

DOI:10.12138/j.issn.1671-9638.20252565

· 论 著 ·

## 结直肠癌患者手术部位感染风险预测模型的系统评价

侯素颖<sup>1</sup>, 楚鑫<sup>2</sup>, 徐小红<sup>1</sup>, 罗微<sup>1</sup>, 肖玲怡<sup>1</sup>, 李自力<sup>1</sup>

(1. 成都中医药大学护理学院, 四川 成都 610075; 2. 成都中医药大学附属医院护理部, 四川 成都 610072)

**[摘要]** **目的** 系统评价现有结直肠癌(CRC)患者手术部位感染(SSI)风险预测模型研究。**方法** 检索 PubMed、Embase、Web of Science、Cochrane Library、CNKI、VIP 和万方等数据库中关于 CRC 患者 SSI 预测模型相关研究,检索时限为建库至 2025 年 4 月。由 2 名研究者独立完成文献筛选和信息提取,并使用 PROBAST 工具对文献进行偏倚风险评估。**结果** 共纳入 25 篇文献,SSI 发病率为 4.35%~29.47%,包括 35 个 CRC 术后 SSI 风险预测模型。各模型的受试者工作特征曲线下面积(AUC)均>0.7;12 项研究进行了内部验证,4 项进行了内外部验证;预测因子数量最终纳入为 2~13 个,其中糖尿病、手术时间、手术方式、术前低蛋白血症、身体质量指数(BMI)、年龄是高频预测因子;所有研究均被评价为高偏倚风险,14 项研究被评价为低适用性风险。**结论** 现有 CRC 术后 SSI 风险预测模型整体预测性能良好,但存在样本量不足、缺乏外部验证等局限性,模型质量有待提高。未来模型开发应严格遵循 PROBAST 标准,加强前瞻性、大样本、多中心的研究设计,重视并规范外部验证流程、数据科学处理与报告,以提高模型质量及临床适用价值。临床实践中,应重点关注有高频危险因素的患者,针对性地采取干预措施以降低 SSI 发生风险。

**[关键词]** 结直肠癌;手术部位感染;风险预测;预测模型;系统评价

**[中图分类号]** R735.3

## Risk prediction models for surgical site infection following colorectal cancer surgery: a systematic evaluation

HOU Suying<sup>1</sup>, CHU Xin<sup>2</sup>, XU Xiaohong<sup>1</sup>, LUO Wei<sup>1</sup>, XIAO Lingyi<sup>1</sup>, LI Zili<sup>1</sup> (1. School of Nursing, Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu 610075, China; 2. Department of Nursing, Hospital of Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu 610072, China)

**[Abstract]** **Objective** To systematically evaluate the studies on existing risk prediction models for surgical site infection (SSI) in patients with colorectal cancer (CRC). **Methods** Relevant studies on SSI prediction models for CRC patients were retrieved from PubMed, Embase, Web of Science, Cochrane Library, China National Knowledge Infrastructure (CNKI), VIP, and Wanfang. The retrieval period was from the establishment dates of the databases to April 2025. Two researchers independently conducted literature screening and information extraction, and evaluated the risk of bias in the literatures using PROBAST tool. **Results** A total of 25 literatures were included in the analysis, and the incidences of SSI were 4.35% - 29.47%, including 35 risk prediction models of SSI following CRC surgery. The areas under the curve (AUCs) of the receiver operating characteristic (ROC) of models were all > 0.7. 12 studies underwent internal validation and 4 studies underwent internal and external validation. The final number of included predictors was 2 - 13. Diabetes, duration of operation, operation mode, preoperative hypoproteinemia, body mass index (BMI), and age were high frequency predictors. All studies were evaluated as with risk of high bias, while 14 studies were evaluated as with risk of low applicability. **Conclusion** The overall predictive performance of existing prediction models for SSI following CRC surgery is good, however, there are limitations

[收稿日期] 2025-05-26

[作者简介] 侯素颖(2001-),女(汉族),广西壮族自治区桂平市人,硕士研究生在读,主要从事中西医结合护理研究。

[通信作者] 楚鑫 E-mail: 18981883803@163.com

such as insufficient sample size and lack of external validation, and the quality of models needs to be improved. Future model development should strictly follow the PROBAST standard, strengthen the design of prospective and multicenter study with large sample size, attach importance to and standardize external validation processes, scientific processing, and data reporting, so as to improve model quality and clinical applicability value. In clinical practice, special attention should be paid to patients with high-frequency risk factors, and targeted intervention measures should be taken to reduce the risk of SSI occurrence.

**[Key words]** colorectal cancer; surgical site infection; risk prediction; predictive model; systematic review

随着经济发展及饮食结构、生活方式变化,全球结直肠癌(colorectal cancer, CRC)的患病率和病死率居高不下,且呈年轻化趋势<sup>[1-2]</sup>。据统计,2022 年 CRC 全球患病率为 9.6%,病死率为 9.3%<sup>[3]</sup>,给全球公共卫生保健带来了日益沉重的负担。研究数据显示,约 90% 的 CRC 患者接受了肿瘤切除手术<sup>[4-5]</sup>,手术已成为根治性治疗的核心手段。手术部位感染(surgical site infection, SSI)是指在手术后 30 d 内或植入异物后 1 年内在手术切口处或附近发生的感染,全球患者 SSI 发病率约为 2.5%<sup>[6]</sup>。但 CRC 术后 SSI 发病率常高达 5%~30%,高于其他外科手术<sup>[7-8]</sup>,严重影响患者的预后质量并增加医疗保健成本。近年来,基于多变量建立风险预测模型进行早期监测和预警,已成为 SSI 防控的重要手段<sup>[9]</sup>。荟萃分析表明,消化系统肿瘤 SSI 风险预测通用模型具有良好的性能和适用性<sup>[10]</sup>,但对 CRC 患者感染维度特异性考虑不足,难以整合其手术污染等级、吻合口并发症、低位直肠操作、肥胖、老年及新辅助放射化学治疗等特征,可能导致预测性能受限。因此,本研究旨在系统评价现有 CRC 患者术后 SSI 风险预测模型的方法学质量、预测性能和临床适用性,并总结高频危险因素,以期为模型开发优化与临床防控提供参考。

## 1 资料与方法

**1.1 循证策略与检索策略** 根据系统评价指南推荐的“PICOTS”原则制定循证策略<sup>[11]</sup>,P(population):CRC 术后患者;I(index model):术后 SSI 预测模型;C(comparator):不适用(未对其他预测模型进行比较分析);O(outcome):术后手术部位感染;T(timing):术后 30 d 内;S(setting):医疗机构。

系统检索 Web of Science、PubMed、Cochrane Library、Embase、CINAHL、CNKI、万方和 VIP 等数据库,检索时间为建库至 2025 年 4 月 22 日。检索策略结合了主题词和自由词,中文检索词包括:结直肠癌、结直肠肿瘤、手术部位感染、切口感染、腹腔

感染、器官/腔隙感染、风险预测模型等;英文检索词包括:colorectal neoplasms、colorectal tumor、surgical site infection、nomogram、predictive learning model 等。同时辅以参考文献追溯筛选,并对临床试验注册网站及会议摘要进行检索。本研究已在国际前瞻性系统综述平台注册,注册号为 CRD420251045681。

**1.2 纳入与排除标准** 纳入标准:①研究对象为 CRC 术后患者;②研究内容为构建和(或)验证 CRC 术后发生 SSI 的风险预测模型;③研究类型为横断面研究、队列研究或病例对照研究;④结局指标为 SSI 发生情况,且模型预测变量 $\geq 2$ 个;⑤经同行评审的完整研究。排除标准:①无法获取全文、重复发表或数据不完整;②仅报告危险因素,未构建模型;③研究类型为综述、系统评价、会议摘要等。

**1.3 文献筛选与数据提取** 由 2 名研究人员使用 EndNote 软件对文献进行查重与筛选,遇到任何分歧均通过讨论或邀请第 3 名研究人员解决。基于预测模型构建研究数据提取和质量评价清单(CHARMS)提取信息<sup>[12]</sup>。

**1.4 偏倚风险与适用性评价** 由 2 名研究人员独立使用预测模型偏倚风险评估工具(PROBAST)<sup>[13]</sup>,对研究的偏倚风险和适用性风险进行评估,遇到任何分歧均通过讨论或咨询第 3 名研究人员解决。偏倚风险评价从研究对象、预测因子、结局和分析 4 个领域评估;若所有领域均被评估为低风险,整体为低偏倚风险;若一个或多个领域被评估为高风险,整体为高偏倚风险;若某一领域风险为不清楚,而其他领域为低风险,整体偏倚风险不清楚。适用性评价从研究对象、预测因子和结局 3 个领域进行评估,评价过程与偏倚风险评估相似。

**1.5 统计分析** 对纳入风险预测模型的构建情况、性能与验证情况、偏倚风险以及适用性评价结果进行描述性分析。

## 2 结果

**2.1 文献筛选结果** 共检索出相关文献 4 154 篇,

其中数据库 4 148 篇,参考文献追溯 1 篇,论文库及试验数据库 5 篇。经剔除重复文献及逐层筛选,最终纳入 25 篇,包括 18 篇中文文献,7 篇英文文献。具体筛选流程见图 1。

2.2 纳入文献特征 共纳入 25 篇研究(2012—2025 年),近 5 年文献占比 96.0%。其中,23 项来自中国,日本、瑞士各 1 项。22 项为回顾性研究,2 项为前瞻性队列研究,1 项为横断面研究。SSI 发病率为 4.35%~29.47%,包括浅表/深部 SSI。见表 1。

2.3 预测模型的构建与验证情况 共纳入 35 个预测模型,候选预测变量 10~71 个不等,样本总量 72~1 500 例。连续性变量处理方式包括转换为

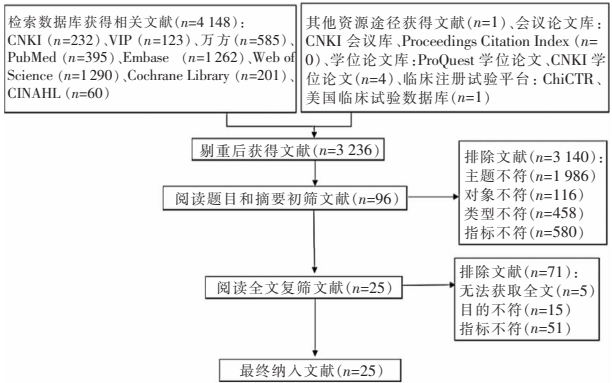


图 1 系统评价文献筛选流程图  
Figure 1 Flowchart of literature screening for systematic evaluation

表 1 CRC 患者 SSI 风险预测模型系统评价纳入文献的基本特征

Table 1 Basic characteristics of included literatures for systematic evaluation on risk prediction models for SSI in CRC patients

纳入文献及 第一作者	发表年份 (年)	国家	设计类型	研究对象	预测 结局	结局测量 工具	SSI 发病率 (%)
邓宏哲 <sup>[14]</sup>	2025	中国	回顾性研究	接受结直肠癌择期根治术的患者	SSI	①	20.75
梁舒婷 <sup>[15]</sup>	2025	中国	回顾性研究	年龄≥18 岁,择期行结直肠癌根治术的患者	SSI	②	7.57
金剑 <sup>[16]</sup>	2024	中国	回顾性研究	年龄≥18 岁,行结直肠癌根治术的患者	SSI	③	15.54
石召强 <sup>[17]</sup>	2024	中国	回顾性研究	年龄≥18 岁,行结直肠癌根治术的患者	SSI	①	24.02
陈永刚 <sup>[18]</sup>	2024	中国	回顾性研究	行结直肠癌根治术治疗的患者	SSI	①	22.96
盛超 <sup>[19]</sup>	2024	中国	横断面研究	年龄≥18 岁,行结直肠癌手术的患者	SSI	②	29.47
Liu <sup>[20]</sup>	2024	中国	回顾性研究	接受直肠癌根治术治疗的患者	SSI	④	18.75
Mao <sup>[21]</sup>	2024	中国	回顾性研究	接受结直肠癌切除手术的患者	SSI	②	14.12
Li <sup>[22]</sup>	2024	中国	回顾性研究	接受右半结肠切除术的结肠癌患者	SSI	②	4.35
符国宏 <sup>[23]</sup>	2023	中国	回顾性研究	行结直肠癌根治术的患者	SSI	⑤	18.60
王长峰 <sup>[24]</sup>	2023	中国	回顾性研究	行腹腔镜下结直肠癌根治术治疗的患者	SSI	①	25.00
张文博 <sup>[25]</sup>	2023	中国	回顾性研究	首次进行结直肠癌手术治疗的患者	SSI	⑥	12.42
李文熙 <sup>[26]</sup>	2023	中国	回顾性研究	行结直肠癌手术的患者	SSI	①	8.54
苗菲菲 <sup>[27]</sup>	2023	中国	回顾性研究	行外科手术的结肠癌伴肠梗阻患者	SSI	①	17.17
Han <sup>[28]</sup>	2023	中国	回顾性研究	年龄≥18 岁,计划择期结直肠癌切除术的患者	SSI	②	7.66
秦涛 <sup>[29]</sup>	2023	中国	回顾性研究	行手术治疗的结直肠癌患者	SSI	①	21.67
程玉鹏 <sup>[30]</sup>	2022	中国	回顾性研究	行手术治疗的结直肠癌患者	SSI	④	22.00
卜宁 <sup>[31]</sup>	2022	中国	回顾性研究	年龄≥18 岁,行择期结直肠癌根治手术的患者	SSI	④	9.69
Ohno <sup>[32]</sup>	2022	日本	回顾性研究	接受Ⅱ-Ⅲ期结肠癌根治性手术的患者	SSI	②	12.60
Pei <sup>[33]</sup>	2022	中国	回顾性研究	年龄≥18 岁,接受结直肠癌根治术的患者	SSI	②	11.44
刘帅峰 <sup>[34]</sup>	2022	中国	回顾性研究	行结直肠癌根治术后发生吻合口瘘的患者	SSI	③	29.17
胡笏生 <sup>[35]</sup>	2021	中国	回顾性研究	行直肠癌 Dixon 手术的直肠癌患者	SSI	④	12.96
王樱 <sup>[36]</sup>	2021	中国	回顾性研究	行手术相关治疗的结直肠癌患者	SSI	①	21.00
叶国庆 <sup>[37]</sup>	2020	中国	前瞻性队列研究	接受根治性结直肠癌切除术患者	SSI	④	11.49
Gervaz <sup>[38]</sup>	2012	瑞士	前瞻性队列研究	接受结肠或直肠切除术的患者	SSI	②	21.35

注:结局测量工具分别为①医院感染诊断标准(试行);②美国疾病预防控制中心(CDC)标准;③中国腹腔感染诊治指南(2019 版);④临床诊断标准;⑤外科手术部位感染的预防指南(2017);⑥医院感染防控指南。

分类变量(14 项)、保持连续(9 项)或离散化(2 项)。缺失数据处理多采用直接删除(15 项),仅 1 项采用均值插补,9 项未报告。预测变量筛选多以单 + 多因素 logistic 回归分析为主(21 项)、少数应用 Boruta 算法、LASSO-SVM、向前-LR 或机器学习自动筛

选。模型构建方面,以 logistic 回归为主(20 项),部分采用机器学习、LASSO、CHAID 等方法。模型验证方面,12 项研究进行内部验证(Bootstrap 法、交叉验证),仅 4 项进行了内外部验证,但 8 项未明确,1 项未验证。具体的模型构建与验证情况见表 2。

表 2 CRC 术后 SSI 风险预测模型的构建与验证情况

Table 2 Construction and validation of SSI risk prediction models following CRC surgery

纳入文献及 第一作者	候选预测变量		样本量(SSI 例数/ CRC 手术例数)	EPV	缺失数据 处理方法	模型构建			验模方法
	变量数	处理方法				建模方法	变量筛选	模型数量	
邓宏哲 <sup>[14]</sup>	21	分类变量	61/294	10.2	删除	LR	单因素分析、多因素 logistic 回 归分析	1	Bootstrap 法
梁舒婷 <sup>[15]</sup>	26	保持连续性	24/317	3	—	ML	Boruta 算法	8	重复交叉验证 + 外部验证
金剑 <sup>[16]</sup>	15	分类变量	55/354	18.3	—	LR	单因素分析、多因素 logistic 回 归分析	1	Bootstrap 法
石召强 <sup>[17]</sup>	18	分类变量	43/179	10.75	删除	LR	logistic 回归分析	1	—
陈永刚 <sup>[18]</sup>	12	分类变量	45/196	7.5	删除	LR	单因素分析、多因素 logistic 回 归分析	1	—
盛超 <sup>[19]</sup>	20	保持连续性	84/285	21	删除	LR	单因素分析、多因素 logistic 回 归分析	1	内部 + 外部验证
Liu <sup>[20]</sup>	33	保持连续性	15/80	3.75	删除	LR	单因素分析、多因素 logistic 回 归分析	1	Bootstrap 法
Mao <sup>[21]</sup>	71	保持连续性	204/1 445	29.14	删除	LASSO	LASSO 回归、SVM-RFE 算法	1	内部验证
Li <sup>[22]</sup>	16	分类变量	14/322	2.8	均值插补技术	ML	单因素分析、多因素 logistic 回 归分析	4	内部验证
符国宏 <sup>[23]</sup>	11	分类变量	45/242	9	删除	CHAID	单因素分析、多因素 logistic 回 归分析	1	—
王长峰 <sup>[24]</sup>	14	保持连续性	26/104	13	删除	LR	单因素分析、多因素 logistic 回 归分析	1	—
张文博 <sup>[25]</sup>	20	保持连续性	55/443	11	删除	LR	单因素分析、多因素 logistic 回 归分析	1	—
李文熙 <sup>[26]</sup>	18	分类变量	34/398	11.3	删除	LR	单因素分析、多因素 logistic 回 归分析	1	—
苗菲菲 <sup>[27]</sup>	12	分类变量	143/833	23.8	—	LR	logistic 回归分析	1	内部 + 外部验证
Han <sup>[28]</sup>	24	保持连续性	33/431	11	删除	LR	单因素分析、多因素 logistic 回 归分析	1	—
秦涛 <sup>[29]</sup>	14	分类变量	52/240	6.5	—	LR	logistic 回归分析	1	Bootstrap 法
程玉鹏 <sup>[30]</sup>	20	分类变量	330/1 500	33	—	LR	多因素 logistic 回归分析	1	—
卜宁 <sup>[31]</sup>	22	分类离散化	40/413	6.67	删除	LR	单因素 + 多因素 logistic 回归 分析	1	内部验证
Ohno <sup>[32]</sup>	25	保持连续性	92/730	7.08	—	AI + ML	机器学习模型自动处理筛选	1	内部验证
Pei <sup>[33]</sup>	26	分类变量	46/402	11.5	—	LR	单因素 + 多因素 logistic 回归 分析	1	内部验证
刘帅峰 <sup>[34]</sup>	11	分类变量	21/72	5.25	删除	LR	二分类 logistic 回归分析	1	—
胡笏生 <sup>[35]</sup>	30	保持连续性	32/247	8	删除	LR	单因素分析、多因素 logistic 回 归分析	1	Bootstrap 法
王樱 <sup>[36]</sup>	19	分类变量	21/100	2.33	删除	LR	二元 logistic-向前-LR 条件法	1	内部 + 外部验证
叶国庆 <sup>[37]</sup>	21	分类离散化	44/383	14.67	—	LR	单因素分析、多因素 logistic 回 归分析	1	内部验证
Gervaz <sup>[38]</sup>	10	分类变量	114/534	28.5	—	LR	单因素分析、多因素 logistic 回 归分析	1	十折交叉验证

注:—为未明确提及。EPV 为每变量事件数。LR 为逻辑回归,ML 为机器学习,LASSO 回归为最小绝对收缩与选择算子回归,CHAID 为卡方自动交互检验算法,SVM-RFE 算法为结合支持向量机(SVM)与递归特征消除(RFE)的特征选择方法。Bootstrap 法为一种基于重抽样的统计方法。

2.4 预测模型的性能与分析 纳入研究主要采用受试者工作特征曲线下面积(AUC)和 C-index 评估模型的区分能力,24 项报告了 AUC(0. 702 ~ 0. 999),7 项报告了 C-index(0. 710~0. 971)。17 项研究通过 H-L 检验、校准曲线评估校准性能,8 项未报告校准方式。8 项研究采用 DCA 作为模型的决策分析方法。单个预测模型最终纳入的预测因子

数量 2~13 个,主要包括人口统计学、基础健康状况、实验室检查及手术相关情况。高频预测因子包括糖尿病、手术时间、手术方式、术前低蛋白血症、身体质量指数(BMI)、年龄等。12 项研究以列线图呈现模型,7 项以数学公式/回归方程呈现,其余以决策树、机器学习、人工智能集成或风险评分系统呈现。见表 3。

表 3 CRC 术后 SSI 风险预测模型预测性能信息

Table 3 Predictive performance information of SSI risk prediction model following CRC surgery

纳入文献及 第一作者	模型性能			决策分析 方法	最终预测变量		模型呈现方式
	C-index	AUC	校准方法		数量	预测因子	
邓宏哲 <sup>[14]</sup>	0. 741	0. 752	校准曲线	DCA	6	DM、NRS2002(≥3 分)、ASA 分级(Ⅲ~Ⅳ级)、手术方式(开腹)、手术时间(≥3 h)、术中出血量(≥200 mL)	列线图
梁舒婷 <sup>[15]</sup>	—	建模组:0. 999/0. 713/ 0. 772/0. 957/0. 965/ 0. 834/0. 893/0. 929	—	—	8	SMD(<42 HU)、手术时间(>6 h)、术前 PNI (<45)、VTE(>4 分)、HUAC(<30 HU)、年龄 (>70 岁)、L3-SMI(≤55 cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )、aCCI(>8)	RF、LR、贝叶斯、 KNN、SVM、NNET、 CART、XGBoost
金剑 <sup>[16]</sup>	0. 771	0. 771	校准曲线	DCA	3	代谢综合征、DM、术前合并肠梗阻	列线图
石召强 <sup>[17]</sup>	—	0. 828	H-L 检验、 校准曲线	—	4	DM、低蛋白血症(有)、术后造口(有)、留置引流管时间(≥10 d)	列线图
陈永刚 <sup>[18]</sup>	—	0. 808	H-L 检验	—	6	DM、术前肠梗阻、切口长度(≥15 cm)、手术时间(≥2. 5 h)、引流管留置时间(≥10 d)、住院时间(≥30 d)	logistic 回归方程
盛超 <sup>[19]</sup>	建模组: 0. 971	建模组:0. 921 验证组:0. 828	H-L 检验、 校准曲线	DCA	4	营养不良、住院时间(长)、术前白细胞介素-6 (高)、术前淋巴细胞计数(低)	列线图
Liu <sup>[20]</sup>	—	训练集:0. 968 验证集:0. 926	校准曲线	DCA	4	术前 NLR、PLR、SII、CEA	列线图
Mao <sup>[21]</sup>	—	训练集:0. 838 验证集:0. 793	校准曲线	DCA	7	术前梗阻、术前 dNLR、ALB、HGB、ALT、CA199、CA125	列线图
Li <sup>[22]</sup>	—	训练集:0. 863/0. 844/ 0. 786/0. 885 验证集:0. 796/0. 757/ 0. 737/0. 879	—	—	5	ASA、手术时间、ALB、闭合时使用的缝合线、手术方法	LR、RF、SVM、NN
符国宏 <sup>[23]</sup>	—	0. 806	—	—	5	DM、TNM(≥Ⅲ期)、出血量(>300 mL)、手术时间(>150 min)、血清清蛋白(≤35 g/L)	决策树
王长峰 <sup>[24]</sup>	—	0. 928	H-L 检验	—	2	DM、引流管放置时间(≥7 d)	logistic 回归方程
张文博 <sup>[25]</sup>	—	0. 846	H-L 检验	—	5	DM、手术时间、术前 Yap mRNA、taZ mRNA、mst1 mRNA 相对表达量(高)	logistic 回归方程
李文熙 <sup>[26]</sup>	—	0. 905	—	—	3	BMI(≥24 kg/m <sup>2</sup> )、手术时间(≥3 h)、低蛋白血症	logistic 回归方程
苗菲菲 <sup>[27]</sup>	—	训练集:0. 892 验证集:0. 786	校准曲线、 H-L 检验	DCA	6	手术时间(≥120 min)、DM、留置导尿管时间(≥3 d)、年龄(≥60 岁)、术前化学治疗(是)、手术方式(开腹)	列线图
Han <sup>[28]</sup>	—	—	—	—	3	DM、手术方式(开腹)、结肠/回肠造口(有)	列线图
秦涛 <sup>[29]</sup>	0. 850	0. 832	校准曲线	—	8	年龄(≥60 岁)、临床分期(Ⅲ/Ⅳ期)、手术方式(开腹)、术中输血、DM、BMI(≥24 kg/m <sup>2</sup> )、营养不良、腹部手术史	列线图

续表 3 (Table 3, Continued)

纳入文献及 第一作者	模型性能			决策分析 方法	最终预测变量		模型呈现方式
	C-index	AUC	校准方法		数量	预测因子	
程玉鹏 <sup>[30]</sup>	-	0.950	-	-	10	年龄(>60 岁)、BMI(>24 kg/m <sup>2</sup> )、DM、肠梗阻(有)、手术方式(开腹)、切口大小(>15 cm)、手术时间(>150 min)、术后引流时间(>9.36 d)、清蛋白(<32.24 g/L)、护理质量	数学公式
卜宁 <sup>[31]</sup>	建模组:0.868 验证组:0.860	建模组:0.862 验证组:0.873	校准曲线	DCA	6	性别(男)、DM、BMI(≥28.0 kg/m <sup>2</sup> )、术前新辅助化学治疗、手术方式(开腹)、术前 Hb 浓度(中度贫血)	列线图
Ohno <sup>[32]</sup>	-	0.731	-	-	13	住院时间、失血量、LMR、胰岛素使用、组分化腺癌、腹腔镜手术、紧急手术、肿瘤大小、淋巴浸润、CAR、手术时间、CA199、吸烟状况	基于 AI 的集成模型
Pei <sup>[33]</sup>	-	0.931	校准曲线	DCA	4	术前清蛋白、LWR(<0.17)、低 L3FI、低 L3MI	列线图
刘帅峰 <sup>[34]</sup>	-	0.813	H-L 检验	-	4	DM、手术时间(≥160 min)、清蛋白(<30 g/L)、抗菌药物使用时间(>14 d)	数学公式
胡笏生 <sup>[35]</sup>	0.945	0.945	H-L 检验	-	4	DM、手术时间(≥180 min)、术后吻合口瘘(有)、肺部感染	列线图
王樱 <sup>[36]</sup>	-	建模组:0.869 验证组:0.836	H-L 检验	-	9	年龄(≥60 岁)、BMI(≥24 kg/m <sup>2</sup> )、DM、Dukes 分期(高)、手术时间(≥180 min)、手术类型(开腹)、手术切口类型(Ⅲ-Ⅳ类)、术前清蛋白、补充益生菌	数学公式
叶国庆 <sup>[37]</sup>	0.710	0.702	H-L 检验	-	3	肌肉减少症、肿瘤大小(≥3.4 cm)、年龄(≥65 岁)	风险评分系统
Gervaz <sup>[38]</sup>	-	初始模型:0.738 交叉验证后:0.709	-	-	4	污染、肥胖、剖腹手术、ASA	风险评分系统

注：- 为未明确提及。H-L 检验为 Hosmer-Lemeshow 拟合优度检验，DCA 为决策曲线分析。DM 为糖尿病，NRS2002 为营养风险筛查 2002，ASA 为身体状况分级，SMD 为骨骼肌放射密度，PNI 为预后营养指数，VTE 为术前静脉血栓栓塞症评分，HUAC 为 HU 均值，L3-SMI 为第三腰椎骨骼肌指数，aCCI 为年龄校正 Charlson 合并症指数，NLR 为中性粒细胞-淋巴细胞比值，PLR 为血小板-淋巴细胞比值，SII 为全身免疫炎症指数，CEA 为癌胚抗原，dNLR 为衍生的中性粒细胞与淋巴细胞比值，ALB 为清蛋白，HGB 为血红蛋白，ALT 为丙氨酸转氨酶，CA199、CA125 为碳水化合物抗原，TNM 为肿瘤临床病理分期，Yap、taZ、mst1 mRNA 为 Hippo 信号通路相关基因，LMR 为淋巴细胞与单核细胞比值，CAR 为 C 反应蛋白与清蛋白比值，LWR 为淋巴细胞-白细胞比值，L3FI 为第三腰椎皮下脂肪量指数，L3MI 为第三腰椎骨骼肌质量指数，Dukes 分期为结直肠癌分期系统。KNN 为 K 最近邻，SVM 为支持向量机，NNET 为神经网络，CART 为分类回归树，XGBoost 为极度梯度提升树，RF 为随机森林，NN 为深度学习。

2.5 偏倚风险和适用性评价 偏倚风险:25 项研究均被评价为高偏倚风险。(1)参与者领域:23 项研究被评价为高风险,因研究对象来自回顾性/横断面研究且多为单中心;2 项研究被评为低风险。(2)预测变量领域:17 项研究因预测因子提取者提前知晓结局状态被评价为高风险;3 项因多中心研究未说明评估者标准化培训情况被评价为不清楚;5 项研究被评价为低风险。(3)结局领域:8 项研究因预测因子含术后变量被评价为高风险,如住院时间、导管留置时间、术后吻合口瘘情况等;其余 17 项被评价为低风险。(4)分析领域:25 项研究均被评价为

高风险,主要原因包括样本量不足(仅 5 项研究 EPV>20)、验证不充分(仅 4 项研究进行了内外部验证,多数仅内部验证或未明确)、校准度评估不充分(8 项研究未报告)、连续性变量截点依据不明确(16 项研究未报告)及缺失数据处理报告不全(9 项未报告,15 项直接删除且仅 1 项说明)。所有研究均未报告数据是否存在复杂性。

适用性:11 项研究被评价为高适用性风险,主要原因包括人群局限(4 项)、预测变量与结局时间关系不当(8 项);14 项研究被评价为低适用性风险。见表 4。

表 4 纳入模型的偏倚和适用性风险评估结果

Table 4 Evaluation result of risks of bias and applicability of included models

纳入文献及 第一作者	发表年份 (年)	偏倚风险				适用性风险			总体	
		研究对象	预测因子	结局	分析	研究对象	预测因子	结果	偏倚风险	适用性风险
邓宏哲 <sup>[14]</sup>	2025	—	—	+	—	+	+	+	—	+
梁舒婷 <sup>[15]</sup>	2025	—	—	+	—	+	+	+	—	+
金剑 <sup>[16]</sup>	2024	—	—	+	—	—	+	+	—	—
石召强 <sup>[17]</sup>	2024	—	—	—	—	+	+	—	—	—
陈永刚 <sup>[18]</sup>	2024	—	—	—	—	+	+	—	—	—
盛超 <sup>[19]</sup>	2024	—	+	—	—	+	+	—	—	—
Liu <sup>[20]</sup>	2024	—	—	+	—	+	+	+	—	+
Mao <sup>[21]</sup>	2024	—	—	+	—	+	+	+	—	+
Li <sup>[22]</sup>	2024	—	+	+	—	+	+	+	—	+
符国宏 <sup>[23]</sup>	2023	—	—	+	—	+	+	+	—	+
王长峰 <sup>[24]</sup>	2023	—	?	—	—	+	+	—	—	—
张文博 <sup>[25]</sup>	2023	—	—	+	—	+	+	+	—	+
李文熙 <sup>[26]</sup>	2023	—	—	+	—	+	+	+	—	+
苗菲菲 <sup>[27]</sup>	2023	—	—	—	—	—	+	—	—	—
Han <sup>[28]</sup>	2023	—	—	+	—	+	+	+	—	+
秦涛 <sup>[29]</sup>	2023	—	—	+	—	+	+	+	—	+
程玉鹏 <sup>[30]</sup>	2022	—	+	—	—	+	+	—	—	—
卜宁 <sup>[31]</sup>	2022	—	+	+	—	+	+	+	—	+
Ohno <sup>[32]</sup>	2022	—	+	—	—	+	+	—	—	—
Pei <sup>[33]</sup>	2022	—	—	+	—	+	+	+	—	+
刘帅峰 <sup>[34]</sup>	2022	—	—	+	—	—	+	+	—	—
胡笏生 <sup>[35]</sup>	2021	—	—	—	—	+	+	—	—	—
王樱 <sup>[36]</sup>	2021	—	—	+	—	+	+	+	—	+
叶国庆 <sup>[37]</sup>	2020	+	?	+	—	—	+	+	—	—
Gervaz <sup>[38]</sup>	2012	+	?	+	—	+	+	+	—	+

注：+ 为低偏倚风险/低适用性风险；— 为高偏倚风险/高适用性风险；? 为偏倚风险不清楚/适用性风险不清楚。

3 讨论

本研究系统检索 CRC 患者术后 SSI 风险预测模型相关文献,共纳入 25 项研究包括 35 个预测模型。结果显示,CRC 术后 SSI 发病率为 4.35%~29.47%,凸显防控形势的严峻性。96.0% 的研究数据来源于亚洲,尤以中国患者居多,可能与东亚地区严重的 CRC 负担及筛查不足导致中晚期病例确诊比例高有关<sup>[39]</sup>。

PROBAST 评估结果显示,尽管有 14 项研究被评为低适用性风险,但所有研究均存在高偏倚风险,其方法学缺陷可能削弱低适用性风险的理论优势,

影响结果可信度和临床应用价值。(1)研究设计偏倚:当前模型多基于回顾性数据构建,易受局部数据影响,存在选择偏倚及数据质量问题,限制了模型泛化能力。(2)样本量不足:80% 的研究 EPV<20,提示模型构建可能过度依赖开发数据集特征,存在较高的过拟合风险。尽管报告的 AUC 值均>0.7,显示模型预测性能良好,但临床实际性能可能被高估,影响诊疗决策或资源误配<sup>[40]</sup>。此外,小样本量下使用复杂变量筛选方法(如 Boruta 算法)会增加过拟合风险,导致模型的性能指标虚高、出现乐观偏差<sup>[40]</sup>。4 项研究限定了特定人群、且仅 2 项研究来自非中国人群,其预测因子和模型性能在推广至不同人群和医疗机构时适用性可能受限。(3)外部

验证缺失:仅 4 项研究进行了有限的外部验证,且验证集多源于同一医疗中心。外部验证不足会加剧模型的过拟合风险,意味着模型在技术条件、人群特征或诊疗规范不同的医疗机构中性能可能受限制。(4)校准度报告不足:8 项研究未报告校准度,无法评价风险量化的可靠性,依赖其设定干预阈值可能会产生决策偏差<sup>[11]</sup>。小样本下仅依赖 H-L 检验会导致效能有限,易出现校准不良,如高估感染概率等。(5)预测变量偏倚:部分模型纳入术后变量(如住院时间)或依赖特殊检查(如骨骼肌参数),可能会削弱模型在术前/术中的预警价值,并制约模型在有限医疗资源环境中的普适性与可及性。(6)数据处理不当:大部分研究(16 项)未经验证即对连续变量简单分类,且广泛采用直接删除缺失数据的方法(15 项),会导致信息损失、统计效能降低,降低模型稳健性、可重复性与应用可靠性。

近年来,机器学习和数据分析技术在预测模型的构建中被广泛应用。相较于传统的逻辑回归分析,其在处理预测因子之间的复杂模式和相互作用方面具有优势,能有效提升模型预测的准确性。然而,“黑箱”特性导致其透明度低、解释性差,制约了临床转化应用<sup>[41]</sup>。本研究中报告的 ML 模型虽预测性能良好,但仅进行了内部验证且数据报告片面,模型泛化能力不足<sup>[15, 22, 32]</sup>。因此,未来需借助大数据与人工智能(AI)技术,强化 ML 模型内外部验证和决策分析,提升数据可视化与可解释性,以推动其在临床实践中的有效应用。

本研究总结了术后 SSI 风险的高频预测因子,包括 DM、手术时间、手术方式、术前低蛋白血症、年龄、BMI,与 Cai 等<sup>[42]</sup>的分析结果相似。其中,DM 是最高频的因子,高糖环境利于细菌生长繁殖,且 2 型糖尿病患者胰岛素抵抗可加剧术后炎症反应<sup>[43]</sup>。手术时间过长和开放手术已被列为危险因素,与切口暴露时间过长增加污染概率、加重创伤有关,同时长时间麻醉会影响患者免疫力<sup>[42, 44]</sup>。相较于开放手术,微创手术能够缩小切口暴露范围和时间以降低 SSI 发病率<sup>[45]</sup>,但其应用受医疗资源水平影响较大。CRC 患者机体摄入与消耗比例失调,加之肝脏功能逐渐受损,易出现低白蛋白血症,会削弱机体免疫功能和组织修复能力,导致术后 SSI 发病率显著升高<sup>[46]</sup>。据统计,CRC 患病率随年龄而增加,65~74 岁达到峰值<sup>[39]</sup>,加之高龄患者基础疾病多、免疫力低下,术后 SSI 发病率升高。此外,BMI>30 kg/m<sup>2</sup>肥胖患者,因受脂肪组织血供差、手术暴露难度增

加,其与 CRC 术后 SSI 风险升高相关<sup>[47]</sup>。但一项基于我国人群的研究显示,低 BMI 因营养不良导致免疫功能下降,反而增加感染风险<sup>[48]</sup>,可能与我国 CRC 患者营养状况、体型特征有关。因此,医疗人员需早期识别并重点关注高频危险因素的 CRC 术后患者,借助模型对 SSI 的发生风险进行动态预测,并采取针对性干预措施,以最大程度降低术后 SSI 发生风险。

本研究结果提示,现有预测模型普遍在方法学质量和/或临床场景匹配度方面存在局限,模型临床转化价值受限。未来在模型开发与验证阶段,研究者应严格遵循 PROBAST 标准,优先采用前瞻性、随机对照或嵌套病例对照研究设计,以减少信息偏倚;决策曲线分析受模型预测性能的影响,建议 EPV≥20 以控制过拟合风险,并通过严格的模型验证评估其预测性能与泛化能力。同时,需关注变量处理与数据透明度,避免仅基于模型性能选择连续变量界值,并推荐采用多重插补等科学方法处理缺失数据且详尽报告<sup>[11, 40]</sup>。在临床转化与应用阶段,基于当前证据,不建议模型直接临床应用。医疗人员应优先选用前瞻性设计、大样本量、变量处理透明且经外部验证的预测模型,以降低预测偏差与过拟合风险,并确保其适用于目标人群。模型应用前应先进行本地验证,重新评估区分度与校准度,并建立持续监测模型性能的机制,必要时综合临床实践对易获取、具备术前/术中预警能力的核心因子进行适度调整,确保模型有效支持临床决策。

本研究存在以下局限性:(1)大部分数据来源于中国,缺乏西方 CRC 患者的相关数据,结果可能存在地域偏倚。只纳入了中英文发表的文献,可能存在发表偏倚。(2)纳入的研究之间存在显著异质性,影响模型的可比性,故未能进行定量分析或确定最优临床预测模型。(3)使用 PROBAST 工具进行评估,依赖原始研究报告透明度和评估者主观判断,难以量化偏倚对模型性能的影响及准确评估其临床价值,且对机器学习模型的偏倚评估能力有限。

本研究共纳入 25 项研究,包含 35 个 CRC 术后 SSI 风险预测模型。目前,术后 SSI 风险预测模型的开发和验证仍处于发展阶段。研究结果显示,现有预测模型的整体预测性能良好,且识别出重要的预测因子。然而,所有研究均被评定为高偏倚风险,即使部分研究适用性风险低,但模型整体的稳健性和可靠性仍不足。因此,未来研究亟需严格遵循 PROBAST 标准,借助电子病历数据交互共享与信



息挖掘,加强前瞻性、大样本、多中心的研究设计,致力于开发或完善方法学严谨且经过严格外部验证的模型,在提升模型性能的同时兼顾临床可解释性,以增强其临床应用价值。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突。

[参 考 文 献]

[1] Xi Y, Xu PF. Global colorectal cancer burden in 2020 and projections to 2040[J]. *Transl Oncol*, 2021, 14(10): 101174.

[2] GBD 2019 Colorectal Cancer Collaborators. Global, regional, and national burden of colorectal cancer and its risk factors, 1990–2019: a systematic analysis for the global burden of disease study 2019[J]. *Lancet Gastroenterol Hepatol*, 2022, 7(7): 627–647.

[3] Bray F, Laversanne M, Sung H, et al. Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. *CA Cancer J Clin*, 2024, 74(3): 229–263.

[4] Dekker E, Tanis PJ, Vleugels JLA, et al. Colorectal cancer [J]. *Lancet*, 2019, 394(10207): 1467–1480.

[5] Calu V, Piriianu C, Miron A, et al. Surgical site infections in colorectal cancer surgeries: a systematic review and Meta-analysis of the impact of surgical approach and associated risk factors[J]. *Life (Basel)*, 2024, 14(7): 850.

[6] Mengistu DA, Alemu A, Abdukadir AA, et al. Global incidence of surgical site infection among patients: systematic review and Meta-analysis[J]. *Inquiry*, 2023, 60: 469580231162549.

[7] Falconer R, Ramsay G, Hudson J, et al. Reducing surgical site infection rates in colorectal surgery – a quality improvement approach to implementing a comprehensive bundle[J]. *Colorectal Dis*, 2021, 23(11): 2999–3007.

[8] Cunha T, Miguel S, Maciel J, et al. Surgical site infection prevention care bundles in colorectal surgery: a scoping review [J]. *J Hosp Infect*, 2025, 155: 221–230.

[9] Grant SW, Collins GS, Nashef SAM. Statistical primer: developing and validating a risk prediction model[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2018, 54(2): 203–208.

[10] Wang Y, Shi Y, Wang L, et al. Risk prediction model for surgical site infection in patients with gastrointestinal cancer: a systematic review and Meta-analysis[J]. *World J Surg Oncol*, 2025, 23(1): 72.

[11] 陈香萍, 张奕, 庄一渝, 等. PROBAST: 诊断或预后多因素预测模型研究倚倚风险的评估工具[J]. *中国循证医学杂志*, 2020, 20(6): 737–744.

Chen XP, Zhang Y, Zhuang YY, et al. PROBAST: a tool for assessing risk of bias in the study of diagnostic or prognostic multi-factorial predictive models[J]. *Chinese Journal of Evi-*

dence-Based Medicine, 2020, 20(6): 737–744.

[12] Moons KGM, de Groot JAH, Bouwmeester W, et al. Critical appraisal and data extraction for systematic reviews of prediction modelling studies: the CHARMS checklist [J]. *PLoS Med*, 2014, 11(10): e1001744.

[13] Moons KGM, Wolff RF, Riley RD, et al. PROBAST: a tool to assess risk of bias and applicability of prediction model studies: explanation and elaboration[J]. *Ann Intern Med*, 2019, 170(1): W1–W33.

[14] 邓宏哲, 陈昆, 朱清海. 个体化预测结直肠癌患者术后发生手术部位感染的风险预测模型的建立 [J]. *医药论坛杂志*, 2025, 46(4): 398–403.

Deng HZ, Chen K, Zhu QH. Establishment of risk prediction model for individualized prediction of postoperative surgical site infection in patients with colorectal cancer[J]. *Journal of Medical Forum*, 2025, 46(4): 398–403.

[15] 梁舒婷, 盛岚宣, 高丹阳, 等. 结直肠癌患者根治术后切口感染发生风险的预测模型研究 [J]. *北京医学*, 2025, 47(1): 42–50.

Liang ST, Sheng WX, Gao DY, et al. Research on risk prediction model of postoperative wound infection in patients with colorectal cancer undergoing radical resection surgery[J]. *Beijing Medical Journal*, 2025, 47(1): 42–50.

[16] 金剑, 廖欣, 杨庆强. 合并代谢综合征的结直肠癌患者术后腹腔感染风险的预测模型构建与验证 [J]. *现代肿瘤医学*, 2024, 32(18): 3494–3501.

Jin J, Liao X, Yang QQ. Construction and validation of a predictive model for the risk of postoperative abdominal infection in colorectal cancer patients with combined metabolic syndrome [J]. *Journal of Modern Oncology*, 2024, 32(18): 3494–3501.

[17] 石召强, 成敏敏, 于晓卫, 等. 结直肠癌术后腹腔感染的危险因素及风险模型建立 [J]. *中华医院感染学杂志*, 2024, 34(9): 1366–1369.

Shi ZQ, Cheng MM, Yu XW, et al. Risk factors for postoperative abdominal infection in patients with colorectal cancer and establishment of risk model[J]. *Chinese Journal of Nosocomiology*, 2024, 34(9): 1366–1369.

[18] 陈永刚, 李冬生. 结直肠癌术后腹腔感染患者高危因素分析 [J]. *中国现代普通外科进展*, 2024, 27(2): 151–154.

Chen YG, Li DS. Analysis of high-risk factors for intra-abdominal infection in patients after colorectal cancer surgery [J]. *Chinese Journal of Current Advances in General Surgery*, 2024, 27(2): 151–154.

[19] 盛超, 王丹, 李芳, 等. 加速康复外科模式下结直肠癌手术患者切口感染预测模型的构建与应用价值评价 [J]. *中国实用护理杂志*, 2024, 40(36): 2812–2819.

Sheng C, Wang D, Li F, et al. Construction and application evaluation of a prediction model for incision infection in colorectal cancer patients under the enhanced recovery after surgery[J]. *Chinese Journal of Practical Nursing*, 2024, 40(36): 2812–2819.

- [20] Liu CQ, Yu ZB, Gan JX, et al. Preoperative blood markers and intra-abdominal infection after colorectal cancer resection [J]. *World J Gastrointest Surg*, 2024, 16(2): 451–462.
- [21] Mao FW, Song MM, Cao YH, et al. Development and validation of a preoperative systemic inflammation-based nomogram for predicting surgical site infection in patients with colorectal cancer[J]. *Int J Colorectal Dis*, 2024, 39(1): 208.
- [22] Li JT, Yan ZP. Machine learning model predicting factors for incisional infection following right hemicolectomy for colon cancer[J]. *BMC Surg*, 2024, 24(1): 279.
- [23] 符国宏, 赵宇青, 郑杨慈, 等. 结直肠癌根治术后合并切口感染病原学及其决策树预测模型构建[J]. *中华医院感染学杂志*, 2023, 33(21): 3270–3274.
- Fu GH, Zhao YQ, Zheng YC, et al. Etiological characteristics of postoperative incision infections in patients undergoing radical resection of colorectal cancer and establishment of predictive decision tree model[J]. *Chinese Journal of Nosocomiology*, 2023, 33(21): 3270–3274.
- [24] 王长峰, 黄汇, 司呈帅, 等. 结直肠癌术后切口感染危险因素及 Logistic 回归模型[J]. *中华医院感染学杂志*, 2023, 33(20): 3104–3107.
- Wang CF, Huang H, Si CS, et al. Risk factors for postoperative incision infection in colorectal cancer and logistic regression model[J]. *Chinese Journal of Nosocomiology*, 2023, 33(20): 3104–3107.
- [25] 张文博, 赵紫罡, 李文涵, 等. 结直肠癌术后腹腔感染的风险预测模型构建及 Hippo 信号通路基因表达[J]. *中华医院感染学杂志*, 2023, 33(17): 2656–2660.
- Zhang WB, Zhao ZG, Li WH, et al. Establishment of risk prediction model for postoperative abdominal infection in colorectal cancer patients and expressions of Hippo signaling pathway genes[J]. *Chinese Journal of Nosocomiology*, 2023, 33(17): 2656–2660.
- [26] 李文熙, 郑鑫, 孙宝信, 等. 结直肠癌术后患者切口感染危险因素及其预测模型的构建[J]. *中华医院感染学杂志*, 2023, 33(17): 2652–2655.
- Li WX, Zheng X, Sun BX, et al. Risk factors for postoperative incision infection in colorectal cancer patients and establishment of prediction model[J]. *Chinese Journal of Nosocomiology*, 2023, 33(17): 2652–2655.
- [27] 苗菲菲, 朱晓翠, 刘兆玮, 等. 结肠癌伴肠梗阻患者术后切口感染风险因素剖析及列线图预测模型建立[J]. *中国病原生物学杂志*, 2023, 18(3): 336–341.
- Miao FF, Zhu XC, Liu ZW, et al. Pathogen distribution, influencing factors and nomogram prediction model of postoperative incision infection in patients with colon cancer and intestinal obstruction[J]. *Journal of Pathogen Biology*, 2023, 18(3): 336–341.
- [28] Han C, Chen W, Ye XL, et al. Risk factors analysis of surgical site infections in postoperative colorectal cancer: a nine-year retrospective study[J]. *BMC Surg*, 2023, 23(1): 320.
- [29] 秦涛, 王泽军, 颜登国. 基于 Nomgram 模型对结直肠癌患者术后并发切口感染的临床预测模型的初步探索[J]. *医学综述*, 2023, 29(4): 816–820.
- Qin T, Wang ZJ, Yan DG. Preliminary exploration of clinical prediction model of postoperative incision infection in patients with colorectal cancer based on Nomgram model[J]. *Medical Recapitulate*, 2023, 29(4): 816–820.
- [30] 程玉鹏, 张颖艳, 曹海珍. 结直肠癌手术患者手术部位感染发生因素及预警模型的预测价值分析[J]. *消化肿瘤杂志(电子版)*, 2022, 14(4): 455–460.
- Cheng YP, Zhang YY, Cao HZ. Investigation on the occurrence factors of SSI in patients undergoing colorectal cancer surgery and analysis of the effectiveness of early warning model construction[J]. *Journal of Digestive Oncology (Electronic version)*, 2022, 14(4): 455–460.
- [31] 卜宁, 赵莎, 汪博, 等. 基于术前血红蛋白浓度构建列线图模型预测结直肠癌术后手术部位感染的研究[J]. *国际麻醉学与复苏杂志*, 2022, 43(2): 151–158.
- Bu N, Zhao S, Wang B, et al. A nomogram based on preoperative hemoglobin levels for the prediction of postoperative surgical site infection in patients with colorectal cancer[J]. *International Journal of Anesthesiology and Resuscitation*, 2022, 43(2): 151–158.
- [32] Ohno Y, Mazaki J, Udo R, et al. Preliminary evaluation of a novel artificial intelligence-based prediction model for surgical site infection in colon cancer[J]. *Cancer Diagn Progn*, 2022, 2(6): 691–696.
- [33] Pei GB, Zhen SG, Zhang B. A novel nomogram based on nutritional and immune status predicting postoperative intra-abdominal infection in colorectal cancer[J]. *Asia Pac J Clin Nutr*, 2022, 31(4): 626–635.
- [34] 刘帅峰, 李文献, 梅志彪, 等. 结肠癌根治术吻合口瘘并发腹腔感染引流液病原菌分布、耐药性及风险预测模型建立[J]. *实用癌症杂志*, 2022, 37(7): 1128–1132.
- Liu SF, Li WX, Mei ZB, et al. Distribution and drug resistance of drainage fluid pathogens in abdominal infection complicated by anastomotic fistula after radical resection of colon cancer and the establishment of risk prediction model[J]. *The Practical Journal of Cancer*, 2022, 37(7): 1128–1132.
- [35] 胡笏生, 朱袁嘉, 王海鹏, 等. 直肠癌前切除术术后腹腔感染危险因素及列线图预测模型的构建[J]. *中国感染控制杂志*, 2021, 20(10): 889–896.
- Hu LS, Zhu XJ, Wang HP, et al. Risk factors and establishment of nomogram prediction model for intra-abdominal infection after anterior resection of rectal cancer[J]. *Chinese Journal of Infection Control*, 2021, 20(10): 889–896.
- [36] 王樱, 陈川丽, 吴同丽, 等. 结直肠癌手术部位感染危险因素及预测模型[J]. *中华医院感染学杂志*, 2021, 31(5): 663–667.
- Wang Y, Chen CL, Wu TL, et al. Risk factors for surgical site infection in colorectal cancer patients and establishment of prediction model [J]. *Chinese Journal of Nosocomiology*, 2021, 31(5): 663–667.

[37] 叶国庆, 许京轩, 曾云鹏, 等. 联合肌肉减少症建立模型预测结直肠癌术后腹腔内感染风险[J]. 温州医科大学学报, 2020, 50(12): 984–989.  
Ye GQ, Xu JX, Zeng YP, et al. A model combined with sarcopenia to predict the risk of intra-abdominal infection after colorectal cancer surgery[J]. Journal of Wenzhou Medical University, 2020, 50(12): 984–989.

[38] Gervaz P, Bandiera-Clerc C, Buchs NC, et al. Scoring system to predict the risk of surgical-site infection after colorectal resection[J]. Br J Surg, 2012, 99(4): 589–595.

[39] 徐睿锋, 王泓睿, 车云, 等. 《癌症统计数据 2025》解读: 中美癌症流行病学特征及长期趋势对比研究[J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2025, 32(4): 442–452.  
Xu RF, Wang HR, Che Y, et al. Interpretation of “cancer statistics, 2025”: a comparative study on cancer epidemiological characteristics and long-term trends between China and the United States[J]. Chinese Journal of Clinical Thoracic and Cardiovascular Surgery, 2025, 32(4): 442–452.

[40] Efthimiou O, Seo M, Chalkou K, et al. Developing clinical prediction models: a step-by-step guide[J]. BMJ, 2024, 386: e078276.

[41] Shan J, Bao XY, Wang B, et al. The best machine learning algorithm for building surgical site infection predictive models: a systematic review and network Meta-analysis[J]. Comput Biol Med, 2025, 192(Pt A): 110286.

[42] Cai WJ, Wang LN, Wang WQ, et al. Systematic review and Meta-analysis of the risk factors of surgical site infection in patients with colorectal cancer[J]. Transl Cancer Res, 2022, 11(4): 857–871.

[43] Popescu RC, Leopa N, Dumitru E, et al. Influence of type II diabetes mellitus on postoperative complications following colorectal cancer surgery[J]. Exp Ther Med, 2022, 24(4): 611.

[44] Malheiro RM, Peleteiro B, Silva G, et al. Surveillance of surgical site infection after colorectal surgery: comprehensiveness and impact of risk factors[J]. Infect Control Hosp Epidemiol, 2023, 44(10): 1601–1606.

[45] Yamamoto T, Yoshitomi M, Oshimo Y, et al. Ability of minimally invasive surgery to decrease incisional surgical site infection occurrence in patients with colorectal cancer and other gastroenterological malignancies[J]. Front Surg, 2023, 10: 1150460.

[46] Christina NM, Tjahyanto T, Lie JG, et al. Hypoalbuminemia and colorectal cancer patients: Any correlation?: a systematic review and Meta-analysis[J]. Medicine (Baltimore), 2023, 102(8): e32938.

[47] Qiu Y, Liu QX, Chen GQ, et al. Outcome of rectal cancer surgery in obese and nonobese patients: a Meta-analysis[J]. World J Surg Oncol, 2016, 14(1): 23.

[48] Wang ZW, Chen J, Wang PG, et al. Surgical site infection after gastrointestinal surgery in China: a multicenter prospective study[J]. J Surg Res, 2019, 240: 206–218.

(本文编辑:陈玉华)

**本文引用格式:**侯素颖, 楚鑫, 徐小红, 等. 结直肠癌患者手术部位感染风险预测模型的系统评价[J]. 中国感染控制杂志, 2025, 24(12): 1818–1828. DOI:10.12138/j.issn.1671-9638.20252565.

**Cite this article as:** HOU Suying, CHU Xin, XU Xiaohong, et al. Risk prediction models for surgical site infection following colorectal cancer surgery: a systematic evaluation[J]. Chin J Infect Control, 2025, 24(12): 1818–1828. DOI: 10.12138/j.issn.1671-9638.20252565.