

老年急性心肌梗死 PCI 患者替罗非班剂量方案的 DEA 模型评估

杨靖涌¹, 熊静妮², 曾芳¹, 赵强^{1*}

(1. 广州市红十字会医院心血管内科, 广东 广州 510000; 2. 广州医科大学附属第四医院内分泌与代谢科, 广东 广州 510000)

[摘要] 目的 应用数据包络分析 (data envelopment analysis, DEA) 模型评估老年急性心肌梗死 (acute myocardial infarction, AMI) 患者经皮冠状动脉介入治疗 (percutaneous coronary intervention, PCI) 后替罗非班剂量方案的相关效率指标, 为优化治疗方案提供依据。**方法** 本研究前瞻性纳入 2023 年 9 月至 2024 年 12 月广州市红十字会医院心血管内科收治的老年 AMI 行急诊 PCI 患者 278 例, 采用随机数字表法分为低剂量组 93 例、标准剂量组 92 例、高剂量组 93 例。低剂量组给予替罗非班负荷量 $5 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ + 维持量 $0.075 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$; 标准剂量组负荷量 $10 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ + 维持量 $0.150 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$; 高剂量组负荷量 $15 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ + 维持量 $0.225 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, 均持续静脉泵注 24 h。比较 3 组术后心肌酶学指标、心肌梗死溶栓试验 (thrombolysis in myocardial infarction, TIMI) 血流 3 级率、ST 段回落 $\geq 50\%$ 比例、术中无复流/慢血流发生率、主要不良心血管事件 (major adverse cardiovascular events, MACE) 发生率、人均药品费用、总住院费用、住院时长及冠心病监护病房 (coronary care unit, CCU) 停留时间。应用 DEA 模型, 以人均药品费用、总住院费用、MACE 发生率为投入指标, 以 TIMI 3 级率、ST 段回落 $\geq 50\%$ 比例、住院时长缩短值、CCU 停留缩短值为产出指标, 综合评价 3 组方案的综合效率 (θ)、纯技术效率 (pure technical efficiency, PTE) 及规模效率 (scale efficiency, SE)。**结果** 3 组患者术后峰值肌酸激酶同工酶 MB (creatinine kinase isoenzyme MB, CK-MB)、心肌肌钙蛋白 T (cardiac troponin T, cTnT) 等心肌酶学指标, 以及 TIMI 血流 3 级率、ST 段回落 $\geq 50\%$ 比例、术中无复流/慢血流发生率差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。3 组患者总 MACE 发生率组间比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。标准剂量组在人均药品费用、总住院费用、住院时长及 CCU 停留时间方面均显著优于其他 2 组 ($P < 0.05$)。DEA 模型评估显示标准剂量组 θ 显著高于其他 2 组 ($P < 0.001$)。**结论** 标准剂量替罗非班方案在保障疗效的同时, 显著降低医疗成本和住院时间, θ 最高。实现了疗效、安全性与经济性的最佳平衡, 是老年 AMI 行 PCI 患者的最佳治疗选择。

[关键词] 替罗非班; 急性心肌梗死; 经皮冠状动脉介入治疗; 数据包络分析; 疗效

[中图分类号] R972; R542.2+2

[文献标志码] A

[文章编号] 1001-5094 (2026) 06-0556-07

DOI: 10.20053/j.issn1001-5094.202509170719

DEA Model-Based Evaluation of Tirofiban Dosing Regimens in Elderly Patients with Acute Myocardial Infarction Undergoing PCI

YANG Jingyong¹, XIONG Jingni², ZENG Fang¹, ZHAO Qiang¹

(1. Department of Cardiology, Guangzhou Red Cross Hospital, Guangzhou 510000, China; 2. Department of Endocrinology and Metabolism, The Fourth Affiliated Hospital of Guangzhou Medical University, Guangzhou 510000, China)

[Abstract] Objective To evaluate the related efficiency indicators of tirofiban dosing regimens in elderly patients with acute myocardial infarction (AMI) undergoing percutaneous coronary intervention (PCI) using the data envelopment analysis (DEA) model, and to provide evidence for treatment optimization. **Methods** A total of 278 elderly AMI patients who received emergency PCI were prospectively enrolled from the Department of Cardiology, Guangzhou Red Cross Hospital between September 2023 and December 2024. They were assigned to the low-dose group ($n = 93$), the standard-dose group ($n = 92$) and the high-dose group ($n = 93$) using the random number table method. The low-dose group received a tirofiban loading dose of $5 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ followed by a maintenance dose of $0.075 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$; the standard-dose group received a loading dose of $10 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ followed by a maintenance dose of $0.15 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$; the high-dose group received a loading dose of $15 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ followed by a maintenance dose of $0.225 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. All patients received continuous intravenous pump infusion for 24 hours. Postoperative myocardial enzymes, thrombolysis in myocardial infarction (TIMI) grade 3 flow rate, proportion of ST-segment resolution $\geq 50\%$, incidence of intraoperative no-reflow or slow flow, incidence of major adverse cardiovascular events (MACE), average drug cost per patient, total hospitalization cost, length of hospital stay and coronary care unit (CCU) stay duration were compared across the three groups. The DEA model was used to comprehensively evaluate the comprehensive efficiency (θ), pure technical efficiency (PTE) and scale efficiency (SE) of the three regimens, with average drug cost per patient, total hospitalization cost and MACE incidence as input indicators, and TIMI grade 3 flow rate, proportion of ST-segment resolution $\geq 50\%$, reduction in length of hospital stay and reduction in CCU stay duration as output indicators. **Results** There were no statistically significant differences among the three groups in postoperative peak myocardial enzymes, including creatine kinase isoenzyme MB (CK-MB) and cardiac troponin T (cTnT), as well as TIMI grade 3 flow rate, proportion of ST-segment resolution $\geq 50\%$ and incidence of intraoperative no-reflow or slow flow ($P > 0.05$). No statistically significant difference was observed in the overall

接受日期: 2025-09-17

基金项目: 2025 年度市校 (院) 企联合资助专题项目 (No. SL2024A03J00939)

*通信作者: 赵强, 主任医师

研究方向: 心血管内科

E-mail: scheldon@163.com

incidence of MACE among the three groups ($P > 0.05$). The standard-dose group was significantly superior to the other two groups in average drug cost per patient, total hospitalization cost, length of hospital stay and CCU stay duration ($P < 0.05$). DEA evaluation showed that the θ value of the standard-dose group was significantly higher than that of the low-dose and high-dose groups ($P < 0.001$). **Conclusion** The standard-dose tirofiban regimen can ensure clinical efficacy while significantly reducing medical costs and shortening hospital stay, with the highest θ value. It achieves the optimal balance of efficacy, safety and cost-effectiveness, and is the preferred treatment regimen for elderly AMI patients undergoing PCI.

[Key words] tirofiban; acute myocardial infarction; percutaneous coronary intervention; data envelopment analysis; efficacy

急性心肌梗死 (acute myocardial infarction, AMI) 是老年人群致死致残的主要病因, 急诊经皮冠状动脉介入治疗 (percutaneous coronary intervention, PCI) 虽能有效开通罪犯血管, 但老年患者常因血管内皮功能减退、高凝状态及合并症等因素, 面临无复流现象和术后不良事件的双重风险^[1-2]。替罗非班作为强效抗血小板药物, 在改善心肌微循环灌注方面价值明确^[3]。然而, 当前指南推荐的标准剂量方案在老年群体中面临两难困境: 剂量不足可能导致抗栓效果欠佳, 剂量过高则增加出血风险及医疗成本^[4-5]。尤其值得注意的是, 现有研究多局限于单一临床终点, 缺乏同时权衡疗效、安全性与经济性等多维指标对系统性综合效率的评价。本研究创新性地应用数据包络分析 (data envelopment analysis, DEA) 模型系统评估替罗非班剂量方案, 以该模型计算的综合效率 (θ) 作为主要终点, 全面评价不同剂量替罗非班方案在老年 AMI PCI 患者中的综合表现, 为优化治疗方案提供决策依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料

前瞻性纳入 2023 年 9 月至 2024 年 12 月广州市红十字会医院内科收治的老年 AMI 患者。所有病例均符合《急性 ST 段抬高型心肌梗死诊断和治疗指南 (2019)》中的 AMI 诊断标准^[6], 经冠状动脉造影确诊需行急诊 PCI 治疗, 且发病至入院时间 ≤ 12 h。最终共筛选合格病例 278 例, 采用随机数字表法分为低剂量组 93 例、标准剂量组 92 例、高剂量组 93 例。本研究采用双盲设计, 由独立的药物配

置人员按照随机分配结果准备外观相同的替罗非班溶液, 临床医师及患者均不知晓具体分组情况; 所有数据由 2 名研究者独立录入 Excel, 不一致处通过原始病历核对校正, 确保数据准确性; 替罗非班泵注速率由护士每 4 h 记录 1 次, 药剂科定期抽查泵注设备参数, 保障给药剂量精准。疗效评估由不知晓分组情况的研究者进行, 以减少主观偏倚。3 组患者的基线资料比较, 差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 具有可比性, 见表 1。本研究方案经广州市红十字会医院医学伦理委员会审核批准 (伦理批号: 穗红院医伦审 2023-032-01), 所有患者或其法定代理人均签署书面知情同意书。

纳入标准: ①年龄 ≥ 60 周岁; ②符合世界卫生组织 (World Health Organization, WHO) 急性 ST 段抬高型心肌梗死 (ST-Elevation Myocardial Infarction, STEMI) 诊断标准 (胸痛持续 > 30 min、心电图相邻 2 个导联 ST 段抬高 ≥ 1 mm、心肌酶动态升高)^[6]; ③发病至首次医疗接触时间 ≤ 12 h; ④冠状动脉造影证实梗死相关动脉 (infarct-related artery, IRA) 狭窄 $\geq 70\%$ 且需行急诊 PCI; ⑤术前接受标准化抗血小板治疗。

排除标准: ①合并心源性休克或 Killip 分级 $\geq$ III 级心力衰竭; ②近 3 个月内有活动性出血、卒中史或重大外科手术; ③严重肝肾功能异常 [丙氨酸氨基转移酶 (alanine aminotransferase, ALT) / 天门冬氨酸氨基转移酶 (aspartate aminotransferase, AST) > 3 倍上限, 估算肾小球滤过率 (estimated glomerular filtration rate, eGFR) < 30 mL $\cdot$ min⁻¹ $\cdot$ 1.73m⁻²]; ④已知替罗非班过敏或血小板计数 $< 100 \times 10^9$ /L; ⑤预期生存期 < 6 个月的其他系统疾病。

表 1 3 组患者基线资料比较

组别	<i>n</i>	性别 (男) / 例 (%)	性别 (女) / 例 (%)	年龄/岁 ($\bar{x} \pm s$)	高血压/ 例 (%)	糖尿病/ 例 (%)	高脂血症/ 例 (%)	术前 TIMI 血流 0~1 级/例 (%)
低剂量组	93	65 (69.89)	28 (30.11)	70.52 $\pm$ 4.15	72 (77.42)	33 (35.48)	40 (43.01)	77 (82.80)
标准剂量组	92	63 (68.48)	29 (31.52)	70.15 $\pm$ 3.87	70 (76.09)	31 (33.70)	43 (46.74)	79 (85.87)
高剂量组	93	64 (68.82)	29 (31.18)	69.53 $\pm$ 4.26	74 (79.57)	35 (37.63)	41 (44.09)	78 (83.87)
χ^2/F		0.092	0.092	1.187	0.458	0.321	0.315	0.513
<i>P</i>		0.955	0.955	0.307	0.795	0.852	0.854	0.774

TIMI: 心肌梗死溶栓试验

1.2 方法

1.2.1 治疗方法 所有患者均于 PCI 术前即刻使用盐酸替罗非班氯化钠注射液（赤峰源生药业有限公司，国药准字 H20223082，规格 250 mL:盐酸替罗非班 12.5 mg 与氯化钠 2.25 g）。低剂量组给药方案为：术前首先静脉推注负荷量 $5 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ （推注时间 3 min），继以 $0.075 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 速率持续静脉泵注 24 h；标准剂量组术前给予 $10 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 负荷量静脉推注（推注时间 3 min），随后以 $0.15 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 维持静脉泵注 24 h；高剂量组则术前采用 $15 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 负荷量静脉推注（推注时间 3 min），并以 $0.225 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 维持静脉泵注 24 h。所有替罗非班注射液均在药剂科监督下，使用同一厂家、同一批号的药品，按照说明书要求稀释后使用。

所有患者于入院后 90 min 内完成冠状动脉造影及 PCI。替罗非班负荷量于 PCI 术前推注完成，维持量于术后即刻开始持续泵注。术前统一口服阿司匹林肠溶片（拜耳医药保健有限公司，国药准字 J20130078，规格：100 mg）300 mg 联合硫酸氢氯吡格雷片[赛诺菲（杭州）制药有限公司，国药准字 J20180029，规格：75 mg]600 mg 负荷剂量，支架类型及尺寸依据冠脉病变特征个体化选择。术后 3 组患者均接受标准化基础治疗，包括他汀类药物调脂、 β 受体阻滞剂控制心率、血管紧张素转换酶抑制剂（angiotensin-converting enzyme inhibitor, ACEI）或血管紧张素受体阻滞剂（angiotensin receptor blocker, ARB）改善心室重构。同时，所有患者术后均接受双联抗血小板治疗（阿司匹林 $100 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ + 氯吡格雷 $75 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ ）。

1.2.2 DEA 模型构建 本研究应用 DEA 模型评估老年 AMI PCI 患者替罗非班剂量方案的相关效率指标，将 DEA 模型计算的 θ （取值范围 0~1， θ 越接近 1 表示资源配置效率越高， $\theta = 1$ 表示该决策单元处于生产前沿面上、投入产出达到最优状态）作为主要终点，全面评价不同剂量替罗非班方案的临床表现。另外将主要不良心血管事件（major adverse cardiovascular event, MACE）作为本研究的关键次要终点，用于评估不同剂量方案的安全性差异。

首先将 3 组治疗方案定义为独立的决策单元（decision making unit, DMU）。投入指标选取 3 方面资源消耗：人均药品费用、总住院费用以及 MACE 发生率。指标选择依据如下：①人均药品费用直接反映替罗非班治疗的药物成本，是剂量依赖性指标；②总住院费用反映整体医疗资源消耗，已被多项卫生经济学研究证实为 PCI 术后成本评估的核心指标；③MACE 发生率作为临床结局指标，其

经济影响已被广泛证实。鉴于 MACE 发生率为负向指标，本研究对其进行正向化转换（即 $1 - \text{发生率}$ ）后纳入模型。产出指标涵盖临床疗效与医疗效率：TIMI 血流 3 级率反映冠脉再灌注效果，是 PCI 术后即刻疗效的金标准；ST 段回落 $\geq 50\%$ 比例评价心肌微循环恢复情况，与远期预后密切相关；住院时长缩短值（以 3 组最长住院日 14 d 为基准，计算实际缩短天数）及冠心病监护病房（coronary care unit, CCU）停留缩短值[以 3 组最长 CCU 停留时间 10 d 为基准，计算实际缩短天数]反映医疗流程效率。以上指标组合全面覆盖了临床疗效、安全性与经济性 3 个关键维度，符合卫生技术评估的多准则决策框架。

采用基于规模报酬可变假设的投入导向型 BCC 模型进行效率评估。该模型通过最小化 θ 实现投入资源优化，同时约束产出水平不低于观测值。具体计算过程中，所有指标数据经 Z-score 标准化处理以消除量纲差异。运用 DEAP2.1 软件求解 3 组方案的 θ 、纯技术效率（pure technical efficiency, PTE）及规模效率（scale efficiency, SE），三者满足 $\theta = \text{PTE} \times \text{SE}$ 的数理关系。为验证模型稳健性，额外进行敏感性分析：①逐一剔除单一投入指标（如总住院费用、人均药品费用或 MACE 发生率），保留其余指标重新计算 θ ；②将产出指标的权重在 $\pm 20\%$ 范围内进行调整，观察效率值排序的波动；③采用规模报酬不变假设的 CCR 模型替代 BCC 模型，比较 2 种模型下各组效率值的排序一致性。若各组效率值排序未发生逆转，则认为模型结果稳健。

1.2.3 样本量计算 本研究以 DEA 模型的 θ 作为主要终点。基于既往研究中 DEA 效率值的数据^[7-8]，预估标准差为 0.2，设定标准剂量组的预期 θ 为 0.95，低剂量组和高剂量组的预期值分别为 0.80 和 0.85，效应量为 0.10~0.15。采用 3 组独立样本均数比较的样本量计算公式（基于方差分析的样本量估算公式），如下：

$$n = \psi^2 \times \frac{\sum_{i=1}^k S_i^2 / k}{\sum_{i=1}^k (\bar{X}_i - \bar{X})^2 / (k-1)}$$

式中各符号对应上述公式中的参数： n 为每组所需样本量， k 为组数（本研究 $k = 3$ ）， S_i 为第 i 组的预期标准差， $\bar{X}_i$ 为第 i 组的预期均数， $\bar{X}$ 为 k 组均数的总均值， ψ 为界值，需根据检验水准 α 、检验效能 $1 - \beta$ 、组间自由度 $v_1 = k - 1$ 、组内自由度 $v_2 = k(n - 1)$ 查表获得。设定检验效能（ $1 - \beta$ ）为 80%，双侧显著性水平（ α ）为 0.05，计算得出每组至少需要 89 例患者。考虑到 10% 的脱落率，最终确定计划总样

本量为 297 例。研究期间实际入组 285 例, 低于计划招募目标, 因 7 例患者 (低剂量组 2 例、标准剂量组 3 例、高剂量组 2 例) 在 24 h 随访期内失访 (失访原因: 家属拒绝继续参与 4 例、电话失联 3 例), 最终纳入分析 278 例。为评估失访是否导致选择性偏倚, 对失访病例与最终纳入病例的基线资料进行统计学比较, 年龄符合正态分布, 采用独立样本 t 检验 ($t=1.026, P=0.306$), 性别、合并症、术前 TIMI 血流分级等计数资料采用 χ^2 检验 ($\chi^2 = 0.117 \sim 0.402, P = 0.526 \sim 0.732$), 失访病例基线资料与纳入病例无显著差异 ($P > 0.05$)。最终纳入分析 278 例, 达到预设样本量要求。

1.2.4 观察指标 本研究观察指标的具体获取方式及检测时间如下: ①心肌酶学指标: 包括肌酸激酶同工酶 MB (creatine kinase isoenzyme MB, CK-MB)、心肌肌钙蛋白 T (cardiac troponin T, cTnT), 于患者入院时、PCI 术后 4 h、8 h、12 h、24 h 采集外周静脉血, 采用化学发光免疫分析法检测, 记录术后 24 h 内的峰值水平; ②冠脉灌注相关指标: TIMI 血流分级于 PCI 术中由 2 名具有 5 年以上介入经验的心血管医师双盲独立判定, 记录术后梗死相关动脉 TIMI 血流 3 级例数、术中无复流/慢血流发生例数; ST 段回落率于 PCI 术后 2 h 行 12 导联心电图检查, 计算 ST 段回落 $\geq 50\%$ 的患者例数; ③MACE: 记录患者 PCI 术后 24 h 内及整个住院期间再发 AMI、心绞痛、心源性休克、心力衰竭、脑卒中的发生情况, 计算总

MACE 发生率; ④医疗资源消耗指标: 统计患者住院期间的人均药品费用、总住院费用, 记录患者住院时长、CCU 停留时间, 所有数据均由医院信息系统 (Hospital Information System, HIS) 提取并双人核对。

1.3 统计学分析

采用 SPSS 26.0 软件进行统计分析。计量资料符合正态分布且方差齐性时以均数 $\pm$ 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 组间比较采用单因素方差分析 (ANOVA); 不符合正态分布或方差不齐时以中位数 (四分位间距) [$M(P_{25}, P_{75})$] 表示, 组间比较采用 Kruskal-Wallis H 检验。两两比较采用 Dunn 检验配合 Bonferroni 法校正, 校正后的检验水准 $\alpha' = 0.05/3 \approx 0.017$; 计数资料以例 (%) 表示, 采用 χ^2 检验或 Fisher 精确概率法进行组间比较。DEA 模型导出的效率值 (θ , PTE 及 SE) 通过方差分析进行组间差异检验。 $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

2 结果

2.1 术后心肌酶学指标及冠脉血流情况

低剂量组、标准剂量组和高剂量组的峰值 CK-MB, cTnT 水平比较, 差异无统计学意义 ($P > 0.05$); 3 组 TIMI 血流 3 级率、ST 段回落 $\geq 50\%$ 比例、术中无复流/慢血流的发生率组间比较差异均无统计学意义 ($P > 0.05$), 表明不同剂量替罗非班对术后心肌损伤程度和冠脉再灌注效果的改善作用相似, 见表 2。

表 2 3 组术后心肌酶学指标及冠脉血流情况比较

组别	n	峰值 CK-MB/ $U \cdot L^{-1}$ [$M(P_{25}, P_{75})$]	峰值 cTnT/ $U \cdot L^{-1}$ [M (P_{25}, P_{75})]	TIMI 血流 3 级 率/例 (%)	ST 段回落 $\geq$ 50%/例 (%)	术中无复流/慢 血流/例 (%)
低剂量组	93	158.42 (125.31, 215.64)	0.95 (0.78, 1.32)	89 (95.70)	80 (86.02)	8 (8.60)
标准剂量组	92	162.73 (128.52, 220.34)	0.98 (0.81, 1.35)	88 (95.65)	78 (84.78)	10 (10.87)
高剂量组	93	165.24 (130.83, 218.72)	1.01 (0.83, 1.38)	90 (96.77)	85 (91.40)	10 (10.75)
H/χ^2		1.235	1.567	0.395	0.913	0.137
P		0.539	0.457	0.822	0.633	0.934

CK-MB:肌酸激酶同工酶MB;cTnT:心肌肌钙蛋白T

2.2 主要不良心血管事件发生情况

3 组间总 MACE 发生率比较, 差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 见表 3。

2.3 医疗资源消耗情况

人均药品费用、总住院费用、住院时长及 CCU 停留时间在 3 组间的差异均具有统计学意义 ($P < 0.05$)。组间比较结果显示: 标准剂量组在控制成本和缩短住院时间方面表现最优, 其人均药品费用、总住院费用、住院时长及 CCU 停留时间均显著低于低剂量组 ($P < 0.05$)。高剂量组的人均药品费用

和总住院费用显著高于标准剂量组 (校正后 $P < 0.017$), 其住院时长和 CCU 停留时间也长于标准剂量组, 但差异未达显著性水平 (校正后 $P > 0.017$), 见表 4。

2.4 应用数据包络分析模型效率评估结果

DEA 模型的评估结果显示, 3 组治疗方案的 θ ($H = 116.352, P < 0.001$)、PTE ($H = 49.213, P < 0.001$) 及 SE ($H = 93.422, P < 0.001$) 均存在显著差异。标准剂量组在 θ 、PTE 及 SE 3 个维度上的表现均显著优于低剂量组 (校正后 $P < 0.001$)。高剂

量组的 θ 和 SE 虽高于低剂量组（校正后 $P < 0.001$ ），但其 θ 显著低于标准剂量组（校正后 $P < 0.001$ ）。高剂量组与标准剂量组在 PTE 上的差异无统计学意义（校正后 $P > 0.017$ ）。标准剂量方案在投入产出比上达到了最佳平衡，其资源配置效率显著高于其他 2 组，见表 5。

表3 3组主要不良心血管事件发生情况比较

组别	<i>n</i>	再发AMI/例 (%)	心绞痛/例 (%)	心源性休克/例 (%)	心力衰竭/例 (%)	脑卒中/例 (%)	合计/例 (%)
低剂量组	93	5 (5.38)	2 (2.15)	1 (1.08)	2 (2.15)	1 (1.08)	11 (11.83)
标准剂量组	92	6 (6.52)	3 (3.26)	2 (2.17)	3 (3.26)	2 (2.17)	16 (17.39)
高剂量组	93	8 (8.60)	4 (4.30)	3 (3.23)	4 (4.30)	3 (3.23)	22 (23.66)
χ^2		1.027	0.844	-	0.844	-	3.988
<i>P</i>		0.598	0.656	0.647	0.656	0.647	0.136

注：心源性休克、脑卒中项因理论频数 < 5，采用 Fisher 精确检验，其余项均采用 χ^2 检验；AMI：急性心肌梗死

表4 3组患者的医疗资源消耗情况

组别	<i>n</i>	人均药品费用/元 [<i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ , <i>P</i> ₇₅)]	总住院费用/万元 [<i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ , <i>P</i> ₇₅)]	住院时长/d [<i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ , <i>P</i> ₇₅)]	CCU 停留时间/d [<i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ , <i>P</i> ₇₅)]
低剂量组	93	2850.45 (1 855.32, 3 782.15)	3.82 (3.15, 4.57)	10.0 (8.0, 12.0)	5.0 (4.0, 7.0)
标准剂量组	92	2083.27 (1 245.65, 3 122.54) *	3.25 (2.78, 3.92) *	7.5 (6.0, 9.0) *	4.0 (3.0, 5.0) *
高剂量组	93	2538.62 (1 985.48, 3 325.21) #	3.64 (3.10, 4.35) #	9.5 (8.0, 11.0)	5.0 (4.0, 6.0)
<i>H</i>		8.692	9.850	15.578	11.824
<i>P</i>		0.013	0.007	< 0.001	0.003

*与低剂量组比较， $P < 0.017$ ；#与标准剂量组比较， $P < 0.017$ ； $P < 0.017$ 为差异具有统计学意义；CCU：冠心病监护病房

表5 3组患者应用数据包络分析模型效率值对比

组别	<i>n</i>	θ [<i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ , <i>P</i> ₇₅)]	PTE/[<i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ , <i>P</i> ₇₅)]	SE/[<i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ , <i>P</i> ₇₅)]
低剂量组	93	0.82 (0.77, 0.86)	0.92 (0.89, 0.94)	0.90 (0.87, 0.95)
标准剂量组	92	0.97 (0.96, 0.98) *	0.98 (0.97, 0.99) *	0.99 (0.97, 1.00) *
高剂量组	93	0.96 (0.95, 0.97) *#	0.98 (0.89, 1.00)	0.99 (0.98, 1.00) *
<i>H</i>		116.352	49.213	93.422
<i>P</i>		< 0.001	< 0.001	< 0.001

*与低剂量组比较， $P < 0.001$ ；#与标准剂量组比较， $P < 0.001$ ；PTE：纯技术效率；SE：规模效率

同时，敏感性分析结果显示，在逐一剔除单项投入指标、调整产出指标权重 $\pm 20\%$ 以及改用 CCR 模型的条件下，3 组方案的 θ 值排序均保持稳定，依次为标准剂量组 > 高剂量组 > 低剂量组，排序未发生逆转，表明 DEA 模型结果具有较好的稳健性。

3 讨论

AMI 是严重威胁老年人生命健康的重大疾病，及时有效的再灌注治疗是改善预后的关键。PCI 作为首选再灌注策略，其成功与否很大程度上依赖于充分的抗血小板治疗以抑制血栓形成^[6]。替罗非班作为一种强效、高选择性的糖蛋白 IIb/IIIa 受体拮抗剂，在 PCI 围手术期，特别是对于高血栓负荷患者，具有重要的应用价值^[9]。老年 AMI 患者多合并多种基础疾病，加之生理功能减退、药物代谢动力学发生改变，这类人群对强效抗血小板治疗所致出

血风险的耐受度更低^[10-11]。因此，探索适合老年人群的替罗非班最佳剂量方案，在确保疗效的同时最大限度规避风险、优化医疗资源利用，具有显著的临床意义。

本研究结果显示，3 组患者术后 CK-MB、cTnT 峰值水平，以及 TIMI 血流 3 级率、ST 段回落 $\geq 50\%$ 比例和术中无复流/慢血流发生率比较，差异均无统计学意义。上述结果表明，低剂量方案在实现 PCI 术后有效血管开通和心肌组织灌注这一核心目标上，与标准剂量和高剂量效果相当。对于老年患者，较低剂量的负荷量足以快速起效，维持量能持续抑制血小板聚集，满足 PCI 围手术期对抗血栓形成的基本需求，避免不必要的过度抗血小板治疗^[12]。从机制看，老年患者肾小球滤过率下降（本研究排除 $\text{eGFR} < 30 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ 的患者，但 60% 患者 $\text{eGFR} < 60 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ），替罗非班清除半衰期延

长^[13], 较低剂量即可达到中青年患者标准剂量的血小板抑制水平 (20%~30%), 无需过度增加剂量即可满足抗栓需求。

3组患者总MACE发生率组间比较差异无统计学意义 ($P>0.05$), 其中高剂量组总MACE发生率数值上高于低剂量组与标准剂量组。需特别注意的是, 替罗非班术后持续泵入可能通过过度抑制血小板糖蛋白IIb/IIIa受体, 延长出血时间。老年患者因血管弹性减退、脑小血管病变高发, 从而加重脑出血风险^[9,13]。本研究虽未观察到明确脑出血事件, 但高剂量组心源性休克、脑卒中的发生率数值上高于低剂量组, 且2项指标组间比较差异无统计学意义, 提示需警惕剂量相关的严重出血衍生风险, 与相关研究^[11]提出的“抗血小板强度与出血风险呈正相关”结论一致, 高强度的抗血小板治疗极易诱发微小出血甚至大出血^[14]。出血本身可直接导致血流动力学不稳定和组织灌注不足, 同时会触发机体的促凝状态和炎症反应, 形成“血栓-出血恶性循环”, 最终表现为更高的缺血事件复发率以及因有效循环血量减少或心包填塞等导致的心源性休克和心力衰竭加重^[15-16]。因此, 对于老年AMI患者, 盲目追求高强度的血小板抑制, 不仅不能带来额外的临床获益, 反而显著升高了临床不良事件的风险^[11]。

经济学指标和医疗资源消耗的分析进一步揭示了不同剂量方案的差异。标准剂量组在人均药品费用、总住院费用、住院时长及CCU停留时间方面均显著优于其他2组。高剂量组的药品费用、总住院费用、住院时长及CCU停留时间均高于标准剂量组但低于低剂量组。其中, 低剂量组与高剂量组的CCU停留时间均为5d。这可能与标准剂量组在疗效与安全性之间取得最佳平衡有关, 而低剂量组可能因治疗效果相对保守需要更长的观察期和康复时间。

DEA模型作为综合评价工具, 其核心价值在于能够整合多维度的投入和产出, 计算出 θ , 反映资源配置的优化程度^[16-18]。本研究通过DEA模型同时纳入经济性指标 (住院费用), 与Pai等^[7]提出的“急性医疗研究需兼顾临床与经济维度”的观点一致, 填补了老年AMI患者替罗非班剂量“疗效-经

济”综合评估的空白。本研究构建的投入导向型BCC模型结果显示, 标准剂量组的 θ , PTE及SE显著高于低剂量组 (校正后 $P<0.001$), 但其PTE与高剂量组相当 (校正后 $P>0.017$)。具体而言: 标准剂量组在保障疗效的同时, 显著降低了医疗成本和住院时间, 实现了最佳的投入产出比。低剂量组虽然MACE风险最低, 但其住院时长和CCU停留时间显著长于标准剂量组 (但与高剂量组CCU停留时间相同, 均为5d), 导致 θ 最低。高剂量组虽然在部分医疗效率指标上表现良好, 但其较高的人均药品费用、总住院费用以及显著增高的MACE发生率导致其 θ 低于标准剂量组。同时, 采用3种方案进行模型敏感性分析, 各组 θ 值排序始终为标准剂量组>高剂量组>低剂量组, 未发生逆转, 进一步印证了DEA模型结果的稳健性, 表明标准剂量组的效率优势并非依赖于特定的指标选取或模型假设, 结论具有可靠性和可推广性。因此, DEA模型从系统优化角度强有力地支持标准剂量替罗非班是老年AMI行急诊PCI患者最具效率的治疗方案。

本研究存在一定局限性: ①样本量较小且为单中心研究, 对于发生率较低的次要终点MACE, 其统计效力有限, 本研究观察到高剂量组与低剂量组MACE发生率的数值差异可能与实际情况有所偏差, 这一数值差异的稳定性和可推广性有待未来更大样本量的多中心研究予以验证; ②随访期较短, 缺乏长期的预后数据以全面评估风险效益比; ③DEA指标选择存在主观性, 虽采用非参数检验方法进行了校正, 但仍可能影响结果的精确性; ④未监测血小板抑制率, 无法量化老年患者对不同剂量的药理学反应差异, 因此难以从药效动力学角度阐明低剂量组为何能达到与标准剂量组相似的冠脉再通效果; ⑤单中心 (三甲医院) 限制, 诊疗流程和费用结构可能具有地域性。

综上所述, DEA模型综合评估证实, 标准剂量方案在疗效、安全性与经济性上达到最优平衡, 综合效率最高。标准剂量替罗非班在老年AMI患者PCI术后治疗中展现出最佳的综合效益, 是临床实践的理想选择。

【参考文献】

- [1] 严晓燕, 曾卓华, 李凯, 等. 血清指标联合超声心动图检查对老年急性心肌梗死后心力衰竭的预测价值[J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2024, 26(11): 1272-1276.
- [2] Li J, Wang Q, Wu C, et al. Safety and efficacy of ticagrelor versus clopidogrel in East Asian patients with acute coronary syndrome undergoing percutaneous coronary intervention

treated with dual antiplatelet therapy: a meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *Cardiology*, 2023, 148(4): 363-373.

- [3] 刘娜, 钟洪涛, 徐苗, 等. 尼可地尔和替罗非班在急性心肌梗死患者经皮冠状动脉介入治疗术后的应用效果[J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2025, 27(2): 164-168.

- [4] 杨春景, 李敏, 代慈祥, 等. 不同剂量盐酸替罗非班治疗急性非心源性脑梗死患者的疗效及对凝血功能的影响[J]. 中国实用神经疾病杂志, 2024, 27(7): 869-873.
- [5] 李子进, 贺立群, 陈昌贵, 等. 尼可地尔联合不同剂量替罗非班治疗老年急性ST段抬高型心肌梗死患者的临床观察[J]. 中国药房, 2025, 36(7): 848-852.
- [6] 中华医学会心血管病学分会, 中华心血管病杂志编辑委员会. 急性ST段抬高型心肌梗死诊断和治疗指南(2019)[J]. 中国心血管病杂志, 2019, 47(10): 766-783.
- [7] Pai D R, Pakdil F, Azadeh-Fard N. Applications of data envelopment analysis in acute care hospitals: a systematic literature review, 1984—2022[J]. *Health Care Manag Sci*, 2024, 27(2): 284-312.
- [8] Tai Q, Wang Q, Li J, *et al.* Application of mathematical models on efficiency evaluation and intervention of medical institutions in China[J]. *BMC Health Serv Res*, 2024, 24(1): 1376.
- [9] Carvalho P E P, Gewehr D M, Nascimento B R, *et al.* Short-term dual antiplatelet therapy after drug-eluting stenting in patients with acute coronary syndromes: a systematic review and network meta-analysis[J]. *JAMA Cardiol*, 2024, 9(12): 1094-1105.
- [10] 安乐, 康晰, 王力, 等. 短时程替罗非班在高血栓负荷的老年急性心肌梗死患者围术期应用的安全性及疗效观察[J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2024, 26(8): 871-875.
- [11] Polzin A, Benkhoff M, Thienel M, *et al.* Long-term FXa inhibition attenuates thromboinflammation after acute myocardial infarction and stroke by platelet proteome alteration[J]. *J Thromb Haemost*, 2025, 23(2): 668-683.
- [12] 王辉, 杨宁, 刘迎午, 等. 不同剂量替格瑞洛在老年女性急性心肌梗死急诊介入治疗术后应用的疗效及安全性观察[J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2022, 24(9): 905-907.
- [13] Okita S, Saito Y, Yaginuma H, *et al.* Patterns and prognostic impact of postdischarge ischemic, bleeding, and heart failure events after myocardial infarction[J]. *Am J Cardiol*, 2025, 239: 1-7.
- [14] 叶菁, 陈燕, 曾泽宇, 等. 出血高危老年急性心肌梗死患者PCI术后小剂量替格瑞洛抗血小板聚集疗效观察[J]. 山东医药, 2023, 63(16): 77-79.
- [15] Guo Y Z, Zhao Z W, Li S M, *et al.* Clinical efficacy and safety of tirofiban combined with conventional dual antiplatelet therapy in ACS patients undergoing PCI[J]. *Sci Rep*, 2021, 11(1): 17144.
- [16] 孙磊, 徐敏, 陈珊珊, 等. 老年急性心肌梗死患者氯吡格雷抵抗的相关因素及其对预后的影响[J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2025, 27(1): 57-62.
- [17] 向阳, 史黎炜, 肖月, 等. 连续性肾脏替代治疗在我国五地区重症医学科的效率分析[J]. 中华重症医学电子杂志, 2024, 10(4): 358-363.
- [18] 黄萍, 邢世江, 谢晓平, 等. 肠内营养联合加速康复用于非小细胞肺癌手术患者的效果[J]. 肿瘤代谢与营养电子杂志, 2024, 11(3): 375-381.

(责任编辑:姚思卉)