



[DOI] 10.3969/j.issn.1001-9057.2023.07.006

<http://www.lcnkzz.com/CN/10.3969/j.issn.1001-9057.2023.07.006>

· 综述与讲座 ·

# 大血管闭塞性急性缺血性卒中机械取栓治疗影像学评估的研究进展

潘良源 廖安宇 程晓青 朱武生

**【摘要】** 大血管闭塞性急性缺血性卒中(LVO-AIS)患者行机械取栓治疗,血管再通成功率高且能带来显著获益。随着治疗时间窗的延长,合理的影像学评估对于患者行机械取栓治疗至关重要。不同的影像学方法在检查内容及提供的信息上各有优势,关键影像学信息有助于临床医师的治疗决策。本文将对 LVO-AIS 患者机械取栓影像学评估方法进行综述。

**【关键词】** 大血管闭塞性急性缺血性卒中; 机械取栓; 影像学

**【中图分类号】** R743.3;R445

**【文献标识码】** A

脑卒中是全球第二大死亡原因<sup>[1]</sup>。2015 年《新英格兰医学杂志》刊登的 5 项大样本随机对照试验研究结果证实了机械取栓对大血管闭塞性急性缺血性卒中(LVO-AIS)的有效性<sup>[2]</sup>,为早期 LVO-AIS 患者带来显著获益,是国内外指南推荐的治疗手段<sup>[3-4]</sup>。2018 年 DAWN<sup>[5]</sup>和 DEFUSE3<sup>[6]</sup>的研究利用高级神经影像技术将机械取栓治疗的时间窗扩展到 24 小时。目前, LVO-AIS 患者需借助影像学检查来判断大血管闭塞及闭塞特征,进行治疗的获益与风险比。本文将介绍急性缺血性卒中(AIS)大血管闭塞、梗死核心、缺血半暗带及侧支循环的影像学评估。

## 一、大血管闭塞特征的评估

评估患者的大血管闭塞及闭塞特征,主要基于 CT、CT 血管造影(CTA)或 MRI 血管造影(MRA)等血管成像技术。当无法进行无创影像学评估,但症状考虑为大血管闭塞时,可行数字减影血管造影(DSA)。

大血管闭塞特征可借助非对比 CT(NCCT)、CTA、MRA 进行识别。CTA 是注射造影剂后对增强的脑血管进行 3D 重建,获取脑血管信息;MRA 通过时间飞跃法、相位对比法或注射造影剂进行 3D 影像重建。目前 CTA 诊断大血管闭塞准确且高效,敏感性可达

100%<sup>[7]</sup>,是当前最常用的方法,能提供主动脉弓解剖、血栓长度、位置、密度、体积等影像学资料。研究表明主动脉弓的解剖变异(Ⅱ型、Ⅲ型、牛型)会使经股动脉机械取栓治疗时间延长<sup>[8]</sup>,此种情况下经桡动脉入路机械取栓可能是可行的方法<sup>[9]</sup>。在机械取栓中,有研究发现再通成功率下降与较长的血栓长度相关,血栓长度是取栓再通失败的预测因素<sup>[10]</sup>,血栓长度与取栓支架长度的比值较高可能增加再通失败和远端栓塞的风险,血栓长度的评估能为取栓支架的选择提供帮助<sup>[11]</sup>。大脑中动脉 M1 段血栓离颈内动脉分叉处越近,机械取栓成功再通的可能性越高<sup>[12]</sup>。术前了解血管走行和血栓形态的信息可帮助介入医师规划血管通路、血管再通策略<sup>[13]</sup>。随着成像技术的进步,多时相 CTA(mCTA)、4D-CTA、动态 CTA 逐步应用于临床。如 mCTA 可提供更多且更为清晰的血栓特征和侧支循环信息<sup>[14]</sup>。MRA 较之 CTA 的优势在于其无需对比剂即可清晰显示血管情况,避免造影剂对患者造成肾功能损伤;无电离辐射<sup>[15-16]</sup>。但行 MRI 检查可使整个卒中管理流程的时间相应延长,因此目前基于 CT 的影像评估使用范围更广。

全脑 DSA 是诊断大血管闭塞的金标准,一般分为 4 个时相:动脉期、毛细血管期、静脉期、静脉窦期,具有即时、准确的特点,但作为有创检查,其具有一定的风险和禁忌证,并非常规的大血管闭塞评估检查。2018 年陈文伙教授等<sup>[17]</sup>提出了机械取栓中微导管“首过效应”现象,有助于判断原位动脉粥样硬化狭窄,该现象可帮助临床医生识别血栓闭塞原因,并指导后续的治疗策略。Arsava 等<sup>[18]</sup>利用微导管越过血栓

基金项目:国家自然科学基金资助项目(82271361);东部战区总医院临床研究续航专项(22LCYY-XH4)

作者单位:210002 南京,南京医科大学金陵临床医学院(潘良源、朱武生);南京大学医学院附属金陵医院 东部战区总医院神经内科(廖安宇、朱武生),放射诊断科(程晓青)

通讯作者:朱武生, E-mail: wusheng.zhu@nju.edu.cn

造影对机械取栓患者闭塞远端顺行血流进行评估,发现毛细血管期微循环障碍的患者再灌注分级和临床预后均未取得良好的结果。除定性评估外,许多学者还利用 DSA 定量评估进行探索。DSA 灌注血管造影成像技术是通过在图像上划定感兴趣区并计算平均通过时间,转化为脑灌注指数彩色编码图像,对不同脑血管疾病进行研究的一种手段。有研究使用该技术分析急性卒中血管内治疗后的微循环状态,发现术后出血的发生在平均通过时间上呈 U 型分布,其预测出血的敏感度为 81%、特异度为 94%,对患者的预后评估具有一定价值<sup>[19]</sup>。有学者计算脑微血管循环时间(mCCT),以此评价脑组织微循环功能,多因素分析结果显示 mCCT 与不良预后显著相关,通过 DSA 测量获得的 mCCT 可反映脑组织微循环功能,且是患者 90 天功能预后的有效预测因素<sup>[20]</sup>。

## 二、梗死核心的评估

梗死核心是指发生不可逆损伤的脑组织,当前评估梗死核心的方法主要是 Alberta 卒中项目早期 CT 评分(ASPECTS)和基于 CT 灌注(CTP)的梗死核心体积。梗死核心的大小与患者的临床预后显著相关,梗死核心越小,患者获得良好预后的可能越大<sup>[21]</sup>。

ASPECTS 是基于 NCCT 的一种简单、系统且可靠的缺血性脑卒中早期缺血改变半定量评价方法,广泛应用于多模式影像中<sup>[22]</sup>。一项基于 5 项大型研究的 Meta 分析结果提示 ASPECTS  $\geq 6$  分患者取栓治疗能够取得明显获益<sup>[23]</sup>,随着 ASPECTS 分值的增加,患者获益持续增加<sup>[24]</sup>。目前,多模式影像学 ASPECTS 和自动化 ASPECTS 随技术的发展均应用于临床,基于 CTP 和 CTA 的 ASPECTS、许多基于机器学习的自动化 ASPECTS 均具有极大的使用价值<sup>[25-27]</sup>。

CTP 可区分梗死核心和缺血半暗带,是指在静脉注射对比剂的同时,对选定层面通过连续多次同层扫描,获得该层面每一像素的时间-密度曲线,计算出脑血流量(CBF)、脑血容量(CBV)、达峰时间(TTP)及平均通过时间(MTT),以此来评价脑组织灌注状态。梗死核心在 NCCT 上为低密度区,在 CTP 上指与正常脑组织相比,CBF 减少超过 30% 的区域。一项研究显示在缺血灶辨别的能力上,NCCT 敏感度为 43.3%,而 CTP 为 80.1%,敏感度较前者提高了近 1 倍,诊断价值更高<sup>[28]</sup>。

大面积梗死核心同样基于上述方法进行评估。一项 Meta 分析结果显示,大面积梗死核心的定义不同,进行血管内治疗后获得良好功能预后的比例可能类似:基于 CTP 评估时,当大面积梗死核心被定义为梗

死核心体积  $\geq 50$  ml 和  $\geq 70$  ml 时,分别有 23% 和 24% 的患者获得神经功能独立<sup>[29]</sup>。大面积梗死部位的不同并非取栓后良好预后的独立预测因素,对功能结局无影响<sup>[30]</sup>,但可能存在部分患者从血管内治疗中获益。近期,SELECT2 研究和 ANGEL-ASPECT 研究利用 ASPECTS 和 CTP 纳入大面积梗死核心患者,证实该类患者进行机械取栓的有效性<sup>[31-32]</sup>。

水摄取率(NWU)是指基于 CT 密度变化计算的一项定量影像学标志物,能够反应组织水肿程度<sup>[33]</sup>。基于 ASPECTS 的 NWU 可被用于确定不明时间卒中患者的发病时间<sup>[34]</sup>。在梗死病变范围大的患者中,可能从 EVT 中获益的患者具有低 NWU 的特征<sup>[35]</sup>。早期梗死病变的 NWU 值也可作为低 ASPECTS 患者行机械取栓治疗无效的预测指标<sup>[36]</sup>。

## 三、缺血半暗带的评估

缺血半暗带评估对于患者的溶栓、取栓治疗起到指导作用,缺血半暗带与梗死核心的不匹配对于选择适合治疗的患者至关重要<sup>[37]</sup>。当前主要利用 CTP、DWI、MRI 灌注等技术快速识别缺血半暗带,并筛选适合进行机械取栓治疗的患者。

超窗患者(发病时间  $> 6$  小时)进行 CTP 评估是必要的,其对患者是否能进行机械取栓起着决定性作用<sup>[4]</sup>。Marta 等<sup>[38]</sup>探索了 CTP 对血管闭塞的检测效能和对取栓率的影响,共纳入 338 例疑似 AIS 且行 NCCT、CTA 和 CTP 的患者,发现仅使用 CTA 评估血管闭塞会导致遗漏部分可行 EVT 治疗的患者,而进行 CTP 检查可提高血管闭塞的诊断率并筛选出适合进行 EVT 的患者。Alzahrani 等<sup>[39]</sup>在 CTP 的基础上利用 NCCT 去检测脑组织活力,NCCT 上低密度区有近一半在 CTP 上是缺血半暗带而非核心梗死区,在诊断价值上不及 CTP。

尽管 CTP 的检测效能显著优于 NCCT,但过度的依赖可能限制机械取栓的潜在适应证人群。CLEAR 研究在超时间窗卒中患者筛选上,发现 NCCT + CTA 的术前评估与 CTP 或 MRI 的评估相比,患者临床结局无显著差异,利用 NCCT 进行患者筛选有可能拓宽患者的适应证,成为 CTP 或 MRI 的术前评估替代方案<sup>[40]</sup>。另一方面,CTP 存在一些技术(患者的运动、对比剂注射与扫描不同步、辐射剂量大等)和诊断(核心体积测量误差、缺血半暗带区分错误)方面的缺陷,需要进一步思考对策去解决<sup>[41]</sup>。

在 AIS 患者中,病灶在 MRI 弥散加权成像(DWI)表现为高信号,表观弥散系数为低信号<sup>[42]</sup>。MRI 灌注通过注射造影剂或动脉自旋标记(ASL)的方法得到图

像,其缺血半暗带计算是通过对比 CBF、TTP 或 MTT 与 DWI 的差异得出,由于 DWI 的敏感性与特异性高,所以 MRI 灌注所得到的结果更为精准。欧洲一项多中心、大样本回顾性研究结果显示,采取 MRI 模式选择取栓患者较使用 CT 模式时间延误 30 分钟,尽管以 MRI 为基础的影像学检查会延缓大血管闭塞患者的诊疗时间,但其预后及死亡率优于 CT 模式<sup>[43-44]</sup>,提示机械取栓采用 MRI 模式评估检查可行。

取栓后出现 ASL 高灌注患者出血转化的发生率高于无灌注患者,但 ASL 高灌注是 90 天良好功能预后的独立预测指标,与早期神经功能预后呈正相关<sup>[45-46]</sup>。ASL-灌注加权成像(PWI)可能作为一种无创成像工具来监测缺血卒中患者取栓后的再灌注状态和预测早期神经系统预后<sup>[47]</sup>。

#### 四、侧支循环的评估

当大脑的供血动脉严重狭窄或闭塞时,血流通过其他血管到达缺血区域,使缺血的脑组织获得程度不等的灌注代偿,为脑侧支循环。评估侧支循环一定程度上可识别能从再灌注治疗中获益的患者<sup>[48]</sup>,且侧支循环状态对机械取栓治疗患者预后具有重要预测价值<sup>[49]</sup>。当前主要为基于 DSA 和 CTA 的侧支循环评估,也有利用 MRA、经颅多普勒超声等方法。

DSA 是评估侧支循环的金标准,目前主要采用美国介入和治疗神经放射学学会/介入放射学会(ASTIN/SIR)侧支循环评估系统。其中 0~1 级为侧支循环差,2 级为侧支循环中等,3~4 级为侧支循环良好<sup>[50]</sup>。毛细血管指数(CIS)也可用于评价侧支循环,良好的 CIS 可作为急性前循环大血管闭塞脑卒中患者血管内治疗前评估脑灌注情况的潜在替代指标,是患者预后良好的预测因子<sup>[51]</sup>。Consoli 等<sup>[52]</sup>探讨侧支循环静脉相(CVP)与临床预后、神经影像学结果的关系,并与 ASITN/SIR 分级相比较、关联,其中 CVP 被定义为侧支循环区域皮层下静脉的显影。该研究结果提示,有良好动脉侧支且有 CVP 的患者比有良好动脉侧支无 CVP 的患者更易观察到好的临床、神经影像学结果,说明 DSA 静脉期改变可反映脑血流储备、侧支循环功能及评估临床预后。

CTA 是当前最常用的无创侧支循环评估方法。主要有单时相 CTA(sCTA)和 mCTA,还包括动态 CTA。sCTA 主要扫描动脉期的血管情况评估软脑膜侧支循环,基于 sCTA 的量表主要为 Tan 评分<sup>[53]</sup>、区域软脑膜评分(rLMC)<sup>[54]</sup>。良好的侧支循环状态与更好的临床功能转归相关<sup>[55]</sup>。研究结果显示 rLMC 评分与超急性脑梗死的生长有显著相关性<sup>[54]</sup>,也可预测

AIS 患者溶栓后的预后结局,rLMC 分数越低,相应的预后越差<sup>[56]</sup>。当前,mCTA 不仅扫描对比剂在动脉内达到浓度峰值的时间点,还增加了静脉早期、晚期的时相,评价侧支循环时能直观根据造影剂充盈情况进行对比,显示侧支循环流动情况,准确评估侧支循环<sup>[57]</sup>。在 mCTA 中,良好的脑静脉状态与行 EVT 术后良好功能预后、成功再通及取栓次数较少独立相关<sup>[58-59]</sup>。

综上所述,随着 LVO-AIS 治疗时间窗的延长,LVO-AIS 患者是否适合进行机械取栓治疗需要进行影像学评估。影像学技术能确定患者的血管闭塞部位和闭塞特征,评估侧支循环、梗死核心及缺血半暗带,衡量患者行机械取栓治疗的获益风险比,对于了解患者的血管解剖结构、血栓特征、决定治疗手术方案、进一步改善患者预后具有重要意义。

#### 参 考 文 献

- [1] GBD 2019 Stroke Collaborators. Global, regional, and national burden of stroke and its risk factors, 1990-2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019 [J]. *Lancet Neurol*, 2021, 20 (10): 795-820.
- [2] Goyal M, Menon BK, Van Zwam WH, et al. Endovascular thrombectomy after large-vessel ischaemic stroke: a meta-analysis of individual patient data from five randomised trials [J]. *Lancet*, 2016, 387 (10029): 1723-1731.
- [3] 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, 中华医学会神经病学分会神经血管介入协作组. 中国急性缺血性卒中早期血管内介入诊疗指南 2022 [J]. *中华神经科杂志*, 2022, 55 (6): 565-580.
- [4] Powers WJ, Rabinstein AA, Ackerson T, et al. Guidelines for the Early Management of Patients With Acute Ischemic Stroke: 2019 Update to the 2018 Guidelines for the Early Management of Acute Ischemic Stroke: A Guideline for Healthcare Professionals From the American Heart Association/American Stroke Association [J]. *Stroke*, 2019, 50 (12): e344-e418.
- [5] Nogueira RG, Jadhav AP, Haussen DC, et al. Thrombectomy 6 to 24 Hours after Stroke with a Mismatch between Deficit and Infarct [J]. *N Engl J Med*, 2018, 378 (1): 11-21.
- [6] Albers GW, Marks MP, Kemp S, et al. Thrombectomy for Stroke at 6 to 16 Hours with Selection by Perfusion Imaging [J]. *N Engl J Med*, 2018, 378 (8): 708-718.
- [7] Alagoz AN, Acar BA, Acar T, et al. Relationship Between Carotid Stenosis and Infarct Volume in Ischemic Stroke Patients [J]. *Med Sci Monit*, 2016, 22: 4954-4959.
- [8] Snelling BM, Sur S, Shah SS, et al. Unfavorable Vascular Anatomy Is Associated with Increased Revascularization Time and Worse Outcome in Anterior Circulation Thrombectomy [J]. *World Neurosurg*, 2018, 120: e976-e983.
- [9] Goldman DT, Bageac D, Mills A, et al. Transradial Approach for Neuroendovascular Procedures: A Single-Center Review of Safety and Feasibility [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2021, 42 (2): 313-318.
- [10] Lee DH, Sung JH, Yi HJ, et al. Effect on Successful Recanalization of Thrombus Length in Susceptibility-weighted Imaging in Mechanical Thrombectomy with Stent Retrieval [J]. *Curr Neurovasc Res*, 2021, 18 (1): 78-84.
- [11] Belachew NF, Dobrocky T, Meinel TR, et al. Risks of Undersizing Stent Retriever Length Relative to Thrombus Length in Patients with Acute Ischemic Stroke [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2021, 42 (12): 2181-2187.
- [12] Sengeze N, Gray S. Distance to Thrombus in Endovascular Treatment of Middle Cerebral Artery M1 Occlusion Predicts Recanalization Success and Clinical Outcome [J]. *Arch Iran Med*, 2021, 24 (2): 113-117.
- [13] Menon BK, Qazi E, Nambiar V, et al. Differential Effect of Baseline Computed Tomographic Angiography Collaterals on Clinical Outcome in Patients Enrolled in the Interventional Management of Stroke III Trial [J]. *Stroke*, 2015, 46 (5): 1239-1244.
- [14] Polito V, La Piana R, Del Pilar Cortes M, et al. Assessment of clot length with multiphase CT angiography in patients with acute ischemic



- stroke[J]. *Neuroradiol J*, 2017, 30(6):593-599.
- [15] Chen Q, Wang W, Chen YC, et al. Peri-thrombus vascular hyperintensity sign: detection of intracranial thrombus location and length in acute ischemic stroke[J]. *Jpn J Radiol*, 2020, 38(6):516-523.
  - [16] Dhundass S, Savatovsky J, Duron L, et al. Improved detection and characterization of arterial occlusion in acute ischemic stroke using contrast enhanced MRA[J]. *J Neuroradiol*, 2020, 47(4):278-283.
  - [17] Yi TY, Chen WH, Wu YM, et al. Microcatheter "First-Pass Effect" Predicts Acute Intracranial Artery Atherosclerotic Disease-Related Occlusion[J]. *Neurosurgery*, 2019, 84(6):1296-1305.
  - [18] Arsava EM, Arat A, Topcuoglu MA, et al. Angiographic Microcirculatory Obstructions Distal to Occlusion Signify Poor Outcome after Endovascular Treatment for Acute Ischemic Stroke[J]. *Transl Stroke Res*, 2018, 9(1):44-50.
  - [19] Kosior JC, Buck B, Wannamaker R, et al. Exploring Reperfusion Following Endovascular Thrombectomy[J]. *Stroke*, 2019, 50(9):2389-2395.
  - [20] Ji Y, Shi B, Yuan Q, et al. Effect of prolonged microcirculation time after thrombectomy on the outcome of acute stroke[J]. *J Neurointerv Surg*, 2022; jnis-2022-019566.
  - [21] Koopman MS, Hoving JW, Kappelhof M, et al. Association of Ischemic Core Imaging Biomarkers With Post-Thrombectomy Clinical Outcomes in the MR CLEAN Registry[J]. *Front Neurol*, 2021, 12:771367.
  - [22] Barber PA, Demchuk AM, Zhang J, et al. Validity and reliability of a quantitative computed tomography score in predicting outcome of hyperacute stroke before thrombolytic therapy. ASPECTS Study Group. Alberta Stroke Programme Early CT Score[J]. *Lancet*, 2000, 355(9216):1670-1674.
  - [23] Goyal M, Menon BK, Van Zwam WH, et al. Endovascular thrombectomy after large-vessel ischaemic stroke: a meta-analysis of individual patient data from five randomised trials[J]. *Lancet*, 2016, 387(10029):1723-1731.
  - [24] Yoo AJ, Berkhemer OA, Fransen PSS, et al. Effect of baseline Alberta Stroke Program Early CT Score on safety and efficacy of intra-arterial treatment: a subgroup analysis of a randomised phase 3 trial (MR CLEAN)[J]. *Lancet Neurol*, 2016, 15(7):685-694.
  - [25] Hoelter P, Muehlen I, Goeltz P, et al. Automated ASPECT scoring in acute ischemic stroke: comparison of three software tools[J]. *Neuroradiology*, 2020, 62(10):1231-1238.
  - [26] Lee BH, Hwang YJ, Kim JW. Delayed phase computed tomography angiography ASPECTS predicts clinical outcome and final infarct volume[J]. *PLoS One*, 2020, 15(9):e0239510.
  - [27] Wang T, Chen L, Jin X, et al. CT perfusion based ASPECTS improves the diagnostic performance of early ischemic changes in large vessel occlusion[J]. *BMC Med Imaging*, 2021, 21(1):67.
  - [28] Bill O, Inacio NM, Lambrou D, et al. Focal Hypoperfusion in Acute Ischemic Stroke Perfusion CT: Clinical and Radiologic Predictors and Accuracy for Infarct Prediction[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2019, 40(3):483-489.
  - [29] Wang J, Qiu J, Wang Y. Neurological Functional Independence After Endovascular Thrombectomy and Different Imaging Modalities for Large Infarct Core Assessment: A Systematic Review and Meta-analysis[J]. *Clin Neuroradiol*, 2023, 33(1):21-29.
  - [30] Panni P, Michelozzi C, Blanc R, et al. The role of infarct location in patients with DWI-ASPECTS 0-5 acute stroke treated with thrombectomy[J]. *Neurology*, 2020, 95(24):e3344-e3354.
  - [31] Huo X, Ma G, Tong X, et al. Trial of Endovascular Therapy for Acute Ischemic Stroke with Large Infarct[J]. *N Engl J Med*, 2023, 388(14):1272-1283.
  - [32] Sarraj A, Hassan AE, Abraham MG, et al. Trial of Endovascular Thrombectomy for Large Ischemic Strokes[J]. *N Engl J Med*, 2023, 388(14):1259-1271.
  - [33] Minnerup J, Brooks G, Kalkoffen J, et al. Computed tomography-based quantification of lesion water uptake identifies patients within 4.5 hours of stroke onset: A multicenter observational study[J]. *Ann Neurol*, 2016, 80(6):924-934.
  - [34] Cheng X, Wu H, Shi J, et al. ASPECTS-based net water uptake as an imaging biomarker for lesion age in acute ischemic stroke[J]. *J Neurol*, 2021, 268(12):4744-4751.
  - [35] Rocha M, Jovin TG. Fast Versus Slow Progressors of Infarct Growth in Large Vessel Occlusion Stroke: Clinical and Research Implications[J]. *Stroke*, 2017, 48(9):2621-2627.
  - [36] Brooks G, Meyer L, Elsayed S, et al. Association Between Net Water Uptake and Functional Outcome in Patients With Low ASPECTS Brain Lesions: Results From the I-LAST Study[J]. *Neurology*, 2023, 100(9):e954-e963.
  - [37] Hill MD, Goyal M, Demchuk AM, et al. Ischemic Stroke Tissue-Window in the New Era of Endovascular Treatment[J]. *Stroke*, 2015, 46(8):2332-2334.
  - [38] Olive-Gadea M, Requena M, Diaz F, et al. Systematic CT perfusion acquisition in acute stroke increases vascular occlusion detection and thrombectomy rates[J]. *J Neurointerv Surg*, 2022, 14(12):1270-1273.
  - [39] Alzahrani A, Zhang X, Albukhari A, et al. Assessing Brain Tissue Viability on Nonenhanced Computed Tomography After Ischemic Stroke[J]. *Stroke*, 2023, 54(2):558-566.
  - [40] Nguyen TN, Abdalkader M, Nagel S, et al. Noncontrast Computed Tomography vs Computed Tomography Perfusion or Magnetic Resonance Imaging Selection in Late Presentation of Stroke With Large-Vessel Occlusion[J]. *JAMA Neurol*, 2022, 79(1):22-31.
  - [41] Vagal A, Wintermark M, Nael K, et al. Automated CT perfusion imaging for acute ischemic stroke: Pearls and pitfalls for real-world use[J]. *Neurology*, 2019, 93(20):888-898.
  - [42] Panni P, Gory B, Xie Y, et al. Acute Stroke With Large Ischemic Core Treated by Thrombectomy[J]. *Stroke*, 2019, 50(5):1164-1171.
  - [43] Meinel TR, Kaesmacher J, Mosimann PJ, et al. Association of initial imaging modality and futile recanalization after thrombectomy[J]. *Neurology*, 2020, 95(17):e2331-e2342.
  - [44] Menon BK, Sajobi TT, Zhang Y, et al. Analysis of Workflow and Time to Treatment on Thrombectomy Outcome in the Endovascular Treatment for Small Core and Proximal Occlusion Ischemic Stroke (ESCAPE) Randomized, Controlled Trial[J]. *Circulation*, 2016, 133(23):2279-2286.
  - [45] Lu SS, Cao YZ, Su CQ, et al. Hyperperfusion on Arterial Spin Labeling MRI Predicts the 90-Day Functional Outcome After Mechanical Thrombectomy in Ischemic Stroke[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2021, 53(6):1815-1822.
  - [46] Luijten SPR, Bos D, Van Doormaal PJ, et al. Cerebral blood flow quantification with multi-delay arterial spin labeling in ischemic stroke and the association with early neurological outcome[J]. *Neuroimage Clin*, 2023, 37:103340.
  - [47] Yoo RE, Yun TJ, Yoo DH, et al. Monitoring cerebral blood flow change through use of arterial spin labelling in acute ischaemic stroke patients after intra-arterial thrombectomy[J]. *Eur Radiol*, 2018, 28(8):3276-3284.
  - [48] Jansen IGH, Berkhemer OA, Yoo AJ, et al. Comparison of CTA- and DSA-Based Collateral Flow Assessment in Patients with Anterior Circulation Stroke[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2016, 37(11):2037-2042.
  - [49] Duan Z, Huang X, Gao J, et al. Application of capillary index score in predicting three-month functional outcome after endovascular treatment for acute ischemic stroke in China[J]. *Interv Neuroradiol*, 2020, 26(3):309-315.
  - [50] Liu L, Ding J, Leng X, et al. Guidelines for evaluation and management of cerebral collateral circulation in ischaemic stroke 2017[J]. *Stroke Vase Neurol*, 2018, 3(3):117-130.
  - [51] Al-Ali F, Jefferson A, Barrow T, et al. The capillary index score: rethinking the acute ischemic stroke treatment algorithm. Results from the Borgess Medical Center Acute Ischemic Stroke Registry[J]. *J Neurointerv Surg*, 2013, 5(2):139-143.
  - [52] Consoli A, Pizzuto S, Sgreccia A, et al. Angiographic collateral venous phase: a novel landmark for leptomeningeal collaterals evaluation in acute ischemic stroke[J]. *J Neurointerv Surg*, 2022; jnis-2022-019653.
  - [53] Liebeskind DS, Saber H, Xiang B, et al. Collateral Circulation in Thrombectomy for Stroke After 6 to 24 Hours in the DAWN Trial[J]. *Stroke*, 2022, 53(3):742-748.
  - [54] Pühr-Westerheide D, Tiedt S, Rotkopf LT, et al. Clinical and Imaging Parameters Associated With Hyperacute Infarction Growth in Large Vessel Occlusion Stroke[J]. *Stroke*, 2019, 50(10):2799-2804.
  - [55] Uniken Venema SM, Dankbaar JW, Wolff L, et al. Collateral status and recanalization after endovascular treatment for acute ischemic stroke[J]. *J Neurointerv Surg*, 2023, 15(6):531-538.
  - [56] Tang B, Zeng J, Liu L, et al. Evaluating the Prognosis of Ischemic Stroke Using Low-Dose Multimodal Computed Tomography Parameters in Hyperacute Phase[J]. *J Comput Assist Tomogr*, 2019, 43(1):22-28.
  - [57] Garcia-Tornel A, Carvalho V, Boned S, et al. Improving the Evaluation of Collateral Circulation by Multiphase Computed Tomography Angiography in Acute Stroke Patients Treated with Endovascular Reperfusion Therapies[J]. *Interv Neurol*, 2016, 5(3-4):209-217.
  - [58] Faizy TD, Kabiri R, Christensen S, et al. Association of Venous Outflow Profiles and Successful Vessel Reperfusion After Thrombectomy[J]. *Neurology*, 2021, 96(24):e2903-e2911.
  - [59] Van Horn N, Heit JJ, Kabiri R, et al. Cerebral venous outflow profiles are associated with the first pass effect in endovascular thrombectomy[J]. *J Neurointerv Surg*, 2022, 14(11):1056-1061.

(收稿日期:2023-06-24)

(本文编辑:高婷)