

DOI: 10.12138/j.issn.1671-9638.20267397

论著·医院感染经济负担专题

基于真实世界数据的冠脉旁路移植术后肺炎疾病负担研究:临床结局与成本分析

湛玉晓¹, 张 俭², 杨 阳¹, 杨 睿³, 赵 辉¹

(郑州大学第一附属医院 1. 医院感染管理科, 2. 心血管外科, 3. 呼吸与危重症医学科, 河南 郑州 450000)

[摘要] **目的** 探索接受冠脉旁路移植术(CABG)患者术后肺炎(POP)的疾病负担及其影响因素,为防控提供依据。**方法** 回顾性收集 2020 年 1 月 1 日—2024 年 11 月 30 日接受 CABG 且符合研究标准的 5 566 例患者的临床资料,分析重症 POP 和术后 90 d 内死亡的独立危险因素,并比较各亚组间医疗成本相关指标的差异。**结果** 5 566 例 CABG 患者中,627 例发生 POP,发病率为 11.3%,其中重症 POP 占 1.4%(76 例)。POP 患者在术后 90 d 内死亡风险高于非 POP 患者($HR = 4.16, 95\%CI: 2.39 \sim 7.26$)。单因素和多因素 Cox 回归分析显示,手术时长、输注红细胞、多重耐药菌(MDRO)感染和细菌混合感染与重症 POP 的发生相关;细菌混合感染和全机械通气时长是 POP 患者术后 90 d 内死亡的独立危险因素。POP 患者术后中位住院日数、ICU 中位住院日数和中位住院费用均高于非 POP 患者,增幅分别为 25.0%(15.0 d VS 12.0 d)、100%(8.0 d VS 4.0 d)和 26.1%(183 911.6 元 VS 145 851.6 元)。在 POP 患者中,重症 POP、细菌混合感染及 MDRO 感染患者的住院时长与费用均进一步增加:与普通 POP 组相比,重症 POP 组上述三项指标分别增加 63.3%、83.3%和 57.9%;较非混合感染者,混合感染者的增幅分别为 40.0%、46.7%和 57.7%;与敏感菌感染者和病原学阴性者相比,MDRO 感染者术后住院日数均增加 14.3%,ICU 住院日数分别增加 66.7%、150.0%,住院费用则分别增加 11.7%、21.5%;上述差异均具有统计学意义(均 $P < 0.001$)。**结论** 手术时长、输注红细胞、MDRO 感染及细菌混合感染是 CABG 术后重症 POP 的独立危险因素,细菌混合感染还将进一步增加术后 90 d 内死亡风险。POP 显著加重医疗资源消耗,其影响程度因病情严重程度和感染特征呈现异质性。

[关键词] 冠脉旁路移植手术; 术后肺炎; 真实世界研究; 临床结局; 医疗成本

[中图分类号] R181.3⁺2

Disease burden of pneumonia after coronary artery bypass grafting based on real-world data: clinical outcomes and cost analysis

ZHAN Yuxiao¹, ZHANG Jian², YANG Yang¹, YANG Rui³, ZHAO Hui¹ (1. Department of Healthcare-associated Infection Management; 2. Department of Cardiovascular Surgery; 3. Department of Pulmonary and Critical Care Medicine, The First Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou 450000, China)

[Abstract] **Objective** To explore the disease burden and impacting factors of postoperative pneumonia (POP) in patients undergoing coronary artery bypass grafting (CABG), provide basis for the prevention and control of POP.

Methods Clinical data of 5 566 patients who underwent CABG from January 1, 2020 to November 30, 2024 and met the study criteria were retrospectively collected. Independent risk factors for severe POP and postoperative 90-day mortality were analyzed, and differences in medical cost-related indicators among subgroups were compared.

Results Among 5 566 CABG patients, 627 had POP, with an incidence of 11.3%, out of which 1.4% ($n = 76$)

[收稿日期] 2025-09-17

[基金项目] 河南省医学科技攻关计划联合共建项目(LHGJ20210315)

[作者简介] 湛玉晓(1988-),女(汉族),河南省郑州市人,主治医师,主要从事医院感染监测与风险评估相关研究。

[通信作者] 湛玉晓 E-mail: zhanyx0404@foxmail.com

were severe POP. Risk of postoperative 90-day mortality in POP patients was higher than non-POP patients ($HR = 4.16, 95\%CI: 2.39 - 7.26$). Univariate and multivariate Cox regression analysis showed that duration of surgery, red blood cell transfusion, multidrug-resistant organism (MDRO) infection, and mixed bacterial infection were associated with the occurrence of severe POP; Mixed bacterial infection and duration of controlled mechanical ventilation were independent risk factors for postoperative 90-day mortality. The median length of hospital stay, median length of intensive care unit (ICU) stay, and median hospitalization cost for POP patients were all higher than non-POP patients, with the increases of 25.0% (15.0 days vs 12.0 days), 100% (8.0 days vs 4.0 days), and 26.1% (183 911.6 Yuan vs 145 851.6 Yuan), respectively. Among POP patients, those with severe POP, mixed bacterial infection and MDRO infection further increased the length of hospital stay and cost: compared with the common POP group, the above three indicators in severe POP group increased by 63.3%, 83.3%, and 57.9%, respectively; Compared with non-mixed infection, the above three indicators in patients with mixed infection increase by 40.0%, 46.7%, and 57.7%, respectively; Compared with patients with sensitive bacterial infection and pathogen-negative, length of postoperative hospital stay in MDRO-infected patients both increased by 14.3%, length of ICU stay increased by 66.7% and 150.0% respectively, hospitalization cost increased by 11.7% and 21.5%, respectively; The above differences were all statistically significant (all $P < 0.001$). **Conclusion** Duration of surgery, red blood cell transfusion, MDRO infection, and mixed bacterial infection are independent risk factors for severe POP after CABG, and mixed bacterial infection can further increase the risk of postoperative 90-day mortality. POP can significantly increase the consumption of medical resources, and its impacting extent exhibits heterogeneity depending on the severity of disease condition and characteristics of infection.

[Key words] coronary artery bypass grafting; postoperative pneumonia; real-world study; clinical outcome; healthcare cost

术后肺炎 (postoperative pneumonia, POP) 是冠脉旁路移植术 (coronary artery bypass grafting, CABG) 后常见并发症之一。既往研究^[1-9]报道其发病率差异较大,波动在 2.5%~20.6%。发生 POP 后,患者因感染及相关并发症所需的治疗增加,导致有创机械通气和重症监护时间显著延长,不仅增加住院费用,亦严重影响其手术效果及预后^[10]。深入了解 POP 疾病负担与经济负担相关指标意义深远,然而针对 CABG 患者群体的相关研究仍相对有限。本研究基于真实世界数据,系统分析 CABG 患者 POP 的流行特征、疾病预后和医疗资源占用情况,旨在量化 POP 对诊疗需求与资源消耗的综合影响,为后续临床决策与卫生政策制定提供循证依据。

1 对象与方法

1.1 研究对象 回顾性收集自 2020 年 1 月 1 日—2024 年 11 月 30 日在某医疗机构接受 CABG 的成年患者 (年龄 ≥ 18 岁) 临床资料。纳入标准: (1) 接受 CABG; (2) 年龄 ≥ 18 岁。排除标准: (1) 联合手术者; (2) 术前即行有创呼吸机机械通气患者; (3) 既往患慢性肺部疾病如慢性阻塞性肺疾病、支气管扩张、支气管哮喘等未处于稳定期的患者; (4) 术后 48 h 内死亡或自动出院者。本研究方案已通过该院

科研和临床伦理委员会批准 (2023-KY-1086-001)。

1.2 数据收集 借助医院信息化管理系统和医院感染实时监测系统收集患者临床资料。数据内容包括人口统计学资料、基础健康信息、疾病诊疗过程、手术相关信息、感染监测预警信息、病情严重程度与预后 (重症肺炎诊断信息、90 d 内存活情况、术后首次复诊记录) 以及总住院费用。POP 病例的筛选基于感染监测系统的预警和上报记录,以及临床诊断信息,数据均经人工审核。病原学数据收集参照以下标准: (1) 仅收集来源于合格的呼吸道标本且考虑为病原菌的菌株信息; (2) 同一患者相同感染部位的微生物重复培养结果计为 1 株,仅提取首株药敏试验结果进行分析。本研究观察的终点事件分别为 30 d 内的重症肺炎和 90 d 内的死亡。

1.3 相关定义与标准

1.3.1 POP 定义与诊断标准 均参照《术后肺炎预防和控制专家共识》^[11]。将 POP 定义为术后 30 d 内新发的肺炎,包括出院后但在术后 30 d 内发生的肺炎。该共识中使用的诊断标准来源于《肺炎诊断》(WS 382—2012),需同时满足 A、B、C 三项,A 至少符合两项: (1) 新出现的脓痰,痰液性状改变或量增多,或需要更频繁地吸痰; (2) 新出现的咳嗽、呼吸困难或呼吸频率增加,或原有症状加重; (3) 新出现或加重的支气管呼吸音或肺部啰音; (4) 气体交换功能

恶化,氧需求量增加或通气需求量增加。B 至少符合以下一项:(1)无其他明确原因可解释的发热($T > 38^{\circ}\text{C}$);(2)白细胞计数 $> 12 \times 10^9/\text{L}$ 或 $< 4 \times 10^9/\text{L}$;(3)70 岁以上老年人无其他明确原因可解释的意识障碍。C 至少两次胸部 DR 检查提示存在至少以下一种情况(无心肺基础疾病者一次检查即可):(1)新出现或持续进展的肺部浸润阴影;(2)实变;(3)空洞形成。如在满足上述定义与诊断的基础上,符合以下任一项标准则可诊断为“重症肺炎”^[12]:(1)需行气管插管机械通气治疗;(2)感染性休克经充分液体复苏后仍需依靠血管活性药物维持。

1.3.2 多重耐药菌(MDRO)定义 指对三类或三

类以上结构不同、作用机制不同的常用抗菌药物同时呈现获得性耐药(天然耐药除外)的细菌^[13]。

1.3.3 目标性监测菌种类 根据耐药菌的传播性和危险程度,对 MDRO 进行分级监测和管理,目前纳入目标性监测的重点菌包括:①耐碳青霉烯类肠杆菌目细菌(CRE);②耐碳青霉烯类鲍曼不动杆菌(CRAB);③耐碳青霉烯类铜绿假单胞菌(CRPA);④耐甲氧西林金黄色葡萄球菌(MRSA)。

1.4 分组结果 本研究依据患者是否在术后 30 d 内发生 POP,将其分为 POP 组和非 POP 组,并参照以下分组条件和标准将 POP 患者归入以下各个亚组,见表 1。

表 1 CABG 后 POP 患者亚组分组情况

Table 1 Subgroup classification of POP patients after CABG

分组名称	分组标准	样本量[例(%)]
病情严重程度		
重症 POP 组	POP 患者符合重症肺炎诊断标准	76(12.1)
普通 POP 组	POP 患者未达到重症肺炎诊断标准	551(87.9)
是否感染 MDRO		
MDRO 组	POP 患者检出 MDRO,且满足病原学诊断标准	272(43.4)
敏感菌组	POP 患者检出敏感菌,且满足病原学诊断标准	156(24.9)
病原学阴性组	仅达到 POP 临床诊断标准,病原学阴性	199(31.7)
病原菌种类数量		
混合感染组	POP 患者检出两种或两种以上病原菌	41(6.5)
非混合感染组	POP 患者检出一种病原菌或者病原学阴性	586(93.5)
目标监测菌种类		
CRE 组	POP 患者中,CRE 作为唯一病原菌	46(7.3)
CRAB 组	POP 患者中,CRAB 作为唯一病原菌	39(6.2)
CRPA 组	POP 患者中,CRPA 作为唯一病原菌	35(5.6)
MRSA 组	POP 患者中,MRSA 作为唯一病原菌	23(3.7)

注:同时感染敏感菌和 MDRO 的患者被归入 MDRO 组;按重点菌种类分组时,已剔除共感染的患者。

1.5 统计学分析 数据分析应用 IBM SPSS Statistics 22.0 软件和 R 软件 version 4.4.1(R foundation for statistical computing, Vienna, Austria)。计量资料通过 Kolmogorov-Smirnov 检验进行正态性评估,非正态分布计量资料以中位数(四分位数间距)表示,两独立样本间比较采用双尾 Mann-Whitney *U* 检验,多独立样本间比较采用双尾 Kruskal-Wallis *H* 检验。计数资料采用频数和率进行描述,组间差异比较采用 χ^2 检验。采用 Cox 比例风险回归分析筛选与重症肺炎和术后 90 d 内死亡相关的独立危险因素,首先对所有潜在变量进行单因素分

析,随后将单因素分析中 $P \leq 0.05$ 的变量纳入多因素 Cox 回归模型。回归分析结果以风险比(hazard ratio, *HR*)及 95% 置信区间(confidence interval, *CI*)表示。 $P \leq 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 POP 发生情况及基线特征 2020 年 1 月 1 日—2024 年 11 月 30 日该院共有 6 527 例成年 CABG 手术患者。依据纳入和排除标准,最终纳入 5 566 例,其中 627 例患者发生 POP,发病率为 11.3%;

4 939 例未发生 POP。对比 POP 组和非 POP 组患者基线数据,发现两组患者在年龄、术前吸烟状态、急诊手术、糖尿病史和慢性肺部疾病史方面比较,差异有统计学意义(均 $P < 0.05$)。见表 2。

2.2 重症 POP 发生情况 627 例 POP 患者中,76 例为重症,占 12.1%;全部研究对象中,重症 POP 的发病率为 1.4%(76/5 566)。将性别、年龄、糖尿病史等 16 项潜在因素纳入单因素 Cox 回归分析,初步筛选出糖尿病史、手术时长、输注红细胞(RBC)、术后全机械通气时长、MDRO 感染和混合感染 6 项,见表 3;进一步纳入多因素 Cox 回归模型,采用逐步回归后退法进行分析。最终结果显示,手术时长、输注 RBC、MDRO 感染和混合感染是 CABG 患者术后重症 POP 发生的独立危险因素,见表 4。

2.3 术后 90 d 内死亡情况 本研究中,55 例患者在术后 90 d 内死亡,病死率为 1.0%,其中发生 POP 患者的病死率为 3.0%(19/627),而未发生 POP 患者的病死率为 0.7%(36/4 939)。发生 POP 的患者在术后 90 d 内的死亡风险是未发生 POP 患者的 4.16 倍($HR = 4.16, 95\% CI: 2.39 \sim 7.26$)。为了探索 POP 患者术后 90 d 内死亡的独立风险因素,采用与 2.2 部分相同的变量组进行单因素及多因素 Cox 回归分析。单因素分析中,年龄、手术时长、术中出血量、输注 RBC、术后全机械通气时长、MDRO 感染和混合感染被筛选并纳入多因素 Cox 回归模型,见表 5。经校正后,最终发现混合感染和全机械通气时长与 POP 患者术后 90 d 内的死亡事件独立相关,见表 6。

表 2 两组 CABG 患者基线特征及比较

Table 2 Baseline characteristics and the comparison between two groups of patients undergoing CABG

分组变量	POP 组($n = 627$)	非 POP 组($n = 4 939$)	Z/χ^2	P
性别[例(%)]			1.53	0.216
男	457(72.9)	3 482(70.5)		
女	170(27.1)	1 457(29.5)		
年龄[例(%)]			25.29	<0.001
青年组(<45 岁)	17(2.7)	160(3.2)		
中年组(45~64 岁)	277(44.2)	2 710(54.9)		
老年组(≥ 65 岁)	333(53.1)	2 069(41.9)		
职业[例(%)]			1.37	0.241
农业体力劳动者	144(23.0)	1 043(21.1)		
管理/专业/文职人员	137(21.9)	1 119(22.7)		
非农体力劳动者	172(27.4)	1 274(25.8)		
其他	174(27.8)	1 503(30.4)		
身体质量指数[BMI, $M(P_{25}, P_{75})$,Kg/m ²]	23.3(21.5, 25.8)	23.1(21.3, 25.6)	1.71	0.088
术前吸烟状态[例(%)]	248(39.6)	1 399(28.3)	33.67	<0.001
合并急性心肌梗死[例(%)]	42(6.7)	264(5.3)	1.96	0.161
急诊手术[例(%)]	16(2.6)	72(1.5)	4.28	0.039
基础疾病[例(%)]				
糖尿病史	465(74.2)	2 618(53.0)	100.78	<0.001
慢性肺部疾病史	90(14.4)	371(7.5)	34.29	<0.001
其他慢性疾病	88(14.0)	609(12.3)	1.48	0.224
血型[例(%)]			3.81	0.282
A 型	211(33.7)	1 507(30.5)		
B 型	197(31.4)	1 555(31.5)		
O 型	160(25.5)	1 321(26.7)		
AB 型	59(9.4)	556(11.3)		

表 3 GABG 患者重症 POP 危险因素的单因素 Cox 回归分析

Table 3 Univariate Cox regression analysis of risk factors for severe POP in patients undergoing CABG

变量	β	S_b	Wald χ^2	HR	95%CI	P
性别	-0.10	0.25	0.17	0.90	0.56~1.47	0.677
年龄(岁)	0.02	0.01	2.31	1.02	0.99~1.05	0.129
糖尿病史	0.80	0.33	6.12	2.23	1.18~4.23	0.013
术前吸烟状态	0.45	0.24	3.33	1.57	0.98~2.51	0.061
急性心肌梗死	0.22	0.42	0.28	1.25	0.54~2.87	0.599
慢性肺部疾病史	0.22	0.29	0.55	1.24	0.70~2.22	0.457
其他慢性疾病史	0.12	0.34	0.12	1.13	0.58~2.20	0.726
BMI(Kg/m ²)	0	0.04	0	1.00	0.92~1.08	0.944
急诊手术	0.66	1.01	0.44	1.93	0.27~14.00	0.513
手术时长(min)	0	0	30.46	1.00	1.00~1.01	<0.001
术中出血量(mL)	0	0	2.93	1.00	1.00~1.00	0.087
输注 RBC(u)	0.08	0.02	16.05	1.08	1.04~1.13	<0.001
术后全机械通气时长(h)	0	0	3.98	1.00	1.00~1.00	0.046
MDRO 感染	2.01	0.25	65.73	7.50	4.61~12.21	<0.001
混合感染	1.49	0.26	32.07	4.44	2.65~7.44	<0.001
术前等待日数(d)	0.01	0.01	1.64	1.01	0.99~1.03	0.201

表 4 GABG 患者重症 POP 危险因素的多因素 Cox 回归分析

Table 4 Multivariate Cox regression analysis of risk factors for severe POP in patients undergoing CABG

变量	β	S_b	Wald χ^2	HR	95%CI	P
手术时长(min)	0	0	8.84	1.00	1.00~1.01	0.003
输注 RBC(u)	0.06	0.03	4.93	1.06	1.01~1.11	0.026
MDRO 感染	1.17	0.28	17.36	3.23	1.86~5.61	<0.001
混合感染	1.32	0.27	24.37	3.73	2.21~6.29	<0.001

注:仅列出多因素 Cox 回归分析有统计学意义的变量。

表 5 CABG 患者术后 90 d 内死亡风险的单因素 Cox 回归分析

Table 5 Univariate Cox regression analysis of risk of postoperative 90-day mortality in patients undergoing CABG

变量	β	S_b	Wald χ^2	HR	95%CI	P
性别	-0.09	0.28	0.11	0.91	0.53~1.57	0.741
年龄(岁)	0.05	0.02	9.93	1.05	1.01~1.09	0.026
糖尿病史	0.29	0.26	1.17	1.33	0.79~2.23	0.280
术前吸烟状态	0.22	0.27	0.70	1.25	0.74~2.12	0.404
急性心肌梗塞	0.64	0.43	2.19	1.89	0.81~4.39	0.139
慢性肺部疾病史	0.01	0.47	0	1.01	0.40~2.54	0.979
其他慢性疾病史	0.43	0.33	1.68	1.54	0.80~2.96	0.194
BMI(Kg/m ²)	0.04	0.05	0.64	1.04	0.94~1.15	0.424
急诊手术	1.19	0.59	4.04	3.29	1.03~10.45	0.081
术前等待日数(d)	0.07	0.13	0.29	1.07	0.83~1.39	0.592
手术时长(min)	0	0	8.61	1.00	1.00~1.01	0.003
术中出血量(mL)	0	0	15.05	1.00	1.00~1.00	<0.001
输注 RBC(u)	0.28	0.12	5.44	1.32	1.05~1.67	0.020
术后全机械通气时长(h)	0.01	0	56.99	1.01	1.00~1.01	<0.001
MDRO 感染	1.94	0.29	44.48	6.97	3.94~12.33	<0.001
混合感染	3.53	0.32	119.76	34.00	18.08~63.95	<0.001

表 6 CABG 患者术后 90 d 内死亡风险的多因素 Cox 回归分析

Table 6 Multivariate Cox regression analysis of risk of postoperative 90-day mortality in patients undergoing CABG

变量	β	S_b	Wald χ^2	HR	95%CI	P
混合感染	2.49	0.52	22.84	12.06	4.34~33.47	<0.001
全机械通气时长(h)	0	0	4.36	1.00	1.00~1.01	0.040

注:仅列出多因素 Cox 回归分析有统计学意义的变量。

2.4 成本分析

2.4.1 术后住院日数 术后中位住院日数 POP 组为 15.0 d,而非 POP 组为 12.0 d,与非 POP 组患者相比,POP 组患者术后中位住院日数显著延长,增加幅度达 25.0%($P < 0.001$)。亚组分析结果显示,发生重症 POP 的患者中位住院日数为 24.5 d,较普通 POP 患者的 15.0 d 增加 63.3%;发生混合感染的患者术后中位住院日数为 21.0 d,较非混合感染患者的 15.0 d 增加 40.0%;敏感菌组和病原学阴性组患者术后中位住院日数均为 14.0 d,而该指标在 MDRO 组患者为 16.0 d,增加了 14.3%;以上差异均具有统计学意义(均 $P < 0.001$)。对纳入目标性监测的 4 种 MDRO 重点菌细分亚组,发现组间术后中位住院日数比较,差异无统计学意义($P = 0.999$),见表 7。

2.4.2 重症监护病房(ICU)住院日数 POP 组患者在 ICU 的中位住院日数为 8.0 d,比非 POP 组患者的 4.0 d 增加 100%($P < 0.001$)。亚组分析结果显示,重症 POP 患者在 ICU 的中位住院日数为 11.0 d,比普通 POP 患者的 6.0 d 增加 83.3%;存在混合感染的患者 ICU 中位住院日数为 11.0 d,比非混合感染患者的 7.5 d 增加 46.7%;敏感菌感染

和病原学阴性患者的中位 ICU 住院日数分别为 6.0、4.0 d,MDRO 感染患者的中位 ICU 住院日数(10.0 d)分别较前者增加 66.7%(10.0 d VS 6.0 d)和 150.0%(10.0 d VS 4.0 d);以上差异均有统计学意义(均 $P < 0.001$)。然而不同重点菌感染组患者的 ICU 中位住院日数比较,差异无统计学意义($P = 0.133$),见表 7。

2.4.3 住院费用 中位住院费用非 POP 组为 145 851.6 元,而 POP 组患者为 183 911.6 元,增加幅度高达 26.1%($P < 0.001$)。亚组分析结果显示,发生普通 POP 的患者中位住院费用为 177 236.2 元,而重症 POP 患者在此基础上增加了 57.9%(279 890.0 元 VS 177 236.2 元);相较于非混合感染患者,发生细菌混合感染的患者中位住院费用增加了 57.7%(285 400.8 元 VS 180 992.5 元);MDRO 组患者(200 158.1 元)的中位住院费用分别较敏感菌组(179 167.2 元)和病原学阴性组(164 731.2 元)增加了 11.7%、21.5%;上述组间比较差异均有统计学意义(均 $P < 0.001$)。而总住院费用在不同重点菌感染组患者之间差异无统计学意义($P = 0.602$)。见表 7。

表 7 不同亚组患者 ICU 住院日数、术后住院日数、总住院费用比较

Table 7 Comparison of length of ICU stay, postoperative length of hospital stay, and total hospitalization cost among different subgroups of patients

组别	ICU 入住日数(d)	术后住院日数(d)	总住院费用(元)
POP 组($n = 627$)	8.0(4.0, 13.5)	15.0(12.0, 21.0)	183 911.6(153 744.4, 227 575.7)
非 POP 组($n = 4 939$)	4.0(2.0, 6.0)	12.0(10.0, 15.0)	145 851.6(126 616.1, 167 031.4)
Z	-6.86	-15.03	-20.86
P	<0.001	<0.001	<0.001
重症 POP 组($n = 76$)	11.0(8.0, 15.0)	24.5(13.0, 33.5)	279 890.0(205 522.9, 383 184.5)
普通 POP 组($n = 551$)	6.0(4.0, 10.5)	15.0(11.0, 20.0)	177 236.2(149 743.5, 208 736.3)
Z	-5.16	-5.50	-9.80
P	<0.001	<0.001	<0.001
混合感染组($n = 41$)	11.0(8.0, 19.0)	21.0(14.0, 32.0)	285 400.8(242 345.2, 393 122.9)
非混合感染组($n = 586$)	7.5(4.0, 12.0)	15.0(11.0, 20.0)	180 992.5(152 335.1, 215 158.7)
Z	-4.10	-3.93	-7.58
P	<0.001	<0.001	<0.001

续表 7 (Table 7, Continued)

组别	ICU 入住日数(d)	术后住院日数(d)	总住院费用(元)
MDRO 组(<i>n</i> = 272)	10.0(6.0, 15.0)	16.0(12.0, 25.0)	200 158.1(167 185.7, 269 621.5)
敏感菌组(<i>n</i> = 156)	6.0(4.0, 9.0)	14.0(11.0, 19.0)	179 167.2(154 857.5, 206 274.5)
病原学阴性组(<i>n</i> = 199)	4.0(3.0, 9.0)	14.0(12.0, 20.0)	164 731.2(144 644.4, 19 659.7)
<i>H</i>	32.51	12.61	45.98
<i>P</i>	<0.001	<0.001	<0.001
CRE 组(<i>n</i> = 46)	12.0(8.0, 20.5)	17.5(12.0, 25.0)	207 847.1(176 217.8, 323 800.7)
CRAB 组(<i>n</i> = 39)	9.0(4.0, 13.0)	17.0(13.0, 24.5)	205 688.2(167 747.1, 248 837.1)
CRPA 组(<i>n</i> = 35)	8.5(6.0, 14.0)	17.0(11.5, 26.0)	203 033.0(162 957.3, 268 871.2)
MRSA 组(<i>n</i> = 23)	8.0(6.0, 15.0)	16.0(12.5, 20.5)	194 937.9(159 063.7, 247 369.5)
<i>H</i>	5.60	0.02	1.86
<i>P</i>	0.133	0.999	0.602

3 讨论

本研究中接受孤立性 CABG 的患者 POP 总发病率为 11.3%，高于国外相关研究^[1,2,7,14]报道的数据，而低于国内研究^[6,8]的数据。CABG 患者 POP 发病率差异较大，可能因为不同研究中参考的 POP 定义、诊断标准以及研究对象存在异质性。研究还发现，65 岁以上^[15-17]、术前吸烟^[18-19]、接受急诊手术^[20]、糖尿病^[21-22]以及合并慢性肺部疾病^[22]是发生 POP 的高危因素。

本研究显示，重症肺炎的发病率为 1.4%，占有肺炎病例的 12.1%。经 Cox 回归分析发现，手术时长、输注 RBC、MDRO 感染和细菌混合感染与重症肺炎的发生独立相关。国内一项研究^[23]认为，手术时间 >4 h 是开胸术后由普通肺炎进展为重症肺炎的危险因素，该结论在本研究中得到验证。Raphael 等^[7]研究亦发现，术中 RBC 输注量与术后延迟拔管、ICU 住院时间延长、气道再插管率及 POP 发病率升高呈正相关，提示输注 RBC 可能为重症肺炎的危险因素。此外，本研究进一步明确，MDRO 感染因多重耐药性导致抗感染治疗困难，而细菌共感染可能通过病原体间的协同作用增强致病性，二者均可能促进普通 POP 向重症转化。

Thompson 等^[24]研究表明，CABG 后发生 POP 患者，术后 30 d 内的死亡风险是无 POP 者的 2.42 倍。Massart 等^[25]发现，心脏术后发生 POP 患者的住院期间死亡风险是未发生 POP 患者的 1.68 倍。而 Ailawadi 等^[15]报道中，该风险比值为 8.89 倍。本研究显示，CABG 患者术后发生 POP 患者的术后

90 d 内死亡风险是未发生 POP 患者的 4.16 倍。尽管不同研究中数据存在一定差异，但结论一致：无论患者接受何种类型心脏手术，一旦发生 POP，均会显著增加其术后死亡风险。本研究还发现，混合感染和术后全机械通气时长是患者术后 90 d 内死亡的独立影响因素，其中混合感染的影响尤为显著，这可能与复杂感染后引起的全身炎症反应综合征或多器官功能障碍综合征有关，提示临床应重视病原学送检及常态化监测，通过规范合理用药和优化术后呼吸支持策略，以改善患者预后。

既往研究已证实心脏术后 POP 对医疗资源消耗的显著影响。Ailawadi 等^[15]发现，首次心脏手术后发生 POP 会导致其平均住院时间延长 23.5 d。Thompson 等^[24]研究表明，CABG 术后发生 POP 与患者住院时间延长 4.1 d 密切相关。此外，心脏术后肺部并发症会导致患者 ICU 停留时间延长 6.23 d^[26]。Arvanitis 等^[27]关于呼吸机相关肺炎 (VAP) 的研究表明，MDRO 感染与 ICU 中位住院日数和机械通气时间延长显著相关。本研究中，POP 患者术后中位住院日数较未发生者增加 25.0%，ICU 中位住院日数增加 100%，尽管本研究观察的是术后住院日数(而非总住院日数)，无法与上述研究直接进行定量比较，但总体趋势一致。亚组分析进一步揭示了 POP 严重程度和感染特征对医疗资源消耗的分层影响。与普通 POP 患者相比，重症 POP 术后及 ICU 中位住院日数分别增加 63.3% 和 83.3%。混合感染者相较非混合感染者，术后及 ICU 中位住院日数增幅更为显著，分别达 40.0%、46.7%。目前关于术后 POP 合并细菌混合感染的疾病负担研究相对较少，但其机制具有一定合理性，

发生混合感染时治疗难度增加,抗感染疗程通常更长,从而导致术后住院总日数和 ICU 住院日数的进一步延长。本研究中,MDRO 感染患者术后住院日数和 ICU 住院日数均最长,相较病原学阴性患者分别增加 14.3%、150.0%,进一步验证了既往研究结论^[28-29]。

Thompson 等^[24]研究发现,CABG 术后 POP 与患者住院费用增加 24.5% 相关。在本研究中,CABG 患者发生 POP 导致中位住院费用增加 26.1%,不同研究中数据存在一定异质性,可能与不同地区医疗条件、经济水平差异有关,但费用增加幅度相近。一项针对多国 MDRO 医院感染直接经济负担的 Meta 分析^[29]显示,MDRO 医院感染所造成的直接经济损失为 916.61~98 575.00 美元。另一项针对国内 ICU MDRO 感染患者疾病负担的 Meta 分析显示,发生 MDRO 感染的患者平均住院费用高于未发生 MDRO 感染患者^[30]。本研究显示,合并 MDRO 感染者相较于病原学阴性者,中位住院费用增加 21.5%,支持上述结论。亚组分析还发现,重症 POP 细菌共感染和 MDRO 感染均会导致中位住院费用增加,表明重症 POP、MDRO 感染和细菌共感染情况的出现均会加重患者经济负担,这可能与重症患者需要采取更多的诊疗措施以维持生命支持有关。此外,在 MDRO 感染和细菌混合感染的情况下,治疗复杂性增加,通常需要选择或联合应用更高级别抗菌药物,从而导致治疗费用的上升。

本研究从多个维度对 CABG 患者术后发生 POP 可能带来的疾病负担进行分析,不仅验证了既往研究结论,还为 POP 临床结局与经济负担提供了更直观、全面的量化证据。然而,作为一项回顾性研究,本研究存在如下局限性:首先,终点事件的随访主要依托于医院信息系统在固定时间段内的复诊记录提取。鉴于当前主动随访体系尚未完全建立,可能导致对院外发生事件的记录不完整。其次,受数据的可及性与完整性的限制,未能对所有潜在混杂因素进行充分校正,亦未对基线特征进行分层分析,可能存在一定的偏倚,未来需通过更大样本或多中心研究进一步验证。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突。

[参 考 文 献]

[1] Pérez-Granda MJ, Barrio JM, Cuerpo G, et al. Infectious

complications following major heart surgery from the day of the surgery to hospital discharge[J]. BMC Infect Dis, 2024, 24(1): 73.

- [2] Barnett NM, Liesman DR, Strobel RJ, et al. The association of intraoperative and early postoperative events with risk of pneumonia following cardiac surgery[J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2024, 168(4): 1144-1154. e3.
- [3] Likosky DS, Wallace AS, Prager RL, et al. Sources of variation in hospital-level infection rates after coronary artery bypass grafting: an analysis of the Society of Thoracic Surgeons Adult Heart Surgery Database[J]. Ann Thorac Surg, 2015, 100(5): 1570-1576.
- [4] Allou N, Allyn J, Snauwaert A, et al. Postoperative pneumonia following cardiac surgery in non-ventilated patients versus mechanically ventilated patients: is there any difference? [J]. Crit Care, 2015, 19(1): 116.
- [5] Han JG, Zhai WQ, Wu ZH, et al. Care guided by tissue oxygenation and haemodynamic monitoring in off-pump coronary artery bypass grafting (Bottomline-CS): assessor blind, single centre, randomised controlled trial [J]. BMJ, 2025, 388: e082104.
- [6] Cheng W, Chen JW, Sun JH, et al. Role of intensified lung physiotherapy bundle on the occurrence of pneumonia after cardiac surgery [J]. Front Med (Lausanne), 2022, 9: 844094.
- [7] Raphael J, Chae A, Feng XK, et al. Red blood cell transfusion and pulmonary complications: the Society of Thoracic Surgeons Adult Cardiac Surgery Database Analysis [J]. Ann Thorac Surg, 2024, 117(4): 839-846.
- [8] Wang DS, Huang XF, Wang HF, et al. Clinical risk score for postoperative pneumonia following heart valve surgery [J]. Chin Med J (Engl), 2021, 134(20): 2447-2456.
- [9] 王静,熊莹,施颖,等.成人心脏术后患者体外膜肺氧合治疗相关医院感染的危险因素及病原学分析[J].中华临床感染病杂志,2019,12(1):38-43.
- Wang J, Xiong Y, Shi Y, et al. Risk factors and pathogen distribution of nosocomial infection in adult patients undergoing extracorporeal membrane oxygenation after cardiac surgery [J]. Chinese Journal of Clinical Infectious Diseases, 2019, 12(1): 38-43.
- [10] Alwaqfi NR, AlBarakat MM, Hawashin WK, et al. Predicting extended intensive care unit stay following coronary artery bypass grafting and its impact on hospitalization and mortality [J]. J Clin Med Res, 2025, 17(1): 14-21.
- [11] 中华预防医学会医院感染控制分会第四届委员会重点部位感染防控学组. 术后肺炎预防和控制专家共识 [J]. 中华临床感染病杂志, 2018, 11(1): 11-19.
- Group of Key Site Infection Control, Nosocomial Infection Control Commission, Chinese Preventive Medicine Association. Expert consensus on prevention and control of postoperative pneumonia [J]. Chinese Journal of Clinical Infectious Diseases, 2018, 11(1): 11-19.

- [12] Shi Y, Huang Y, Zhang TT, et al. Chinese guidelines for the diagnosis and treatment of hospital-acquired pneumonia and ventilator-associated pneumonia in adults (2018 Edition)[J]. *J Thorac Dis*, 2019, 11(6): 2581–2616.
- [13] 黄勋, 邓子德, 倪语星, 等. 多重耐药菌医院感染预防与控制中国专家共识[J]. *中国感染控制杂志*, 2015, 14(1): 1–9. Huang X, Deng ZD, Ni YX, et al. Chinese experts' consensus on prevention and control of multidrug resistance organism healthcare-associated infection[J]. *Chinese Journal of Infection Control*, 2015, 14(1): 1–9.
- [14] Baris O, Onyilmaz TA, Kaya H. Frequency and predictors of pneumonia after isolated coronary artery bypass grafting (CABG): a single-center study [J]. *Diagnostics (Basel)*, 2025, 15(2): 195.
- [15] Ailawadi G, Chang HL, O'Gara PT, et al. Pneumonia after cardiac surgery: experience of the National Institutes of Health/Canadian Institutes of Health Research Cardiothoracic Surgical Trials Network[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2017, 153(6): 1384–1391. e3.
- [16] Naveed A, Azam H, Murtaza HG, et al. Incidence and risk factors of pulmonary complications after cardiopulmonary bypass[J]. *Pak J Med Sci*, 2017, 33(4): 993–996.
- [17] Kilic A, Ohkuma R, Grimm JC, et al. A novel score to estimate the risk of pneumonia after cardiac surgery[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2016, 151(5): 1415–1420.
- [18] Khanna AK, Kelava M, Ahuja S, et al. A nomogram to predict postoperative pulmonary complications after cardiothoracic surgery[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2023, 165(6): 2134–2146.
- [19] Saxena A, Shan L, Reid C, et al. Impact of smoking status on early and late outcomes after isolated coronary artery bypass graft surgery[J]. *J Cardiol*, 2013, 61(5): 336–341.
- [20] Xiang BB, Jiao SL, Si YY, et al. Risk factors for postoperative pneumonia: a case-control study [J]. *Front Public Health*, 2022, 10: 913897.
- [21] Bano T, Kuchay MS, Mishra SK, et al. Immediate postoperative complications following coronary artery bypass grafting in patients with type 2 diabetes: a prospective cohort study[J]. *Diabetes Metab Syndr*, 2020, 14(1): 47–51.
- [22] Santos KAK, Berto B, Sousa AG, et al. Prognosis and complications of diabetic patients undergoing isolated coronary artery bypass surgery[J]. *Braz J Cardiovasc Surg*, 2016, 31(1): 7–14.
- [23] 倪斌, 马海涛, 赵军, 等. 开胸术后重症肺炎的危险因素及预防[J]. *中华胸心血管外科杂志*, 2011, 27(9): 566. Ni B, Ma HT, Zhao J, et al. Risk factors and prevention of severe pneumonia after thoracotomy[J]. *Chinese Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 2011, 27(9): 566.
- [24] Thompson MP, Cabrera L, Strobel RJ, et al. Association between postoperative pneumonia and 90-day episode payments and outcomes among medicare beneficiaries undergoing cardiac surgery[J]. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes*, 2018, 11(9): e004818.
- [25] Massart N, Mansour A, Ross JT, et al. Mortality due to hospital-acquired infection after cardiac surgery[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2022, 163(6): 2131–2140. e3.
- [26] Mathis MR, Duggal NM, Likosky DS, et al. Intraoperative mechanical ventilation and postoperative pulmonary complications after cardiac surgery[J]. *Anesthesiology*, 2019, 131(5): 1046–1062.
- [27] Arvanitis M, Anagnostou T, Kourkoumpetis TK, et al. The impact of antimicrobial resistance and aging in VAP outcomes: experience from a large tertiary care center[J]. *PLoS One*, 2014, 9(2): e89984.
- [28] 徐必生, 袁华兵, 杨萍. 某三级综合医院多重耐药菌相关感染经济负担评估[J]. *中华实验和临床感染病杂志(电子版)*, 2017, 11(5): 455–459. Xu BS, Yuan HB, Yang P. Evaluation of economic burden induced by multidrug-resistant bacteria related infections in a tertiary general hospital[J]. *Chinese Journal of Experimental and Clinical Infectious Diseases (Electronic edition)*, 2017, 11(5): 455–459.
- [29] 凌玲, 吴伟旋, 孙树梅, 等. 多重耐药菌医院感染直接经济负担的系统评价[J]. *中国感染控制杂志*, 2017, 16(7): 616–621. Ling L, Wu WX, Sun SM, et al. Systematic evaluation on direct economic burden of healthcare-associated infection due to multidrug-resistant organisms[J]. *Chinese Journal of Infection Control*, 2017, 16(7): 616–621.
- [30] 宋红升, 王忠礼, 王宇萍. 国内 ICU 多重耐药菌感染患者的疾病负担 Meta 分析[J]. *中国抗生素杂志*, 2024, 49(4): 427–437. Song HS, Wang ZL, Wang YP. Meta-analysis of disease burden in ICU patients infected with multidrug resistant bacteria in China[J]. *Chinese Journal of Antibiotics*, 2024, 49(4): 427–437.

(本文编辑:陈玉华)

本文引用格式: 湛玉晓, 张俭, 杨阳, 等. 基于真实世界数据的冠脉旁路移植术后肺炎疾病负担研究: 临床结局与成本分析[J]. *中国感染控制杂志*, 2026, 25(2): 213–221. DOI: 10.12138/j.issn.1671-9638.20267397.

Cite this article as: ZHAN Yuxiao, ZHANG Jian, YANG Yang, et al. Disease burden of pneumonia after coronary artery bypass grafting based on real-world data: clinical outcomes and cost analysis[J]. *Chin J Infect Control*, 2026, 25(2): 213–221. DOI: 10.12138/j.issn.1671-9638.20267397.