

• 综 述 General review •

急性肺血栓栓塞症介入治疗现状

候学智, 黄 强

【摘要】 急性肺血栓栓塞症(pulmonary thromboembolism, PTE)的危险分层是治疗的导向,针对不同的危险分层采取相应的治疗方案。抗凝治疗是急性 PTE 治疗的基石,但单纯抗凝治疗与中、高危人群中早期血流动力学失代偿和死亡的风险增加相关;系统溶栓能够快速减轻血栓负荷,缓解右心室功能障碍,可以更早地改善血流动力学,但存在出血的高风险。目前,导管介入治疗正在迅速发展,并发展出了不少与之匹配的装置,旨在更好地完善急性 PTE 治疗方案,以满足肺栓塞治疗的临床需求。该文虽未对其临床相关应用优势展开对照研究,但是却基于危险分层的治疗思路,对机械性血栓清除装置、吸入性血栓清除装置、裂解性血栓清除装置等不同类型进行了综述,并论述其在各自应用范围内的优势及发展趋势,旨在为当前学术研究进行系统性总结。

【关键词】 急性肺血栓栓塞症;危险分层;导管定向溶栓;导管血栓清除术

中图分类号:R543.5 文献标志码:A 文章编号:1008-794X(2024)-09-1027-07

Current status of interventional therapy for acute pulmonary thromboembolism HOU Xuezhi, HUANG Qiang. Qinghai Provincial People's Hospital, Xining, Qinghai Province 810000, China

Corresponding author: HUANG Qiang, E-mail: hq0713@163.com

【Abstract】 The risk stratification of acute pulmonary thromboembolism(PTE) is the direction of treatment, and corresponding treatment plans are adopted for patients with different risk stratification. Anticoagulant therapy is the cornerstone of the treatment of acute PTE, but simple anticoagulant therapy is associated with an increased risk of early hemodynamic decompensation and death in the medium to high-risk population. Systematic thrombolysis can quickly reduce the burden of thrombus, alleviate right ventricular dysfunction, and improve hemodynamics earlier, but there is a high risk of bleeding. At present, catheter interventional therapy is rapidly developing and many matching devices have been developed, which aims to better formulate the treatment plan for acute PTE and to better meet the clinical requirements for the treatment of PTE. This article, based on the therapeutic idea of risk stratification, aims to make a comprehensive review about the different types of mechanical thrombectomy devices, inhalation thrombectomy devices and lytic thrombectomy devices, which are currently used in clinical treatment of PTE, although a comparative study on the advantages of their clinical application has not been conducted yet. The advantages and trends of their respective applications are discussed so as to provide a systematic summary of the current academic research in this field.

【Key words】 acute pulmonary thromboembolism; risk stratification; catheter-directed thrombolysis; transcatheter thrombectomy

肺栓塞(pulmonary embolism, PE)是指各种栓子阻塞肺动脉或其分支而引起肺循环和右心功能衰竭的临床综合征,包括肺血栓栓塞症(pulmonary thromboembolism, PTE)、脂肪栓塞、空气栓塞、羊

水栓塞及肿瘤栓塞等。下肢深静脉血栓形成(deep venous thrombosis, DVT)是 PTE 血栓的主要来源,而 PTE 和 DVT 是静脉血栓栓塞症(venous thromboembolism, VTE)在不同部位、不同阶段的

DOI:10.3969/j.issn.1008-794X.2024.09.020

作者单位:810000 青海西宁 青海省人民医院(候学智);中日友好医院呼吸中心呼吸与危重症医学科、国家呼吸中心(黄 强)

通信作者:黄 强 E-mail:hq0713@163.com

两种临床表现形式。全球肺栓塞发病率为 39~115/10 万,近年来这一比例稳步上升^[1-3],在过去的 20 年里,PTE 的发病率显著上升,其原因包括人口老龄化、成像技术的发展^[4]和改进的诊断技术。尽管在检测和干预方面取得了进步,但 VTE 仍然成为心血管疾病中仅次于心肌梗死和卒中的第三大常见死亡原因^[5]。数据显示,新型冠状病毒肺炎(COVID-19)合并 VTE 的患者总体死亡率增加 74%^[5]。VTE 也被认为是一种反复发作的疾病过程,复发率估计为 13.5%^[6]。VTE 患者也有长期的并发症,如出血风险增加和慢性血栓栓塞性肺病(chronic thromboembolic pulmonary disease, CTEPD)伴或不伴肺动脉高压(pulmonary hypertension, PH)等。

目前,急性 PTE 的主要治疗方法包括抗凝、系统溶栓、导管介入治疗以及外科手术治疗。单纯抗凝治疗一直是治疗低危 PTE 患者的有效方法。系统性溶栓目前主要应用于高危 PTE 患者,与单纯抗凝相比,其可加速急性 PTE 患者的血栓溶解,更快地降低肺动脉压力,降低发病率和过早死亡率,以及降低随后发展为 CTEPH 的风险以及改善生活质量^[7-8],但是溶栓与出血风险增加有关。因此,高危 PTE 患者进行导管介入治疗的方式被越来越多的临床医生所接受。对于右心血栓或卵圆孔未闭有转运血栓的患者,外科手术取栓被认为是一线治疗。

1 基于危险分层的治疗

危险分层是治疗的导向,特别是在护理升级、进入重症监护病房(ICU)、使用溶栓药物和进行侵入性手术等方面。

高危 PTE 约占所有急性 PTE 患者的 5%,住院死亡率高达 52%^[9]。这些患者需要立即进行挽救生命的再灌注治疗,以降低死亡率,他们通常需要系统溶栓、外科手术取栓、导管介入治疗及机械循环支持治疗。如果出血风险可接受,系统性溶栓是基础治疗^[10]。在高危 PTE 中,系统溶栓与降低死亡风险、发展为 CTEPH 的风险以及改善生活质量有关^[7-8],但是溶栓同时增加了出血风险,包括 6% 的大出血风险和高达 3% 的颅内出血风险^[11]。因此,高危 PTE 患者进行导管介入治疗被越来越多的临床医生所接受。高危 PTE 患者的主要死亡原因是右心室功能障碍。因此,包括静脉-动脉体外膜氧合(VA-ECMO)、右心室辅助系统等机械支持装置可用于增加心输出量,最终改善体循环和氧合。

中危 PTE 患者涉及的人群广泛,病情的严重程度也大不相同,从可以只需要抗凝治疗、短期住院治疗,到需要密切监测、潜在的抢救溶栓、导管介入治疗或外科手术栓塞切除术。指南建议,大多数急性中低危 PTE 患者参照低危 PTE 治疗方法,并建议在门诊进行全身抗凝治疗。但对于中高危 PTE,抗凝治疗过程中可能存在发生血流动力学失代偿的风险^[12],这时则需要考虑抢救性溶栓治疗^[13]和导管介入治疗。目前,中危 PTE 患者治疗策略存在争议^[14],并没有关于这种治疗方式的既定指南。

近 40% 的患者诊断为低危 PTE,其血流动力学稳定,无右心室功能障碍,与低危 PTE 相关的发病率和死亡率最低,对此类患者建议仅使用抗凝治疗^[15]。研究显示低危 PTE 患者 30 d 的全因死亡率和 PTE 相关死亡率始终远低于 1%^[16],门诊管理是一种安全的选择^[17]。对于有抗凝禁忌证的低风险 PE 患者,可考虑使用下腔静脉过滤器。

活动性血栓,定义为右心房(right atrium, RA)或右心室(right ventricle, RV)内的自由漂浮的血栓,与较高的短期全因死亡率相关^[18]。右心血栓和伴随的下肢深静脉血栓是二次栓塞的额外来源,可能导致发病率和死亡率的增加。

高危和中危 PTE 的最佳治疗方法尚未确定,PTE 新干预措施的经验仍然有限,许多医院建立了 PE 反应小组,以达成一致的诊断意见和治疗计划。

2 导管介入治疗

抗凝在治疗急性中高危 PTE 患者时不能迅速解除患者严重的右心室功能障碍,溶栓可能有较大的出血风险,外科手术治疗一般作为替代补救措施。因此,对于出血风险高且有溶栓禁忌证的患者,导管介入治疗(catheter-based therapies, CBT)是最佳治疗方案。理论上,肺动脉发生血栓栓塞,造成通气灌注不匹配,有效地清除肺动脉内血栓,增加再灌注并及早恢复远端血流,提高氧合,降低肺血管阻力,从而降低右心室的后负荷,维持心输出量,比抗凝和溶栓更加直接有效,且对全身各组织器官影响较小。

CBT 大致分为两类:导管定向溶栓(catheter-directed thrombolysis, CDT)和基于导管的栓塞清除术(catheter-based embolectomy, CBE)^[19]。这些操作使用各种类型的机械、药物或联合药物机械方法来溶解和清除肺动脉中的血栓。

2.1 CDT

CDT 包括将经颈内静脉(IJ)或股静脉(FV)的

导管置入肺动脉,直接进入血栓,并注入溶栓药物以达到血栓溶解的目的。CDT 的目标是在显著减少溶栓药物剂量的同时,产生优于全身溶栓的疗效,从而降低出血风险。根据 ESC 指南,高危 PTE 患者存在溶栓禁忌证或已失败^[14]患者应考虑 CDT,与系统溶栓(ST)相比,低剂量溶栓剂经导管输送至病变血管认为更安全、更有效。因此,在过去十年中,CDT 作为 ST 的替代治疗方案得到了发展,并改变了 PTE 管理的模式^[20]。CDT 被建议不仅作为一种替代方案,而且作为血流动力学不稳定的急性 PTE 患者的一线治疗策略^[21]。

目前 CDT 常用的溶栓导管有两种。一种是常规使用的诊断性血管造影导管或特定的多侧孔导管[标准导管溶栓(SCDT)]: Uni-Fuse (Angiodynamics Inc, Latham, NY)、Cragg-McNamara (Medtronic, Minneapolis, MN)。导管尺寸 4~5 F,输注长度为 10 cm(见图 1)。结构相对简单,由多个横向孔通道组成。溶栓剂通过侧孔释放,实现原位溶栓。另一种是超声辅助溶栓(USAT)导管,其机制是在传统 CDT 的基础上结合高频、低功率超声的导管系统,通过增加超声的能量破坏血栓的超微结构,从而增加溶栓药物对血栓的渗透。超声装置还可以解离纤维蛋白链,暴露更多的药物结合位点,可以在低剂量下进行更有效的溶栓,提高溶栓效率。EkoSonic (EKOS) 血管内系统 (Boston Scientific Corp, Marlborough, MA)是目前美国食品和药品管理局(FDA)批准的唯一使用这种机制的设备(图 1)。

输液导管的数量和组织纤溶酶原激活剂(t-PA)计量根据患者血栓负荷的不同而不同,在透视下将导管放置到一个或两个肺叶,常用的计量范围为 12~24 h 输注 6~24 mg(即单肺 1 mg/h,持续 6~12 h)^[22-23]。

CDT 治疗已经成功应用于高危和中高危患者。PERFECT 研究是对 101 例进行 CDT 治疗的急性 PTE 患者的前瞻性多中心研究。在研究中,临床成功定义为满足以下所有标准:血流动力学稳定,肺动脉压力和(或)右心功能改善,存活到出院。研究中 101 例患者中有 28 例诊断高危 PTE,CDT 在该人群中达到了 24/28 例(85.7%)的临床成功率,无重大出血性并发症^[24]。SEATTLE II 研究也是一项前瞻性、多中心 CDT 试验,入选 150 例急性 PTE 患者,其中高危 119 例,中危 31 例。所有患者的 PTE 治疗时间窗均小于 14 d, RV/RA 比值至少为 0.9, CDT 治疗 48 h 后, RV/RA 比值减少 25%,肺动脉梗阻减少

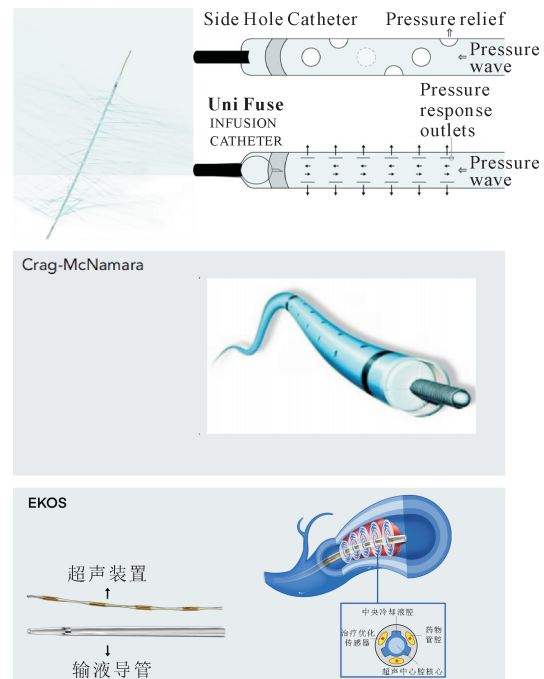


图 1 两种常用多侧孔导管及血管内系统

30%,肺动脉收缩压下降 30%,无患者发生致命性或颅内出血。Beyer 等^[25]的研究纳入了 5 436 例住院急性 PTE 患者,发现与系统溶栓治疗的患者相比,接受 CDT 治疗的患者在平均住院时间、出血事件发生率、住院死亡率、再入院率方面均有明显优势。此外,George 等^[26]报告了在 ECMO 支持下接受 CDT 治疗的 PTE 患者的结果,结果显示 CDT 治疗组的死亡率明显低于系统溶栓治疗组。

Meta 分析显示,与单纯抗凝相比,CDT 降低了中危 PTE 患者 30 d 和 1 年的全因死亡率^[27];与系统溶栓相比,CDT 降低了住院期间的全因死亡率和颅内出血发生率^[28]。这些研究表明,CDT 可能是急性 PTE 的可选并具有优势的治疗选择^[21]。

尽管多项研究已经证实 CDT 治疗对 PTE 的安全性和有效性,OPTALYSE 试验旨在优化 USAT 的 t-PA 剂量和输注时间^[29],随机选取 101 例急性中高危 PTE 患者进行 4 个 t-PA 给药队列中的一个:4 mg/肺内 2 h,4 mg/肺内 4 h,6 mg/肺内 6 h,12 mg/肺内 6 h,通过 CT 评估 RV/RA 比值为主要疗效终点。次要终点是 USAT 开始 48 h 后 CT 上改良 Miller 评分的栓塞负荷。与基线相比,每个方案都改善了 RV/RA,并改变了 Miller 评分,4 mg/肺内 4 h 组中 1 例患者发生颅内出血。观察发现 1 年时后 RV/LV 持续恢复,生活质量有所改善。虽然需要进一步的研究来评估不同的给药策略与保守的抗凝治疗的区别,这个实验显示低剂量和较短时

间的溶栓治疗对 PTE 是安全有效的。

理论上超声的使用使 USAT 比 CDT 具有更高的溶栓效率,表现为溶栓剂的总持续时间和剂量更低。但是,临床试验对此观点一直存在争议^[30-31]。SUNSET SPE 是一项随机试验,研究 EKOS 导管对中危 PTE 患者是否优于标准多侧孔导管^[31],结果显示各组中观察到的主要结果、改良 Miller 评分显著降低,但两组之间差异没有统计学意义,并且 USAT 组有 2 例患者发生大出血(颅内出血和阴道出血),SCDT 组无一例。

另外一种新型装置 PM-CDT,采用多个横截面点输送溶栓剂以增强局部溶栓效果。Bashir 导管(BEC)是一种基于导管的局部输送溶栓药物的新方法。7 F Bashir 导管包括 6 个微型输液管导管,共 48 个输液孔注入 *t*-PA(见图 2)。导管有长(12.5 cm)和短(10 cm)两种类型,以适应不同长度的肺动脉,用于在目标血管的多个横截面点输送溶栓剂。PM-CDT Bashir 导管的安全性和有效性在 RESCUE 试验^[32]中得到了验证。

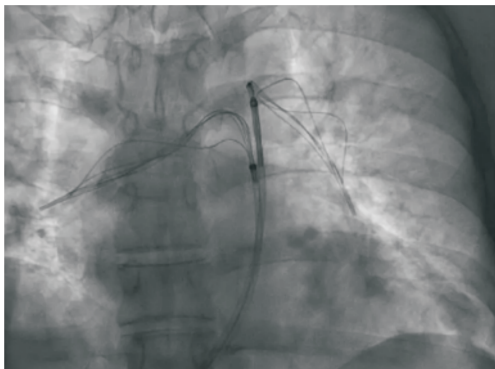


图 2 左右肺动脉内放置的 Bashir 导管(透视图)

2.2 CBE

CBE 可直接降低肺动脉血栓形成负担,从而降低右心室后负荷。其对于有溶栓禁忌证的患者或有手术切除血栓风险的患者是有益的,也可以作为一种前期处理策略。

2.2.1 导管碎栓 血栓可以通过猪尾导管经颈内

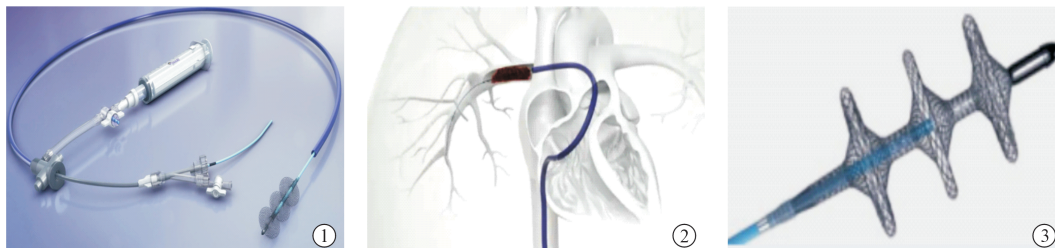
静脉或股静脉导管进入肺动脉内进行碎栓。这可以迅速建立近端栓塞部位的部分再通,但尚未得到充分的研究,并可能导致远端栓塞导致血流动力学恶化^[33],目前临床多以导管碎栓联合局部溶栓、系统溶栓等方法,单用导管碎栓的治疗方法并未广泛应用。

2.2.2 机械性血栓清除装置 Inari Flow Trierer 系统(Inari Medical)是一种 3 部分组成的装置,包括一个有 3 个镍钛合金网状圆盘的取栓导管,一个用于推动和打开圆盘进入血栓的缩回装置,以及一个 20 F 吸入套管(见图 3)。通过 22 F 导入鞘提供通路,导管通过吸入套管推入血栓。一旦离开套管,圆盘即被打开,通过圆盘回收取出血栓。该装置可以很好地接触近端血栓,并且通过 40 μ m 过滤系统过滤吸出血栓并将血液重新注入患者来减少失血。

FLARE 研究^[34]评估了 106 例年龄在 18~75 岁的中危 PTE 患者。这些患者出现症状 <14 d, CT 显示近端 PTE,血流动力学稳定,心率 <130 次/分钟和 SBP >90 mmHg,CT 显示 RV/RA 比值 >0.9 。从基线到术后 48 h,右心室比值变化的主要疗效终点从 1.53 降低到 1.15,平均降低了 0.38 (25.1%)。有良好的安全性,无器械相关不良事件,主要出血发生率为 0.9%。

Toma C 等^[35]开展的一项多中心回顾性研究分析了 34 例伴有休克、呼吸衰竭或心脏指数(CI)降低的高危 PTE 患者,采用 Flow Trierer 系统(Inari Medical)治疗,手术成功率为 94%,CI (2.0~2.4 L/min \cdot m²)显著增加,平均 PA 压力(33~25 mmHg)显著降低,并在手术成功的患者中未出现重大并发症或死亡率。

有多项即将进行的研究正在积极纳入,包括大面积 PTE 患者使用 Flow Trierer 系统的 FLASH 注册登记研究、FLAME 观察研究,以及对中高危 PE 患者的 PEERLESS 随机对照试验,为 Flow Trierer 系统在急性 PTE 中应用提供更多的试验依据。



①Inari Flow Trierer 系统;②到达血栓处的引导导管;③网状圆盘结构

图 3 机械性血栓清除装置组成

2.2.3 吸入性血栓清除装置 Penumbra Indigo 装置由一个连接到抽吸泵的 8 F 抽吸导管组成,通过一根 0.035 英寸硬导丝推进到肺动脉血栓近端进行抽吸,可重复多次,直到血栓负荷减少,远端灌注恢复。其包含一根金属丝,远端尖端呈橄榄形,该金属丝可以通过促进抽吸和破碎血栓来维持抽吸导管的通透性(见图 4)。直导管和弯曲导管可提高疗效,但如果导管不嵌在血栓中,可能会有明显的失血量。Lightning 技术是一种智能抽吸系统,根据导管是否嵌于血栓来改变抽吸量,有助于优化血块回收,同时减少失血量。目前,对少数近端 PE 患者进行的初步试验显示了良好的结果,表现为血流动力学的改善和提高生存率^[36]。



图 4 吸入性血栓清除装置的组成

EXTRACT-PE 研究^[37]是一项评估 Indigo 装置的单臂研究性药物豁免试验,该研究评估了 119 例中危 PTE 患者。患者症状 <14 d, CT 证实肺栓塞, SBP >90 mmHg, RV/RA >0.9 。采用 CAT 8 装置进行抽吸血栓切除术。从基线到术后 48 h, RV/RA 变化的主要疗效终点从 1.47 下降到 1.04, 降低了 0.43(27.3%); 39% 患者不需要 ICU 住院, 在 ICU 住院的中位住院时间为 1 d。主要不良事件发生率 1.7%, 死亡率为 0.8%。

2.2.4 吸入性血栓清除装置 Aco Stream 是首款国产化血栓抽吸装置(见图 5)。2021 年 11 月获国家药监局批准上市(外周适应证), 作用机制类似于 Penumbra Indigo 装置, 目前国内各呼吸中心正在进行相关试验研究, 暂未看到临床试验研究结果。

2.2.5 吸入性血栓清除装置 AngioVac 系统包括一个漏斗状尖端, 以接触血管内物质, 包括血栓, 连接在一个 22 F 的吸入性导管上(见图 6)。该系统为一条静脉需要 26 F 引入鞘, 另一条静脉需要 18 F 回输导管。22 F 吸入性导管通过 26 F 引入鞘, 与离心泵连接, 通过将血液重新定向到再输注套管, 充当



图 5 Aco Stream 血栓清除装置

体外旁路。吸入的血栓保留在过滤器上, 血液重新回输。缺点是需要全身麻醉, 导管管径大, 由于其笨重的操作和导管硬度大等引起的并发症, 这在右心室和肺动脉中不易操作^[38]。大多数评估该装置的研究都是单中心、小样本病例系列。



图 6 AngioVac 系统漏斗状尖端

2.2.6 裂解性血栓清除装置 AngioJet 装置(Boston Scientific, Marlborough, MA, USA)是一种药物机械溶栓装置(见图 7)。其利用伯努利和文丘里原理, 在局部利用高速流动的液体产生低压吸入血栓, 并利用高速喷射水流击碎血栓并经导管送出体外。在抽栓之前还可通过导管喷药模式局部喷洒溶栓药物, 促进血栓溶解。AngioJet 装置理论上能使血栓破碎成直径更小的栓子, 这有助于增加溶栓药物接触面积, 进一步增加溶栓效果。

基于该设备作用原理, 各种严重的并发症已被发现, 特别是心动过缓、心律失常、低血压和血红蛋白尿伴有罕见的肾功能衰竭^[39-41]。这些并发症可能是由血栓碎片引起的溶血, 可能触发肺动脉内大量释放活性物质, 如腺苷和缓激肽等物质, 出现血栓清除过程中观察到的慢性心律失常和低血压的主要原因; 另一个原因, 则是由于 AngioJet 费用高昂。有学者经研究得出, AngioJet 具有较高即刻血栓清除率, 但对于患者家庭的支付能力有一定的影响, 因此无法大范围普及^[42]。

3 总结

急性 PTE 是临床上常见病, 是引起患者突发死

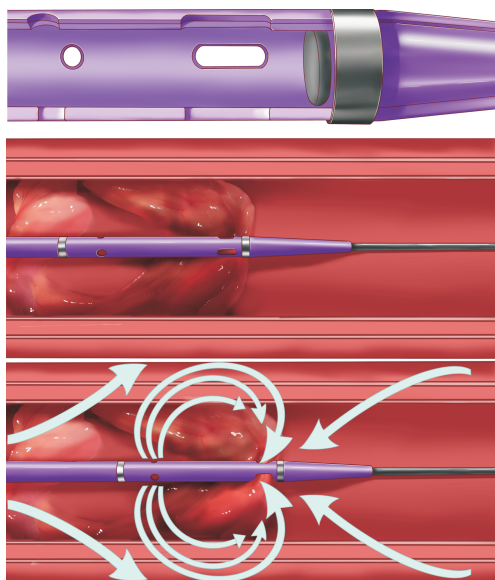


图 7 AngioJet 装置及应用效果图

亡的常见原因之一,由于较多的患者发病隐匿,常导致漏诊或误诊。介入放射学的兴起,特别是经颈静脉或股静脉插管到肺动脉给予接触性溶栓大大地改变了传统的治疗模式,降低了 PE 患者的死亡率。越来越多的证据表明,尤其在中、高危 PTE 的治疗中,导管介入治疗是全身溶栓或抗凝的有效、安全的替代方案。

基于此,本文综述了国外急性 PE 介入治疗的多种方法,对了解国外进展具有一定的参考价值,并认为未来的研究应该将成本效益、当地专业知识、基础设施的成本以及患者的预期效益并列起来综合考虑,制定精准的治疗方案,使患者最大程度获益。

本综述存在的问题是针对导管溶栓治疗中溶栓剂量研究仍然需要积极开展,需要更多的数据来规范溶栓剂量和完善急性 PTE 治疗方案,从而不断完善当前的研究成果,并由此进一步评估导管介入治疗对长期右心室功能、运动耐量和发展成 CTEPH 风险的影响。

[参 考 文 献]

- [1] 吕 琴,何 雅,高慎敏. 肺栓塞患者合并阻塞性睡眠呼吸暂停发病率及危险因素 Meta 分析[J]. 四川医学, 2023, 44: 349-355.
- [2] Lehnert P, Lange T, Moller CH, et al. Acute pulmonary embolism in a National Danish cohort: increasing incidence and decreasing mortality [J]. Thromb Haemost, 2018, 118: 539-546.
- [3] 赵声远,王丽倩,贺爱兰,等. 医院获得性肺血栓栓塞症的临床特征与危险因素分析[J]. 中国普通外科杂志, 2022, 31:

- 813-821.
- [4] Tritschler T, Kraaijpoel N, Le Gal G, et al. Venous thromboembolism: advances in diagnosis and treatment [J]. JAMA, 2018, 320: 1583-1594.
- [5] Zhang X, Li W, Lin A, et al. Outcomes of catheter ablation of atrial tachyarrhythmia guided exclusively by activation mapping [J]. J Interv Card Electrophysiol, 2023, 66: 1383-1389.
- [6] 林 盼,田凌云,贺爱兰,等. 静脉血栓栓塞症复发现状及风险评估工具研究进展[J]. 中国普通外科杂志, 2020, 29: 1391-1398.
- [7] Chatterjee S, Chakraborty A, Weinberg I, et al. Thrombolysis for pulmonary embolism and risk of all-cause mortality, major bleeding, and intracranial hemorrhage: a meta-analysis [J]. JAMA, 2014, 311: 2414-2421.
- [8] Wan S, Quinlan DJ, Agnelli G, et al. Thrombolysis compared with heparin for the initial treatment of pulmonary embolism: a meta-analysis of the randomized controlled trials [J]. Circulation, 2004, 110: 744-749.
- [9] 张 静,闫盈盈,翟所迪. 基于文献的中国肺栓塞患者药物治疗与国内指南符合程度的比较研究[J]. 中国新药杂志, 2020, 29: 831-835.
- [10] Jaff MR, McMurtry MS, Archer SL, et al. Management of massive and submassive pulmonary embolism, iliofemoral deep vein thrombosis, and chronic thromboembolic pulmonary hypertension: a scientific statement from the American Heart Association [J]. Circulation, 2011, 123: 1788-1830.
- [11] Meyer G, Vicaut E, Danays T, et al. Fibrinolysis for patients with intermediate-risk pulmonary embolism [J]. N Engl J Med, 2014, 370: 1402-1411.
- [12] Michaud E, Pan M, Aggarwal V. Catheter-based therapies in acute and chronic pulmonary embolism [J]. Curr Opin Cardiol, 2021, 36: 704-710.
- [13] Marti C, John G, Konstantinides S, et al. Systemic thrombolytic therapy for acute pulmonary embolism: a systematic review and meta-analysis [J]. Eur Heart J, 2015, 36: 605-614.
- [14] 杜 昌,余剑波,朱继红. 存在溶栓禁忌证的肺血栓栓塞症患者治疗策略分析[J]. 中国全科医学, 2018, 21: 194-198.
- [15] Abrahams-van Doorn PJ, Hartmann IJ. Cardiothoracic CT: one-stop-shop procedure? Impact on the management of acute pulmonary embolism [J]. Insights Imaging, 2011, 2: 705-715.
- [16] Maughan BC, Frueh L, McDonagh MS, et al. Outpatient treatment of low-risk pulmonary embolism in the era of direct oral anticoagulants: a systematic review [J]. Acad Emerg Med, 2021, 28: 226-239.
- [17] Aujesky D, Roy PM, Verschuren F, et al. Outpatient versus inpatient treatment for patients with acute pulmonary embolism: an international, openlabel, randomised, non-inferiority trial [J]. Lancet, 2011, 378: 41-43.
- [18] Brailovsky Y, Allen S, Masic D, et al. Risk stratification of acute pulmonary embolism [J]. Curr Treat Options Cardiovasc Med, 2021, 23: 48.

- [19] 赵 辉,胡红耀,饶 珉,等.经皮机械性血栓清除术同期联合髂静脉支架置入治疗髂静脉压迫综合征并发急性下肢深静脉血栓形成[J]. 临床放射学杂志,2021,40:806-810.
- [20] Allen S, Chan L, Masic D, et al. Comparison of outcomes in catheter-directed versus ultrasound-assisted thrombolysis for management of submassive pulmonary embolism[J]. *Thromb Res*, 2021, 202: 96-99.
- [21] Zuin M, Kuo WT, Rigatelli G, et al. Catheter-directed therapy as a first-line treatment strategy in hemodynamically unstable patients with acute pulmonary embolism: yes or no? [J]. *Int J Cardiol*, 2016, 225: 14-15.
- [22] Kucher N, Boekstegers P, Müller OJ, et al. Randomized, controlled trial of ultrasound-assisted catheter-directed thrombolysis for acute intermediate-risk pulmonary embolism [J]. *Circulation*, 2014, 129: 479-486.
- [23] Piazza G, Hohlfelder B, Jaff MR, et al. A prospective, single-arm, multicenter trial of ultrasound-facilitated, catheter-directed, low-dose fibrinolysis for acute massive and submassive pulmonary embolism: the SEATTLE II study [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2015, 8: 1382-1392.
- [24] Kuo WT, Banerjee A, Kim PS, et al. Pulmonary embolism response to fragmentation, embolectomy, and catheter thrombolysis (PERFECT): initial results from a prospective multicenter registry [J]. *Chest*, 2015, 148: 667-673.
- [25] Beyer SE, Shanafelt C, Pinto DS, et al. Utilization and outcomes of thrombolytic therapy for acute pulmonary embolism: a nationwide cohort study [J]. *Chest*, 2020, 157: 645-653.
- [26] George B, Parazino M, Omar HR, et al. A retrospective comparison of survivors and non-survivors of massive pulmonary embolism receiving veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation support [J]. *Resuscitation*, 2018, 122: 1-5.
- [27] Guo A, Foraker R, White P, et al. Using electronic health records and claims data to identify high-risk patients likely to benefit from palliative care [J]. *Am J Manag Care*, 2021, 27: e7-e15.
- [28] Pasha AK, Siddiqui MU, Siddiqui MD, et al. Catheter directed compared to systemically delivered thrombolysis for pulmonary embolism: a systematic review and meta-analysis [J]. *J Thromb Thrombolysis*, 2022, 53: 454-466.
- [29] Tapson VF, Sterling K, Jones N, et al. A randomized trial of the optimum duration of acoustic pulse thrombolysis procedure in acute intermediate-risk pulmonary embolism: the OPTALYSE PE trial [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2018, 11: 1401-1410.
- [30] Rothschild DP, Goldstein JA, Ciacci J, et al. Ultrasound-accelerated thrombolysis (USAT) versus standard catheter-directed thrombolysis (CDT) for treatment of pulmonary embolism: a retrospective analysis [J]. *Vasc Med*, 2019, 24: 234-240.
- [31] Avgerinos ED, Jaber W, Lacomis J, et al. Randomized trial comparing standard versus ultrasound-assisted thrombolysis for submassive pulmonary embolism: the SUNSET sPE trial [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2021, 14: 1364-1373.
- [32] Bashir R, Foster M, Iskander A, et al. Pharmacomechanical catheter-directed thrombolysis with the bashir endovascular catheter for acute pulmonary embolism: the RESCUE study [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2022, 15: 2427-2436.
- [33] Schmitz-Rode T, Janssens U, Duda SH, et al. Massive pulmonary embolism: percutaneous emergency treatment by pigtail rotation catheter [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2000, 36: 375-380.
- [34] Tu T, Toma C, Tapson VF, et al. A prospective, single-arm, multicenter trial of catheter-directed mechanical thrombectomy for intermediate-risk acute pulmonary embolism: the FLARE study [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2019, 12: 859-869.
- [35] Toma C, Khandhar S, Zalewski AM, et al. Percutaneous thrombectomy in patients with massive and very high-risk submassive acute pulmonary embolism [J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2020, 96: 1465-1470.
- [36] De Gregorio MA, Guirola JA, Kuo WT, et al. Catheter-directed aspiration thrombectomy and low-dose thrombolysis for patients with acute unstable pulmonary embolism: prospective outcomes from a PE registry [J]. *Int J Cardiol*, 2019, 287: 106-110.
- [37] Sista AK, Horowitz JM, Tapson VF, et al. Indigo aspiration system for treatment of pulmonary embolism: results of the EXTRACT-PE trial [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2021, 14: 319-329.
- [38] Al-Hakim R, Park J, Bansal A, et al. Early experience with AngioVac aspiration in the pulmonary arteries [J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2016, 27: 730-734.
- [39] Kuo WT, Gould MK, Louie JD, et al. Catheter-directed therapy for the treatment of massive pulmonary embolism: systematic review and meta-analysis of modern techniques [J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2009, 20: 1431-1440.
- [40] Das S, Das N, Serota H, et al. A retrospective review of patients with massive and submassive pulmonary embolism treated with AngioJet rheolytic thrombectomy with decreased complications due to changes in thrombolytic use and procedural modifications [J]. *Vascular*, 2018, 26: 163-168.
- [41] Latacz P, Simka M, Brzegowy P, et al. Treatment of high-and intermediate-risk pulmonary embolism using the AngioJet percutaneous mechanical thrombectomy system in patients with contraindications for thrombolytic treatment: a pilot study [J]. *Wideochir Inne Tech Malo Inwazyjne*, 2018, 13: 233-242.
- [42] 公茂峰,何 旭,楼文胜,等.流变式与手动血栓清除术介入治疗急性髂股静脉血栓形成的疗效比较 [J]. 中华普通外科杂志, 2018, 33: 388-392.

(收稿日期:2023-09-13)

(本文编辑:茹 实)