

# 4DCTP在颈内动脉闭塞中的应用

咎志远

重庆医科大学附属第一医院神经内科, 重庆

收稿日期: 2026年4月9日; 录用日期: 2026年5月2日; 发布日期: 2026年5月12日

## 摘要

本研究探讨了4DCTP在区分颈内动脉真性闭塞与假性闭塞中的诊断价值, 旨在为急性缺血性脑卒中患者的术前评估提供一种无创、高效的影像学方法。回顾性纳入47例CTA诊断为颈内动脉闭塞并同时接受4DCTP与DSA检查的患者, 以DSA为金标准, 评估4DCTP的诊断一致性。结果显示, 4DCTP与DSA的一致率为80.9%, Kappa值为0.417 ( $P = 0.003$ ), 具有中等程度一致性; 其诊断灵敏度为82.5%, 特异度为71.4%。研究表明, 4DCTP基于CTP图像多时相重建, 在不增加额外辐射的情况下, 能有效识别颈内动脉假性闭塞, 有助于介入医生在术前更准确地判断病变性质与部位, 从而优化手术方案, 改善患者预后。

## 关键词

4DCTP, 急性缺血性脑卒中, 颈内动脉真性闭塞, 颈内动脉假性闭塞, 诊断准确性

# Application of 4DCTP in Internal Carotid Artery Occlusion

Zhiyuan Zan

Department of Neurology, The First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

Received: April 9, 2026; accepted: May 2, 2026; published: May 12, 2026

## Abstract

This study aimed to evaluate the diagnostic value of 4DCTP in distinguishing between true occlusion and pseudo-occlusion of the internal carotid artery, providing a non-invasive and efficient imaging method for preoperative assessment in patients with acute ischemic stroke. A retrospective analysis was conducted on 47 patients diagnosed with internal carotid artery occlusion by CTA who underwent both 4DCTP and DSA examinations. Using DSA as the gold standard, the diagnostic consistency of 4DCTP was evaluated. The results showed an agreement rate of 80.9% between 4DCTP and DSA, with

a Kappa value of 0.417 ( $P = 0.003$ ), indicating moderate consistency. The sensitivity and specificity of 4DCTP were 82.5% and 71.4%, respectively. The study demonstrates that 4DCTP, based on multi-phase reconstruction of CTP images without additional radiation, can effectively identify carotid artery pseudo-occlusions. This aids interventional physicians in more accurately assessing the nature and location of lesions before surgery, thereby optimizing surgical planning and improving patient outcomes.

## Keywords

4DCTP, Acute Ischemic Stroke, Internal Carotid Artery True Occlusion, Internal Carotid Artery Pseudo-Occlusion, Diagnostic Accuracy

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

### 1.1. 研究背景

脑血管病是各种原因导致脑血管病变或血流障碍引起的脑部疾病的总称。其中包括缺血性脑血管病和出血性脑血管病。2019 年全球疾病负担研究显示,我国每年新发卒中约 394 万例,占全球新发病例的 1/3,发病以缺血性卒中为主,约占 72%,脑出血占 22%,蛛网膜下腔出血占 6%;现患病的卒中患者达 2800 多万人。2021 年中国死因监测数据显示,我国因卒中死亡占总死亡的 23% [1]。据文献统计我国急性缺血性脑卒中(Acute Ischemic Stroke, AIS)住院中位时间为 11 d,病死率为 0.5%,并发症率为 3.4%~6.0% [2]。AIS 给社会带来了巨大的负担,及时的识别及干预 AIS 可显著地降低患者的死亡率及致残率。

据文献报道,在 AIS 中大血管闭塞(Large Vessel Occlusion, LVO)约占 20%~30%,其中颈内动脉闭塞(Internal Carotid Artery Occlusion, ICAO)约占 LVO 的 10%~20% [3],在急性颈内动脉闭塞患者中,急性中风的发病率为 40%~69%,这些患者的死亡率高达 16%~55% [4],在有症状的急性 ICAO 患者中,动脉粥样硬化血栓形成约占 51%至 55%,而心源性栓塞和颈动脉夹层分别占 14%~19%和 10%~13% [5]。急性颈内动脉闭塞具有较高的死亡率及致残率,在接受血管内治疗后,患者的功能独立率(mRS 0~2)可达 47.4%,而死亡率降低至 11%左右,这体现了及时、尽早、正确的治疗可以给急性颈内动脉闭塞患者带来的显著的获益[6]。这对我们神经介入医生提出了挑战,需要在有限的手术准备时间内,尽快地准确判断患者颈内动脉闭塞部位及性质,并做好相应的手术方案。

对于脑血管疾病,诊断金标准是 DSA (Digital Subtraction Angiography),但其为有创检查且无法在卒中的急诊救治中实现,在现实的卒中中心救治模式中一站式 CTACTP (Computed Tomography Angiography and Computed Tomography Perfusion)为大多数中心所采取。CTA 可准确地分辨动脉粥样硬化所致的颈内动脉闭塞,但对于夹层或者栓塞所致的颈内动脉闭塞与 DSA 金标准相比存在一定差异[7]。文献报道对 CTA 进行多时项进行血管的重建 Time Resolved Whole-Head CTA (4DCTA)可显示出对原来 3DCTA 模式识别颈内动脉闭塞和颈内动脉假性闭塞(Carotid Artery Pseudo Occlusions)的优势[8]。头部 CTP 检查原理为通过注射造影剂,连续多次对头部进行扫描,追踪造影剂在脑组织的分布计算血流量、血容量及平均通过时间,通过分析计算出核心梗死及缺血半暗带,如果对连续扫描的多时项的图像进行数据后处理得

到4DCTP的血管重建,可否利于介入医生更快地评估病变血管。

## 1.2. 研究目的

颈内动脉闭塞分为颈内动脉真性闭塞(True Occlusion, TO)和假性闭塞(Pseudo Occlusion, PO),在常规CTA中,TO往往由于造影剂无法充盈至颈内动脉导致血管未显影而被识别,这种对于常规CTA来说很容易被识别,但在颈内动脉高位血栓栓塞、重度狭窄、闭塞或次全闭塞尤其是T分叉血栓栓塞情况下,导致检查时造影剂无法较快充盈颈内动脉远端时,CTA抓取图像重建时可能出颈内动脉闭塞假象征象,从而误导手术医生对病变部位性质的判断,本文拟通过对比4DCTP与DSA对颈内动脉闭塞部位判断的准确性,探索4DCTP是否可作为一种术前无创检查方式提高手术医生对患者血管的病变部位认识的可靠性,从而更好做好手术预案,提高颈内动脉闭塞患者介入再通率。

## 2. 方法

### 2.1. 研究对象

回顾性收集2024年1月1日至2025年2月1日因卒中就诊于重庆医科大学附属第一医院神经内科的CTA诊断为颈内动脉闭塞的缺血性脑卒中患者68例,筛选需要同时完善4DCTP检查及DSA造影进行血管评估的患者47例,对其基本情况收集分析及影像学分析。47例患者中,择期手术病人22例,其中17人进行了择期颈内动脉开通术,5人进行了单纯脑血管造影,急诊手术病人25人,其中23人获得2b及以上再通。47人中DSA诊断为颈内动脉真性闭塞的40人,颈内动脉假性闭塞7人。所有颈内动脉闭塞患者中,大动脉粥样硬化型39人(83%),心源型5人(10%),夹层2人(4%),烟雾病1人(2%)。

### 2.2. 影像学检查与评估

所有患者均接受一站式CTP+CTA检查,基于CTP原始数据多时相重建获得4DCTP图像。由两名神经影像医师独立判读4DCTP结果,判定为真性闭塞(全程无造影剂充盈,晚期无血流)或假性闭塞(晚期可见顺向或逆向缓慢充盈)。DSA检查由介入医师在术中完成,作为金标准。

### 2.3. 统计学方法

采用SPSS 27.0软件进行统计分析。计数资料以例数(百分比)表示,组间比较采用卡方检验或Fisher精确检验;计量资料以均值 $\pm$ 标准差表示,组间比较采用独立样本t检验。以DSA为金标准,计算4DCTP的诊断灵敏度、特异度、阳性预测值(PPV)、阴性预测值(NPV),并采用Wilson法计算各指标的95%置信区间。一致性分析采用Kappa系数,组间差异比较采用McNemar检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

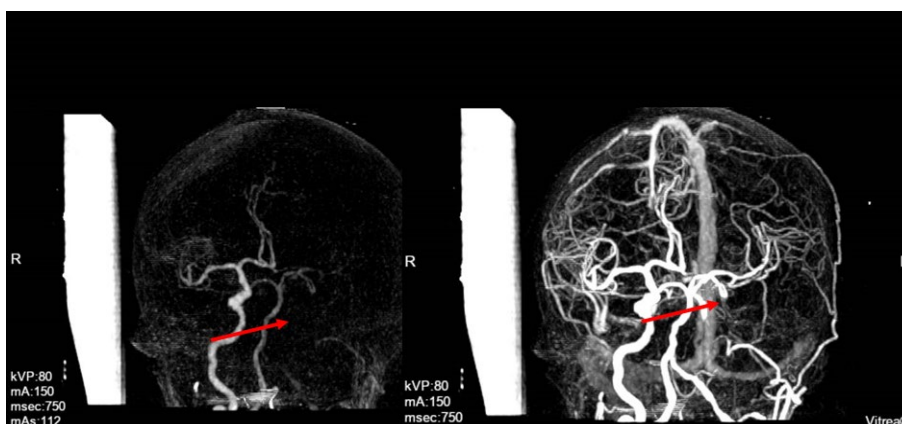
## 3. 结果

### 3.1. 基线资料

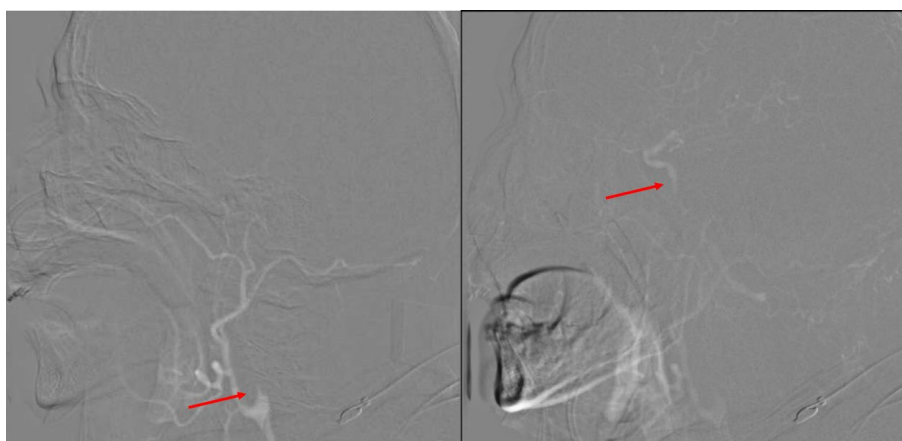
表1是颈内动脉真性闭塞和假性闭塞患者的基线数据,可见在真性闭塞和急性闭塞患者在性别、年龄、是否高血压、是否糖尿病、是否抽烟、是否饮酒、血脂及同型半胱氨酸等方面未见明显统计学差异,但在是否合并房颤中,假性闭塞组合并房颤率远高于真性闭塞组,且差异具有统计学意义,提示如CTA提示颈内动脉闭塞的患者,心电图提示房颤需警惕颈内动脉的假性闭塞,尤其是在急诊病人中(假性闭塞7例患者中6人进行了急诊手术干预)。

**Table 1.** Baseline data of internal carotid artery occlusion  
**表 1.** 颈内动脉闭塞基线数据情况

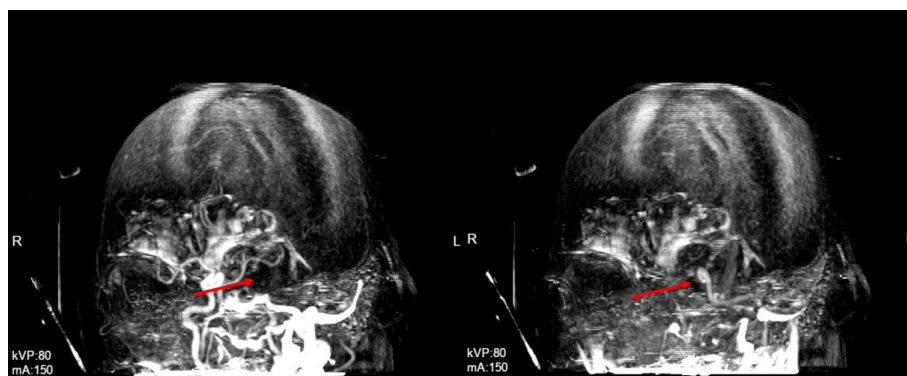
	颈内动脉真性闭塞 TO	颈内动脉假性闭塞 PO	P 值
年龄	62.10 ± 11.712	64.14 ± 13.397	0.678
性别(男)	32 (80.0%)	4 (57.1%)	0.188
高血压	22 (55.0%)	3 (42.9%)	0.553
糖尿病	13 (32.5%)	1 (14.3%)	0.331
抽烟	26 (65.0%)	3 (42.9%)	0.266
饮酒	18 (45.0%)	2 (28.6%)	0.540
房颤	4 (10.0%)	3 (42.9%)	<b>0.024</b>
血脂			
低密度脂蛋白	2.473 ± 1.127	2.877 ± 1.683	0.450
高密度脂蛋白	1.137 ± 0.305	1.165 ± 0.291	0.832
甘油三酯	1.672 ± 1.248	1.178 ± 0.296	0.345
总胆固醇	4.056 ± 1.196	4.453 ± 1.873	0.487
同型半胱氨酸	18.76 ± 6.176	16.73 ± 6.698	0.328



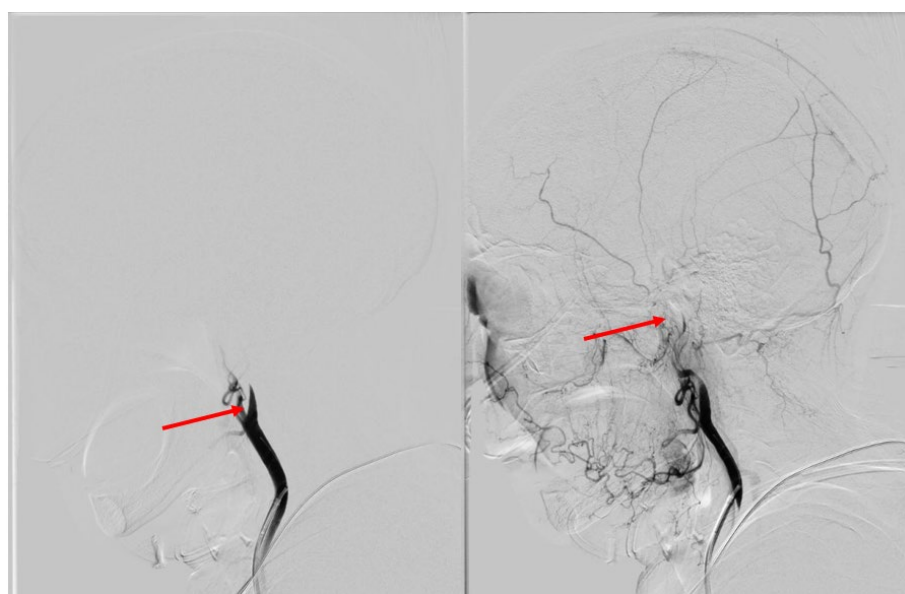
**Figure 1.** 4DCTP image of left internal carotid artery occlusion  
**图 1.** 左侧颈内动脉闭塞 4DCTP 图像



**Figure 2.** DSA roadmap of the same patient  
**图 2.** 同一病人 DSA 路图图像



**Figure 3.** The 4DCTP image of another patient with left internal carotid artery occlusion  
**图 3.** 另外一左侧颈内动脉闭塞 4DCTP 图像



**Figure 4.** DSA Image of the same patient  
**图 4.** 同一病人的 DSA 图像

如一例 86 岁女性患者于绿色通道急诊完善一站式 CTPCTA 检查, 根据 4DCTP 可见左侧颈内动脉真性闭塞, 晚期可见造影剂逆流向下至左侧颈内动脉床突段附近(见图 1), 术中可见延迟路途像左侧颈内动脉起始处闭塞, 晚期造影剂逆流至 C3~C4 段附近, 与术前 4DCTP 图像符合(见图 2)。另外一例 69 岁女性患者 4DCTP 可见左侧颈内动脉闭塞, 晚期见造影剂向上缓慢充盈至 C4 段附近, 结合房颤病史考虑栓塞所致假性闭塞(见图 3)进一步急诊取栓时造影见造影剂缓慢充盈至左侧颈内动脉 C3~C4 段附近, 与术前 4DCTP 图像符合(见图 4)。

### 3.2. 诊断效能分析

为验证 4DCTP 对颈内动脉真性闭塞与假性闭塞的诊断准确性, 以 DSA 为金标准, 对 47 例患者的 4DCTP 诊断效能进行评估。结果显示, 4DCTP 与 DSA 的一致率为 80.9% (38/47)。Kappa 一致性分析显示 Kappa 值为 0.417 ( $P = 0.003$ ), 提示两者具有中等程度的一致性。McNemar 检验显示两种方法的差异无统计学意义( $P = 0.180$ )。4DCTP 诊断的灵敏度为 82.5% (33/40, 95%CI: 67.2%~92.7%), 特异度为 71.4% (5/7, 95%CI: 29.0%~96.3%)。阳性预测值(PPV)为 94.3% (33/35, 95%CI: 80.8%~99.3%), 阴性预测值(NPV)

为 41.7% (5/12, 95%CI: 15.2%~72.3%)。上述结果表明, 4DCTP 在识别真性闭塞时具有较高的阳性预测价值, 但其阴性预测价值较低, 提示阴性结果无法可靠排除假性闭塞。

### 3.3. 不一致病例分析

在 47 例患者中, 4DCTP 与 DSA 诊断不一致者共 9 例(19.1%), 包括 7 例假阴性和 2 例假阳性。假阴性病例(n=7): 即 4DCTP 判为假性闭塞, 但 DSA 证实为真性闭塞。回顾影像特征, 7 例均为大动脉粥样硬化型闭塞, 闭塞节段位于颈内动脉起始部(C1 段)或岩骨段以下。4DCTP 显示晚期有少量造影剂缓慢逆流或侧支代偿充盈, 但 DSA 显示为完全性真性闭塞, 考虑原因可能为重度狭窄基础上近乎闭塞, 极少量造影剂经微小通道缓慢通过, 被 4DCTP 误判为假性闭塞, 另外侧支循环(如眼动脉反流)较丰富, 导致 4DCTP 静脉期出现颈内动脉远端节段性显影, 模拟假性闭塞征象。假阳性病例(n=2): 即 4DCTP 判为真性闭塞, 但 DSA 证实为假性闭塞。两例均为急诊心源性栓塞患者, DSA 显示颈内动脉 T 分叉或大脑中动脉 M1 段栓塞, 但颈内动脉起始部至床突段通畅。4DCTP 上未见颈内动脉全程显影, 误判为真性闭塞。可能由于栓塞部位位于颈内动脉远端(T 分叉), 造影剂在动脉早期无法快速充盈至该节段, 晚期时相因心功能差或造影剂推注速率不足, 仍未能充分显示远端管腔, 导致假阳性。

## 4. 讨论

### 4.1. 4DCTP 的诊断价值与局限性

术前识别颈动脉真性质闭塞或假性闭塞, 初步明确闭塞部位及节段, 对于急性缺血性卒中患者的诊断工作至关重要, 多项研究强调鉴别真性闭塞和假性闭塞的重要性[9], 同时这一重要性在荷兰急性缺血性卒中血管内治疗多中心随机临床试验的结果中得到了体现[10], 在该研究中, 颈动脉闭塞患者从介入治疗中可获得明显疗效, 对于大部分颈内动脉真性闭塞的患者可能需要支架植入, 如判断需要支架植入的患者就诊时即可开始最佳抗血小板和药物治疗(如急诊予以静脉替罗非班), 降低了支架闭塞及远端血管栓塞的风险。传统的 CTA 图像后处理通常使用在动脉高峰期获得的图像。对于颅内闭塞或假性闭塞, 远端对比剂的流出会显著受阻, 但并非完全缺失; 从岩骨段和海绵窦段分支仍有前向流出, 但与正常流出相比, 这种流出受到显著限制导致造影剂无法通过分支“泄洪”, 造影剂无法及时连续地充盈颈内动脉, 在摄取图像时表现出颈内动脉闭塞。因此如果图像在早期获得, 因颈内动脉远端闭塞或次全闭塞而导致造影剂停滞或近似停滞, 图像重建后可能提示血管无造影剂充盈不显影, 得出颈内动脉闭塞的图像。如果图像可以延迟摄取, 则会捕捉造影剂延迟充盈的情况, 导致颈内动脉缓慢显影, 另外多时相的重建可以根据造影剂向上充盈的情况判断病变位置。Marquering 等[11]描述了 6 例患者, 其中传统 CTA 显示颅外 ICA 闭塞, 但血管造影评估证明其结果不准确。在其中 4 例中, 患者被发现颈动脉终末段闭塞, 另外两例中, 观察到远端的严重狭窄。

大血管闭塞的急性脑梗死患者, 完成 2b 及以上血管的再通已被证明是功能预后不良的预测因素结论[12], 颈内动脉假性闭塞病人因多为急性血栓堵塞 T 分叉且未建立良好侧枝循环若未及时再通, 出现大面积脑梗死而导致严重致残的风险较高, 而在真性闭塞患者中, 多因在慢性闭塞过程中(部位多以眼动脉以下), 其建立其侧枝循环(颈外动脉与眼动脉吻合)而预后相对假性闭塞较好, 在该研究中发现非终末段颈内动脉闭塞(ICA-I)与终末段闭塞(ICA-L/-T)的预后差异显著[13]。

### 4.2. 与 4D-CTA 的比较

之前有文献报道 4DCTA 可能比传统 CTA 更有效的无创成像技术, 用于检测颅内颈动脉阻塞和颈动脉假性阻塞, 对这些病变的快速准确检测可能使急性缺血性中风的干预更加高效。但文中提及进行

4DCTA 干预必须权衡这种技术的使用价值与额外辐射剂量的风险[8]。而基于 CTP 图像上重建的 4DCTP 无需额外增加患者所承担的辐射, 同时也能进行血管的多时项重建。由于 4DCTP 图像是多时项的, 有动脉期、毛细血管期及静脉期, 如在静脉期后期采集的, 此时造影剂仍可以缓慢充盈至颈内动脉, 通过这种方式, 可以非侵入性地识别假性闭塞(血流严重减少或延迟)和颅内闭塞, 从而可能在术前对病变有更清晰的了解的情况下, 更快速地进行干预。

### 4.3. 临床应用建议

本研究显示, 4DCTP 具有较高的阳性预测值(94.3%), 表明其阳性结果在临床实践中可信度较高, 可用于指导阳性病例的进一步干预, 术前可根据 4DCTP 重建闭塞部位, 确定闭塞阶段及病变性质, 判断狭窄或者栓塞, 根据病变及性质选择合理急诊介入干预手段, 尽快取得 2b 及以上再通。本研究为回顾性、单中心、小样本研究(仅 47 例), 这是最主要的局限。小样本直接导致各项诊断效能指标的 95%置信区间较宽(如特异度 71.4%, 95%CI: 29.0%~96.3%), 结果稳定性欠佳。尤其值得关注的是, 阴性预测值(NPV)仅为 41.7% (95%CI: 15.2%~72.3%), 提示 4DCTP 阴性结果并不能可靠地排除疾病和预测具体病变部位。因此临床工作中需要强调“4DCTP 阳性可行, 阴性不排除”的核心原则。其次 4DCTP 是基于头部 CTP 多时项重建, 原始图像多于颈内动脉 C1 段以上开始, 部分患者 4DCTP 可见颈内动脉缺失考虑颈内动脉闭塞, 但 CTA 或者 DSA 提示患者颈总动脉闭塞, 这提示 4DCTP 需要结合患者 CTA 或者进一步行 DSA 明确闭塞部位, 如仅通过该方式诊断颈内动脉闭塞需要额外警惕有无误诊的可能, 可结合 CTA 或者进一步 DSA 来佐证。

## 5. 结论

4DCTP 基于原 CTP 模式, 在不额外增加辐射的同时提供灌注图像, 可有效识别颈内动脉假性闭塞与真性闭塞, 尤其具有很高的阳性预测价值(94.3%), 有助于介入医生在术前快速确认真性闭塞并优化手术方案。然而其阴性预测值稍低(41.7%), 不能完全排除假性闭塞, 仍需要进一步行 DSA 明确。此外, 4DCTP 对低位颈总动脉闭塞显示能力有限。鉴于本研究为单中心小样本研究, 后续需开展大样本、多中心研究验证其诊断效能。

## 参考文献

- [1] 国家卫生健康委员会办公厅. 脑血管病防治指南(2024 年版) [J]. 全科医学临床与教育, 2025, 23(5): 239-245.
- [2] Gu, H.Q., Yang, X., Wang, C.J., *et al.* (2021) Clinical Characteristics, Management, and In-Hospital Outcomes in Patients with Stroke or Transient Ischemic Attack in China. *JAMA Network Open*, 4, e2120745. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2021.20745>
- [3] Goyal, M., Menon, B.K., van Zwam, W.H., Dippel, D.W.J., Mitchell, P.J., Demchuk, A.M., *et al.* (2016) Endovascular Thrombectomy after Large-Vessel Ischaemic Stroke: A Meta-Analysis of Individual Patient Data from Five Randomised Trials. *The Lancet*, 387, 1723-1731. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(16\)00163-x](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(16)00163-x)
- [4] Malhotra, K., Goyal, N. and Tsivgoulis, G. (2017) Internal Carotid Artery Occlusion: Pathophysiology, Diagnosis, and Management. *Current Atherosclerosis Reports*, 19, Article No. 41. <https://doi.org/10.1007/s11883-017-0677-7>
- [5] Saini, H., Cerejo, R., Williamson, R. and Malhotra, K. (2022) Internal Carotid Artery Occlusion: Management. *Current Neurology and Neuroscience Reports*, 22, 383-388. <https://doi.org/10.1007/s11910-022-01201-x>
- [6] Marko, M., Cimflova, P., Poppe, A.Y., Kashani, N., Singh, N., Ospel, J., *et al.* (2021) Management and Outcome of Patients with Acute Ischemic Stroke and Tandem Carotid Occlusion in the ESCAPE-NA1 Trial. *Journal of NeuroInterventional Surgery*, 14, 429-433. <https://doi.org/10.1136/neurintsurg-2021-017474>
- [7] Fernández-Gómez, M., Gallo-Pineda, F., Hidalgo-Barranco, C., Castro-Luna, G. and Martínez-Sánchez, P. (2023) Accuracy of Computed Tomography Angiography for Diagnosing Extracranial Mural Lesions in Patients with Acute Internal Carotid Artery Occlusion: Correlation with Digital Subtraction Angiography. *Journal of Personalized Medicine*, 13, Article 1169. <https://doi.org/10.3390/jpm13071169>

- 
- [8] Stephan, A.M., Marshall, C.C., Leonardo, R.C., *et al.* (2018) Use of 4D Computer Tomographic Angiography to Accurately Identify Distal Internal Carotid Artery Occlusions and Pseudo-Occlusions: Technical Note. *Journal of Vascular and Interventional Neurology*, **10**, 39-44.
- [9] Yi, T., Sui, Y., Zheng, D., Ren, X., Lin, X., Wu, Y., *et al.* (2024) Diagnostic Performance of Carotid Ring Sign on Ct-Angiography in Internal Carotid True Occlusion. *Stroke*, **55**, 1025-1031. <https://doi.org/10.1161/strokeaha.123.045156>.
- [10] Berkhemer, O.A., Fransen, P.S.S., Beumer, D., van den Berg, L.A., Lingsma, H.F., Yoo, A.J., *et al.* (2015) A Randomized Trial of Intraarterial Treatment for Acute Ischemic Stroke. *New England Journal of Medicine*, **372**, 11-20. <https://doi.org/10.1056/nejmoa1411587>
- [11] Marquering, H.A., Nederkoorn, P.J., Beenen, L.F., Nijeholt, G.J.L.À., van den Berg, R., Roos, Y.B., *et al.* (2013) Carotid Pseudo-Occlusion on CTA in Patients with Acute Ischemic Stroke: A Concerning Observation. *Clinical Neurology and Neurosurgery*, **115**, 1591-1594. <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2013.02.008>
- [12] Shi, Z., Liebeskind, D.S., Xiang, B., Ge, S.G., Feng, L., Albers, G.W., *et al.* (2014) Predictors of Functional Dependence Despite Successful Revascularization in Large-Vessel Occlusion Strokes. *Stroke*, **45**, 1977-1984. <https://doi.org/10.1161/strokeaha.114.005603>
- [13] Riegler, C., von Rennenberg, R., Bollweg, K., Siebert, E., de Marchis, G.M., Kägi, G., *et al.* (2025) Endovascular Therapy in Patients with Acute Intracranial Non-Terminal Internal Carotid Artery Occlusion (ICA-I). *European Stroke Journal*, **10**, 406-415. <https://doi.org/10.1177/23969873241278948>