

经微导管分段注射重组人尿激酶原对急性ST段抬高型心肌梗死患者急诊PCI术后冠脉血流及短期预后的影响：一项历史对照研究

侯宏丽, 吴 洋, 何 淋, 邹志方*

重庆市沙坪坝区陈家桥医院心血管内科, 重庆

收稿日期: 2026年9月3日; 录用日期: 2026年9月22日; 发布日期: 2026年9月28日

摘 要

目的: 探讨冠状动脉内靶点注射尿激酶原与非靶点注射重组人尿激酶原在ST段抬高型心肌梗死(STEMI)急诊经皮冠状动脉介入治疗(PCI)术后无复流现象及预后的影响。方法: 采用历史对照研究设计, 将我院2022年9月至2023年12月收治的42例STEMI患者作为对照组, 进行回顾性分析; 将我院2024年1月至2026年1月收治的42例STEMI患者作为实验组, 前瞻性纳入。两组患者冠脉造影术中均证实存在明显冠脉内血栓。对照组在冠状动脉造影后经指引导管给予重组人尿激酶原10 mg; 实验组应用微导管自病变段血管远段至近段行靶向性缓慢注射重组人尿激酶原10 mg。观察并比较两组PCI术后TIMI血流分级、校正TIMI血流帧数(CTFC)、心肌损伤标志物、左心室射血分数(LVEF)、主要不良心血管事件(MACE)及出血事件的发生情况。结果: 实验组术后TIMI血流3级获得率显著高于对照组[78.6% (33/42) vs 50.0% (21/42), $P < 0.01$]; 实验组CTFC为(21.3 ± 5.2)帧, 显著低于对照组的(32.5 ± 6.8)帧($P < 0.01$)。实验组PCI术后7 d肌钙蛋白I(cTnI)、肌酸激酶同工酶(CK-MB)水平均显著低于对照组, LVEF显著高于对照组(P 均 < 0.01)。随访30 d, 实验组MACE总发生率为11.9% (5/42), 显著低于对照组的26.2% (11/42) ($P = 0.044$)。两组出血事件发生率无统计学差异($P > 0.05$)。结论: 经微导管行冠状动脉内靶点注射重组人尿激酶原, 较传统非靶点注射能更有效地改善STEMI患者急诊PCI术后的心肌灌注水平, 减少无复流现象的发生, 减轻心肌损伤, 改善心功能及短期预后, 且未增加出血风险。

关键词

ST段抬高型心肌梗死, 靶点溶栓, 无复流现象, 经皮冠状动脉介入治疗, 重组人尿激酶原

*通讯作者。

Effect of Fractional Injection of Recombinant Human Prourokinase via Microcatheter on Coronary Blood Flow and Short-Term Prognosis in Patients with Acute ST-Segment Elevation Myocardial Infarction after Emergency PCI: A Historical Controlled Study

Hongli Hou, Yang Wu, Lin He, Zhifang Zou*

Department of Cardiology, Chenjiaqiao Hospital, Shapingba District, Chongqing

Received: September 3, 2026; accepted: September 22, 2026; published: September 28, 2026

Abstract

Objective: To investigate the effects of targeted intracoronary injection of prourokinase versus non-targeted injection of recombinant human prourokinase on no-reflow phenomenon and prognosis after emergency percutaneous coronary intervention (PCI) in patients with ST-segment elevation myocardial infarction (STEMI). **Methods:** A historical controlled study was conducted. Forty-two STEMI patients admitted from September 2022 to December 2023 were retrospectively enrolled as the control group, and 42 STEMI patients admitted from January 2024 to January 2026 were prospectively enrolled as the experimental group. All patients had confirmed obvious intracoronary thrombus on coronary angiography. The control group received 10 mg recombinant human prourokinase via guiding catheter after coronary angiography, while the experimental group received the same dose through a microcatheter with slow fractional injection from the distal to proximal segment of the lesion. TIMI flow grade, corrected TIMI frame count (CTFC), cardiac injury markers, left ventricular ejection fraction (LVEF), major adverse cardiovascular events (MACE), and bleeding events were compared. **Results:** The rate of TIMI grade 3 flow was significantly higher in the experimental group than in the control group [78.6% (33/42) vs 50.0% (21/42), $P < 0.01$]. CTFC was significantly lower in the experimental group than in the control group [(21.3 $\pm$ 5.2) frames vs (32.5 $\pm$ 6.8) frames, $P < 0.01$]. At 7 days after PCI, cTnI and CK-MB levels were significantly lower, and LVEF at 30 days was significantly higher in the experimental group (all $P < 0.01$). During 30-day follow-up, the total MACE rate was significantly lower in the experimental group [11.9% (5/42) vs 26.2% (11/42), $P = 0.044$]. No significant difference was found in bleeding events between groups ($P > 0.05$). **Conclusion:** Targeted intracoronary injection of recombinant human prourokinase via microcatheter is superior to traditional non-targeted injection in improving myocardial perfusion, reducing no-reflow, alleviating myocardial injury, and improving cardiac function and short-term prognosis in STEMI patients after emergency PCI, without increasing bleeding risk.

Keywords

ST-Segment Elevation Myocardial Infarction, Targeted Thrombolysis, No-Reflow Phenomenon, Percutaneous Coronary Intervention, Recombinant Human Prourokinase



1. 引言

急性 ST 段抬高型心肌梗死(STEMI)是冠心病中最为危重的临床类型,其特点是起病急骤、病情进展迅速且死亡率高,给患者家庭及社会医疗体系带来了沉重的经济负担[1]。尽管急诊经皮冠状动脉介入治疗(PCI)已成为 STEMI 的标准再灌注策略,但术中“无复流”或“慢血流”现象的发生率仍居高不下,这一现象与远端微循环栓塞、缺血再灌注损伤及个体微血管易损性密切相关,直接影响心肌灌注的恢复并导致不良预后[2]。目前,常规经指引导管冠状动脉内给药虽能实现溶栓药物的递送,但存在药物分布不均、难以在血栓负荷重的病变远端达到有效浓度等局限性,从而限制了心肌血流的充分恢复。

近年来,重组人尿激酶原作为一种特异性纤溶酶原激活剂,因其高纤维蛋白选择性和较低的出血风险而在 STEMI 的辅助溶栓治疗中受到关注[3]。该药物通过激活纤溶酶原,有效溶解冠脉内血栓,从而恢复血流。然而,常规经指引导管推注给药方式导致药物在血流冲击下大量反流至主动脉或近端血管,使得血栓核心区域及远端微循环中的药物浓度不足。微导管技术已在复杂冠脉病变的介入治疗中展现出精准定位和靶向给药的能力,其通过超选择性进入梗死相关动脉(IRA)病变远段,能够实现药物的分段、缓慢注射,避免药物反流,从而有望克服传统给药方式的固有缺陷[4]。

尽管已有研究探讨了不同溶栓药物和给药方式在 STEMI 中的应用,但对于“经微导管分段注射重组人尿激酶原”这一新型给药策略的系统性评估仍然缺乏。现有证据多聚焦于单一药物或常规给药途径的疗效比较,未能充分解决药物分布不均这一核心问题。微导管技术结合尿激酶原的靶向递送,理论上可提高局部药物浓度、延长药物作用时间并减少全身暴露,但目前尚缺乏高质量的临床研究来验证其有效性和安全性。因此,探索这一创新给药方式在改善 STEMI 患者急诊 PCI 术后冠脉血流、减轻心肌损伤及降低不良事件方面的潜力,具有重要的临床转化价值。

本研究采用历史对照设计,将患者分为回顾性对照组(经指引导管冠脉内推注重组人尿激酶原)和前瞻性实验组(经微导管分段注射重组人尿激酶原)。通过严格的纳入与排除标准,确保两组基线资料的可比性,以控制潜在的混杂偏倚。所有患者均接受急诊 PCI 治疗,实验组采用微导管自病变远段向近段分段缓慢注射 10 mg 尿激酶原,总注射时间 3~5 分钟,而对照组则采用指引导管在 3 分钟内完成同等剂量药物的推注。研究旨在比较两种给药方式对术后冠脉血流(TIMI 分级、校正 TIMI 血流帧数 CTFC)、心肌损伤(肌钙蛋白 I、肌酸激酶同工酶)、心功能(左心室射血分数 LVEF)以及 30 天内主要不良心血管事件(MACE)和出血事件的影响。

本研究的具体目的包括:第一,评估微导管靶向给药策略相较于传统冠脉内给药,在恢复 STEMI 患者急诊 PCI 术后冠脉血流方面的优越性;第二,探讨该策略对减轻心肌损伤、保护心功能及降低短期不良事件风险的有效性;第三,验证微导管分段注射尿激酶原的安全性,特别是其对出血风险的影响。通过上述分析,本研究期望为优化 STEMI 急诊 PCI 中的辅助溶栓治疗提供新的循证医学证据,推动微导管技术在这一领域中的临床应用与推广。

需要指出的是,本研究采用历史对照设计而非随机同期对照,其可行性依据如下:① 我院近两年间介入治疗策略(包括支架选择、围术期抗凝方案)及围术期管理路径保持相对稳定,时间异质性较小;② 两组的纳入标准、排除标准、手术操作者和观察指标均由同一研究团队预先设定并统一执行,可减少信息偏倚;③ 作为一项探索性研究,历史对照设计可在较短时间内初步评估微导管靶向给药的疗效和安全性,

为后续多中心随机对照试验(RCT)提供前期数据支持、效应量估计及样本量计算依据。尽管该设计证据等级有限,但本研究定位为“临床前期的可行性探索”,其结论仍有重要的临床指导价值。

2. 资料与方法

2.1. 一般资料

本研究采用历史对照设计。选取重庆市沙坪坝区陈家桥医院 2022 年 9 月至 2023 年 12 月收治的行急诊 PCI 治疗的 STEMI 患者 42 例作为对照组(回顾性队列);选取 2024 年 1 月至 2026 年 1 月收治的行急诊 PCI 治疗的 STEMI 患者 42 例作为实验组(前瞻性队列)。

纳入标准:

- ① 符合《急性 ST 段抬高型心肌梗死诊断和治疗指南》诊断标准;
- ② 发病至就诊时间 < 12 h;
- ③ 急诊冠脉造影证实梗死相关动脉(IRA)存在明显血栓影(TIMI 血栓分级 ≥ 3 级);
- ④ 同意行急诊 PCI 治疗并签署知情同意书。

排除标准:

- ① 既往有脑卒中病史或有活动性出血倾向;
- ② 严重肝肾功能不全;
- ③ 对造影剂或尿激酶原过敏;
- ④ 合并恶性肿瘤或预期寿命 < 1 年;
- ⑤ 妊娠或哺乳期妇女。

两组患者在年龄、性别、高血压史、糖尿病史、吸烟史、发病至球囊扩张时间及梗死相关血管分布等基线资料方面比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$),具有可比性。

样本量估算:依据既往文献及本中心前期数据,估计对照组术后 TIMI 3 级血流获得率约为 50%,实验组经微导管靶向给药后可提升至 80%。设 $\alpha = 0.05$ (双侧), $\beta = 0.2$, 采用两独立样本率比较的样本量公式计算,每组需样本量约 34 例;考虑 10% 的失访率,每组需纳入 38 例。本研究实际纳入 42 例/组,满足最低样本量要求。

2.2. 研究方法

所有患者入院后均立即嚼服阿司匹林 300 mg、氯吡格雷/替格瑞洛 180 mg/180mg,并行急诊 PCI 治疗。术中常规经动脉鞘给予肝素 70,100 U/kg,维持活化凝血时间(ACT) > 250 s;或使用比伐卢定(0.75 mg/kg 静脉负荷后,1.75 mg/(kg·h)维持)。是否使用 GPIIb/IIIa 受体拮抗剂(替罗非班 10 μ g/kg 负荷后 0.15 μ g/(kg·min)维持 1224 h)由术者根据血栓负荷及血流情况决定,两组间使用率差异无统计学意义。

对照组:常规行冠脉造影,导丝通过病变后,若发现 IRA 存在大量血栓,则经指引导管向冠状动脉内推注重组人尿激酶原(天士力,国药准字 S20110003) 10 mg (溶于 10 mL 生理盐水),注射时间 > 3 min,随后继续行 PCI 操作。

实验组:在导丝通过病变后,将微导管(如 Finecross 或 Corsair)送至 IRA 病变处以远 23 cm 处,先造影确认位置。随后将重组人尿激酶原 10 mg 溶于 10 mL 生理盐水中,自微导管由病变远段向近段缓慢、分段注射(每注射 23 mg 暂停数秒,观察血流变化),总注射时间 3~5 min。注射完毕后撤出微导管,继续行支架植入或药物球囊治疗。

2.3. 观察指标

冠脉血流情况:记录术后即刻 TIMI 血流分级;计算校正 TIMI 血流帧数(CTFC),帧数越低提示血流

速度越快。

心功能与心肌损伤：术前及术后 7 d 分别采集静脉血检测肌钙蛋白 I (cTnI)和肌酸激酶同工酶(CK-MB)；术后 30 d 行超声心动图检查，测定左心室射血分数(LVEF)。

临床事件：记录住院期间及术后 30 d 内的主要不良心血管事件(MACE，包括心源性死亡、再发心肌梗死、靶血管再次血运重建、顽固性心绞痛)及出血事件(依据 BARC 分型，记录 ≥ 2 型出血)。

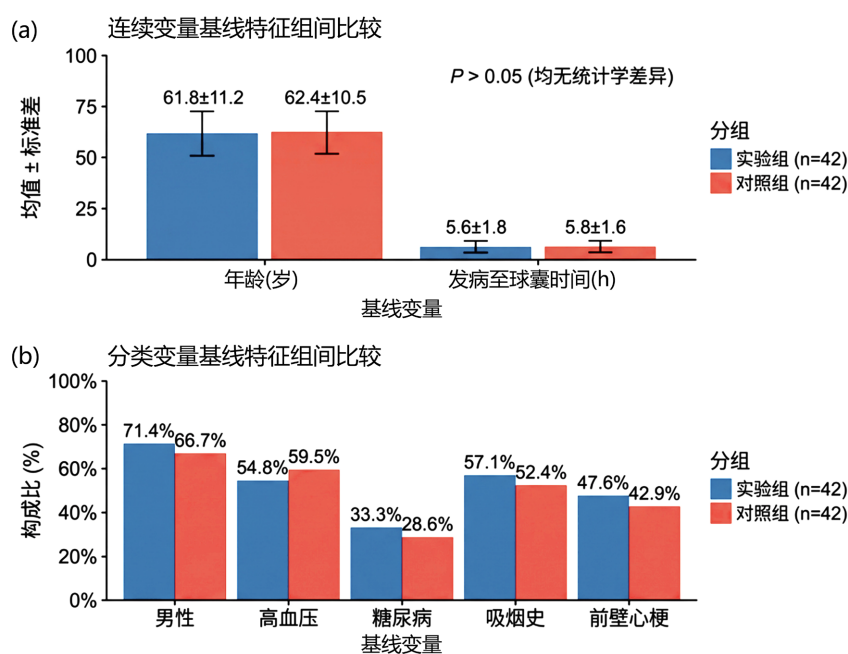
2.4. 统计学处理

采用 SPSS 26.0 软件进行数据分析。连续变量先经 Shapiro-Wilk 检验评估正态性，正态分布资料以均值 $\pm$ 标准差($\bar{x} \pm s$)表示，组间比较采用独立样本 t 检验；非正态分布资料以中位数(四分位间距)表示，组间比较采用 Mann-Whitney U 检验。计数资料以例数(%)表示，组间比较采用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法。同时计算标准化均差(SMD)以评估基线协变量的均衡性，SMD < 0.2 认为协变量均衡良好。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

3. 结果

3.1. 两组患者基线资料比较

两组患者的年龄(61.8 ± 11.2 vs 62.4 ± 10.5 , $t = 0.24$, $P = 0.81$, SMD = 0.06)、发病至球囊扩张时间(5.6 ± 1.8 vs 5.8 ± 1.6 , $t = 0.51$, $P = 0.61$, SMD = 0.12)、男性比例(71.4% vs 66.7%, $\chi^2 = 0.22$, $P = 0.64$, SMD = 0.10)、高血压(54.8% vs 59.5%, $\chi^2 = 0.19$, $P = 0.66$, SMD = 0.10)、糖尿病(33.3% vs 28.6%, $\chi^2 = 0.22$, $P = 0.64$, SMD = 0.10)、吸烟史(57.1% vs 52.4%, $\chi^2 = 0.19$, $P = 0.66$, SMD = 0.10)、前壁心梗(47.6% vs 42.9%, $\chi^2 = 0.19$, $P = 0.66$, SMD = 0.10)等比较，差异均无统计学意义(P 均 > 0.05)，且 SMD 均 < 0.2 ，提示两组基线协变量均衡性良好(图 1)。



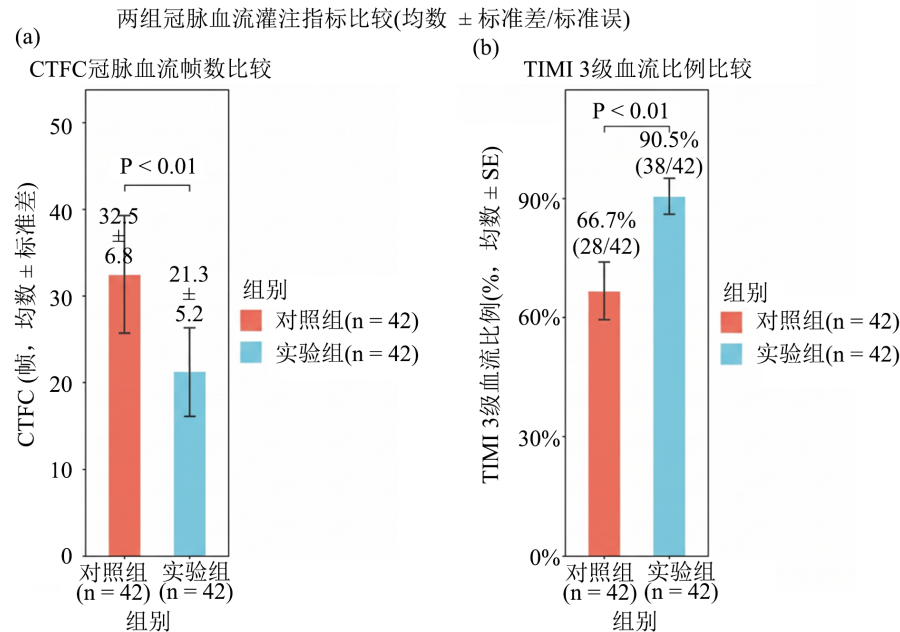
(a) 连续变量(年龄、发病至球囊时间)与(b) 分类变量(男性、高血压、糖尿病、吸烟史、前壁心梗)在两组间差异均无统计学意义($P > 0.05$)，两组基线资料可比。

Figure 1. Comparison of baseline characteristics between the two groups of patients

图 1. 两组患者基线特征组间比较

3.2. 两组冠脉血流灌注情况比较

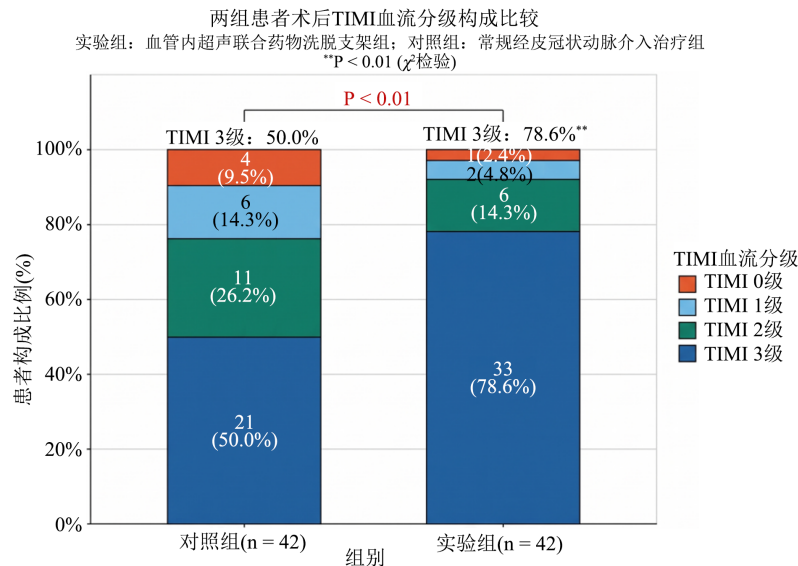
实验组术后 TIMI 3 级血流比例显著高于对照组[78.6% (33/42) vs 50.0% (21/42), $\chi^2 = 7.00$, $P < 0.01$]; CTFC 显著低于对照组[(21.3 $\pm$ 5.2)帧 vs (32.5 $\pm$ 6.8)帧, $t = 7.38$, $P < 0.01$] (图 2、图 3)。



(a) CTFC 帧数实验组(21.3 $\pm$ 5.2 帧)较对照组(32.5 $\pm$ 6.8 帧)显著降低; (b) TIMI 3 级血流比例实验组(78.6%)显著高于对照组(50.0%), 均 $P < 0.01$, 实验组术后血流灌注明显改善。

Figure 2. Comparison of coronary blood flow perfusion indices between the two groups (mean $\pm$ standard deviation)

图 2. 两组冠脉血流灌注指标比较(均数 $\pm$ 标准差)



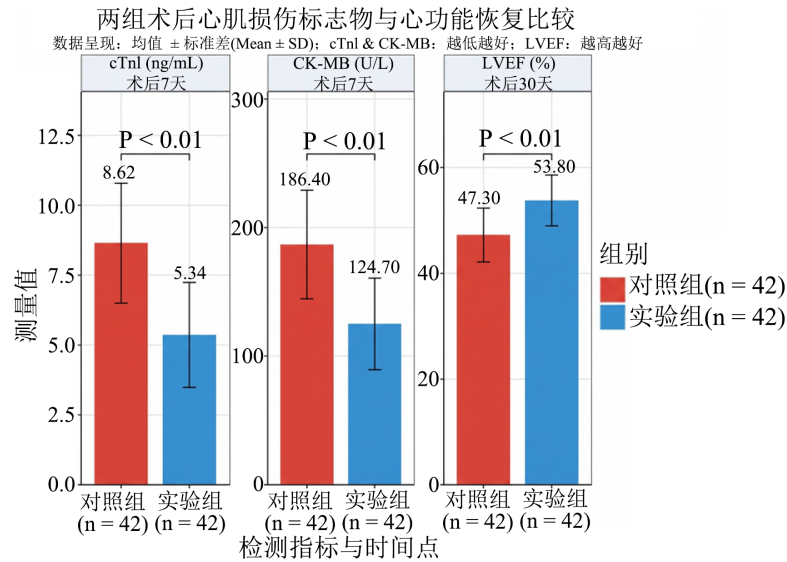
实验组 TIMI 3 级占比 78.6% (33/42), 高于对照组 50.0% (21/42), 0~2 级占比均低于对照组; χ^2 检验 $P < 0.01$, 提示实验组血流灌注效果更优。

Figure 3. Comparison of the composition of TIMI blood flow grades in the two groups of patients after surgery

图 3. 两组患者术后 TIMI 血流分级构成比较

3.3. 两组心肌损伤标志物及心功能比较

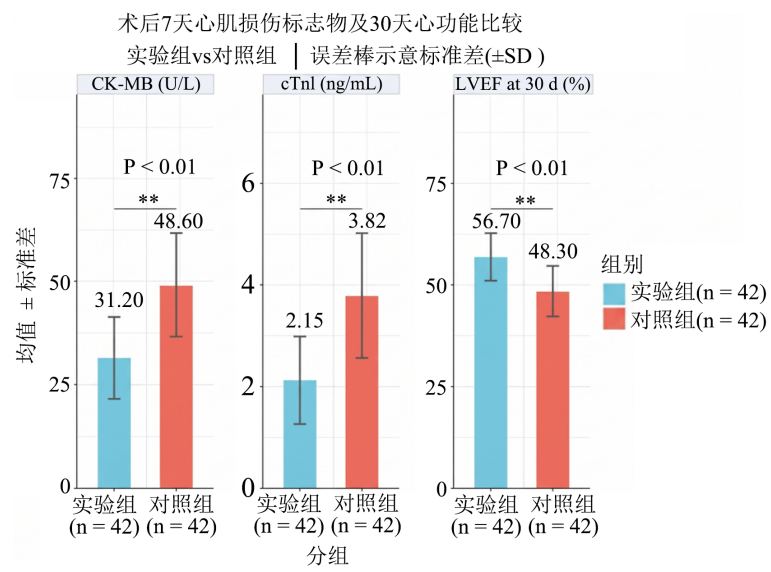
术后 7 d, 实验组 cTnI 水平为(5.34 ± 1.82) ng/mL, 显著低于对照组的(8.62 ± 2.10) ng/mL ($P < 0.01$); 实验组 CK-MB 水平为(124.70 ± 38.50) U/L, 显著低于对照组的(186.40 ± 45.20) U/L ($P < 0.01$)。术后 30 d, 实验组 LVEF 为(55.4 ± 6.1) %, 显著高于对照组的(50.2 ± 5.8) % ($P < 0.01$) (图 4~6)。



实验组术后 7 天 cTnI (5.34 ng/mL)和 CK-MB (124.70 U/L)均显著低于对照组(8.62 ng/mL、 186.40 U/L), 30 天 LVEF (55.4%)显著高于对照组(50.2%), 均 $P < 0.01$, 心肌损伤更轻、心功能恢复更好。

Figure 4. Comparison of postoperative myocardial injury markers and cardiac function recovery between the two groups (mean $\pm$ standard deviation)

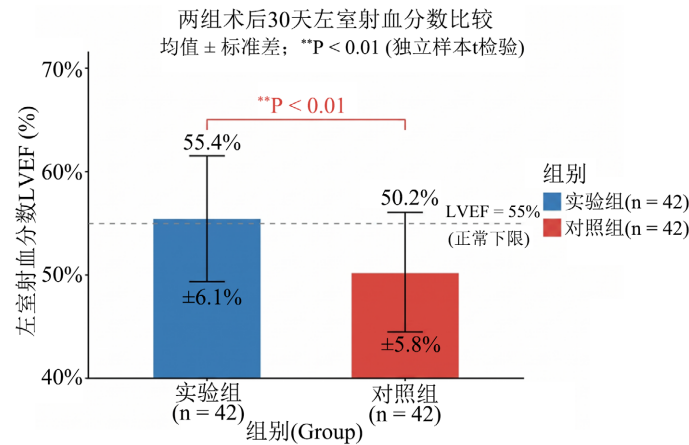
图 4. 两组术后心肌损伤标志物与心功能恢复比较(均值 $\pm$ 标准差)



图注: 实验组术后 7 天 CK-MB、cTnI 显著低于对照组, 30 天 LVEF 显著高于对照组(均 $P < 0.01$), 进一步支持实验组干预可减轻心肌损伤并促进心功能恢复。

Figure 5. Comparison of myocardial injury markers 7 days after surgery and cardiac function 30 days after surgery

图 5. 术后 7 天心肌损伤标志物及 30 天心功能比较

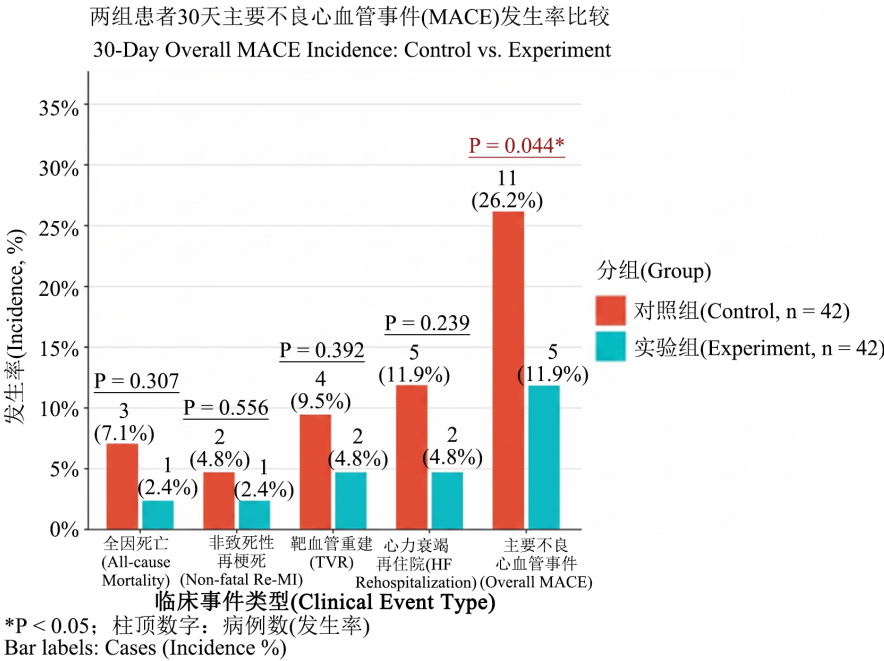


实验组 LVEF (55.4% ± 6.1%)显著高于对照组(50.2% ± 5.8%), 且达到正常下限(55%), 对照组未达该值(P < 0.01), 实验组左室收缩功能恢复更优。

Figure 6. Comparison of left ventricular ejection fraction (LVEF) between the two groups of patients 30 days after surgery
图 6. 两组患者术后 30 天左室射血分数(LVEF)比较

3.4. 两组 MACE 及出血事件比较

随访 30 d, 实验组 MACE 总发生率为 11.9% (5/42), 显著低于对照组的 26.2% (11/42) (P = 0.044)。两组均未发生颅内出血及致死性出血, 轻微出血(牙龈出血、穿刺部位血肿)发生率比较差异无统计学意义 (P > 0.05) (图 7)。



各单项终点(全因死亡、TVR、心衰再住院等)实验组发生率均低于对照组, 但差异无统计学意义(P > 0.05); 总体 MACE 实验组 11.9% (5 例)显著低于对照组 26.2% (11 例), P = 0.044, 提示实验组可降低 30 天主要不良心血管事件风险。

Figure 7. Comparison of the constituent endpoints and overall incidence of major adverse cardiovascular events within the 30-day follow-up period among different groups
图 7. 30 天随访期内主要不良心血管事件各组成终点及总体发生率的组间比较

4. 讨论

急性 ST 段抬高型心肌梗死(STEMI)是冠心病中最危重的类型, 具有起病急、进展快、死亡率高的特点[1]。尽管急诊经皮冠状动脉介入治疗(PCI)已成为 STEMI 的标准再灌注策略, 但术中“无复流”或“慢血流”现象仍频繁发生, 严重影响心肌灌注和患者预后[2]。当前, 常规经指引导管冠状动脉内给药存在药物分布不均、远端灌注不足等局限性。因此, 优化给药方式以改善心肌灌注, 具有重要的临床必要性。

本研究引入微导管技术, 实现了重组人尿激酶原在梗死相关动脉病变远段的精准、分段、缓慢注射, 以期克服传统给药方式的缺陷。我们采用历史对照设计, 比较了微导管分段给药与常规指引导管推注两种方式对 STEMI 患者急诊 PCI 术后冠脉血流、心肌损伤、心功能及短期临床事件的影响。初步结果显示, 实验组在改善冠脉血流(TIMI 3 级比例 78.6% vs 50.0%, CTFC 21.3 ± 5.2 vs 32.5 ± 6.8 帧)、减轻心肌损伤及降低 30 天主要不良心血管事件(MACE)发生率(11.9% vs 26.2%)方面均优于对照组, 且未增加出血风险。以下将对这些关键发现进行深入讨论。

本研究将微导管分段注射技术应用于重组人尿激酶原的冠脉内给药, 旨在解决 STEMI 急诊 PCI 术中“无复流”或“慢血流”这一关键难题。传统经指引导管推注给药常因药物反流至主动脉或近端血管, 导致血栓负荷重的病变远端药物浓度不足, 难以有效改善心肌灌注[2]。而微导管能够精准定位至梗死相关动脉(IRA)的病变远段, 通过分段、缓慢注射(3~5 分钟), 使药物沿血流方向自远段向近段均匀分布, 显著增加了药物与血栓核心及远端微循环的接触面积与作用时间。这一给药方式的优化, 在流体力学上避免了药物的无效反流, 在药代动力学上提高了局部药物浓度, 从而更有效地激活纤溶酶原、溶解血栓[3]。与既往研究相比, 虽然已有研究证实了重组人尿激酶原在 STEMI 中的溶栓效果, 但多采用常规冠脉内给药途径, 且较少关注给药方式的精细化改进。本研究的独特之处在于, 在临床中系统比较了微导管分段给药与常规给药对冠脉血流、心肌损伤及心功能的差异, 填补了关于优化溶栓药物递送技术在 STEMI 中应用的知识空白。我们的结果不仅验证了微导管给药在改善 TIMI 血流分级和降低 CTFC 方面的显著优势, 更在心肌保护(降低 cTnI 和 CK-MB)和心功能恢复(提高 LVEF)方面展现出优于传统方法的效果, 这与既往关于“无复流”现象病理生理机制的研究相呼应[5], 即更充分的远端微循环灌注是减轻心肌损伤和改善预后的关键。

本研究结果对临床实践具有重要的指导意义。首先, 经微导管分段注射重组人尿激酶原提供了一种安全且有效的辅助溶栓策略, 可显著降低 STEMI 患者急诊 PCI 术后 30 天主要不良心血管事件(MACE)的发生率(11.9% vs 26.2%), 同时未增加出血风险。这一发现直接回应了临床中“无复流”现象处理手段有限且效果不佳的困境[6]。与常规给药相比, 该方案通过优化药物递送, 实现了更佳的心肌再灌注, 从而可能减少因心功能不全导致的远期住院率和医疗资源消耗。尽管微导管的使用会增加一次性耗材成本, 但考虑到 MACE 事件(如再发心梗、心力衰竭)所带来的高昂治疗费用, 该方案可能具有积极的卫生经济学效益。其次, 该操作技术的学习曲线相对平缓, 对于已熟练掌握微导管操作技术的介入医师而言, 易于在临床推广。然而, 为确保操作安全, 需强调规范化的操作流程, 包括微导管置入时的轻柔操作以避免血管损伤或血栓脱落, 以及严格控制注射速度与时间。本研究为 STEMI 急诊 PCI 的辅助治疗提供了新的循证依据, 提示在临床决策中, 对于血栓负荷重、预计发生“无复流”风险高的患者, 可优先考虑采用微导管靶向给药策略。未来, 结合更大样本的多中心随机对照试验及更长的随访期, 将有助于进一步明确该方案在不同患者亚群(如高龄、糖尿病、心源性休克)中的适用性, 并推动其写入相关临床指南, 从而改善 STEMI 患者的整体预后[7]。

本研究存在若干局限性需在解读结果时予以考量。首先, 本研究采用历史对照设计, 属于非随机、非同期对照, 在循证医学证据等级中为 III 级证据。尽管我们通过严格的纳入排除标准以及 SMD 评估了

基线协变量的均衡性,但时间不同本身可能引入介入技术演进、围术期管理策略变化等无法完全控制的混杂因素,可能削弱证据等级。因此,本研究结果应视为探索性前期证据,其核心价值在于为后续开展多中心、前瞻性随机对照试验(RCT)提供样本量估算依据、效应量参数及操作方案的可行性验证。其次,相对有限的样本量(每组 42 例)限制了对罕见不良事件(如严重出血)的统计效能,且阻碍了基于血栓负荷或梗死血管类型的深入亚组分析。此外,30 天的随访窗口较短,难以全面评估该策略对左心室重构的长期影响及远期主要不良心血管事件的复发风险。最后,缺乏血管内影像学(如 OCT/IVUS)及动态凝血指标监测,使得微导管给药优化血栓溶解的具体分子机制尚待进一步阐明。

综上,本研究表明在急诊 PCI 中应用微导管分段注射重组人尿激酶原是一种安全且高效的辅助治疗策略。相较于传统指引导管推注,该创新给药方式显著改善了术后冠脉血流灌注,有效减轻了心肌再灌注损伤,并促进了早期左心功能的恢复,同时未增加出血并发症风险。通过实现药物在病变远端的精准靶向递送,该方案克服了常规给药分布不均的瓶颈,为改善 STEMI 患者短期预后提供了新的临床思路。未来亟需开展多中心、大样本的随机对照试验,延长随访周期以验证其长期获益,并探索其在不同血栓负荷及复杂共病人群中的适用性,从而推动这一优化策略向广泛临床实践转化。

声 明

本研究通过重庆市沙坪坝区陈家桥医院伦理委员会审批(批件号: CJQYY-ECKY-2024033),所有患者或其法定代理人在入组前均签署书面知情同意书。

参考文献

- [1] Partow-Navid, R., Prasitlumkum, N., Mukherjee, A., Varadarajan, P. and Pai, R.G. (2021) Management of ST Elevation Myocardial Infarction (STEMI) in Different Settings. *International Journal of Angiology*, **30**, 67-75. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1723944>
- [2] Annibali, G., Scrocca, I., Aranzulla, T.C., Meliga, E., Maiellaro, F. and Musumeci, G. (2022) "No-Reflow" Phenomenon: A Contemporary Review. *Journal of Clinical Medicine*, **11**, Article 2233. <https://doi.org/10.3390/jcm11082233>
- [3] Torres-Paris, C., Chen, Y., Xiao, L., Song, H.J., Chen, P. and Komives, E.A. (2023) The Autoactivation of Human Single-Chain Urokinase-Type Plasminogen Activator (uPA). *Journal of Biological Chemistry*, **299**, Article ID: 105179. <https://doi.org/10.1016/j.jbc.2023.105179>
- [4] Nambiar, M., Maingard, J., Li, K., Slater, L., Chandra, R.V., Chong, W., et al. (2020) COILUMICA: Coil Embolization of a Coronary Artery to Pulmonary Artery Fistula via Novel Dual Lumen Micro Catheter Technique. *CVIR Endovascular*, **3**, Article No. 83. <https://doi.org/10.1186/s42155-020-00177-4>
- [5] Caiazzo, G., Musci, R.L., Frediani, L., Umińska, J., Wanha, W., Filipiak, K.J., et al. (2020) State of the Art. *Cardiology Clinics*, **38**, 563-573. <https://doi.org/10.1016/j.ccl.2020.07.001>
- [6] Case, B.C. and Satler, L.F. (2021) The Challenges of Coronary No-Reflow Phenomenon. *Catheterization and Cardiovascular Interventions*, **97**, 612-613. <https://doi.org/10.1002/ccd.29571>
- [7] Liu, E.S., Hung, C.C., Chiang, C.H., Tsai, Y., Fu, Y., Ko, Y., et al. (2022) Quality Care in ST-Segment Elevation Myocardial Infarction. *Journal of the Chinese Medical Association*, **85**, 268-275. <https://doi.org/10.1097/jcma.0000000000000687>