

急性缺血性脑卒中血栓影像学特征的研究进展

余锐 林翔 楚兰

【中图分类号】 R743.3 【文献标识码】 A 【文章编号】 1007-0478(2023)02-0210-04
【DOI】 10.3969/j.issn.1007-0478.2023.02.018

根据《中国脑卒中防治报告 2020》^[1],脑卒中是我国成人致死、致残的首要原因。急性缺血性脑卒中具有较高发病率、致残率、病死率、复发率、经济负担五大特点。静脉溶栓及血管内治疗是目前急性缺血性脑卒中两种标准治疗方法,发病4.5 h时间窗内推荐静脉溶栓治疗,发病时间窗 6 h 内可采用血管内治疗,但具体采取哪种治疗措施,需根据患者的症状、体征以及影像学检查表现综合分析后进行决策。血管内治疗取回的血栓具有独特的组织学及影像学特点,不断发展的影像学技术也有助于血栓研究,可为脑卒中病因、栓子来源、脑卒中治疗前决策及再灌注预后评估提供信息。本研究现就急性缺血性脑卒中血栓影像学特征与再通方式选择及再通预后评估之间的关系进行综述。

1 血栓长度

1.1 测量方式

血栓长度是评估急性缺血性脑卒中前循环大血管闭塞的首选影像学参数之一^[2],血栓长度多采用 x 线计算机断层扫描(Computed tomography, CT)或 CT 血管造影(Computed tomography angiography, CTA)进行测量,CTA 获取的图像使用 3D Slicer 软件自动与平扫 CT 图像对准后再使用 ITK-SNAP 软件轴向于平扫 CT 图像中手动绘制血栓轮廓,即可测量血栓长度^[3]。但如果受累血管钙化或血栓红细胞含量增加会导致平扫 CT 血栓长度测量存在误差^[4]。此外,急性缺血性脑卒中早期期 CTA 检查会因为没有足够侧支血流供应血栓远端,使得 CTA 在血栓长度测量上具有一定局限性。磁共振成像(Magnetic resonance imaging, MRI)也可用于血栓长度测量,三维黑血增强 MRI (3D Blackblood MRI)上的血栓周围血管高信号征(Peri-thrombus vascular hyperintensity sign, PVHS)对动脉闭塞具有很高特异性,血栓周围血管高信号征定义为缺血区充盈缺损周围的管状或蛇形高信号,而三维黑血增强 MRI 上的低信号则标记为腔内血栓^[5],记录下血栓周围血管高信号征后使用曲面重建图像技术 CPR(Curved planar reformation)即可测量血栓长度。另外,延迟钆增强 T₁ 序列(Delayed gadolinium enhanced T₁ sequence, DGE-T₁)可以清楚显示血栓远端的血管^[6],而飞行时间磁共振血管造影(Time-of-flight magnetic resonance angiography, TOF-MRA)只显示未闭塞血管,二者图像配准后手动测量闭塞近端与远端,即为血栓长度。

1.2 血栓长度与再通预后之间的关系

血栓长度是静脉溶栓和血管内治疗患者预后的重要决定因素。对于静脉溶栓治疗,血栓长度越长,静脉溶栓再通可能性越低,血管内治疗可能性越大。既往研究发现血栓长度 ≥ 8 mm 时静脉溶栓后血管再通率极大降低^[7]。但是 Ganeshan 等^[8]的研究(总共纳入 34 例研究对象)显示静脉溶栓治疗为主的患者中临床结局差[改良 Rankin 量表(Modified Rankin scale, mRS)评分 ≥ 3 分]者血栓长度中位数是 11.3 mm。对于血管内治疗, Lee 等^[9]认为血栓长度是机械血栓切除术再通失败的预测因素,再通成功率的显著下降与较长的血栓长度有关。MR CLEAN 研究探索了血栓成像特征与血管内治疗患者预后之间的关系,发现预后良好者血栓长度中位数是 12.7 mm,长度较短的血栓更可能位于血管闭塞处远端,且血栓负荷较高,通透性增加。此外,血栓长度每增加 1 mm,血管内治疗持续时间增加 7~8 min^[10]。也有研究认为在大血管闭塞中血栓长度只有在 <14 mm 时患者早期再通概率才会随灌注增加而降低,长度 >14 mm 的血栓与灌注之间的关联需要进一步分析^[11]。同样的,有人认为血栓长度越长,机械取栓时发生远端栓塞并发症的可能性越高^[12]。在机械取栓术中血栓长度与支架取回器长度之间的比值也是影响预后的重要指标,血栓长度与支架取回器长度比值过高会增加再通失败及栓塞的风险^[13],机械取栓术前应尽可能使支架取回器长度与血栓长度相适应,也就是说影像学测定的血栓长度可以帮助选择支架取回器,从而避免不必要的长支架及造成不成功再通的情况,且增加介入围手术期并发症的风险。然而,血栓长度会受到侧支循环影响,侧支循环充盈缓慢会导致血栓长度增加^[14],对于行静脉溶栓治疗的患者,检查过程所耗时间及溶栓剂的使用都会影响血栓长度测量;对于桥接静脉溶栓的血管内治疗患者,中间等待时间及个人对溶栓剂反应等各种因素也会使得各指标测量不准确。

2 血栓位置

2.1 测量方式

血栓位置多使用对比增强磁共振血管造影(Contrast enhanced magnetic resonance angiography, CE-MRA)获得^[15],也可采用上述三维黑血增强 MRI,记录下血栓周围血管高信号征后使用曲面重建图像技术处理得到血栓位置,当三维黑血增强 MRI 与对比增强磁共振血管造影数据之间存在差异时血栓周围血管高信号征可作为指导临床医生进行血管内治疗的有用指标。

2.2 血栓位置与再通预后之间的关系

血栓位置是急性缺血性脑卒中再通结局的重要决定因素,更远端的闭塞会获得更高的再通率^[10,16]。在一项关于血栓位置与灌注损伤预后的研究中(共纳入 58 例接受静脉溶栓治疗的脑卒中患者)数据分析发现 M1 中段闭塞基本上充当了临床结果不佳和良好之间的分界线,血栓位置越远,再通可能性就越大^[17]。在 INTERSECT 研究中血栓位置从颈内动脉移动到大脑中动脉 M1 段近端,到 M1 段远端, M2 段,最后到 M3 段,再通的可能性逐渐增加^[18]。另外,有两项研究分析了急性大脑中动脉 M1 段闭塞患者行血管内治疗后血栓位置与再通成功率之间的关系,通过入院 CTA 测量血栓位置至颈内动脉分叉之间的距离,均发现 M1 段血栓与颈内动脉分叉处的距离越短,血管内治疗后再通成功率就越高^[19,20]。也就是说,对于 M1 中段远端闭塞的患者选择静脉溶栓再通可能性越大, M1 中段以内距离颈内动脉分叉处越近,血管内治疗的疗效更佳,但需要更多研究为此说法提供更多有力证据。值得注意的是,血栓闭塞部位往往不局限于某一位置,颅内多发血栓的患者往往会出现更大缺血面积及更严重症状,同时表现出更差的侧支循环及更加不良的结果。

3 血栓密度

3.1 测量方式

血栓密度多采用平扫 CT 记录的 CT 值(Hounsfield, HU)评估。自动化血栓密度测量方法分三步分割 CTA 图像中的血栓,第一步:经过训练的观察者手动放置 2 个种子点(Regions of interest, ROI)来分割对侧血管,并记录平均 CT 值作为绝对血栓密度(Absolute HU, AHU);第二步:通过镜像对称性将对侧分割映射到闭塞动脉来分割闭塞动脉,同样记录对侧动脉 CT 值(Contralateral HU, CHU),计算相对血栓密度(Relative HU, RHU) ($DHU = AHU - CHU$, $RHU = AHU/CHU$);第三步:基于区域强化程度来分割血栓。将 CTA 图像和平扫 CT 图像严格配准后 CTA 图像上被分割的血栓影就自动投影到平扫 CT 上,可在平扫 CT 上测量血栓密度及血栓体积^[21-22]。当 $DHU \geq 4HU$ ^[21](或观察到不对称性密度增加)时可发现动脉高密度征(Hyperdense artery sign, HAS)^[23],动脉高密度征是指在平扫 CT 下因血管闭塞导致血流阻断,局部红细胞聚集而呈现出的高密度征象。其他血栓密度测量方法还有人工选择血栓 3 个点测量 CT 值,计算平均 CT 值得到绝对血栓密度。血栓测量点选择越多及平扫 CT 厚度越薄,测量结果越准确。

3.2 血栓密度与再通预后之间的关系

多数研究证明血栓密度越高,血管再通成功率越高,预后更好^[2,24-25]。对于血管内治疗方式的选择,高密度血栓用支架取回器再通效果优于接触性抽吸取栓,而低密度血栓更适用于接触性抽吸方法。血栓密度越高预后及再通效果更好的原因可能与血栓组织学成分有关,高密度血栓富含红细胞^[21,26],比起富含纤维蛋白及血小板的血栓更加疏松^[27-28],有更充分的灌注且对溶栓剂的反应更好,取栓器也更易取回,而低密度的血栓富含纤维蛋白,用接触性抽吸的方式血栓清除率更高^[29]。进行机械血栓切除术(Mechanical thrombectomy, MT)的患者,虽然取栓方式和术前静脉溶栓

都可能使血栓变得不稳定,从而出现继发性栓塞,但是血栓密度增高本身也会增加继发性栓塞的可能性^[30]。关于高血栓密度是否为良好预后预测指标的研究资料有限,需要进一步研究证明血栓密度对于血管再通预后预测的关键作用。

4 血栓体积

4.1 测量方式

血栓体积测量方法与血栓密度测量方法类似,但多在薄层平扫 CT 上用半自动化软件测量^[31-32]。常规半自动化测量方式为在轴位 CTA 源图像上分别确定血栓近端动脉囊的最大段和闭塞血栓段本身,接着勾画出囊袋和血栓的可能形状且分割;在同时显示的平扫 CT 和 CTA 源图像中视觉上共同配准血栓区域后使用半自动体积分割软件进行体积测量;除了半自动化方式,血栓体积也可使用手工测量,即测量血栓长度及直径,使用圆柱体体积计算方式得出血栓体积,但存在误差。

4.2 血栓体积与再通预后之间的关系

两种再灌注方式中对于血管内治疗,Jang-Hyun Beak 等的研究发现支架取回器再通的急性缺血性脑卒中患者,再通组血栓体积平均为 107.5 mm^3 ,未再通组血栓平均体积为 173.7 mm^3 ,同时随着血栓体积的增大,支架取回次数也逐渐增多,进一步证明血栓体积可以预测首次再通^[33]。对于静脉溶栓治疗,血栓体积也可影响溶栓剂疗效,Adnan Burak Bilgic 等认为血栓体积 $< 45 \text{ mm}^3$ 时早期静脉溶栓后完全恢复的机会增加,在血栓体积 $< 56 \text{ mm}^3$ 的情况下静脉溶栓后早期改善的概率逐渐增加^[31]。此外,在一项纳入总人数为 214 例的回顾性队列研究中预测未再通的血栓体积临界值为 200 mm^3 ^[34]。众多研究均证明血栓体积越小,再灌注效果越好;血栓体积越大,越倾向于血管内治疗。但由于很多血栓在影像学上边界不清、血栓本身成分不同及血栓周围存在不同程度淤血、凝血以及自动化测量及手动测量均存在不准确性,导致可协助预测预后及选择再通策略的血栓体积值缺乏一致性。

5 血栓渗透性

5.1 测量方式

血栓渗透性可用来评估血流及溶栓剂流入血栓或包围血栓的情况,同时血栓渗透性也被认为是衡量血栓疏松的明智指标^[31]。目前测量血栓渗透性的常用方法主要有四种,首先是自动化测量,平扫 CT 和 CTA 上扫描到的血栓分别选择 3 个种子点(ROI),将二者图像上的 3 个点自动配准后计算平均 CT 值;其次是半自动化测量,在平扫 CT 和 CTA 上选择 3 个种子点(ROI),分别计算出各自的最高 CT 值,再测量三点的平均 CT 值,CTA 上的平均 CT 值减去平扫 CT 上的 CT 值即得血栓渗透性;再者是手动测量,在 CTA 图像上选择 1 个近端及远端的种子点,并计算平均 CT 值,估算血栓渗透性;最后是视觉检验方法,目测 CTA 及平扫 CT 上血栓密度的差别,通过造影剂的渗漏判断血栓渗透性^[35]。INTERSECT 研究证明这四种测量方法效果差异不大^[35]。此外,有研究证明动态 CTA 比普通单期 CTA 能更精准测量

血栓渗透性,因为动态 CTA 包括了平扫、动脉及静脉期,能全方位地检测血流的渗透^[36];相反,也有研究者认为动态 CTA 仅动脉期的预测作用显著一些,动态 CTA 相对于单期 CTA 对血栓渗透性的测量差别不大^[37]。这也警示我们在评估血栓渗透性时要考虑造影剂到达血栓且穿透血栓的时间不同,测量到的血栓渗透性可能就会存在差异。有研究把 TAI ≥ 10 HU 的血栓定义为可渗透性血栓(TAI 为 CTA 上血栓密度减去平扫 CT 上血栓密度)^[38]。

5.2 血栓渗透性与再通预后之间的关系

不管是静脉溶栓还是血管内治疗,血栓渗透性高者似乎血管再通率也较高,且拥有较好的临床功能结局^[10,39-41]。这可能是因为渗透性良好的血栓有更多孔隙,密度相对较高,溶栓剂可充分浸润而产生疗效。同时,在血管内治疗方式选择方面渗透性良好的血栓适用于接触抽吸取栓^[42],这与之之前高密度(富含红细胞)血栓适合支架取栓研究是相互矛盾的。血栓成分组织学相关研究表明,高渗透性血栓与较高的红细胞含量、较低的纤维蛋白相关^[38],渗透性较低的血栓与较高的血小板与纤维蛋白水平相关,而富含红细胞的血栓拥有更好的再通预后及有利的临床结局^[27],这与之之前研究结论一致。渗透性增高可以使血流及其携带的氧气及养分送往远端脑组织,以改善预后。同血栓长度一样,血栓渗透性也与侧支循环状态有关,侧支循环良好者血栓渗透性更高^[43]。

6 血栓负荷

6.1 测量方式

血栓负荷是通过血栓负荷评分(Clots burden score, CBS)来测量的,血栓负荷评分是一种基于 CTA 的快速评分系统,它简单而可靠地表征了位于前循环近端的颅内动脉血栓范围和血栓累及的脑动脉节段。血栓负荷从 0~10 分,分数越低反映更广泛的血栓。因此,评分为 10 分表示没有血栓;评分为 0 分表示前循环完全多节段闭塞。

6.2 血栓负荷与再通预后之间的关系

ASTER(用于成功血运重建的接触式抽吸与支架取回器)实验中血栓负荷评分 ≥ 7 分的患者 90 d 的良好结局明显多于血栓负荷评分 0~6 分的患者^[44]。高负荷评分患者血管再通率总体上明显更高^[10,45],低负荷评分者比起静脉溶栓治疗更倾向于血管内治疗^[46]。接受再灌注治疗的急性缺血性脑卒中患者,血栓负荷评分对于良好功能结局和成功再通具有重要的预后预测价值^[47],但是血栓负荷评分对于血管内治疗患者预后的预测能力次于单独静脉溶栓再通者。

7 结束语

急性缺血性脑卒中重要救治原则:时间就是大脑,例如倾向受益于血管内治疗的患者,避免使用静脉溶栓则可减少程序风险及出血、血栓破裂等术后并发症的发生,故快速选择最佳再通方式极其重要,但也极具挑战性。此外,无论是血栓长度、血栓密度、血栓体积,还是血栓渗透性等都未形成具体标准值;同时,没有成熟的血栓影像学特征成像标志物,不能起到规范及准确预测作用。因此,今后可开展更多高质量研究,

帮助临床医生在再通手段干预前借助血栓影像学特征选择可让急性缺血性脑卒中患者获得良好预后的再通策略,通过识别与早期再通相关的影像学特征简化患者治疗流程。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] 王陇德,彭斌,张鸿祺,等. 中国脑卒中防治报告 2020》概要[J]. 中国脑血管病杂志,2022,19(2):136-144.
- [2] Jing M, Yeo JP, Holmin S, et al. Preprocedural imaging: a review of different radiological factors affecting the outcome of thrombectomy[J]. Clin Neuroradiol, 2022, 32(1): 13-24.
- [3] Qiu W, Kuang H, Nair J, et al. Radiomics-Based intracranial thrombus features on CT and CTA predict recanalization with intravenous alteplase in patients with acute ischemic stroke[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2019, 40(1): 39-44.
- [4] Mortimer AM, Little DH, Minhas KS, et al. Thrombus length estimation in acute ischemic stroke; a potential role for delayed contrast enhanced CT[J]. J Neurointerv Surg, 2014, 6(3): 244-248.
- [5] 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.
- [6] Yan S, Chen Q, Xu M, et al. Thrombus length estimation on delayed Gadolinium-Enhanced T1[J]. Stroke, 2016, 47(3): 756-761.
- [7] Kamalian S, Morais LT, Pomerantz SR, et al. Clot length distribution and predictors in anterior circulation stroke: implications for intra-arterial therapy[J]. Stroke, 2013, 44(12): 3553-3556.
- [8] Ganeshan R, Nave AH, Scheitz JF, et al. Assessment of thrombus length in acute ischemic stroke by post-contrast magnetic resonance angiography[J]. J Neurointerv Surg, 2018, 10(8): 756-760.
- [9] 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.
- [10] Dutra BG, Tolhuisen ML, Alves H, et al. Thrombus imaging characteristics and outcomes in acute ischemic stroke patients undergoing endovascular treatment[J]. Stroke, 2019, 50(8): 2057-2064.
- [11] Seners P, Turc G, Lion S, et al. Relationships between brain perfusion and early recanalization after intravenous thrombolysis for acute stroke with large vessel occlusion[J]. J Cereb Blood Flow Metab, 2020, 40(3): 667-677.
- [12] Byun JS, Nicholson P, Hilditch CA, et al. Thrombus perviousness is not associated with first-pass revascularization using stent retrievers[J]. Interv Neuroradiol, 2019, 25(3): 285-290.
- [13] 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.
- [14] Zhang R, Zhou Y, Yan S, et al. Slow collateral flow is associated with thrombus extension in patients with acute large-artery occlusion[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2018, 39(6): 1088-1092.
- [15] 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.
- [16] Arrarte TN, Bruggeman AE, Swijnenburg IJ, et al. Early recanalization in large-vessel occlusion stroke patients transferred for endovascular treatment[J]. *J Neurointerv Surg*, 2022, 14(5): 480-484.
 - [17] Sillanpää N, Saarinen JT, Rusanen H, et al. Location of the clot and outcome of perfusion defects in acute anterior circulation stroke treated with intravenous thrombolysis[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2013, 34(1): 100-106.
 - [18] Ohara T, Menon BK, Al-Ajlan FS, et al. Thrombus migration and fragmentation after intravenous alteplase treatment; the INTERSeCT study[J]. *Stroke*, 2021, 52(1): 203-212.
 - [19] Pavabvash S, Taleb S, Majidi S, et al. Correlation of acute M1 middle cerebral artery thrombus location with endovascular treatment success and clinical outcome[J]. *J Vasc Interv Neurol*, 2017, 9(3): 17-22.
 - [20] Sengeze N, Giray 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.
 - [21] Ye G, Cao R, Lu J, et al. Histological composition behind CT-based thrombus density and perviousness in acute ischemic stroke[J]. *Clin Neurol Neurosurg*, 2021, 207: 106804.
 - [22] Santos EM, Niessen WJ, Yoo AJ, et al. Automated entire thrombus density measurements for robust and comprehensive thrombus characterization in patients with acute ischemic stroke[J]. *PLoS One*, 2016, 11(1): e0145641.
 - [23] 刘佳奕,章正祥,严民力,等. 急性缺血性卒中患者血栓成分和影像学表现的研究进展[J]. *基础医学与临床*, 2021, 41(01): 112-115.
 - [24] Huang SJ, Diao SS, Lu YE, et al. Value of thrombus imaging in predicting the outcomes of patients with large-vessel occlusive strokes after endovascular therapy[J]. *Neurological Sciences*, 2020, 41(6): 1451-1458.
 - [25] Mokin M, Morr S, Natarajan SK, et al. Thrombus density predicts successful recanalization with Solitaire stent retriever thrombectomy in acute ischemic stroke[J]. *J Neurointerv Surg*, 2015, 7(2): 104-107.
 - [26] 倪小宇,吴嵘,赵卫东,等. 急性缺血性脑卒中栓子成分与手术过程及临床结局关系的探讨[J]. *中华神经科杂志*, 2021, 54(7): 670-676.
 - [27] Jolugbo P, Ariëns R A S. thrombus composition and efficacy of thrombolysis and thrombectomy in acute ischemic stroke[J]. *Stroke*, 2021, 52(3): 1131-1142.
 - [28] ahalane R, Boodt N, Akyildiz A C, et al. A review on the association of thrombus composition with mechanical and radiological imaging characteristics in acute ischemic stroke[J]. *J Biomech*, 2021, 129: 110816.
 - [29] Ye G, Cao R, Lu J, et al. Association between thrombus density and reperfusion outcomes using different thrombectomy strategies: a single-center study and meta-analysis[J]. *Front Neurol*, 2019, 10: 843.
 - [30] Ye G, Cao R, Lu J, et al. CT-based higher thrombus density is associated with secondary embolism during mechanical thrombectomy; a preliminary observation[J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2019, 28(10): 104311.
 - [31] Bilgic AB, Gocmen R, Arsava EM, et al. The effect of clot volume and permeability on response to intravenous tissue plasminogen activator in acute ischemic stroke[J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2020, 29(2): 104541.
 - [32] Santos EM, Marquering HA, Berkhemer OA, et al. Development and validation of intracranial thrombus segmentation on CT angiography in patients with acute ischemic stroke[J]. *PLoS One*, 2014, 9(7): e101985.
 - [33] Baek JH, Yoo J, Song D, et al. Predictive value of thrombus volume for recanalization in stent retriever thrombectomy[J]. *Sci Rep*, 2017, 7(1): 15938.
 - [34] Yoo J, Baek JH, Park H, et al. Thrombus volume as a predictor of nonrecanalization after intravenous thrombolysis in acute stroke[J]. *Stroke*, 2018, 49(9): 2108-2115.
 - [35] Gensicke H, Evans JW, Al Ajlan FS, et al. Comparison of different methods of thrombus permeability measurement and impact on recanalization in the INTERSeCT multinational multicenter prospective cohort study [J]. *Neuroradiology*, 2020, 62(3): 301-306.
 - [36] Chen Z, Shi F, Gong X, et al. Thrombus permeability on dynamic CTA predicts good outcome after reperfusion therapy [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2018, 39(10): 1854-1859.
 - [37] Santos E, D'esterre CD, Treurniet KM, et al. Added value of multiphase CTA imaging for thrombus perviousness assessment[J]. *Neuroradiology*, 2018, 60(1): 71-79.
 - [38] Benson JC, Fitzgerald ST, Kadirvel R, et al. Clot permeability and histopathology: is a clot's perviousness on CT imaging correlated with its histologic composition? [J]. *J Neurointerv Surg*, 2020, 12(1): 38-42.
 - [39] Lau HL, Gardener H, Coutts SB, et al. Radiographic characteristics of mild ischemic stroke patients with visible intracranial occlusion; the INTERSeCT study[J]. *Stroke*, 2022, 53(3): 913-920.
 - [40] Kappelhof M, Tolhuisen ML, Treurniet KM, et al. Endovascular treatment effect diminishes with increasing thrombus perviousness; pooled data from 7 trials on acute ischemic stroke [J]. *Stroke*, 2021, 52(11): 3633-3641.
 - [41] Menon BK, Al-Ajlan FS, Najm M, et al. Association of clinical, imaging, and thrombus characteristics with recanalization of visible intracranial occlusion in patients with acute ischemic stroke[J]. *JAMA*, 2018, 320(10): 1017-1026.
 - [42] Nie C, Kang Z, Tu M, et al. Clot meniscus sign is associated with thrombus permeability and choice of mechanical thrombectomy technique in acute middle cerebral artery occlusion [J]. *Front Neurol*, 2022, 13: 850429.
 - [43] Alves HC, Treurniet KM, Dutra BG, et al. Associations between collateral status and thrombus characteristics and their impact in anterior circulation stroke[J]. *Stroke*, 2018, 49(2): 391-396.
 - [44] Zhu F, Lapergue B, Kyheng M, et al. Similar outcomes for contact aspiration and stent retriever use according to the admission clot burden score in ASTER[J]. *Stroke*, 2018, 49(7): 1669-1677.
 - [45] Derraz I, Pou M, Labreuche J, et al. Clot burden score and collateral status and their impact on functional outcome in acute ischemic stroke[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2021, 42(1): 42-48.
 - [46] Derraz I, Bourcier R, Soudant M, et al. Does clot burden score on baseline T2 * -MRI impact clinical outcome in acute ischemic stroke treated with mechanical thrombectomy? [J]. *J Stroke*, 2019, 21(1): 91-100.
 - [47] Li G, Wu G, Qin Z, et al. Prognostic value of clot burden score in acute ischemic stroke after reperfusion therapies: a systematic review and Meta-Analysis[J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2019, 28(10): 104293.