盖腔隙性梗死(LIs)、血管周围间隙扩大(EPVS)、脑白质高信号(WMHs)及脑微出血(CMBs)四项影像学特征,评分标准为:LIs 指直径 3~20 mm、T2WI 及 FLAIR 呈脑脊液样信号且 FLAIR 边缘高信号的圆形/卵圆形病灶,≥1 个计 1 分;EPVS 指直径 < 3 mm、信号同 LIs、好发于半卵圆中心等区域的圆形/卵圆形/线形病灶, >10 个计 1 分;WMHs 依据

Fazekas 量表评估, 脑室旁 3 分和/或深部 2~3 分计 1 分; CMBs 指直径  $< 5$  mm、SWI 呈低信号的圆形/线形均匀病灶,  $\geq 1$  处计 1 分[8]。根据总评分将受试者分为无 CSVD 组(0 分, 48 例)和 CSVD 组(1~4 分, 125 例), 后者进一步分为轻度组(1~2 分, 95 例)和重度组(3~4 分, 30 例), 其中评分  $> 0$  分提示存在 CSVD,  $> 2$  分提示严重 CSVD (图 2)。



**Figure 1.** Shukun cerebral perfusion post-processing software  
**图 1.** 数坤脑灌注后处理软件



**Figure 2.** Example images of cerebral small vessel disease  
**图 2.** 脑小血管病示例图

(a)~(c): 病例 1 男, 74 岁, 高血压、糖尿病, 吸烟 20 余年, 不饮酒。A. T2WI, 双侧基底节区 EPVS  $> 10$ , 记 1 分, 双侧侧脑室旁 Lis = 2, 记 1 分; B. FLAIR, WMHs 2~3 级, 记 1 分; C. SWI, 左侧侧脑室旁 CMBs = 1, 记 1 分; CSVD 得分 4 分, CSVD 重度组。图(d)~(f): 病例 2 女, 65 岁, 头晕半天, 高血压, 未见 Lis、EPVS、EPVS, FLAIR 序列上 WMHs 1 级, CSVD 得分为 0 分, 无 CSVD 组。

## 2.4. 统计分析

应用 SPSS27.0 软件进行数据分析, P 值 <0.05 被认为具有统计学意义。采用 *Kolmogorov-Smirnov* 检验检验连续变量的正态性。连续变量用  $x \pm s$  或  $M (IQR)$  表示, 分类变量用  $n (%)$  表示。组间比较采用 *t* 检验、*Mann-Whitney U* 检验及  $\chi^2$  检验。多因素二元 *Logistic* 回归分析独立预测因子。采用 *Spearman* 进行相关性分析。

## 3. 结果

### 3.1. 不同 CSVD 组组间基线资料比较

本研究共收集亚急性期及慢性期 TIA 患者 174 例, 根据有无 CSVD 分为无 CSVD 组(48 例)和 CSVD 组(125 例), 其中 CSVD 组再分为轻度组(95 例)和重度组(30 例)。结果显示无 CSVD 组和 CSVD 组两组间比较年龄、BMI、高密度脂蛋白、甘油三酯及各脑区 CBF 差异具有统计学意义( $P < 0.05$ )。轻度组和重度组两组间仅有基底节区 CBF 存在差异( $P < 0.05$ )。所以随 CSVD 严重程度增加, 基底节区 CBF 下降, 见表 1。

**Table 1.** Comparison of baseline data among different CSVD groups

**表 1.** 不同 CSVD 组组间基线资料比较

	无 CSVD 组 (n = 48)	CSVD 组 (n = 125)	P	CSVD 组		P
				轻度组(n = 95)	重度组(n = 30)	
年龄(years)	57.67 ± 13.35	65.71 ± 11.41	<0.001	64.94 ± 11.55	68.17 ± 10.80	0.178
性别, male (%)	29 (60.4)	78 (62.4)	0.810	58 (61.1)	20 (66.7)	0.580
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	25.88 ± 3.49	24.50 ± 3.28	0.016	24.43 ± 3.31	24.71 ± 3.20	0.686
高血压, n (%)	38 (80.9)	102 (81.6)	0.910	75 (78.9)	27 (90.0)	0.173
糖尿病, n (%)	11 (22.9)	40 (32.0)	0.241	31 (32.6)	9 (30.0)	0.788
吸烟史, n (%)	15 (31.3)	44 (35.2)	0.624	30 (31.6)	14 (46.7)	0.131
饮酒史, n (%)	26 (54.2)	60 (48.0)	0.468	45 (47.4)	15 (50.0)	0.801
胆固醇(mmol/L)	4.57 ± 0.97	4.53 ± 1.11	0.824	4.61 ± 1.13	4.28 ± 1.01	0.162
高密度脂蛋白(mmol/L)	1.12 ± 0.23	1.25 ± 0.32	0.010	1.26 ± 0.32	1.22 ± 0.32	0.606
低密度脂蛋白(mmol/L)	2.87 ± 0.76	2.83 ± 0.84	0.768	2.88 ± 0.83	2.65 ± 0.85	0.190
甘油三酯(mmol/L)	1.35 (1.15, 2.07)	1.14 (0.87, 1.56)	0.037	1.16 (0.81, 1.55)	1.10 (0.88, 1.63)	0.968
天冬氨酸转氨酶(U/L)	23 (20, 29)	23 (19, 27)	0.113	23 (19, 28)	22 (19, 26)	0.385
丙氨酸转氨酶(U/L)	25 (17, 35)	20 (15, 28)	0.056	20 (15, 28)	20 (15, 28)	0.887
血尿素氮(mmol/L)	5.68 ± 1.52	6.00 ± 1.74	0.273	5.97 ± 1.57	6.08 ± 2.23	0.778
肌酐(umol/L)	62.54 ± 15.12	64.81 ± 16.14	0.401	64.59 ± 15.40	65.50 ± 18.56	0.789
基底节区 CBF (ml/100g/min)	52.02 ± 9.40	36.98 ± 7.41	<0.001	37.68 ± 7.77	34.77 ± 5.68	0.047
额叶 CBF (ml/100 g/min)	59.60 ± 15.93	40.97 ± 11.35	<0.001	41.57 ± 12.27	39.06 ± 7.62	0.517
顶叶 CBF (ml/100 g/min)	57.76 ± 15.36	39.52 ± 10.73	<0.001	40.10 ± 11.48	37.68 ± 7.78	0.475
颞叶 CBF (ml/100 g/min)	59.81 ± 15.67	41.86 ± 12.01	<0.001	42.46 ± 13.00	39.97 ± 7.96	0.623
枕叶 CBF (ml/100 g/min)	57.93 ± 15.44	40.18 ± 12.60	<0.001	40.73 ± 13.71	38.46 ± 8.09	0.822
小脑半球 CBF (ml/100 g/min)	59.30 ± 18.92	39.54 ± 13.72	<0.001	40.28 ± 14.93	37.17 ± 8.63	0.595

### 3.2. 与 CSVD 存在相关的 Logistic 回归分析

Logistic 回归方程结果发现：基底节区 CBF 是 CSVD 存在的独立危险因素，且为阻碍因素。见表 2。

**Table 2.** Logistic regression analysis for factors associated with CSVD

**表 2.** 与 CSVD 存在相关的 Logistic 回归分析

因素	OR 值	95%CI	P 值
年龄	0.995	0.953~1.038	0.809
BMI	0.920	0.782~1.082	0.314
高密度脂蛋白	2.681	0.380~18.911	0.322
甘油三酯	0.860	0.623~1.186	0.358
基底节区 CBF	0.782	0.699~0.874	<0.001
额叶 CBF	0.905	0.785~1.043	0.170
顶叶 CBF	0.894	0.753~1.061	0.198
颞叶 CBF	1.069	0.909~1.258	0.418
枕叶 CBF	1.138	0.993~1.304	0.063
小脑半球 CBF	1.019	0.950~1.092	0.599

### 3.3. CSVD 评分与 CBF 相关性分析

对所有纳入的 TIA 患者进行 CSVD 总负荷评分，评分范围为 0-4 分。采用 Spearman 相关性分析，探讨 CSVD 总负荷评分与各脑区 CBF 值之间的相关性，结果显示 CSVD 评分与各脑区 CBF 均呈负相关( $P < 0.05$ )，其中与基底节区 CBF 相关性最为密切( $r = -0.614$ )。见表 3。

**Table 3.** Correlation analysis between CSVD score and regional CBF

**表 3.** CSVD 评分与各脑区 CBF 相关性分析

变量	CSVD 评分	
	r 值	P 值
基底节区 CBF	-0.614**	<0.001
额叶 CBF	-0.517	<0.001
顶叶 CBF	-0.533	<0.001
颞叶 CBF	-0.509	<0.001
枕叶 CBF	-0.487	<0.001
小脑半球 CBF	-0.456	<0.001

### 3.4. 基底节区 CBF 与 WHM 评分、LIs 数量及 CMBs 数量相关性分析

为进一步明确基底节区低灌注与 CSVD 不同亚型的特异性关联，单独分析基底节区 CBF 与 WMH 评分(基于 Fazekas 量表)、LIs 数量及 CMBs 数量的独立相关性，统计方法仍采用 Spearman 相关性分析。

结果显示，基底节区 CBF 与 CSVD 各亚型指标均呈负相关，且差异均具有统计学意义( $P < 0.001$ )。其中，基底节区 CBF 与 WMH 评分的相关性最强( $r = -0.561$ )，与腔隙性梗死数量的相关性次之( $r = -0.533$ )，

而与脑微出血数量的相关性相对较弱( $r = -0.311$ )。具体结果见表 4。

**Table 4.** Correlation analysis between basal ganglia CBF, WMH score, number of LIs, and number of CMBs  
**表 4.** 基底节区 CBF 与 WMH 评分、LIs 数量及 CMBs 数量相关性分析

变量	基底节区 CBF	
	r 值	P 值
WMH 评分	-0.561	<0.001
LIs 数量	-0.533	<0.001
CMBs 数量	-0.311	<0.001

#### 4. 讨论

本研究通过分层对比及多因素分析,系统探讨了亚急性期及慢性期 TIA 患者各脑区 CBF 与 CSVD 发生及严重程度的相关性,结果显示 TIA 患者基底节区 CBF 与 CSVD 发生及严重程度密切相关,且 CSVD 评分与各脑区 CBF 呈负相关,其中基底节区相关性最强( $r = -0.614, P < 0.001$ ),并进一步分析基底节区 CBF 与 CSVD 各亚型的特异性关联发现,其与 WMH 评分的相关性最强,与 LIs 数量的相关性次之,而与 CMBs 数量的相关性相对较弱,这为亚急性期及慢性期 TIA 合并 CSVD 的临床评估提供了重要影像学依据。

CSVD 的核心病理改变为脑内小血管壁增厚、管腔狭窄及内皮功能损伤,这些病变直接导致脑血流自动调节能力下降,进而引发脑灌注不足[9]。本研究发现 CSVD 组各脑区 CBF 水平显著低于无 CSVD 组,与部分研究结果一致,证实了脑灌注不足与 CSVD 发生的密切关联[10]。进一步亚组分析显示,CSVD 重度组基底节区 CBF 显著低于轻度组,提示随 CSVD 病情进展,脑灌注损伤逐渐加重。这一现象可能形成“小血管病变-脑灌注下降-脑组织缺血缺氧-小血管损伤加剧”的恶性循环,与部分研究提出的“代谢紊乱相关脑灌注异常加速小血管病变”理论相符[11]。值得注意的是,基底节区 CBF 与 CSVD 的相关性最强,这可能与基底节区血供特点相关,该区域主要由豆纹动脉等细小穿支血管供血,对小血管病变导致的灌注变化更为敏感,这也解释了为何基底节区 CBF 成为 CSVD 发生及严重程度的独立影响因素[12]。

在临床基线特征方面,本研究发现 CSVD 组患者年龄显著高于无 CSVD 组,考虑年龄增长可导致血管弹性下降、退行性改变加剧,叠加小血管内皮功能减退,进一步降低脑血流储备能力。此外,CSVD 组高密度脂蛋白水平更高、甘油三酯水平更低,这一结果与传统认知中“脂质代谢紊乱促进血管病变”存在差异,推测可能与样本量局限或未校正降脂药物使用等混杂因素相关,需在后续研究中进一步验证。

本研究的创新点在于突破了既往研究仅关注“有无 CSVD”的二元对比模式,通过 CSVD 总负荷评分分层分析,明确了 CBF 与 CSVD 严重程度的剂量-反应关系。本研究证实 CBF 不仅可用于 CSVD 的早期筛查,还能为病情严重程度评估提供客观指标。这一发现的临床意义在于,对于 TIA 患者,可通过 CTP 检测 CBF 水平,尤其是基底节区 CBF,早期识别 CSVD 发生风险,为干预治疗争取时间。

对于基底节区 CBF 与 WMH 评分、LIs 数量及 CMBs 数量相关性分析结果,提示低灌注状态在 WMH 和 LIs 的发生发展中可能扮演更关键的角色:WMH 的本质是脑白质区域长期慢性缺血导致的髓鞘损伤及血管周围间隙扩大,而 LIs 则直接由穿支血管闭塞引发的局部缺血所致,二者均与脑血流灌注不足密切相关;而 CMBs 的病理基础更多与小血管壁破裂、血液成分渗出相关,其形成机制可能更依赖于血管壁结构损伤(如淀粉样变性、高血压相关血管硬化),因此与灌注不足的关联相对温和。该发现进一步细化了低灌注与 CSVD 亚型的病理生理关联,为针对性干预不同亚型 CSVD 提供了影像学线索。

本研究存在一定局限性：首先，回顾性设计可能导致选择偏倚，且未纳入血压、血糖控制情况等可能影响 CBF 的混杂因素；其次，样本量相对有限，结果稳定性需大样本前瞻性研究验证；最后，未探讨 CBF 影响 CSVD 进展的分子机制，未来需结合 DKI 等功能序列及基础实验深入分析[13] [14]。

综上所述，TIA 患者 CBF 水平与 CSVD 发生及严重程度密切相关，基底节区 CBF 可作为评估 CSVD 风险的关键影像学指标。临床实践中，通过 CTP 检测 TIA 患者脑灌注参数，可为 CSVD 的早期识别、病情分级及个体化干预提供科学依据，有助于降低 TIA 复发及进展为脑卒中的风险。

## 基金项目

安徽省高等学校科学研究项目(编号：2023AH053162)。

## 参考文献

- [1] 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. 中国缺血性卒中和短暂性脑缺血发作二级预防指南 2022 [J]. 中华神经科杂志, 2022, 55(10): 1071-1110.
- [2] 胡文立, 杨磊, 李譔婷, 黄勇华. 中国脑小血管病诊治专家共识 2021 [J]. 中国卒中杂志, 2021, 16(7): 716-726.
- [3] 江艳柳, 王书培, 李凤, 等. 脑小血管负担评分对短暂性脑缺血发作患者复发性脑血管事件的预测价值[J]. 磁共振成像, 2024, 15(6): 67-71.
- [4] Chen, Y., Hu, M. and Gong, H. (2017) Correlation Analysis between the LDL-C in Serum and the Onset of Transient Ischemic Attack Caused by CSVD. *Experimental and Therapeutic Medicine*, **14**, 1119-1125. <https://doi.org/10.3892/etm.2017.4583>
- [5] 倪健坤, 徐东风, 计一丁, 等. 脑小血管病中认知障碍患者的低剂量双源 CT 脑灌注成像变化[J]. 医学影像学杂志, 2022, 32(7): 1104-1108.
- [6] Kandiah, N., Goh, O., Mak, E., Marmin, M. and Ng, A. (2014) Carotid Stenosis: A Risk Factor for Cerebral White-Matter Disease. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, **23**, 136-139. <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2012.11.007>
- [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. 中国各类主要脑血管病诊断要点 2019 [J]. 中华神经科杂志, 2019, 52(9): 710-715.
- [8] Wardlaw, J.M., Smith, E.E., Biessels, G.J., Cordonnier, C., Fazekas, F., Frayne, R., *et al.* (2013) Neuroimaging Standards for Research into Small Vessel Disease and Its Contribution to Ageing and Neurodegeneration. *The Lancet Neurology*, **12**, 822-838. [https://doi.org/10.1016/s1474-4422\(13\)70124-8](https://doi.org/10.1016/s1474-4422(13)70124-8)
- [9] 周惠敏, 王艳, 宋芳星, 等. 脑小血管病的发病机制[J]. 国际脑血管病杂志, 2023, 31(2): 146-150.
- [10] 王结群, 吴毅泰, 王星, 等. 脑小血管病总负荷与记忆力下降老年患者认知功能、脑萎缩及脑灌注的相关性[J]. 中国卒中杂志, 2020, 15(12): 1276-1280.
- [11] Liu, H., Zheng, W., Geng, J., Zhou, X., Xia, Y., Liu, Y., *et al.* (2025) Cerebral Perfusion and Gray Matter Volume Alterations Associated with Cognitive Impairment in Metabolic Syndrome with Cerebral Small Vessel Disease. *Frontiers in Aging Neuroscience*, **17**, Article 1538850. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2025.1538850>
- [12] 黄黎香, 王绍舟, 曹宸, 等. 豆纹动脉对基底节区脑组织定量灌注的影响及预后预测效果评价[J]. 首都医科大学学报, 2022, 43(1): 53-60.
- [13] Markus, H.S. and Joutel, A. (2025) The Pathogenesis of Cerebral Small Vessel Disease and Vascular Cognitive Impairment. *Physiological Reviews*, **105**, 1075-1171. <https://doi.org/10.1152/physrev.00028.2024>
- [14] Jansma, A., de Bresser, J., Schoones, J.W., van Heemst, D. and Akintola, A.A. (2024) Sporadic Cerebral Small Vessel Disease and Cognitive Decline in Healthy Older Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*, **44**, 660-679. <https://doi.org/10.1177/0271678x241235494>