

腔内微创时代下的急性下肢缺血诊疗进展

宋依健, 王 坤*

山东第一医科大学第一附属医院血管外科, 山东 济南

收稿日期: 2026年6月24日; 录用日期: 2026年7月18日; 发布日期: 2026年7月28日

摘 要

急性下肢缺血(acute lower limb ischemia, ALI)是指由各种原因导致下肢血供骤然减少, 动脉血流灌注不足, 出现一系列缺血症状, 从而严重威胁肢体存活的一类突发急性病症, 对于ALI的治疗一直是临床医生所关注的焦点, 近年来随着技术水平的不断发展, 对于ALI的治疗手段也不断更新, 目前主流的治疗手段主要包括经典的切开取栓术、迅速发展的腔内取栓溶栓术、以及相互结合的杂交手术方式。切开取栓对病人一般情况要求相对较高, Fogarty取栓相对成熟, 但存在内膜反应性增生的争议。腔内技术中接触性导管溶栓(CDT)技术对于I及IIa型下肢缺血具有不错的临床效果, 目前已发展出多侧孔及超声溶栓技术, 在保证一定再灌注效果的前提下, 具有相对较低的术后缺血再灌注风险, 但是其术后的出血并发症需要得到广大临床工作者的高度重视。经皮穿刺血栓抽吸术(PAE)以其简单、经济、高效的技术特点, 得到广泛开展, 减少远端栓塞是该技术接下来的发展方向。经皮机械取栓细分技术多样, 可根据不同病人情况选择不同的手术方式, 但是该技术花费相对较高, 且快速开通血运后的缺血再灌注损伤需要密切关注, 术后常规给予消肿等对症治疗。各技术不存在绝对优势, 技术间相互取长补短, 目前ALI的治疗技术多样, 选择性较高, 虽然对于现阶段的复杂病情具有较全面的应对方案, 但是腔内技术仍然是需要各位临床工作者的重点研究方向。

关键词

急性下肢缺血, 机械取栓, 切开取栓, 导管溶栓, 重建血运

Advances in the Diagnosis and Treatment of Acute Limb Ischemia in the Era of Intracavitary Minimally Invasive Techniques

Yijian Song, Kun Wang*

Department of Vascular Surgery, The First Affiliated Hospital of Shandong First Medical University, Jinan Shandong

*通讯作者。

文章引用: 宋依健, 王坤. 腔内微创时代下的急性下肢缺血诊疗进展[J]. 临床医学进展, 2026, 16(7): 2254-2266.
DOI: 10.12677/acm.2026.1672755

Abstract

Acute lower limb ischemia (ALLI) refers to a sudden acute disease that causes a sudden decrease in blood supply to the lower limbs, insufficient arterial blood perfusion, and a series of ischemic symptoms, which seriously threatens the survival of the limbs. At present, the mainstream treatment methods mainly include classical incision and thrombectomy, the rapidly developing endovascular thrombectomy and thrombolysis, and hybrid surgery. Incision and thrombectomy are relatively demanding on the general condition of patients, and Fogarty thrombectomy is relatively mature, but there is controversy about intimal reactive hyperplasia. Among the endovascular techniques, CDT technology has a good clinical effect on type I and IIa lower limb ischemia, and multi-lateral foramen and ultrasound thrombolysis technology have been developed, which have a relatively low risk of postoperative ischemia and reperfusion under the premise of ensuring a certain reperfusion effect, but its postoperative bleeding complications need to be highly valued by the majority of clinicians. PAE has been widely developed due to its simple, economical and efficient technical characteristics, and reducing distal embolization is the next development direction of this technology. Percutaneous mechanical thrombectomy has a variety of subdivision techniques, and different surgical methods can be selected according to different patients' conditions, but the cost of this technique is relatively high, and the ischemia and reperfusion injury after rapid vascularization requires close attention, and symptomatic treatment such as swelling reduction is routinely given after surgery. At present, the treatment techniques of ALLI are diverse and selective, although there is a more comprehensive response plan for complex diseases at this stage, endovascular technology is still the key research direction that needs to be done by clinicians.

Keywords

Acute Lower Limb Ischemia, Intraluminal Thrombectomy, Open Thrombectomy, Catheter Thrombolysis, Revascularization

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

急性下肢缺血(ALLI)通常定义为 14 天以内出现的下肢动脉灌注突然减少,对患者肢体或生命产生威胁的一种血管外科急症[1]。缺血程度取决于病因(栓塞或血栓形成与创伤)、动脉闭塞程度和持续时间。长时间的缺血可导致缺血组织坏死及毒素堆积并威胁肢体存活甚至危及生命。在当前大腔内时代背景下,介入技术装备迅速发展,各种导丝、球囊、腔内取/溶栓器械,为优化 ALLI 的临床治疗决策起到了正向促进作用。当明确诊断后,应该选择什么样的手术方式开通血运,术后如何运用药物维持血运,以减少不良的肢体结局,针对不同病因所致的缺血做出不同的治疗方案,以达到个体化精准诊疗,在尽可能提高保肢生存率的前提下,又能节约相当一部分医疗资源。本文将针对 ALLI 的治疗进展做如下综述,以期临床工作提供诊疗依据,同时提高笔者对 ALLI 的认识。

2. ALLI 流行病学

相关研究表明 ALLI 每年发病率高达(1~2)/1 万[2], ALLI 截肢率达 10%~15%,而截肢后相关 30 d 病

死率为 15%~25%，1 年内病死率 22.4%，截肢后死亡最主要的影响因素包括肾功能不全、透析等[2] [3]。ALLI 的主要病因为下肢急性动脉栓塞和下肢急性动脉血栓形成，而动脉栓塞患者超过 80%合并有心房纤颤(Atrial fibrillation, AF)，其栓子多来自于近心端异位血栓脱落、动脉斑块破裂等。下肢急性动脉血栓形成，多是由动脉瘤/动脉夹层附壁血栓、血流高凝状态、血管壁受损等形成原位血栓。目前公认的血栓形成危险因素主要包括吸烟、高血压、高血糖、高血脂等。

3. 诊断

Rutherford [4]根据肢体缺血的严重程度及出现的后果，将该病分为 I 型(组织无坏死危险)、IIa (轻度坏死危险)、IIb (重度坏死危险)与 III 型(不可逆坏死)，该诊断分级标准一直沿用至今，具体见表 1。其典型临床表现有疼痛(Pain)、无脉(Pulselessness)、皮温降低(Poikilothermia)、苍白(Pallor)、感觉异常(Paraesthesia)、麻痹(Paralysis)，即“6P”征。查体中通常有血流中断截面及远端的主要动脉搏动的消失/微弱。一般临床表现配合查体及辅助检查即可轻松确诊，如果多普勒有信号，说明还有一定血供，肢体威胁不大，若无信号，则需即刻开通血运保肢。如果存在感觉/运动障碍，则说明缺血越严重，重建血运时间越紧迫。

Table 1. Rutherford diagnostic classification for acute lower extremity ischemia
表 1. Rutherford 急性下肢缺血诊断分级

分级	特征	检查		多普勒特点	
		感觉丧失	运动丧失	动脉	静脉
I	组织无坏死危险	无	无	有信号	有信号
IIa	轻度坏死危险	轻度(趾)或没有	无	一般无信号	有信号
IIb	重度坏死危险	足部以上，多有静息痛	轻度，中度	通常无信号	有信号
III	不可逆坏死	多部位的麻痹	多部位的严重	无信号	无信号

4. 药物治疗

针对不同患者群体，如合并心房颤动、心脏瓣膜病、缺血性卒中等患者，给出个体化抗栓、抗凝、术后并发症预防、血运维持治疗建议，包括药物选择、剂量、疗程等，因为肢体存在血运重建的治疗窗口，药物治疗在 ALLI 的治疗中始终是作为穿插于各种取栓、溶栓手术的辅助角色而存在，药物疗法不能作为 ALLI 的单一治疗方式。

美国胸科医师学会抗血栓指南(ACCP)明确指出：急性肢体缺血、血管重建术后、颈动脉狭窄等不同情况，均有抗栓治疗建议[5]。根据病史及体格检查怀疑急性下肢动脉缺血者，均应立即接受全身肝素化治疗，通常使用低分子肝素(LMWH)或普通肝素，给药总剂量为 80 U/kg 到 150 U/kg，给药速度为 18 U·kg⁻¹·h⁻¹，使部分凝血活酶时间为标准的 2~2.5 倍[6]。其不良反应为药物治疗期间血小板减少，停药后血小板减少消除。需要注意的是：严重肾功能不全患者使用 LMWH 时需减量，或改用其他抗血栓药物治疗，像是新型口服抗凝药(NOACs)类。有研究表明[7]：每日两次口服 2.5 mg 利伐沙班联合阿司匹林与单独使用阿司匹林相比，显著降低了急性肢体缺血及心脑血管血栓形成的再发生概率，抗凝联合抗板较单纯抗板在国际血栓形成与止血学会(International Society on Thrombosis and Haemostasis, ISTH)出血风险上差异明显，但在致命性出血及颅内出血风险上并无差异，因此对既往心脑血管栓塞患者，外周动脉术后推荐行一天两次利伐沙班 2.5 mg+ 抗血小板药物治疗，服药期间密切观察有无出血症状出现。目前我国的溶栓类药物治疗通常是取栓术后肢体远端仍有残留血栓，从肢体远端泵入。结合每个病人的实际情况，通常还会使用到止痛、消肿活血化瘀、营养神经类的药物，以提高 ALLI 的整体预后。

当下 ALLI 的药物治疗愈加关注于预防治疗术后出现的缺血再灌注损伤(ischemia-reperfusion injury,

IRI)等并发症,缺血再灌注损伤机制复杂,多种炎性物质及代谢废物入血,轻则导致局部组织受损,重则会导致全身各个脏器受到不同程度的损伤,甚至危及生命。已经有多位学者通过基础实验研究证实了右美托咪定在术后预防肾脏[8]、肺脏[9]、心脏[10][11]、肝脏[12]的再灌注损伤方面存在积极作用,Ömer faruk gülaştı 等人[13]也肯定了西洛他唑和茚哌啉酯的多脏器保护作用,其中西洛他唑对肾脏及心脏的保护作用较显著,茚哌啉酯对肝脏的保护作用较明显。但是目前除西洛他唑外,其他药物中还未有高质量的临床数据明确证实其对抗 IRI 对多器官的作用。IRI 中局部损伤较为严重的当属骨筋膜室综合征,血运重建术后需要严密观察,尤其术前缺血时间过长(>6 h),血钾升高的患者,术后一般常规给予制动、抬高患肢,同时快速静滴甘露醇、静脉注射地塞米松,也可以辅助性给予活血化瘀类药物。

5. ALLI 的血运重建策略

目前临床用于急性下肢缺血(ALLI)血运重建的主流方案涵盖传统开放手术、导管接触性溶栓(CDT)及各类腔内机械血栓清除技术,各类术式适配场景各异,临床需结合患者病情个体化选择。股动脉切开 Fogarty 导管取栓术作为经典“金标准”,可快速开通主干血管、即刻恢复血运,但存在盲视操作易损伤血管内膜、远端细小血栓清除不彻底、缺血再灌注损伤(IRI)发生率高的短板,目前透视引导下操作联合术中造影可有效优化手术安全性、规避过度操作。CDT 为经典微创溶栓技术,可循序渐进恢复血运,大幅降低 IRI 风险、减少血管内膜损伤,远期血管通畅率可观、二次干预率低,适用于 Rutherford I、IIa 型短病程低危患者,但存在溶栓周期长、凝血功能监测繁琐、严重出血并发症风险较高的问题,对陈旧机化血栓疗效较差,存在明确溶栓禁忌证。以经皮穿刺血栓抽吸术(PAE)、旋切碎栓式机械取栓、支架取栓为核心的腔内机械血栓清除术(PMT),弥补了传统术式的诸多短板,其中 PAE 操作简便、性价比高,国产 Aco Stream 恒压抽吸系统可有效规避手动抽吸弊端,适配多数急性缺血病例,但对膝下远端血栓清除能力有限;Rotarex、AngioJet 可高效处理复杂、陈旧及钙化血栓,适配支架内再狭窄、医源性血栓等特殊病变,但分别存在血管损伤、炎性反应、远端栓塞风险;Solitaire 支架取栓在膝下细小动脉闭塞治疗中具备独特优势,但属于超说明书应用,临床数据匮乏、器械成本较高。整体而言,开放手术、CDT、各类 PMT 技术无绝对优劣,临床需依据患者病因、血栓龄期、闭塞部位、缺血分级及基础合并症综合判断,精准匹配术式,同时规避各类术式特有并发症,必要时联合多术式开展杂交治疗,实现 ALLI 最优血运重建效果。接下来将展开详述各类血运重建策略的具体优劣势。

5.1. 股动脉切开 Fogarty 导管取栓术

Fogarty 球囊导管取栓术是目前临床上治疗急性下肢动脉栓塞的经典手术方式,自 1963 年福格蒂(TJ Fogarty)[14]提出了用导管取栓的概念,Fogarty 球囊导管已成为血管外科医生手中极为重要的工具。在相当一段时间内,股动脉切开 Fogarty 导管取栓被业界看作是治疗 ALLI 的“金标准”[15],该方式起效快,取出栓子即血运恢复。恢复血运快的同时也会带来相应的弊端,即容易发生 IRI,尤其是对于远端细小动脉,导致取栓效果不佳,引起疾病复发或其他并发症。因为其导管本身物理限制,膝下动脉往往难以到达,远端动脉的即时取栓效果不理想。在选入目标动脉过程中需要操作轻柔,否则容易导致假性动脉瘤或者夹层,近期的一项回顾性研究[16]中指出:因 Fogarty 导管易损伤动脉内膜,在恢复阶段容易导致内膜增生。同时该技术需要在取栓过程中严格把控球囊压力,对临床医生的经验有较高要求。此外,如果病人近期进行过人工血管置换,且栓塞部位恰好位于此区域,则不适合采用 Fogarty 导管取栓,因为取栓过程存在对管壁的摩擦,再加之人工血管置换术后相对于原生血管存在薄弱区,容易发生缝合区的血管断裂,Manousaki E 等人[17]在 2010 年报道过一例此类案例,好在成功通过肱动脉入路用弹簧圈栓塞股深动脉而终止出血。取栓动作完成后的常规动脉造影有助于提高手术成功率,发现血栓清除、近端和远端动脉腔的充盈、血流速度以及是否存在潜伏性动脉狭窄或动脉内膜的继发性医源性损伤,这有助于下

肢缺血的良好恢复, 并即时止损[18], 不盲目追求完美, 必要时做到“见好就收”。当前的 Fogarty 取栓一般在盲视野选择靶血管并取栓, 此过程完全由术者的经验感觉来把控, 当下一项在透视引导下, 将导管推进到目标血管中的技术效果良好, 常规透视下操作的二次介入、长段截肢/趾等指标明显优于经典 Fogarty 取栓术[19]。这允许外科医生以受控的方式可视化并指引导管的引入和操作, 最大限度地减少球囊过度充盈或可能意外引入分支, 防止动脉损伤。Fogarty 动脉取栓术仍是目前治疗 ALLI 的有效手术方法, 能够有效、迅速开通血运, 但需要时刻注意术中造影, 避免“矫枉过正”, 腔内介入治疗是 Fogarty 取栓术失败的有效补救措施。

5.2. 导管接触性溶栓(Catheter-Directed Thrombolysis, CDT)

为降低开放手术围手术期 ALLI 患者较高的截肢率及死亡率, 改善 ALI 患者的预后, 更加微创的经导管溶栓治疗(Catheter-Directed Thrombolysis, CDT)在 ALLI 患者中应用越来越广泛, 其疗效文献报道不一[20] [21]。早在 1974 年 Dotter [22]第一次报道经导管局部溶栓治疗动脉血栓。CDT 最初是由单孔溶栓管逐渐发展出现在通过多孔灌注导管(如 Uni-Fuse)和超声加速溶栓导管(如 EKOS)将溶栓药物直接输送到血栓部位的介入治疗技术, 广泛应用于急性动静脉血栓性疾病。其存在溶栓时间长、需要频繁监测凝血功能、术后出血等问题, 在 TOPAS 研究中得到证明, 其严重出血并发症发生率高达 12.5%[23]。CDT 在临床上常被用来联合其他手术方式, 来提高长期通畅率和降低截肢率[24], 例如经皮机械血栓切除与溶栓联合(PMT + CDT), 也是腔内血管成形术的一种辅助手段。CDT 主要用于 ALLI 分级为 I、IIa 型病变且症状持续时间较短(<14 d)者, CDT 也可用于但不作为 IIb 期动脉栓塞患者的首选[25] [26], 尤其是发病时间较长的患者, 因为他们的栓子多为白色血栓, 难以通过溶栓药物溶解。此外, CDT 不是真性红细胞增多症患者的首选。相对于切开取栓, CDT 由于血液供应恢复相对较慢, CDT 术后 IRI 的发生率较低[18]。多项研究[27]指出, CDT 在肢体保留和死亡率方面不逊色于取栓手术, 并具有降低非出血性并发症发病率的额外好处。已经有研究表明[28], 无论是位于腹股沟上方的高位血栓栓塞, 还是位于股腘动脉以远端的低位血栓栓塞, CDT 都能够明显减少二次干预的几率。对于不迫切需要开通血运的肢体来讲, CDT 仍然是一个不错的选择, 但是需要排除患者是否存在溶栓禁忌, 以及溶栓过程中需要密切观察有无出血性并发症的发生。CDT 绝对禁忌证和相对禁忌证见表 2。

Table 2. Absolute and relative contraindications of CDT

表 2. CDT 的绝对禁忌症和相对禁忌症

绝对禁忌症:
活动性出血
颅内出血
存在筋膜室综合征或处于进展期
严重肢体缺血亟需开通血运保肢
2 年内曾用过链激酶或既往链激酶类药物过敏
相对禁忌症:
不受控制的高血压 > 180/110 mmHg
不能耐受血管穿刺
颅内肿瘤
缺血性脑卒中 < 2 月
过去 3 月内接受神经外科手术或头部外伤史
消化道出血 < 10 天
肝衰竭、特别是凝血功能障碍
妊娠或哺乳期
细菌性心内膜炎
溶栓药过敏史

5.3. 腔内取栓技术

Sniderman KW 等人[29]在 1984 年首次发表腔内取栓的相关技术描述, 当时的操作已经跟当下手术过程高度类似。如今在腔内快速发展的背景下, 为弥补开放取栓手术的巨大创伤导致的病人不耐受及 CDT 的缓慢阶梯式恢复血运导致的下肢高坏死率、高出血风险, 腔内取栓技术逐渐得到人们的重视, 当下的腔内取栓技术逐渐成熟, 方式多种多样, 可根据不同情况选择相对应的优势术式。主要包括抽吸取栓 (Aspiration Embolectomy, AE) 和机械取栓 (Mechanical Thrombectomy, MT), 腔内取栓能够直接清除下肢动脉内血栓或栓子, 恢复血流灌注的外科治疗方法。其作为 ALLI 的重要治疗手段, 近年来在器械创新、技术优化及临床证据积累方面取得显著进展。从取栓原理上大致可分为: 1. 抽吸法: 使用大口径导管手动抽吸, 机械恒压抽吸系统 (如 Aco Stream 系统) 负压抽吸血栓。2. 抓取法: 支架取栓器 (如 Solitaire) 嵌入血栓后整体取出。3. 旋切/碎栓法: 机械装置 (如 AngioJet、Rotarex) 破碎血栓并吸出。以下本文将分解细述。

5.3.1. 经皮穿刺血栓抽吸术 (Percutaneous Aspiration Embolectomy, PAE)

经皮穿刺血栓抽吸术 (PAE) 是一种操作相对简单的腔内血栓抽吸方法, 一般是通过穿刺股动脉翻山至患肢, 通过导丝引导移动导管到达血栓区远端, 然后形成负压吸出血液和血栓碎片, 操作可反复数次。早期吸栓导管口径一般较小, 所以该项技术可到达膝下动脉, 开通小动脉, 但同时管径小也是导致该项技术吸栓不够完全, 甚至栓子二次脱落栓塞远端微小动脉的主要原因, 有报道统计远端栓塞率达 44% [30], 此类并发症在冠状动脉介入治疗中常被提及 [31]。目前临床所认可的: 相对于应用小口径开通远端小动脉而言, 采用大管腔吸栓导管的高血栓清除率及低远端栓塞率的临床效果更容易被采纳。临床上常以腘动脉为界限, 腘动脉以上推荐使用 6F-7F 吸栓导管, 腘动脉以下使用 5F 导管, 针对附壁血栓可选择单弯导管操作。实践证明 PAE 在临床上可适用于大部分急性缺血病例 [1], 早期 Hans-Joachim Wagner 等人 [32] 的一项前瞻性研究中, PAE 的短期一期通畅率为 85.6%, 短期内的保肢率可达 90%, 1 年的通畅率为 67.8%, 2 年通畅率为 63.1%, 5 年后的通畅率仍然可以达到 58.3%, 出现二次缺血的原因主要是复发性栓塞, 可以行二次吸栓, 二期通畅率为 81%, 但反复吸栓需要评估管壁损伤的风险。大导管抽吸血栓所使用到的耗材少、花费相对较低是其一大优点, 在我国当下仍然是一种高效、经济、简便的取栓方式。

2021 年下半年, 我国首个外周血栓抽吸装置 Aco Stream 获得国家药品监督管理局 (National Medical Products Administration, NMPA) 注册批准。Aco Stream 是一款以稳定负压抽吸血管内栓子的系统, 大大降低了手动抽吸由于负压不恒定而造成的管壁损伤或者二次栓塞的可能。吴森焱团队 [33] 的一项短期临床研究表明, 单纯使用 Aco Stream 系统治疗 ALI 的临床成功率 100%, 所有患者术后均未出现手术相关出血事件, 仅存在 2 例肌酐升高患者, 不排除是术中造影剂副作用导致。另外, Aco Stream 系统与 CDT、取栓支架 [34] [35] 联用能够更加有效快速地清除栓塞物质, 并减少溶栓药物使用, 快速达到手术目的, 并且在袁园等人 [36] 的一项短期回顾性研究中, 可能对于伴有肾功能不全、肺部疾病、房颤、冠心病等疾病的患者, 该术式预后效果也是不错的。近期 Aco Stream 与 CDT 的一项回顾性分析 [37] 中发现: 在 38 例患肢中, 且两组病人基本情况无明显差异的情况下, Aco Stream 组住院时间 (7.65 ± 1.93 d) 相对于 CDT 组住院时间 (11.72 ± 3.78 d) 具有显著优势, 但有 3 例 Aco Stream 术中造影发现膝下动脉残留血栓, 无法通过吸栓解决问题, 且术后 6 个月的回访中, 两种治疗方式均未出现出血等严重并发症, 因此目前针对膝下远端动脉血栓而言, CDT 相对 Aco Stream 仍具有优势。Aco Stream 的优点在于其吸栓导管的金属圈编制工艺, 即使需要通过大角度弯曲的血管, 仍然可保持有效吸栓的管径横截面积。当前对 Aco Stream 对 ALLI 的研究应用仍处于起步阶段, 各项临床效果缺乏大样本的数据支持, 且术中可能出现的导管堵塞、断裂, 是需要当下预防性讨论的一个问题。Aco Stream 是以恒定负压进行吸引, 但实际情况中血栓有时不是呈连贯性存在, 若存在两处血栓间隔过长, 则中间的无病变区的吸引会造成血容量的大量丢失, 因

此能够使其智能化调控负压梯度, 甚至防止负压过大导致血管塌陷是接下来的一大研究方向。

5.3.2. 经皮机械血栓切除术(Percutaneous Mechanical Thrombectomy, PMT)

PMT 前期准备步骤类似 PAE, 将吸栓导管置于靶血管处, 将血栓碎化的同时产生负压吸引力, 将碎化后的血栓移到体外, PMT 可快速清除血栓, 恢复肢体血供, 弥补了单纯 CDT 恢复血运时间过长及术后出血风险高的不足。PMT 与其他非 CDT 相关技术联合的腔内手术一起使用时, (亚)急性肢体缺血的血管内治疗能够表现出非常好的临床结局和技术成功率, 同时技术失败率和并发症的发生率也相对于使用了 CDT 相关技术的介入手术明显降低[38]。在不同病例中需要结合患者具体情况选择合适的 PMT 进行操作, 才能达到预期疗效, 下文将详细阐述 PMT 中的几种主要术式。

Rotarex 装置在临床治疗中占有重要地位, 该项技术最初由 Schmitt, Hans-Erich 等人[39]首次发布, 其原理是导管头部装置通过高速旋转将血栓甚至斑块击碎, 同时高速旋转使得导管内形成负压将栓子碎片排出腔外, 它不涉及到溶栓药物的体内预注射, 因此可以在一定程度上减少术后出血的风险。Rotarex 装置的适用窗很广, 从发病时间上来讲, 下肢的急性、亚急性甚至是慢性缺血均适用; 从发病原因上来讲, 人工/旁路转流血管栓塞、支架内再狭窄或者血栓合并动脉硬化斑块的病人均适用。且有实验证据[40]表明: Rotarex 联合 DCB 血管成形术治疗支架内再狭窄的短中期部分效果(一期通畅率及 12 个月的再干预率)明显优于单纯 DCB 血管成形术。针对急性下肢缺血, 一项国内的回顾性研究[41]显示: 接受 Rotarex 治疗时, 11.6% 的患肢在 Rotarex 装置术中发生了医源性血管壁损伤, 这一比例相对较高, 7.0% 出现了靶向血管远端分支的二次栓塞, 相对于 PAE 已经大大降低, 在平均 (8.25 ± 1.02) 个月的术后随访中发现所有停用抗血小板药物治疗的患者均出现再次狭窄, 因此运用该项技术时, 术中需要反复造影确认手术的安全进行, 而开通血运后抗血小板及抗凝药物治疗仍需大量的长期临床数据的指导。目前 Rotarex 装置在我国已经开展 20 余年, 正处于快速推广发展阶段, 其治疗 ALLI 的中短期疗效已被广泛认可, 但是高质量长期临床数据仍然是缺乏的, 与单纯溶栓治疗或 Fogarty 取栓手术治疗相比, Rotarex 装置降低发病率和死亡率方面具有显著优势[42]。Rotarex 适用范围广, 对动脉硬化斑块、新鲜血栓及陈旧血栓均有不错的治疗效果, 减少机械旋转头对血管的损伤是当下的一个研究方向, 该项技术仍具有巨大的提升潜力。

目前国内应用较多的 PMT 装置为 Angiojet 流变力学机械血栓清除装置, 该装置主要包括吸栓模式和喷药溶栓模式, Angiojet 导管兼具造影、溶栓、吸栓作用, 该装置工作的大致原理是通过喷射模式用流体将栓子团块击碎, 以增大溶栓药物与血栓的接触面积, 加快血栓溶解速度, 最后切换吸栓模式将栓子碎片排出血管外, 若患者存在溶栓禁忌症, 亦可行单纯吸栓操作。从工作原理上分析, 在喷射模式下无法及时吸出血栓, 有概率造成栓子移位至远端动脉, 造成远端动脉栓塞, 继发“蓝趾综合征”, 发生该事件可以更换更细的 4F 导管配合经皮血管成形术(percutaneous transluminal angioplasty, PTA)来应对[43]。因为溶栓-吸栓方式需要等待溶栓时间, 所以平均手术时间较单纯取栓要长, 并且在动脉应用时, 不适合反复多次吸栓, 避免血容量急剧减少。近些年国内外已经报道过此技术配合 Viabahn 覆膜支架可以治疗腘动脉段病变的案例, 包括但不限于原发性腘动脉瘤合并血栓形成, 甚至对于全膝关节置换术(Total Knee Arthroplasty, TKA)导致的医源性腘动脉损伤继发血栓形成具有良好的短期临床效果[44] [45], 似乎 Angiojet 对腘动脉段病变具有良好的效果, 但是限于此类报道较少, 且缺少长期随访及对照实验, 仍需大样本的中长期临床研究。国内刘洋团队[27]的一项临床研究中, 达到同样的临床治疗目的 Angiojet 平均溶栓尿激酶用量远低于 CDT 用量, 出血风险、住院时间[46]相对于 CDT 具有明显优势, 但是花费相对高一些。基于临床操作中的观察, 术中部分患者会产生“吸栓反应”, 绝大多数情况下, 暂停吸栓给予心理安慰或药物稳定血压心率即可继续手术, 只有极少数患者不能耐受而停止手术或更改手术方式。在当下, AngioJet 是一种安全有效的机械吸栓装置, 能有效缩短住院时间, 降低术后出血相关风险和溶栓药物用

量, 相对于 Rotarex, 其发生血管医源性损伤的几率更小, 但也同时存在血栓远端栓塞甚至血容量过低的问题, 在操作中需要及时判断, 尽早处理。

国内一项针对 PMT 中 Rotarex 与 Angiojet 两种系统的疗效对比与安全性研究中[47], 其中 Rotarex 手术成功率 100%, 有 1 例患者因缺血时间过长, 虽然开通主干血运, 但因足部微循环较差, 术后截趾; Angiojet 手术成功率 98.33%, 其中 1 例因存在动脉硬化闭塞无法开通膝下动脉血运, 因此术后小腿上段截肢。经分析, Rotarex 组患者血栓清除后残存狭窄、支架植入率、尿激酶用量、ABI 改善值、术后住院天数均优于 Angiojet 组(均 $P < 0.05$)。Angiojet 组术后的 Hb、WBC 等其他炎性指标较术前显著升高, 而 Rotarex 组术后化验结果较术前变化不显著。这也提示 Angiojet 可能对红细胞破坏较大、更易引起炎症反应。两组对肝肾功、电解质影像不大。两组术后均有 1 例出现骨筋膜室综合征并切开减压, Angiojet 术中出血量 100 (50~150) ml 相较于 Rotarex 术中出血量 77.5 (50~105) ml 有明显差异, 也正如前文所述, Angiojet 组的术中出血量明显高于 Rotarex 组, 且对于陈旧性血栓及合并动脉硬化闭塞的患者疗效较差, Rotarex 组有更好的 ABI 改善值, 且平均住院时间更短, 似乎有着更好的临床治疗效果。两者术后并发症无明显差异, 且发生率均较低, 所以二者均具有良好的安全性。Rotarex 装置工作头的智能调节转速对血管壁的损伤, 对新鲜血栓、陈旧血栓、钙化斑块不同缺血原因的处理效果均有所改善, 目前该项功能在最新一代 Rotarex® S 已经应用。Rotarex 对于钙化斑块及慢性血栓具有良好的清除效率, 但是难免残留附壁血栓, 或栓子远端栓塞, 所以接下来对于该系统针对复杂血栓的清除是一个研究方向, 考虑是否可以用双腔导管, 增加溶栓药物灌注的功能。

5.3.3. 取栓支架取栓

Solitaire 支架取栓系统是一种新型的取栓装置, 具有可回收、可重复展开的特点, 将血栓切割包揽并取出体外, 能够快速有效地打开闭塞血管, 恢复血流灌注, 且由于不存在主动抽吸, 失血量较少, 目前该技术在颅脑大血管血运重建中应用较为广泛[48], 在下肢缺血中的应用处于起步探索阶段, 下肢治疗属于超说明使用范围, 因此关于治疗急性下肢缺血的文献较少。Solitaire 系统最早为脑血管研发, 最小可匹配血管直径为 1.5 mm, 最大也不过 6 mm, 因此理论上可以用于开通膝下动脉血运, 对于直径较粗的肢体血管, 由于支架贴壁不完全, 取栓效果可能欠佳[35]。在目前少有的单中心回顾性研究中[34][35], Solitaire 相较于 CDT 具有血运重建快、溶栓时间短、出血风险低等优点, 且能明显改善膝下动脉的血流, 这对于长期无截肢生存是有益的[49]。一项实验室内关于取栓支架对血管内膜损伤的研究[50]发现, 反复支架取栓会造成实验动物血管的损伤, 损伤机制同 Fogarty 导管取栓相似, 均是取栓部分向外抽拉血栓时对血管内壁的摩擦损伤。取栓支架可用于对溶栓效果不敏感且血管直径较细的患者, 对于支架取栓的临床数据, 大量的临床研究仍然是必要的。

6. 腔内取/溶栓治疗方式的选择

选择合适治疗方案之前首选要明确发病原因, ALLI 最常见的病因通常为动脉栓塞和动脉血栓形成, 动脉栓塞既往通常存在 AF, 动脉血栓形成常常有动脉硬化病史, 一项针对 ALLI 不同治疗方式的疗效研究[51]中: PMT 相对于 CDT 能够有效减少溶栓药物的使用量, CDT 相对于 PMT 和切开取栓具有更短的手术时间, 可以减少术中射线暴露时间。住院时间上, PMT 组显著优于切开取栓和 CDT 组, 而平均费用上则与住院时间恰恰相反。在对动脉栓塞的治疗效果上, PMT (80.0%)、切开取栓(88.2%)的有效率较 CDT (66.7%)高。PMT (94.1%)、CDT (87.5%)对动脉血栓形成的开通率较切开取栓(58.8%)显著, 三者比较见表 3。

PMT 中的 Rotarex 与 Angiojet 都难免会让红细胞遭到破坏, 使得游离血红蛋白升高, 进而可能影响肾功能, 术中尽可能的控制吸栓速度, 术后给予水化治疗及碱化尿液, 可最大程度减少血红蛋白对肾功

能的影响。此外, Angiojet 需要术中密切观察有无严重的“吸栓反应”并严格控制抽吸量, 以免血容量过低。Solitaire 支架取栓则可能会造成血管壁的损伤, 且本身成本较高, 但是对膝下动脉的开通具有理论优势。PAE 在腔内取栓术中的开展门槛相对低, 花费较少, 适合大部分 ALLI。所有取栓术均存在快速开通血运的优点, 因此不可避免的会有 IRI 或骨筋膜室综合征的发生, 术后常规给予利尿、消肿预防治疗便可最大限度规避 IRI 的进一步发展甚至骨筋膜室综合征切开减压术[52]。Rotarex 与 Solitaire 对存在溶栓禁忌及对溶栓不敏感的患者尤其合适, 但均需要注意血管壁医源性损伤, 如果患者存在慢加急表现, 应当注意是否有慢性斑块形成, 此时 Rotarex 则更适合。所有的腔内取栓方式相对切开取栓来讲, 均具有较短住院时间及二次干预的优点, 但是切开取栓在不良心血管事件上具有优势[53](可能与患者术前本身情况有关)。总之, PMT 细分下的几种取栓方式均有独属于自身的优势(降低出血风险、减少溶栓药物使用量及住院时间短), 但也有不可避免的“劣势”, 临床中需要结合患者病情(闭塞时间、原因、部位、合并症), 做出最适合个人的精准治疗决策。上述各技术的优劣势比较见表 4。

Table 3. Comparison of three treatment modalities for ALLI

表 3. 治疗 ALLI 的三种治疗方式对比

	花费	动脉栓塞	动脉血栓形成	住院时间
切开取栓	较低	开通率高	开通率较低	长
CDT	较低	开通率较低	开通率高	长
PMT + CDT	高	开通率高	开通率高	短

注: PMT 以 Angiojet 为例。

Table 4. List of advantages and disadvantages for each technology

表 4. 各技术的优劣势列举

技术名称	优势	劣势
Fogarty	经济、快速恢复血流; 适合动脉栓塞急症取栓; 成熟、开展广泛	对身体状况要求较高; 血管内膜损坏; 再灌注损伤
CDT	微创, 无需手术切口; 适合长段血栓或复杂解剖; 可辅以机械取栓、IRI 发生率低	血运开通较慢; 术后出血风险高; 禁忌症较多(见表 2)
PAE	微创、经济、易行; 适用范围广; 快速开通血运	负压不稳定, 较高的远端栓塞率; 再灌注损伤
Aco Stream	微创, 易行, 快速开通血运; 低远端栓塞率; 身体条件差者适用	“吸栓反应”; 严格控制吸栓量; 再灌注损伤
Rotarex	微创、快速开通血流; 有效清除陈旧血栓、斑块; 减少溶栓药物需求	内膜损伤; 红细胞破坏导致游离血红蛋白升高; 再灌注损伤
Angiojet	微创、快速开通血运; 多种模式可选; 可局部药物溶栓	红细胞破坏导致游离血红蛋白升高、较高的远端栓塞率; 再灌注损伤;
Solitaire	微创、快速开通血运; 有效清除陈旧血栓; 可到达远端小动脉	价格昂贵、内膜损伤; 对于大血管取栓效果差、再灌注损伤; 应用范围小, 缺乏临床数据

7. 讨论小结及展望

综上所述, 与慢性下肢缺血(Chronic Lower Limb Ischemia, CLLI)不同, ALLI 缺血区域通常没有足够的时间产生侧支循环, 需要迅速确诊并通过介入、开刀或者杂交手术的方式进行快速血运重建, 以尽最大可能进行患肢的保留。ALLI 本身诊断不是难点, 难点是被迅速确诊后, 术前需准确判断临床分级, 结合检查化验分析出致病原因, 选择更为适合的治疗方法。自上世纪 60 年代 Fogarty 导管问世以来, 切开取栓在很长一段时间内都被认定为治疗 ALLI 的金标准。但是作为一种开放手术, 因其创伤相对较大, 对麻醉要求也较高, 在术前一些高危病人都会被告知无法进行手术, 而错过最佳治疗窗口, 而且取栓导管取栓过程会难免损伤动脉内膜, 发生动脉夹层、假性动脉瘤、内膜增生, 同时切口感染、淋巴管漏的发生率较高。针对于这些局限性, 微创的治疗方式逐渐被开发, CDT、PAE、PMT 等技术应运而生, 局麻下单纯穿刺即可完成手术, 也能够快速、有效地清除血栓。当前领域争议主要集中于三方面: 一是各类 PMT 器械的临床疗效与安全性优劣未形成统一论, 现有研究多为单中心、小样本回顾性分析为主, Rotarex、AngioJet、Aco Stream、Solitaire 支架等主流器械的适应症、并发症风险差异缺乏高级别循证医学证据, 尚无明确的器械选择标准; 二是血栓形成时间与术式、器械的匹配关系存在争议, 临床多依靠术者经验选择, 缺乏量化标准; 三是远端栓塞、IRI 等相关并发症的防控策略存在争议, 各类辅助药物、术中操作优化方案的预防效果缺乏对照研究, 尚无统一的规范化防控体系。

现有研究空白亟待填补: 第一, 缺乏不同 PMT 器械的头对头随机对照试验, 无法精准明确各类器械的绝对优势与适用场景, 难以形成标准化器械选择指南; 第二, 针对不同血栓时期、不同病因、不同闭塞部位的分层个体化治疗方案研究匮乏; 第三, IRI 多脏器保护药物的临床转化不足, 右美托咪定、萘呋胺酯等具备脏器保护潜力的药物, 仅停留在基础研究阶段, 缺乏大样本、多中心临床研究验证其疗效与安全性; 第四, 国产微创器械的远期疗效数据缺失, 以 Aco Stream 为代表的国产设备起步较晚, 中长期通畅率、并发症发生率、复发率等关键临床数据不足, 难以支撑其大范围临床规范化应用。

当下腔内取栓方式多种多样、各有利弊, 没有一种方式是占据绝对主导地位的, 结合缺血时间、程度、部位、原因等, 选择最佳手术方式才是最优解, 甚至需要术中临时调整手术决策, 联合应用几种不同治疗方法, 术后给予个体化药物维持治疗, 尽可能去除危险因素, 才可以达到良好的长期效果。未来 ALLI 的研究重点需聚焦临床空白领域: 积极开展多中心、大样本、前瞻性随机对照试验, 完成不同 PMT 器械的头对头对比研究, 明确各类器械的适配场景与优劣, 建立器械选择标准化体系。重点攻克膝下远端动脉缺血的微创诊疗技术, 提升远端血管开通率与保肢率。同时, 持续推广杂交手术的临床应用, 整合开放手术与腔内微创技术的优势, 破解复杂重症 ALLI 的诊疗难题, 进一步完善 ALLI 的诊疗体系, 持续改善患者远期预后。

参考文献

- [1] 战明威, 张晨光, 王瀚锐, 等. 腔内治疗急性下肢缺血的研究进展[J]. 血管与腔内血管外科杂志, 2020, 6(6): 546-551.
- [2] Natarajan, B., Patel, P. and Mukherjee, A. (2020) Acute Lower Limb Ischemia—Etiology, Pathology, and Management. *International Journal of Angiology*, **29**, 168-174. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1713769>
- [3] Kang, I., Potluri, V., Khan, N., Abdullatef, R., Liu, A., Babrowski, T., et al. (2025) Risk Factors Contributing to 30-Day and 1-Year Mortality Event Scores Following Major Lower Extremity Amputation for Limb Ischemia. *Journal of Vascular Surgery*, **82**, 216-228.E1. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2025.02.030>
- [4] Rutherford, R.B. (2009) Clinical Staging of Acute Limb Ischemia as the Basis for Choice of Revascularization Method: When and How to Intervene. *Seminars in Vascular Surgery*, **22**, 5-9. <https://doi.org/10.1053/j.semvascsurg.2008.12.003>
- [5] Guyatt, G.H., Akl, E.A., Crowther, M., Gutterman, D.D. and Schünemann, H.J. (2012) Executive Summary. *Chest*, **141**, 7S-47S. <https://doi.org/10.1378/chest.1412s3>

- [6] 张小鹏, 周晏仪, 周栋. 急性下肢缺血的诊疗现状[J]. 心肺血管病杂志, 2019, 38(8): 904-907.
- [7] Bonaca, M.P., Bauersachs, R.M., Anand, S.S., Debus, E.S., Nehler, M.R., Patel, M.R., *et al.* (2020) Rivaroxaban in Peripheral Artery Disease after Revascularization. *New England Journal of Medicine*, **382**, 1994-2004. <https://doi.org/10.1056/nejmoa2000052>
- [8] Erbatur, M.E., Sezen, Ş.C., Bayraktar, A.C., Arslan, M., Kavutçu, M. and Aydın, M.E. (2017) Effects of Dexmedetomidine on Renal Tissue after Lower Limb Ischemia Reperfusion Injury in Streptozotocin Induced Diabetic Rats. *Libyan Journal of Medicine*, **12**, Article 1270021. <https://doi.org/10.1080/19932820.2017.1270021>
- [9] Xue, B., Chen, B., Tang, Y., Weng, C. and Lin, L. (2019) Dexmedetomidine Protects against Lung Injury Induced by Limb Ischemia-Reperfusion via the TLR4/Myd88/NF-κB Pathway. *The Kaohsiung Journal of Medical Sciences*, **35**, 672-678. <https://doi.org/10.1002/kjm2.12115>
- [10] Wang, Z., Yao, M., Jiang, L., Wang, L., Yang, Y., Wang, Q., *et al.* (2022) Dexmedetomidine Attenuates Myocardial Ischemia/Reperfusion-Induced Ferroptosis via AMPK/GSK-3β/Nrf2 Axis. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, **154**, Article 113572. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2022.113572>
- [11] Chen, Z., Hong, Y., Wen, S., Zhan, Y. and Huang, W. (2023) Dexmedetomidine Pretreatment Protects against Myocardial Ischemia/Reperfusion Injury by Activating STAT3 Signaling. *Anesthesia & Analgesia*, **137**, 426-439. <https://doi.org/10.1213/ane.0000000000006487>
- [12] Kartal, S., Şen, A., Tümkaya, L., Erdivanlı, B., Mercantepe, T. and Yılmaz, A. (2021) The Effect of Dexmedetomidine on Liver Injury Secondary to Lower Extremity Ischemia-Reperfusion in a Diabetic Rat Model. *Clinical and Experimental Hypertension*, **43**, 677-682. <https://doi.org/10.1080/10641963.2021.1937204>
- [13] Gülaştı, Ö.F., Yavuz, Ş., Arıkan, A.A., Eraldemir, F.C., Özbudak, E., Şahin, D., *et al.* (2020) Comparison of Cilostazol and Naftidrofuryl in an Experimental Acute Ischemia-Reperfusion Model. *Vascular and Endovascular Surgery*, **55**, 11-17. <https://doi.org/10.1177/1538574420953944>
- [14] Fogarty, T.J., Cranley, J.J., Krause, R.J., Strasser, E.S. and Hafner, C.D. (1963) A Method for Extraction of Arterial Emboli and Thrombi. *Surgery, Gynecology & Obstetrics*, **116**, 241-244.
- [15] Baker, L.D., Leshin, S.J., Mathur, V.S. and Messer, J.V. (1968) Routine Fogarty Thrombectomy in Arterial Catheterization. *New England Journal of Medicine*, **279**, 1203-1205. <https://doi.org/10.1056/nejm196811282792205>
- [16] Yamamoto, Y., Kawarada, O., Sakamoto, S., Harada, K., Noguchi, T., Ogawa, H., *et al.* (2015) Progression of Intimal Hyperplasia and Multiple-Channel Formation after Fogarty Thrombectomy. *JACC: Cardiovascular Interventions*, **8**, e251-e253. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2015.07.036>
- [17] Manousaki, E., Tsetis, D., Kostas, T. and Katsamouris, A. (2009) Endovascular Treatment of a Ruptured Profunda Femoral Artery Branch after Fogarty Thrombectomy of a Femoro-Femoral Crossover Arterial Graft: A Case Report and Review of the Literature. *CardioVascular and Interventional Radiology*, **33**, 182-186. <https://doi.org/10.1007/s00270-009-9534-6>
- [18] Ge, H., Song, B., Wang, X., Zhu, Y., Huang, Y., Huang, W., *et al.* (2021) Comparison of Digital Subtraction Angiography Combined Arterial Thrombectomy versus Simple Arterial Thrombectomy in the Treatment of Acute Lower Limb Ischemia. *BMC Surgery*, **21**, Article No. 313. <https://doi.org/10.1186/s12893-021-01297-x>
- [19] Chahrouh, M.A., Berri, N., Jaafar, R., Sfeir, R., Haddad, F. and Hoballah, J.J. (2022) Thromboembolism for Acute Lower Limb Ischemia: Contemporary Outcomes of Two Surgical Methods from a Single Tertiary Center. *Vascular*, **31**, 489-495. <https://doi.org/10.1177/17085381221075478>
- [20] 卢勇. 我国急性下肢缺血外科治疗现状分析[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京协和医学院, 2011.
- [21] Vakhitov, D., Oksala, N., Saarinen, E., Vakhitov, K., Salenius, J. and Suominen, V. (2019) Survival of Patients and Treatment-Related Outcome after Intra-Arterial Thrombolysis for Acute Lower Limb Ischemia. *Annals of Vascular Surgery*, **55**, 251-259. <https://doi.org/10.1016/j.avsg.2018.07.041>
- [22] Dotter, C.T., Rösch, J. and Seaman, A.J. (1974) Selective Clot Lysis with Low-Dose Streptokinase. *Radiology*, **111**, 31-37. <https://doi.org/10.1148/111.1.31>
- [23] Ouriel, K., Veith, F.J. and Sasahara, A.A. (1998) A Comparison of Recombinant Urokinase with Vascular Surgery as Initial Treatment for Acute Arterial Occlusion of the Legs. *New England Journal of Medicine*, **338**, 1105-1111. <https://doi.org/10.1056/nejm199804163381603>
- [24] Johner, F., Clemens, R., Husmann, M., Thalhammer, C., Seifert, B. and Amann-Vesti, B. (2016) Long-Term Follow-Up after Endovascular Revascularisation for Acute Limb Ischaemia—A Retrospective Single-Centre Cohort. *Vasa*, **45**, 247-252. <https://doi.org/10.1024/0301-1526/a000532>
- [25] Björck, M., Earnshaw, J.J., Acosta, S., Bastos Gonçalves, F., Cochenec, F., Debus, E.S., *et al.* (2020) Editor's Choice-European Society for Vascular Surgery (ESVS) 2020 Clinical Practice Guidelines on the Management of Acute Limb Ischaemia. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, **59**, 173-218. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2019.09.006>

- [26] Karnabatidis, D., Spiliopoulos, S., Tsetis, D., Siablis, D. (2011) Quality Improvement Guidelines for Percutaneous Catheter-Directed Intra-Arterial Thrombolysis and Mechanical Thrombectomy for Acute Lower-Limb Ischemia. *CardioVascular and Interventional Radiology*, **34**, 1123-1136.
- [27] 刘洋, 何春水, 张丽峰, 等. 机械性血栓清除术治疗急性下肢动脉缺血中应用 AngioJet 的疗效及预后[J]. 实用医学杂志, 2022, 38(10): 1255-1259.
- [28] Zehnder, T., Birrer, M., Do, D.D., Baumgartner, I., Triller, J., Nachbur, B., *et al.* (2000) Percutaneous Catheter Thrombus Aspiration for Acute or Subacute Arterial Occlusion of the Legs: How Much Thrombolysis Is Needed? *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, **20**, 41-46. <https://doi.org/10.1053/ejvs.2000.1117>
- [29] Sniderman, K.W., Bodner, L., Saddekni, S., Srur, M. and Sos, T.A. (1984) Percutaneous Embolectomy by Transcatheter Aspiration. Work in Progress. *Radiology*, **150**, 357-361. <https://doi.org/10.1148/radiology.150.2.6228952>
- [30] King, A., Biesiada, J., Breech, L., Crombleholme, T., Huppert, J. and Keswani, S. (2013) The Utility of a Composite Index for the Evaluation of Ovarian Torsion. *European Journal of Pediatric Surgery*, **24**, 136-140. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1343084>
- [31] Mahmoud, K.D. and Zijlstra, F. (2016) Thrombus Aspiration in Acute Myocardial Infarction. *Nature Reviews Cardiology*, **13**, 418-428. <https://doi.org/10.1038/nrcardio.2016.38>
- [32] Wagner, H., Starck, E. and Reuter, P. (1994) Long-Term Results of Percutaneous Aspiration Embolectomy. *Cardiovascular and Interventional Radiology*, **17**, 241-246. <https://doi.org/10.1007/bf00192445>
- [33] 吴森焱, 程国兵, 吴佳文, 等. Acostream 血栓抽吸装置在急性下肢动脉栓塞治疗中的应用[J]. 温州医科大学学报, 2024, 54(1): 53-56+60.
- [34] 黄昊. Solitaire 支架取栓与导管直接溶栓治疗急性下肢缺血的安全有效性对照研究[D]: [博士学位论文]. 南京: 南京医科大学, 2022.
- [35] 周阳逸, 苏浩波, 何旭, 等. Solitaire AB 支架取栓对比单纯置管溶栓治疗急性肢体缺血的研究[J]. 临床放射学杂志, 2020, 39(8): 1643-1648.
- [36] 袁园, 黄昊, 顾建平, 等. AcoStream 血栓抽吸装置治疗急性下肢缺血 6 例[J]. 介入放射学杂志, 2022, 31(12): 1151-1154.
- [37] 赵敬熊, 李晓强, 李文东, 等. 血栓真空抽吸导管与导管接触性溶栓治疗急性下肢动脉缺血的对比研究[J]. 中国血管外科杂志(电子版), 2024, 16(4): 346-350.
- [38] Fluck, F., Stephan, M., Augustin, A., Rickert, N., Bley, T.A. and Kickuth, R. (2021) Percutaneous Mechanical Thrombectomy in Acute and Subacute Lower-Extremity Ischemia: Impact of Adjunctive, Solely Nonthrombolytic Endovascular Procedures. *Diagnostic and Interventional Radiology*, **27**, 206-213. <https://doi.org/10.5152/dir.2021.19403>
- [39] Schmitt, H., Jäger, K.A., Jacob, A.L., Mohr, H., Labs, K. and Steinbrich, W. (1999) A New Rotational Thrombectomy Catheter: System Design and First Clinical Experiences. *CardioVascular and Interventional Radiology*, **22**, 504-509. <https://doi.org/10.1007/s002709900440>
- [40] Pan, T., Tian, S., Liu, Z., Zhang, T., Li, C. and Ji, D. (2022) Combination of Rotarex®s Rotational Atherothrombectomy and Drug-Coated Balloonangioplasty for Femoropopliteal Total In-Stent Occlusion. *Annals of Vascular Surgery*, **80**, 213-222. <https://doi.org/10.1016/j.avsg.2021.08.058>
- [41] 陈天龙, 白宏宇, 孔敬波, 等. 应用 Rotarex 旋切导管行经皮机械性血栓切除治疗急性下肢缺血的有效性和安全性[J]. 吉林医学, 2024, 45(10): 2395-2397.
- [42] Loffroy, R., Falvo, N., Galland, C., Fréchier, L., Ledan, F., Midulla, M., *et al.* (2020) Percutaneous Rotational Mechanical Atherectomy Plus Thrombectomy Using Rotarex S Device in Patients with Acute and Subacute Lower Limb Ischemia: A Review of Safety, Efficacy, and Outcomes. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, **7**, Article ID: 557420. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2020.557420>
- [43] 张雷, 陆清声, 裴轶飞, 等. AngioJet 机械血栓抽吸技术在动脉栓塞及血栓形成中的应用体会[J]. 中国血管外科杂志(电子版), 2016, 8(3): 203-207.
- [44] 胡思聘, 王晓栋, 陆姿赢, 等. AngioJet 血栓清除联合覆膜支架治疗完全血栓化腘动脉瘤 1 例[J]. 浙江医学, 2022, 44(20): 2216-2218.
- [45] Ritonga, I.T.P., Ascittuto, G., Mani, K., Shehada, Y. and Usai, M.V. (2025) Endovascular Therapy for Iatrogenic Occlusion of the Popliteal Artery after Complex Total Knee Arthroplasty: A Case Report. *Journal of Vascular Surgery Cases, Innovations and Techniques*, **11**, Article 101695. <https://doi.org/10.1016/j.jvscit.2024.101695>
- [46] Leung, D.A., Blitz, L.R., Nelson, T., Amin, A., Soukas, P.A., Nanjundappa, A., *et al.* (2015) Rheolytic Pharmacomechanical Thrombectomy for the Management of Acute Limb Ischemia. *Journal of Endovascular Therapy*, **22**, 546-557.

- <https://doi.org/10.1177/1526602815592849>
- [47] 胡斌, 赵文军, 陈光, 等. 两种经皮机械血栓清除方式对急性下肢缺血的疗效与安全性研究[J]. 浙江医学, 2024, 46(10): 1067-1073.
 - [48] 缪伟锋, 王春新, 王枫, 等. Solitaire FR 型支架取栓治疗急性大动脉闭塞性脑梗死的疗效观察[J]. 中国医疗器械信息, 2025, 31(4): 37-39.
 - [49] Taha, A.G., Byrne, R.M., Avgerinos, E.D., Marone, L.K., Makaroun, M.S. and Chaer, R.A. (2015) Comparative Effectiveness of Endovascular versus Surgical Revascularization for Acute Lower Extremity Ischemia. *Journal of Vascular Surgery*, **61**, 147-154. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2014.06.109>
 - [50] 韩志铁, 王秀丽, 袁海洪, 等. 血管内机械取栓过程中 Solitaire 支架对血管内膜损伤实验研究[J]. 中国现代神经疾病杂志, 2017, 17(11): 819-824.
 - [51] 蔡旭升, 徐一丁, 杨超, 等. 急性下肢缺血患者不同治疗方法的疗效及预后比较[J]. 血管与腔内血管外科杂志, 2020, 6(5): 396-401.
 - [52] 林小雷, 徐立, 李文献, 等. AngioJet 血栓清除装置在急性下肢动脉缺血治疗中的应用效果[J]. 血管与腔内血管外科杂志, 2021, 7(6): 698-702.
 - [53] Abouzid, M.R., Vyas, A., Kamel, I., Anwar, J., Elshafei, S., Subramaniam, V., *et al.* (2025) Comparing the Efficacy and Safety of Endovascular Therapy versus Surgical Revascularization for Critical Limb-Threatening Ischemia: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Progress in Cardiovascular Diseases*, **88**, 126-135. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2024.06.008>