

论 著

基于一站式CTP联合CTA检查的脑血管畸形与脑灌注特征的研究*

杜 颖 邓小飞 郝 艳*
舒 政

上海市中西医结合医院影像科 (上海 200082)

【摘要】目的 通过一站式颅脑CTP联合CTA检查分析颅内血管畸形与脑实质灌注参数特征的关系。方法 搜集2021年02月到2024年02月临床怀疑脑血管病并行颅脑一站式颅脑CT检查的患者，根据颅脑CTA筛选出脑血管畸形的患者，使用去卷积法分析得到灌注参数，测量脑血管畸形处的脑组织的CBF、CBV、MTT、TTD、TTS、Tmax和FED参数值，将相应侧的灌注参数作为对照组。结果 最终入组7例患者，重建CTA显示的静脉畸形3例，动静脉畸形4例，脑血管畸形侧CBF、CBV值较对侧的增高且差异具有统计学意义($P<0.001$)，CBF平均值分别为 123.60 ± 22.12 和 61.73 ± 21.22 ，CBV平均值分别为 7.01 ± 0.88 和 3.79 ± 1.12 ，MTT、TTD和TTS较对侧减低且差异具有统计学意义($P<0.05$)，但Tmax减低和FED增高的组间差异不具有统计学意义($P>0.05$)。结论 一站式CTP联合CTA检查同时诊断脑血管畸形和脑灌注异常，脑血管畸形附近的脑组织呈高灌注特征。

【关键词】CT灌注；CT动脉成像；
脑血管畸形；高灌注
【中图分类号】R743.4
【文献标识码】A
【基金项目】上海市虹口区卫生健康委员会医学
科研课题计划(虹卫1801-04)
DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.04.011

Characteristics of Cerebral Vascular Malformation and Perfusion Evaluated by One-stop Cerebral CTP and CTA Examination*

DU Ying, DENG Xiao-fei, XI Yan*, SHU Zheng.
Department of Radiology, Shanghai TCM-integrated Hospital, Shanghai 200082, China

ABSTRACT
Objective To evaluate the correlation between intracranial vascular malformation and cerebral perfusion parameters using one-stop CT perfusion (CTP) and CT angiography (CTA) examination. **Methods** Patients suspected of cerebrovascular diseases who received a one-stop cerebral examination from February 2021 to February 2024 were collected. Cerebrovascular malformations were detected utilizing CTA. Deconvolution analysis has been used to calculate perfusion parameters, and the CBF, CBV, MTT, TTD, TTS, Tmax, and FED parameters of brain at the location of cerebrovascular malformation were quantified. The contralateral side represents the control group. **Results** 7 patients were eventually enrolled in the study, with 3 suffering venous malformations and 4 with arteriovenous malformations. The cerebral blood flow (CBF) and cerebral blood volume (CBV) values on the side cerebral with vascular malformation were significantly higher than those on the opposite side, with a statistically significant difference ($P<0.001$). The average CBF values were 123.60 ± 22.12 and 61.73 ± 21.22 , respectively, whereas the average CBV values were 7.01 ± 0.88 and 3.79 ± 1.12 , respectively. The MTT, TTD, and TTS decreased compared to the contralateral side, and the difference was statistically significant ($P<0.05$), but the differences in Tmax and FED between the two groups were not statistically significant ($P>0.05$). **Conclusion** One-stop CTP and CTA examination can simultaneously diagnose the cerebral vascular malformation and cerebral perfusion abnormalities. The cerebral region surrounding the vascular malformation location emphasizes hyper-perfusion characteristics. **Keywords:** CT Perfusion; CT Angiography; Cerebral Vascular Malformation; Hyper-perfusion

脑血管畸形是一种少见的脑血管疾病，病理学基础为颅内畸形血管或血管团，其发病率较低，而且大部分由影像学偶然发现^[1]。脑血管畸形的临床意义重大，它是脑出血和脑梗死的危险因素^[2-3]，此外，因其可能导致静脉溶栓后的脑出血转化，所以未破裂且未经治疗的动静脉畸形被认为是脑卒中静脉溶栓的相对禁忌症^[4]。目前一站式颅脑CT灌注(CT perfusion, CTP)联合CT血管成像(CT angiography, CTA)是缺血性脑血管病的重要无创的检查方法^[5]，但其在脑血管畸形中的应用研究尚不充足，因此本研究通过分析血管畸形受累脑实质的灌注参数特征，以期为临床治疗提供相应的影像学证据。

1 资料与方法

1.1 入组病例 回顾性搜集2021年02月至2024年02月我院临床怀疑脑血管病而行一站式脑CTP联合CTA检查的患者103例，根据CTA筛选出脑血管畸形的患者。

入组标准为：CTA诊断的脑血管畸形，同时完善了颅脑CTA检查和CTP检查，基于TAC曲线规范，去卷积算法所得到的灌注参数具有可信度。排除标准为：非颅脑血管畸形患者，图像严重伪影，无法进行图像重建，TAC曲线不正常，灌注参数可信度差。

1.2 扫描方法 一站式CTP联合CTA检查均在第三代西门子双源CT(SOMATOM Force CT)上完成，扫描序列包括颅脑CT平扫，CTP扫描，以及头颈部CTA扫描。其中颅脑灌注根据患者头颅大小选择合适的探测器宽度，结合摇篮床技术进行容积全脑CT灌注扫描，总期数为35期，总扫描时间为60s，即30期 $\times$ 1.5s+5期 $\times$ 3s，管电压70kV，管电流使用CAREDOSE 4D模式，矩阵 512×512 ，图像重建层厚1.5mm，重建算法为ADMIRE，强度为3。对比剂注射采用肘正中静脉高压注射器团注方式，注射速率为4.0mL/s，对比剂总量40mL，采用碘帕醇注射液(370mgI/mL，北京北陆药业)，注射完毕后以相同速率再注射40ml的0.9%的生理盐水。头颈部CTA扫描范围自主动脉弓至颅顶，采用对比剂自动追踪触发扫描技术，阈值设置为100HU，监测层面为主动脉弓层面，注射速率为4.0mL/s，对比剂总量50mL，注射完毕后以相同速率再注射20ml的0.9%的生理盐水。

1.3 图像处理 图像扫描完成后，将原始数据输入Syngo Via VB40进行图像后处理分析，使用CT血管重建对头颈部CTA数据进行MIP和VR的血管重建，脑血管畸形的诊断和灌注异常区域的勾画由2名主治医师共同完成(工作时间均在8年以上)，2者存在争议时，最终结果由1名上级医师决定(工作20年以上)。使用颅脑灌注分析 workflow 进行灌注参数分析，选择去卷积算法(Deconvolution)进行重建，重建灌注参数为脑血容量(Cerebral blood volume, CBV, mL/100mL)，脑血流量(Cerebral blood flow, CBF, mL/100mL/min)，平均通过时间(Mean transit time, MTT, S)，排出时间(Time to drain, TTD, S)，开始时间(time to start, TTS, S)，达峰时间(time to max, Tmax, S)，流量提取乘积(flow extraction product, FED, mL/100mL/min)。在各参数图上勾画脑血管畸形区域进行测量，感兴趣区面积为 $2.0\sim3.0\text{mm}^2$ ，同时使用镜像功能勾画对侧脑实

【第一作者】杜 颖，女，主治医师，主要研究方向：心脑血管疾病。E-mail: yingdu521@163.com
【通讯作者】郝 艳，女，主治医师，主要研究方向：心脑血管疾病。E-mail: xiyanwe99@163.com

质区域。

1.4 统计学分析 统计学分析使用SPSS 26.0软件，CTP灌注参数在脑血管畸形组和对侧组间进行比较分析。使用Kolmogorov-Smirnov检验对数据进行正态分析，满足正态分布的使用平均值±标准差表示，不符合则使用中位数(四分位间距)表示。符合正态分布时，两组之间的比较使用配对样本T检验。不符合正态分布时，两组之间的比较使用非参数Kruskal-Wallis检验。当P值<0.05时组间差异具有统计学意义。

2 结 果

2.1 基本资料 最终纳入了7例脑血管畸形的患者，其中男4名，女3名，平均年龄68.14±15.18岁(38-85岁)，动静脉畸形(arteriovenous malformation, AVM)4例，静脉畸形(venous malformation, VM)3例，发病部位为顶叶3例，额叶2例，颞叶2例。

2.2 脑血管畸形与脑灌注特征 7例患者脑血管畸形处的脑实质的平均CBF、CBV大于对侧，且差异具有统计学意义，平均MTT、TTD、TTS小于对侧且差异具有统计学意义，然而，虽然患侧Tmax值小于对侧，但差异不具有统计学意义，患侧FED高于对侧，但差异不具有统计学意义(如表1)。在灌注参数图上，脑血管畸形侧的脑实质呈高灌注改变(如图1)。

表1 脑血管畸形侧与镜像对侧脑实质灌注特征的对照分析

灌注参数	脑血管畸形组	镜像对侧组	P值
CBF(mL/100mL/min)\$	123.60±22.12	61.73±21.22	<0.001*
CBV(mL/100mL)\$	7.01±0.88	3.79±1.12	<0.001*
MTT(S)#	3.69(0.53)	4.61(1.98)	0.018*
TTD(S)#	3.01(0.83)	3.96(2.60)	0.018*
TTS(S)#	0.09(0.24)	0.45(0.43)	0.018*
Tmax(S)\$	1.47±0.47	2.08±0.91	0.137
FED (mL/100mL/min)#	1.00(4.99)	0.76(2.51)	0.063

注：\$表示数据符合正态分布，参数值采用均值±标准差表示，组间比较使用配对样本T检验，#表示数据不符合正分布，参数值采用中位数(四分位间距)表示，组间比较使用非参数检验，*代表组间差异具有统计学意义。

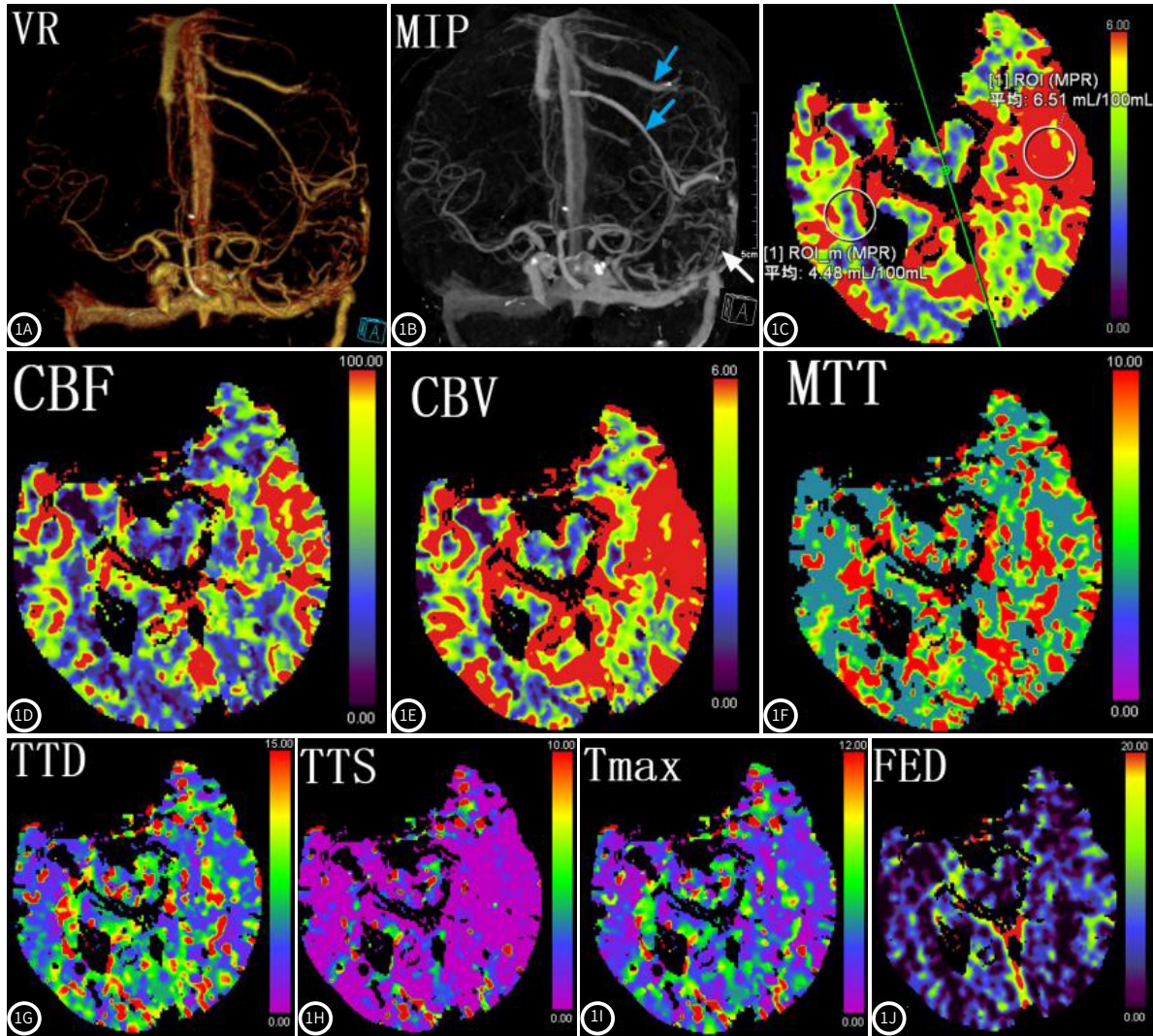


图1A-图1J 患者男，75岁，因突发癫痫至急诊神经内科就诊，行一站式颅脑CTP联合CTA检查，1A (VR)和1B (MIP)显示左侧颞叶动静脉畸形的血管团(白箭)，以及粗大的引流静脉(蓝箭)，1C显示ROI的勾画，1D-1J为CTP参数图，左侧颞叶脑实质呈CBF、CBV增高的高灌注改变，MTT、TTD局部增高、局部减低，TTS减低，Tmax减低，FED轻度增高改变。

3 讨论

本研究发现脑血管畸形发病率低,仅占总数的6.8%(7/103),包括了AVM和VM,受影响的脑实质与对侧未受影响的脑实质相比,出现CBF、CBV增高,同时MTT、TTD、TTS减低的改变,且差异具有统计学意义。虽然代表脑组织储存血液功能达到最大时间值的Tmax减低,代表血管通透性和血脑屏障紊乱的标志物FED有增高,但差异均不具有统计学意义。该研究结果表明脑血管畸形侧的脑实质存在高灌注且血流增快的特征,但脑组织的达峰时间和流量提取乘积变化却不具有统计学意义。

Kim DJ等^[6]研究发现AVM处的脑组织CBF、CBV增高,MTT减低,该研究指出AVM可能通过影响血管内压力而影响脑组织灌注,AVM区域属于高流量区域,导致相应的静脉引流系统过载和静脉高压、充血,静脉充血导致脑组织的CBF、CBV增加,临床症状可表现为局灶性神经功能缺损或癫痫发作,甚至出现脑梗死的症状,这也是临床将脑血管畸形误诊为脑血管病的重要原因^[7]。有趣的是,较大体积的AVM导致的动脉盗血可以使临近或远侧脑实质出现低灌注的改变^[8],即CBF、CBV减低,MTT增高,而AVM的介入手术可以改善该盗血征象。该研究还发现VM同样会出现脑组织高灌注的改变,这与Hanson EH等^[1]的研究相似,VM高灌注的病理生理学解释可能与静脉高压和静脉充血相关。

在一站式CTP联合CTA检查中,应同时关注脑血管畸形和高灌注特征。一方面,在中国急性缺血性脑卒中诊治2018指南^[4]中,将AVM作为静脉溶栓相对禁忌症,无创的CTP联合CTA检查为卒中中心治疗策略提供临床依据。另一方面,脑的高灌注特征可能是导致静脉溶栓出现脑出血转化的危险因素,以往的脑高灌注研究往往是针对脑梗死血管内治疗的患者^[9-11]。我们的研究还发现,TTD和TTS的减低,而理论上TTD=MTT+TTS,三者均表明血管畸形区域血流增快。Tmax虽然具有减低的趋势,但差异不具有统计学意义,可能解释是虽然畸形血管导致局部灌注增高,但脑实质内血流达高峰的时间并没有改变,虽然FED(代表血脑屏障破坏和紊乱)增加不具有统计学意义,但已有研究证实脑AVM可以导致周围脑实质存在不同程度的血脑屏障破坏^[12],因此存在FED增高的可能性,但目前尚缺乏FED在脑血管畸形中的特征报道,需要相关大宗数据的进一步研究。

综上所述,本研究发现一站式CTP和CTA检查,有助于脑血管畸形的定位和定性诊断,此外,脑血管畸形周围脑实质出现CBF、CBV高灌注特征,以及MTT、TTD、TTS减低的血流动力学特征,为临床提供重要的诊疗依据。

参考文献

- [1] Hanson EH, Roach CJ, Ringdahl EN, et al. Developmental venous anomalies: appearance on whole-brain CT digital subtraction angiography and CT perfusion[J]. *Neuroradiology*, 2011, 53(5): 331-341.
- [2] 朱轲. 血管内介入栓塞术对隐匿性脑血管畸形出血患者临床疗效及VEGF、LP、Ang1、Ang2的影响[J]. *罕少疾病杂志*, 2022, 29(7): 20-21, 35.
- [3] Bevan H, Sharma K, Bradley W. Stroke in young adults[J]. *Stroke*, 1990, 21(3): 382-386.
- [4] 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.
- [5] 张瑞, 宋振强, 范倩倩, 等. 640层螺旋CT全脑灌注(CTP)成像联合CT血管成像(CTA)在急性脑缺血中的可行性及临床价值[J]. *中国CT和MRI杂志*, 2023, 21(8): 13-15.
- [6] Kim DJ, Krings T. Whole-brain perfusion CT patterns of brain arteriovenous malformations: a pilot study in 18 patients[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2011, 32(11): 2061-2066.
- [7] Chen H, Wei R, Xu Z. Dural arteriovenous fistula presenting with stroke-like symptoms and regional cerebral hyperperfusion: a case report[J]. *BMC Neurol*, 2023, 23(1): 180.
- [8] La Piana R, Bourassa-Blanchette S, Klein D, et al. Brain reorganization after endovascular treatment in a patient with a large arteriovenous malformation: the role of diagnostic and functional neuroimaging techniques[J]. *Interv Neuroradiol*, 2013, 19(3): 329-338.
- [9] Kneihsl M, Enzinger C, Gatttringer T. Cerebral hyperperfusion syndrome after mechanical thrombectomy[J]. *J Neurointerv Surg*, 2021, 13(12): 1187-1188.
- [10] 李文君, 刘俊艳. 卒中后出血转化的影像学评估[J]. *中国卒中杂志*, 2019, 14(8): 803-808.
- [11] Xu J, Chen XY, Wang HY, et al. Hemodynamic predictors of early neurological deterioration and clinical outcome after endovascular treatment in large artery occlusion[J]. *Heliyon*, 2024, 10(3): e24746.
- [12] 王硕, 赵继宗, 孙昇临. 脑动静脉畸形病变周围脑组织内血脑屏障的超微结构改变[J]. *中国实用外科杂志*, 2001, 21(6): 370-371.

(收稿日期: 2024-03-02)

(校对编辑: 姚丽娜)