

经导管介入治疗在中高危肺栓塞中的应用现状

刘嘉舟, 王晓慧, 陈虹*

重庆医科大学附属第一医院呼吸与危重症医学科, 重庆

收稿日期: 2026年4月14日; 录用日期: 2026年5月8日; 发布日期: 2026年5月18日

摘要

急性中高危肺栓塞(pulmonary embolism, PE)患者具有显著的短期死亡风险及血流动力学失代偿风险。传统抗凝治疗对于快速解除右心室负荷效果有限, 而系统性溶栓则面临较高的大出血风险。近年来, 经导管介入治疗(catheter-directed intervention, CDI)作为一种微创再灌注策略, 在中高危肺栓塞的管理中展现出重要价值。本文综述了导管导向溶栓(catheter-directed thrombolysis, CDT)与机械取栓(mechanical thrombectomy, MT)等关键技术的分类及其临床特点, 对比了介入治疗与标准抗凝治疗在疗效与安全性方面的循证证据, 并探讨了介入治疗对患者长期功能恢复及生活质量的影响。目前随机对照试验(randomized controlled trial, RCT)初步证实了CDI在改善右心室功能方面的优势, 但其对长期生存获益等硬终点的影响仍有待大规模研究进一步验证。多学科肺栓塞响应团队(Pulmonary Embolism Response Team, PERT)的协作对于优化治疗决策至关重要。

关键词

肺栓塞, 中高危, 经导管介入治疗, 导管导向溶栓, 机械取栓

Current Status of Catheter-Directed Intervention for Intermediate-High-Risk Pulmonary Embolism

Jiazhou Liu, Xiaohui Wang, Hong Chen*

Department of Pulmonary and Critical Care Medicine, The First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

Received: April 14, 2026; accepted: May 8, 2026; published: May 18, 2026

Abstract

Patients with acute intermediate-high-risk pulmonary embolism (PE) face significant risks of short-

*通讯作者。

文章引用: 刘嘉舟, 王晓慧, 陈虹. 经导管介入治疗在中高危肺栓塞中的应用现状[J]. 临床医学进展, 2026, 16(5): 1276-1283. DOI: 10.12677/acm.2026.1651928

term mortality and hemodynamic decompensation. Traditional anticoagulation has limited efficacy in rapidly reversing right ventricular (RV) pressure overload, while systemic thrombolysis is associated with a substantial risk of major bleeding. In recent years, catheter-directed intervention (CDI) has emerged as a crucial minimally invasive reperfusion strategy for managing intermediate-high-risk PE. This article reviews the classification and clinical characteristics of key technologies, including catheter-directed thrombolysis (CDT) and mechanical thrombectomy (MT). It compares evidence regarding the efficacy and safety of CDI versus standard anticoagulation and discusses the impact of CDI on long-term functional recovery and quality of life. While current randomized controlled trials (RCT) support the superiority of CDI in improving RV function, its impact on “hard” clinical endpoints such as long-term survival requires further validation through large-scale studies. The collaboration of multidisciplinary Pulmonary Embolism Response Teams (PERT) is essential for optimizing treatment decisions.

Keywords

Pulmonary Embolism, Intermediate-High-Risk, Catheter-Directed Intervention (CDI), Catheter-Directed Thrombolysis (CDT), Mechanical Thrombectomy (MT)

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

急性肺栓塞(pulmonary embolism, PE)是全球范围内心血管死亡的主要原因之一,其临床表现具有显著的异质性,病情严重程度可从偶然检出的低危病例跨越至暴发性的高危栓塞。其中,中高危肺栓塞患者因其存在右心室功能障碍的客观证据且伴有心肌损伤标志物升高,构成了一个治疗上颇具挑战性的群体。这部分患者虽未出现持续性低血压,但短期死亡风险显著升高,可达3%~12%不等,且存在较高的早期血流动力学失代偿风险[1]。传统的治疗基石是抗凝治疗,但其主要作用在于预防血栓扩展和复发,对于快速逆转已形成的右心室负荷过重和压力超载效果有限。系统性溶栓虽然能有效溶解血栓,降低死亡率,但其导致大出血(尤其是颅内出血)的风险高达10%,极大地限制了其在临床的广泛应用,尤其对于中高危患者,其风险-获益比往往不被认为有利[1][2]。

在此背景下,经导管介入治疗(catheter-directed intervention, CDI)作为一类新兴的微创再灌注策略应运而生,其核心目标是快速降低血栓负荷,缓解右心室后负荷,稳定血流动力学,同时力求降低系统性溶栓带来的出血风险[3][4]。这类技术通过导管直接将溶栓药物输送到血栓部位,或利用机械方法直接移除血栓。近年来,随着多种专用器械的研发和上市,CDI的临床应用日益增多,并促使了多学科肺栓塞响应团队(Pulmonary Embolism Response Team, PERT)的广泛建立[5]。然而,尽管其应用前景广阔,但支持其疗效和安全性的质量循证医学证据,特别是与标准抗凝治疗相比较的随机对照试验(randomized controlled trial, RCT)数据,在历史上相对缺乏,导致了临床实践和指南推荐的不一致性[4][6]。本文旨在综述CDI在中高危肺栓塞中的应用现状,并探讨其未来的发展方向。

2. CDI 技术分类与特点

CDI涵盖了一系列技术,主要可分为基于药物溶栓原理的导管导向溶栓(catheter-directed thrombolysis, CDT)和基于机械原理的机械取栓(Mechanical Thrombectomy, MT),以及二者的结合[3][7]。CDT是通过

多侧孔导管将溶栓药物直接输注至肺动脉血栓内部。与传统系统性溶栓相比,其优势在于使用更低的药物总剂量(通常为全身剂量的 10%~20%),理论上可在局部达到更高的药物浓度,同时降低全身性出血风险[1][8]。一项名为 RESCUE 的研究使用 Bashir 导管进行药械结合的溶栓,仅向每侧肺动脉灌注 7mg 阿替普酶,便在 48 小时内使右心室/左心室直径比(right ventricle-to-left ventricle diameter ratio, RV/LV 比)显著降低了 33.3% [9]。超声辅助导管导向溶栓(ultrasound-assisted thrombolysis, USAT)是 CDT 的增强版本,在输注溶栓药的同时,利用导管头端的超声换能器产生低频超声波,促使纤维蛋白束解离,增加药物渗透,理论上可加速血栓溶解[8]。最新发布的 HI-PEITHO 研究结果显示,在中高危肺栓塞患者中,USAT 组的主要终点事件发生率显著低于单纯抗凝组(4.0% vs. 10.3%; $P = 0.005$),风险降低达 61%。安全性方面,两组大出血风险相当且未观察到颅内出血,为早期积极干预提供了高级别循证证据[10]。

MT 则完全不依赖溶栓药物,通过物理方式清除血栓,因此特别适用于有溶栓禁忌症的患者。这类技术主要包括手动抽吸取栓和计算机辅助真空取栓(computer-assisted vacuum thrombectomy, CAVT) [4] [11]。手动抽吸取栓使用大口径导管(如 FlowTrieve 系统)在血栓近端产生负压,结合网篮等装置进行碎裂和抽吸。FLASH 注册研究显示,使用该技术治疗的中高危和高危患者,平均肺动脉压立即下降 7.6 mmHg, RV/LV 比在 48 小时内从 1.23 降至 0.98 [12]。CAVT 系统(如 Indigo Aspiration 系统)则通过专用的抽吸泵产生并维持稳定的负压,实现更高效的血栓移除[11]。STORM-PE 和 STRIKE-PE 研究均采用了此类技术 [13][14]。此外,还有一些更新的设备(如 Lightning 12 系统、AlphaVac 系统)在不断开发和应用中[11][15]。

临床实践中常根据患者具体情况(如血栓负荷、解剖位置、出血风险等)灵活选择或组合使用这些技术 [16][17]。例如,在部分高危患者中,可能同时进行抽吸取栓和局部溶栓药物灌注[17]。

3. CDI 与标准抗凝治疗的疗效与安全性比较

评估 CDI 相较于标准抗凝治疗的额外获益与风险,是当前该领域研究的核心问题。早期证据主要来源于观察性研究和单臂注册研究,普遍提示 CDI 能带来快速的影像学 and 血流动力学改善[12][18]。例如,一项前瞻性研究显示,使用 FlowTrieve 系统进行 MT 后,患者肺动脉收缩压从基线平均 51.3 mmHg 立即下降 15.0 mmHg,并且这种改善在 3 个月随访时得以维持[18]。FLASH 注册研究也报告了类似的血流动力学和右心室功能即时改善,且 30 天全因死亡率仅为 0.8% [12]。

近年来,几项关键的 RCT 提供了更高级别的证据。CANARY 试验将中高危肺栓塞患者随机分配至 CDT 联合抗凝组或单纯抗凝组。虽然该试验因突发公共卫生事件提前终止且样本量有限,但其结果显示,与单纯抗凝相比,CDT 联合抗凝组在 72 小时和 3 个月时 RV/LV 比大于 0.9 的患者比例更低,3 个月死亡或 RV/LV 比大于 0.9 的复合终点发生率也更低(4.3% vs 17.3%),且大出血发生率低[19]。另一项名为 STORM-PE 的 RCT,则专门评估了 CAVT 联合抗凝对比单纯抗凝的疗效。结果显示,在 48 小时时,CAVT 联合抗凝组 RV/LV 比的下降幅度显著大于单纯抗凝组(0.52 vs 0.24),且两组在 7 天内主要不良事件(包括临床恶化、肺栓塞相关死亡、复发性肺栓塞和大出血的复合终点)发生率无统计学差异(4.3% vs 7.5%) [13]。这些 RCT 结果初步支持了 CDI 在改善右心室功能这一替代终点上的优势,且安全性可接受。

一项纳入 76 项研究的荟萃分析进一步支持了 CDI 的可能益处。该分析显示,在中高危肺栓塞患者中,接受 CDI 队列的 30 天死亡率仅为 2.1%,而接受药物治疗(主要为抗凝,可能包括系统性溶栓)的队列死亡率高达 9.1% [20]。在安全性方面,CDI 的大出血风险总体可控。多项研究显示,主要器械相关的大出血事件发生率通常在 2% 以下[9][12][14]。例如,RESCUE 研究中,与手术相关的主要不良事件(包括大出血)发生率仅为 0.92% [9]。STRIKE-PE 研究的期中分析报告 48 小时内复合主要不良事件发生率为 2.0% [14]。一项比较研究发现,MT 与 CDT 在 30 天死亡率上相似,但 MT 的颅内出血和胃肠道出血风险更低[21]。

然而, 尽管上述研究在改善右心室功能和血流动力学指标方面展现出显著优势, 但目前大多数 CDI 试验的样本量相对有限, 且多以影像学改善(如 RV/LV 比)等相关替代终点作为主要终点, 必须审慎看待上述研究中 CDI 展现出的优势。虽然 RV/LV 比的快速下降直观地反映了右心室压力负荷的缓解, 但替代终点的改善并不必然等同于临床硬终点的获益, 这种解剖学或影像学上的早期改善是否能必然转化为患者的长期生存获益(如降低全因死亡率或心力衰竭住院率)这一硬终点, 目前仍缺乏直接证据。正如 CANARY 试验所示, 尽管介入组在短期内实现了更显著的右心功能复原, 但在降低全因死亡率方面尚未与单纯抗凝组相比表现出统计学差异[19]。这种差距可能源于肺栓塞病理生理的复杂性: 除了物理梗阻外, 微循环障碍、炎症反应及远期血管重塑均是决定预后的关键因素。因此, 不能简单地将影像学的“即刻成功”等同于长期生存的“最终获益”, 这凸显了从关注“血管通畅度”转向关注“患者临床转归”的重要性。此外, 临床医生在选择 CDI 还是标准抗凝时, 仍需在快速缓解梗阻与规避侵入性操作风险之间进行精细权衡。这凸显了进行大规模、以临床硬终点为主要结局的 RCT 的必要性。目前, 诸如 PEERLESS II 等正在进行的高级别 RCT 研究, 有望进一步厘清替代终点与长期获益之间的因果关联, 为中高危肺栓塞的最佳治疗策略提供最终的定论。

4. CDT 与 MT 的对比

随着介入技术的多样化, 如何选择最合适的治疗方式成为临床决策的难点。CDT 与 MT 在机制、适用人群和风险谱上各有特点。

CDT 的优势在于其相对成熟的应用经验和理论上的血栓溶解更彻底。然而, 它仍然需要使用溶栓药物, 尽管剂量较低, 但仍存在出血风险, 且需要持续输注数小时至数十小时, 起效相对较慢[22]。一项单中心回顾性研究发现, 从 2013 年到 2019 年, 随着技术演进, CDT 的阿替普酶平均剂量从 26.8 mg 降至 13.9 mg, 输注时间也从 17.2 小时缩短至 11.3 小时, 反映了技术优化的趋势[22]。

MT, 特别是大口径抽吸取栓, 能够实现血栓的即时移除, 迅速缓解右心室梗阻, 且完全避免了溶栓药物的出血风险, 因此对于有明确溶栓禁忌症(如近期手术、活动性出血、脑卒中史)的患者是理想选择。STORM-PE 试验证实了 CAVT 在 48 小时内快速改善 RV/LV 比的优越性[13]。一项比较两种技术的回顾性研究显示, 在倾向评分匹配后, MT 机械取栓组在 30 天内的颅内出血和胃肠道出血风险均显著低于 CDT 组, 并且与更少的急性肺动脉高压和心肌梗死发生率相关[21]。在长期结果上, 该研究还发现 MT 组 5 年内慢性血栓栓塞性肺动脉高压(chronic thromboembolic pulmonary hypertension, CTEPH)和右心衰竭的诊断率也更低。

然而, MT 也可能面临某些应用上的挑战。有研究指出, 与 CDT 相比, 抽吸取栓后需要挽救性干预的比例更高, 这可能与某些情况下血栓无法被完全清除或抽吸过程中出现并发症有关[23]。此外, 大口径导管操作存在血管损伤、心脏穿孔、远端栓塞等潜在风险[24]。一项多中心注册研究报道了肺动脉损伤(1.8%)和缺血性卒中(0.9%)等罕见但严重的并发症[24]。

因此, 技术选择应基于个体化评估。需要考虑的因素包括: 血栓的性状与分布(是新鲜漂浮血栓还是陈旧机化血栓)、患者的出血风险、当地可用的器械以及术者经验等[2][5]。通常, 对于出血风险高或需快速逆转血流动力学的患者, MT 更具吸引力; 而对于血栓负荷弥漫、预期溶栓效果好的患者, CDT 可能更合适[16][25]。一项单中心比较研究认为, 两种技术在中危肺栓塞患者中均提供了优秀的短期和中期结果, 生存率、右心功能改善及住院时间相似, 但 MT 与更高的输血率相关, 提示对贫血或出血风险高的患者应谨慎选择[25]。

5. CDI 的长期功能结果与生活质量影响

除了急性期的血流动力学稳定, CDI 的另一个重要潜在价值在于预防肺栓塞后综合征(Post-Pulmonary

Embolism Syndrome, PPES), 改善患者的长期功能状态和生活质量。PPES 涵盖了一系列长期后遗症, 包括持续性呼吸困难、运动耐力下降、右心室功能不全, 甚至发展为 CTEPH, 严重影响患者预后[1] [26]。

越来越多的证据表明, 早期通过 CDI 迅速解除右心室后负荷, 可能带来远期的功能获益。FLASH 注册研究的 6 个月随访结果显示, 接受 MT 的患者, 右心室功能正常的比例从基线时的 15.1% 显著提高至 95.1% [26]。同时, 患者的呼吸困难评分、6 分钟步行距离以及肺栓塞专用生活质量问卷得分均得到显著且持续的改善。另一项单中心研究比较了接受 CDI 与单纯药物治疗的患者在 3~6 个月时的随访情况, 发现前者右心室功能恢复正常化的比例显著更高(71% vs 34%), 且在中高危至高危患者中, 6 分钟步行距离也 longer [27]。

在预防 CTEPH 方面, CDI 也显示出积极信号。FLASH 研究中, 经治患者报告的 CTEPH 发生率仅为 1.0% [26]。一项针对接受 MT 的亚大块肺栓塞患者的小型前瞻性研究显示, 在术后中位 4 个月时, 仅有 20% 的患者存在 $\geq 10\%$ 的残余肺血管阻塞, 这一比例较历史上单纯抗凝治疗所报告的数据更为有利[28]。此外, 一项回顾性配对队列研究提示, 对于亚大块肺栓塞, CDI 联合抗凝与单纯抗凝相比, 能改善 1 年、3 年和 5 年的长期生存率, 并降低肺栓塞相关死亡[29]。

来自 SUNSET sPE 试验的二次分析提供了有趣的生物标志物证据: 与单纯抗凝相比, 接受 CDT 的患者, 其与 CTEPH 相关的炎症生物标志物(如 CXCL10、PTX3)在出院时水平更低, 且更快恢复到基线, 尽管在 3 个月时两组的 6 分钟步行距离和生活质量评分相似, 但早期的生物标志物差异可能提示其在减轻初始血管炎症损伤方面的潜在优势[30]。使用 EkoSonic 系统的长期随访研究也报告了低死亡率、右心室功能的显著改善以及良好的患者自评生活质量[31]。

6. 当前临床实践中的挑战、多学科团队作用与未来方向

尽管 CDI 展现了良好的应用前景, 但其在临床实践中仍面临诸多挑战和未解决的问题。

首先, 最核心的挑战是缺乏以患者为中心的硬终点(如死亡率、症状性临床恶化)为驱动的决定性证据。目前已完成的 RCT 规模相对较小, 且主要终点多为影像学或血流动力学替代指标[13] [19] [32]。目前, 近期公布的 HI-PEITHO 研究致力于评估 USAT 在预防 7 天内 PE 相关死亡、心肺功能失代偿及复发等复合终点方面的确切作用, 其产出的高质量数据有望重新定义临床指南[10]。此外, STORM-PE 研究的长期临床预后随访以及 PEERLESS II 等研究的开展, 也将为确立介入干预在改善患者远期预后中的价值提供关键依据[33]。

另外, 患者选择标准尚未完全统一。如何精准识别那些最有可能从 CDI 中获益、而不仅仅是满足中高危定义的患者, 是优化治疗策略的关键[2] [34]。有研究开始探索更精细的预后指标, 例如发现介入术后仍持续升高的肺血管阻力与不良临床结局和更长的住院时间相关[34]。这提示术后血流动力学参数可能有助于风险再分层。

最后, 技术的可及性和术者经验不均。专用器械的普及、多学科团队的建立以及规范化操作流程的制定, 对确保治疗的安全性和有效性至关重要。中国专家共识明确指出, CDI 的治疗决策与管理需要呼吸与危重症医学科、重症监护、心血管内外科、放射介入科等多学科共同参与[5]。PERT 正是这种多学科协作模式的体现, 其建立已被证明能够优化治疗流程、提高临床成功率[8] [22]。一项研究甚至发现, 在有经验的 PERT 团队运作下, 非工作时间内进行的 EkoSonic 溶栓治疗与工作时间内相比同样安全有效, 且并发症更少, 支持了全天候急性肺栓塞救治的可行性[35]。

展望未来, 研究方向应包括: 开展更多设计严谨、以临床硬终点为主要结局的大规模随机对照试验; 探索结合临床、影像和生物标志物的精准化患者选择工具; 比较不同介入器械之间的成本效益和长期效果; 以及制定标准化的操作规范和培训体系[2] [4] [6]。随着证据的不断积累和技术的持续革新, CDI 有望在中高危肺栓塞的个体化、精准化治疗格局中占据更明确和重要的位置。

7. 结论与展望

CDI 作为中高危及急性肺栓塞治疗领域的一项革命性进展, 为快速降低血栓负荷、逆转右心室功能障碍提供了重要的微创选项。现有证据, 特别是来自 RCT 的数据, 初步表明与单纯抗凝治疗相比, CDT 和 MT 均能更快速地改善右心室大小和功能, 降低肺动脉压力, 且整体安全性可控, 大出血风险较低[1] [6] [13] [19]。观察性研究和部分长期随访数据进一步提示, CDI 可能带来持久的右心室功能恢复、更好的运动耐力和生活质量, 并可能降低 CTEPH 等长期后遗症的风险[26] [27] [29]。

然而, 当前支持 CDI 优于标准抗凝的高质量证据仍不充分。大多数已发表的研究规模有限, 且主要依赖于替代终点[1] [6]。该领域的未来研究应转向更具临床指导意义的科学指引: 一方面, 应针对存在高龄、合并肿瘤、存在溶栓禁忌或高出血风险等特定亚群, 开展 MT 对比标准抗凝的专属 RCT, 以明确在极端临床情境下介入干预的净获益; 另一方面, 应通过头对头研究对比不同作用机制器械的长期有效性, 尤其是其在降低慢性血栓栓塞性肺高压(CTEPH)及肺栓塞后综合征(PPES)发生率方面的差异。此外, 探索能够预测介入获益的生物标志物, 整合人工智能评价系统以实现血栓负荷的精准定量, 加强介入术中实时血流动力学监测的临床价值研究, 以及在多学科肺栓塞响应团队(PERT)模式下评估介入治疗的卫生经济学价值, 将是推动中高危及肺栓塞治疗由“经验驱动”向“精准驱动”跨越的关键路径。

未来, 肺栓塞的治疗将更加趋于个体化和精准化。多学科肺栓塞响应团队在患者评估、治疗方案制定和围术期管理中的核心作用将日益凸显[2] [5]。随着更多高级别临床证据的涌现、介入器械的不断创新以及操作流程的标准化, CDI 有望成为中高危及肺栓塞, 特别是那些有恶化风险或存在系统性溶栓禁忌症患者的一线或重要补充治疗选择, 最终实现改善患者短期和长期预后的根本目标。

参考文献

- [1] Harvey, J.J., Huang, S. and Uberoi, R. (2022) Catheter-Directed Therapies for the Treatment of High Risk (Massive) and Intermediate Risk (Submassive) Acute Pulmonary Embolism. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, **2022**, CD013083. <https://doi.org/10.1002/14651858.cd013083.pub2>
- [2] Andò, G., Pelliccia, F., Saia, F., Tarantini, G., Fraccaro, C., D'Ascenzo, F., *et al.* (2024) Management of High and Intermediate-High Risk Pulmonary Embolism: A Position Paper of the Interventional Cardiology Working Group of the Italian Society of Cardiology. *International Journal of Cardiology*, **400**, Article 131694. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2023.131694>
- [3] Götzinger, F., Lauder, L., Sharp, A.S.P., Lang, I.M., Rosenkranz, S., Konstantinides, S., *et al.* (2023) Interventional Therapies for Pulmonary Embolism. *Nature Reviews Cardiology*, **20**, 670-684. <https://doi.org/10.1038/s41569-023-00876-0>
- [4] Zuin, M., Lang, I., Chopard, R., Sharp, A.S.P., Byrne, R.A., Rigatelli, G., *et al.* (2024) Innovation in Catheter-Directed Therapy for Intermediate-High-Risk and High-Risk Pulmonary Embolism. *JACC: Cardiovascular Interventions*, **17**, 2259-2273. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2024.07.033>
- [5] Chinese Thoracic Society, Chinese Association of Chest Physicians, Expert Committee, National Project of Standardized Diagnosis and Treatment of Pulmonary Hypertension (2026) Consensus on the Procedure of Interventional Treatment Procedures for Acute Pulmonary Thromboembolism. *Chinese Journal of Tuberculosis and Respiratory Diseases*, **49**, 297-306.
- [6] Shahriar, A.A., Paul, J. and Cifu, A. (2025) Endovascular Management of Intermediate-Risk Pulmonary Embolism: Evidence, Outstanding Questions, Drivers of Utilization, and the Horizon. *European Heart Journal Open*, **5**, oead071. <https://doi.org/10.1093/ehjopen/oead071>
- [7] Bali, A.D., Sharma, T., Villela, M.A., Naidu, S.S. and Goldberg, J. (2024) Interventional Therapies and Mechanical Circulatory Support for Acute Pulmonary Embolism. *Journal of Cardiac Failure*, **30**, 1319-1329. <https://doi.org/10.1016/j.cardfail.2024.07.012>
- [8] Ochani, R.K., Aibani, R., Jatoi, H.N., Anwar, M., Khan, S.A., Ratnani, I., *et al.* (2023) Evolving Paradigm of Thrombolysis in Pulmonary Embolism: Comprehensive Review of Clinical Manifestations, Indications, Recent Advances and Guideline. *World Journal of Clinical Cases*, **11**, 1702-1711. <https://doi.org/10.12998/wjcc.v11.i8.1702>
- [9] Bashir, R., Foster, M., Iskander, A., Darki, A., Jaber, W., Rali, P.M., *et al.* (2022) Pharmacomechanical Catheter-Directed

- Thrombolysis with the Bashir Endovascular Catheter for Acute Pulmonary Embolism: The RESCUE Study. *JACC: Cardiovascular Interventions*, **15**, 2427-2436. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2022.09.011>
- [10] Rosenfield, K., Klok, F.A., Piazza, G., *et al.* (2026) Ultrasound-Facilitated, Catheter-Directed Fibrinolysis for Acute Pulmonary Embolism. *The New England Journal of Medicine*. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2516567>
- [11] Pandya, Y.K. and Tzeng, E. (2024) Mechanical Thrombectomy Devices for the Management of Pulmonary Embolism. *JVS-Vascular Insights*, **2**, Article 100053. <https://doi.org/10.1016/j.jvsvi.2024.100053>
- [12] Toma, C., Jaber, W.A., Weinberg, M.D., Bunte, M.C., Khandhar, S., Stegman, B., *et al.* (2023) Acute Outcomes for the Full US Cohort of the FLASH Mechanical Thrombectomy Registry in Pulmonary Embolism. *EuroIntervention*, **18**, 1201-1212. <https://doi.org/10.4244/eij-d-22-00732>
- [13] Lookstein, R.A., Konstantinides, S.V., Weinberg, I., Dohad, S.Y., Rosol, Z., Kopeć, G., *et al.* (2026) Randomized Controlled Trial of Mechanical Thrombectomy with Anticoagulation versus Anticoagulation Alone for Acute Intermediate-High Risk Pulmonary Embolism: Primary Outcomes from the STORM-PE Trial. *Circulation*, **153**, 21-34. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.125.077232>
- [14] Moriarty, J.M., Schiro, B.J., Dohad, S.Y., Tamaddon, H., Davis, H.C., Shavelle, D.M., *et al.* (2025) Periprocedural Results and Right Ventricular Outcomes of Computer Assisted Vacuum Thrombectomy Treatment of Acute Pulmonary Embolism: Interim Analysis of 300 Patients from the STRIKE-PE Study. *Journal of the American Heart Association*, **14**, e039975. <https://doi.org/10.1161/jaha.124.039975>
- [15] Sławek-Szmyt, S., Stepniowski, J., Kurzyna, M., Klaudel, J., Kuliczkowski, W., Lewandowski, M., *et al.* (2025) Multi-centre, Real-World Data of Next-Generation Computer-Assisted Vacuum Aspiration Thrombectomy in Acute Pulmonary Embolism. *Respiratory Research*, **26**, Article No. 87. <https://doi.org/10.1186/s12931-025-03162-4>
- [16] Cavallino, C., Franzino, M., Abdirashid, M., Maltese, L., Bacci, E., Rametta, F., *et al.* (2024) Novel Challenges and Therapeutic Options for Pulmonary Embolism and Deep Vein Thrombosis. *Journal of Personalized Medicine*, **14**, Article 885. <https://doi.org/10.3390/jpm14080885>
- [17] Salinas, P., Vázquez-Álvarez, M.E., Salvatella, N., *et al.* (2024) Catheter-Directed Therapy for Acute Pulmonary Embolism: Results of a Multicenter National Registry. *Revista Española de Cardiología (English Edition)*, **77**, 138-147.
- [18] Lauder, L., Pérez Navarro, P., Götzinger, F., Ewen, S., Al Ghorani, H., Haring, B., *et al.* (2023) Mechanical Thrombectomy in Intermediate- and High-Risk Acute Pulmonary Embolism: Hemodynamic Outcomes at Three Months. *Respiratory Research*, **24**, Article No. 257. <https://doi.org/10.1186/s12931-023-02552-w>
- [19] Sadeghipour, P., Jenab, Y., Moosavi, J., Hosseini, K., Mohebbi, B., Hosseinsabet, A., *et al.* (2022) Catheter-Directed Thrombolysis vs Anticoagulation in Patients with Acute Intermediate-High-Risk Pulmonary Embolism: The CANARY Randomized Clinical Trial. *JAMA Cardiology*, **7**, 1189-1197. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2022.3591>
- [20] Iannaccone, M., Franchin, L., Russo, F., Botti, G., Castellano, D., Montorfano, M., *et al.* (2023) Mortality across Treatment Strategies in Intermediate-to-High Risk Pulmonary Embolism in the Modern Era: A Meta-Analysis of Observational Studies and RCTs. *International Journal of Cardiology*, **387**, Article 131127. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2023.131127>
- [21] Tsukagoshi, J., Wick, B., Karim, A., Khanipov, K. and Cox, M.W. (2024) Perioperative and Intermediate Outcomes of Patients with Pulmonary Embolism Undergoing Catheter-Directed Thrombolysis vs Percutaneous Mechanical Thrombectomy. *Journal of Vascular Surgery: Venous and Lymphatic Disorders*, **12**, Article 101958. <https://doi.org/10.1016/j.jvsv.2024.101958>
- [22] Abou Ali, A.N., Cherfan, P., Zaghoul, M.S., Sridharan, N., Lebron, B.R., Toma, C., *et al.* (2022) Institutional Trends over a Decade in Catheter-Directed Interventions for Pulmonary Embolism. *Journal of Vascular Surgery: Venous and Lymphatic Disorders*, **10**, 287-292. <https://doi.org/10.1016/j.jvsv.2021.06.024>
- [23] Alie-Cusson, F.S., Jarosinski, M., Reitz, K.M., El Hayek, P., Anan, H., Semaan, D., *et al.* (2025) Comparative Effectiveness of Suction Thrombectomy versus Catheter-Directed Thrombolysis in Intermediate-Risk Pulmonary Embolism. *Journal of Vascular Surgery*, **82**, 1485-1494. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2025.06.020>
- [24] Sławek-Szmyt, S., Stepniowski, J., Kurzyna, M., Kuliczkowski, W., Jankiewicz, S., Kopeć, G., *et al.* (2023) Catheter-directed Mechanical Aspiration Thrombectomy in a Real-World Pulmonary Embolism Population: A Multicenter Registry. *European Heart Journal: Acute Cardiovascular Care*, **12**, 584-593. <https://doi.org/10.1093/ehjacc/zuad066>
- [25] Horton, C.E., Wi, M.S., Sayegh, M., Mancuso, D., Huntress, L.A., Savarese, J.A., *et al.* (2026) Short-Term Outcomes of Ultrasound-Assisted Catheter-Directed Thrombolysis and Mechanical Thrombectomy in Management of Intermediate-Risk Pulmonary Embolism. *Journal of Vascular Surgery: Venous and Lymphatic Disorders*, **14**, Article 102489. <https://doi.org/10.1016/j.jvsv.2026.102489>
- [26] Khandhar, S., Jaber, W., Bunte, M.C., Cho, K., Weinberg, M.D., Mina, B., *et al.* (2023) Longer-Term Outcomes Following Mechanical Thrombectomy for Intermediate- and High-Risk Pulmonary Embolism: 6-Month FLASH Registry Results. *Journal of the Society for Cardiovascular Angiography & Interventions*, **2**, Article 101000. <https://doi.org/10.1016/j.jscvi.2023.101000>

- [27] Kong, N.W., Acosta, M., Zahid, A., Clarke, M., Bandealy, N., Teerapuncharoen, K., *et al.* (2023) Long-Term Outcomes of Patients with Pulmonary Embolism Managed with Endovascular Therapies Compared to Medical Therapy. *Journal of the Society for Cardiovascular Angiography & Interventions*, **2**, Article 100602. <https://doi.org/10.1016/j.jscai.2023.100602>
- [28] Stegman, B., Kumar, A., Dahle, T., Schmidt, W., Dutcher, J., Glenz, T., *et al.* (2024) Residual Pulmonary Vascular Obstruction Following Mechanical Thrombectomy for Submassive Pulmonary Embolism: A Single-Center Analysis. *Journal of the Society for Cardiovascular Angiography & Interventions*, **3**, Article 101260. <https://doi.org/10.1016/j.jscai.2023.101260>
- [29] Semaan, D.B., Phillips, A.R., Reitz, K., Sridharan, N., Mulukutla, S., Avgerinos, E., *et al.* (2023) Improved Long-Term Outcomes with Catheter-Directed Therapies over Medical Management in Patients with Submassive Pulmonary Embolism—A Retrospective Matched Cohort Study. *Journal of Vascular Surgery: Venous and Lymphatic Disorders*, **11**, 70-81. <https://doi.org/10.1016/j.jvsv.2022.09.007>
- [30] Andraska, E.A., Bonaroti, J., Zhang, Y., Rivera-Lebron, B., Chaer, R.A. and Avgerinos, E.D. (2023) Predictors of Chronic Thromboembolic Pulmonary Hypertension in Patients with Submassive Pulmonary Embolism Treated with Catheter-Directed Thrombolysis versus Anticoagulation Alone: A Secondary Analysis of the SUNSET sPE Trial. *Journal of Vascular Surgery: Venous and Lymphatic Disorders*, **11**, 1157-1164. <https://doi.org/10.1016/j.jvsv.2023.06.003>
- [31] Sayfo, S., Pickering, T., Moubarak, G., McCullough, K.M., Dorton, C.W., AboHajar, M.B., *et al.* (2025) Evaluation of Long-Term Key Outcomes and Safety in Pulmonary Embolism: The EKOS-PE Study. *Journal of the Society for Cardiovascular Angiography & Interventions*, **4**, Article 103712. <https://doi.org/10.1016/j.jscai.2025.103712>
- [32] Kroupa, J., Buk, M., Weichet, J., Malikova, H., Bartova, L., Linkova, H., *et al.* (2022) A Pilot Randomised Trial of Catheter-Directed Thrombolysis or Standard Anticoagulation for Patients with Intermediate-High Risk Acute Pulmonary Embolism. *EuroIntervention*, **18**, e639-e646. <https://doi.org/10.4244/eij-d-21-01080>
- [33] Rosovsky, R.P., Konstantinides, S.V., Moriarty, J.M., Dohad, S.Y., Weinberg, I., Parikh, S.A., *et al.* (2025) A Prospective, Multicenter, Randomized Controlled Trial Evaluating Anticoagulation Alone vs Anticoagulation Plus Computer Assisted Vacuum Thrombectomy for the Treatment of Intermediate-High-Risk Acute Pulmonary Embolism: Rationale and Design of the STORM-PE Study. *American Heart Journal*, **288**, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2025.03.018>
- [34] Zhang, R.S., Zhang, P., Yuriditsky, E., Jin, L., Mahfoud, F., Postelnicu, R., *et al.* (2026) Effect of Large Bore Mechanical Thrombectomy on Pulmonary Vascular Resistance in Patients with Acute Pulmonary Embolism. *European Heart Journal: Acute Cardiovascular Care*, **2026**, zuag016. <https://doi.org/10.1093/ehjacc/zuag016>
- [35] Schulten-Baumer, J., Elhakim, A., Radke, P., Schuchert, A., Stöcker, B., Mezger, M., *et al.* (2026) Safety and Efficacy of Thrombolysis with the EkoSonic Endovascular System for Intermediate-High Risk Pulmonary Embolism during On- and Off-Hours: A Multicenter Study. *Clinical Research in Cardiology*, **115**, 507-519. <https://doi.org/10.1007/s00392-025-02817-y>