



DOI: 10.3969/j.issn.2095-1264.2025.03.10

文章编号: 2095-1264(2025)03-0363-07

## 基于 SMOTE 算法的结直肠癌患者术后发生 腹腔感染的预警模型构建

杨静, 杨婕\*, 蒋理立

(四川大学华西医院结直肠肿瘤中心, 四川成都, 610041)

**摘要:** **目的** 基于 SMOTE 算法构建结直肠癌患者术后发生腹腔感染的预警模型。**方法** 将 328 例结直肠癌患者作为观察对象, 根据术后是否发生腹腔感染分为感染组(50 例)和非感染组(278 例), 收集和分析受试者资料, 用单因素及 Logistic 回归分析筛选结直肠癌患者术后发生腹腔感染的影响因素, 再通过 SMOTE 算法重建影响因素的原始数据集, 构建风险预警模型并验证其预测效能。**结果** 328 例结直肠癌患者中有 50 例术后发生腹腔感染, 发生率为 15.24%。合并糖尿病( $X_1$ )、切口长度( $X_2$ )、手术时间( $X_3$ )、出血量( $X_4$ )、联合脏器切除( $X_5$ )、术后发生吻合口瘘( $X_6$ )、术后引流管留置时间( $X_7$ )是结直肠癌患者术后发生腹腔感染的危险因素( $P < 0.05$ )。得到原始预警模型  $P_1 = 1/[1 + e^{-( -5.009 + 1.190X_1 + 0.737X_2 + 0.905X_3 + 0.941X_4 + 1.028X_5 + 1.047X_6 + 0.929X_7 )}]$  和基于 SMOTE 算法的预警模型  $P_2 = 1/[1 + e^{-( -6.152 + 1.251X_1 + 0.788X_2 + 0.915X_3 + 0.972X_4 + 1.109X_5 + 1.276X_6 + 0.958X_7 )}]$ 。基于 SMOTE 算法的预警模型  $P_2$  的 AUC 值 [0.833 (95% CI: 0.792~0.854)] 高于原始预警模型  $P_1$  的 AUC 值 [0.814 (95% CI: 0.765~0.826)]。**结论** 基于 SMOTE 算法构建的预警模型 AUC 值高于原始预警模型, 其预测性能更优。

**关键词:** 结直肠癌患者; 腹腔感染; 预警模型; SMOTE 算法; 术后

**中图分类号:** R735.3 **文献标识码:** A

## Construction of early warning model of postoperative abdominal infection in patients with colorectal cancer based on SMOTE algorithm

YANG Jing, YANG Jie\*, JIANG Lili

(Colorectal Cancer Center, West China Hospital of Sichuan University, Chengdu, 610041, Sichuan, China)

**Abstract: Objective** To establish the early warning model of postoperative abdominal infection in patients with colorectal cancer based on SMOTE algorithm. **Methods** 328 patients with colorectal cancer were divided into abdominal infection group (50 cases) and non-abdominal infection group (278 cases) according to whether postoperative abdominal infection occurred. Data of the subjects were collected and analyzed, and the influencing factors of postoperative abdominal infection in patients with colorectal cancer were screened by univariate and Logistic regression analysis. Then the original data set of influencing factors was rebuilt by SMOTE algorithm to get the risk early warning model, and its prediction efficiency was verified via analyzing the area under the receiver operator characteristic curve (AUC). **Results** Of 328 patients with colorectal cancer, 50 cases developed abdominal infection after operation, with an incidence of 15.24%. Diabetes mellitus ( $X_1$ ), incision length ( $X_2$ ), operative time ( $X_3$ ), bleeding ( $X_4$ ), combined organ resection ( $X_5$ ), postoperative anastomotic fistula ( $X_6$ ), and duration of postoperative drain retention ( $X_7$ ) were risk factors for postoperative development of abdominal infection in colorectal cancer patients ( $P < 0.05$ ). Get the original early warning model  $P_1 = 1/[1 + e^{-( 1.190X_1 + 0.737X_2 + 0.905X_3 + 0.941X_4 + 1.028X_5 + 1.047X_6 + 0.929X_7 - 5.009 )}]$  and the SMOTE-based early warning model  $P_2 = 1/[1 + e^{-( 1.251X_1 + 0.788X_2 + 0.915X_3 + 0.972X_4 + 1.109X_5 + 1.276X_6 + 0.958X_7 - 6.152 )}]$ . The AUC of the original early warning model  $P_1$  was 0.814 (95% CI: 0.765-0.826), lower than that of SMOTE-based early warning model

作者简介: 杨静, 女, 护师, 研究方向为腹腔镜术后感染。

\*通信作者: 杨婕, 女, 硕士, 副主任护师, 研究方向为加速康复外科护理。

$P_2$ , which was 0.833 (95% CI: 0.792–0.854). **Conclusion** The early warning model based on the SMOTE algorithm has a higher AUC than the original prediction model, with a better prediction performance.

**Keywords:** Colorectal cancer patients; Abdominal infection; Early warning model; SMOTE algorithm; Postoperative

## 0 前言

结直肠癌是一种常见的消化系统恶性肿瘤,其发病率逐年上升<sup>[1]</sup>。手术是结直肠癌的常用治疗手段,但术后并发症的发生率较高<sup>[2]</sup>,其中术后腹腔感染发生率可达 17.17%<sup>[3]</sup>。Bislenghi 等<sup>[4]</sup>研究表明,结直肠癌患者术后发生腹腔感染的危险因素有手术时间、年龄、造口等。腹腔感染可引发局部炎症反应加剧,导致术后创口裂开、腹腔脓肿形成、感染性休克等严重后果。因此,建立有效的预警模型以预测结直肠癌患者术后腹腔感染的风险,对及时采取预防和治疗措施具有重要的临床意义。SMOTE (synthetic minority over-sampling technique) 算法是一种常用的数据增强方法,其可通过生成合成样本来平衡数据集中的不平衡问题,从而提高模型的性能<sup>[5-6]</sup>。近年来,基于 SMOTE 算法的预警模型在医疗领域得到了广泛应用<sup>[7]</sup>。在结直肠癌患者术后腹腔感染预警模型的构建中,利用 SMOTE 算法可以克服数据集中阳性样本(发生腹腔感染)和阴性样本(未发生腹腔感染)不平衡的问题,提高模型的预测性能和稳定性。本研究通过对结直肠癌患者术后发生腹腔感染的相关危险因素进行分析和挖掘,并基于 SMOTE 算法建立了预警模型,以实现对患者术后腹腔感染风险的准确评估和预测。同时,本研究将探讨模型的临床应用前景,为临床医生提供决策支持,以助其及时采取有效的预防和治疗措施,降低患者术后腹腔感染的发生率,提高患者生存质量与治疗效果。

## 1 资料与方法

### 1.1 研究对象

回顾性收集 2019 年 9 月至 2023 年 9 月我院收治的结直肠癌患者作为观察对象,并依据术后是否发生腹腔感染分为感染组和非感染组。纳入标准:(1)经病理确诊为结直肠癌;(2)行结直肠癌切除术。排除标准:(1)存在严重脏器损伤;(2)合并血液系统疾病;(3)伴有精神障碍;(4)经肛门行直肠手术。

### 1.2 资料收集

查阅相关文献<sup>[8-9]</sup>,并通过自制调查表收集患者

资料,包括年龄,性别,体重指数(body mass index, BMI),肿瘤部位,肿瘤分期,有无长期饮酒史、吸烟史,是否合并高血压、糖尿病、心脑血管疾病,手术时间,出血量,联合脏器切除,术后是否发生吻合口瘘,术后引流管留置时间,住院时间等。

### 1.3 术后腹腔感染的诊断标准<sup>[10]</sup>

(1)术后发热、腹痛明显;(2)白细胞/中性粒细胞比例显著升高;(3)细菌培养鉴定为阳性;(4)影像学检查证实感染。

### 1.4 SMOTE 算法

本研究依据 Blagus 等<sup>[11]</sup>提出的 SMOTE 算法实施标准,针对感染组样本量较小的情况(50 例),需扩充倍数  $n = \text{非感染组} / \text{感染组} = 5.56$ ,设置最近邻点数为 6,扩充后样本量为  $50 \times 6 = 300$  例。通过 SMOTE 算法扩充新数据集,未改变原样本集的空间边界,信度较好。

### 1.5 统计学分析

数据处理采用 SPSS 26.0 统计软件包。计数资料以例数/百分比描述,组间比较采用  $\chi^2$  检验;影响因素采用 Logistic 回归分析,以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。模型制作采用 R 软件,绘制受试者工作特征曲线(receiver operator characteristic curve, ROC)评价模型区分度,采用 Hosmer-Lemeshow (H-L) 检验评价模型的校准度,应用 F 分数(F-score)、阳性预测值(positive predictive value, PPV)、真正类率(true positive rate, TPR)和 ROC 曲线下面积(area under the ROC curve, AUC)评价模型数据准确性。

## 2 结果

### 2.1 腹腔感染发生情况

328 例结直肠癌患者中,有 50 例术后发生了腹腔感染,感染发生率为 15.24%。

### 2.2 两组患者临床资料比较

两组患者合并糖尿病、切口长度、手术时间、出血量、联合脏器切除、术后发生吻合口瘘、术后引流管留置时间比较,差异有统计学意义( $P < 0.05$ );其他一般资料比较,差异均无统计学意义( $P > 0.05$ )(表 1)。

### 2.3 多因素 Logistic 回归分析

以单因素分析筛选  $P < 0.05$  的因素 [ $X_1$ : 合并糖

表 1 临床资料单因素比较

Tab. 1 Univariate comparison of clinical data

变量		感染组(n=50)	非感染组(n=278)	$\chi^2$	P
年龄/岁	> 60	30(60.00)	127(45.68)	3.481	0.062
	≤ 60	20(40.00)	151(54.32)		
性别	男	28(56.00)	158(56.83)	0.012	0.913
	女	22(44.00)	120(43.17)		
BMI/(kg·m <sup>-2</sup> )	>25	24(48.00)	140(50.36)	0.094	0.759
	≤25	26(52.00)	138(49.64)		
肿瘤部位	结肠	25(50.00)	133(47.84)	0.079	0.779
	直肠	25(50.00)	145(52.16)		
TNM 分期	1 期	10(20.00)	50(17.99)	0.115	0.734
	2~4 期	40(80.00)	228(82.01)		
长期饮酒史	是	20(40.00)	146(52.52)	2.657	0.103
	否	30(60.00)	132(47.48)		
长期吸烟史	是	12(24.00)	104(37.41)	3.334	0.068
	否	38(76.00)	174(62.59)		
合并高血压	是	19(38.00)	90(32.37)	0.605	0.437
	否	31(62.00)	188(67.63)		
合并糖尿病	是	31(62.00)	106(38.13)	9.928	0.002
	否	19(38.00)	172(61.87)		
合并心脑血管疾病	是	11(22.00)	96(34.53)	3.028	0.082
	否	39(78.00)	182(65.47)		
切口长度/cm	>15	32(64.00)	114(41.01)	9.071	0.003
	≤15	18(36.00)	164(58.99)		
手术时间/h	>2.5	28(56.00)	92(33.09)	9.584	0.002
	≤2.5	22(44.00)	186(66.91)		
出血量/mL	>300	30(60.00)	103(37.05)	9.259	0.002
	≤300	20(40.00)	175(62.95)		
联合脏器切除	是	33(66.00)	118(42.45)	9.464	0.002
	否	17(34.00)	160(57.55)		
术后发生吻合口瘘	是	29(58.00)	97(34.89)	9.565	0.002
	否	21(42.00)	181(65.11)		
术后引流管留置时间/d	>10	28(56.00)	93(33.45)	9.253	0.002
	≤10	22(44.00)	185(66.55)		
住院时间/d	>30	29(58.00)	124(44.60)	3.056	0.080
	≤30	21(42.00)	154(55.40)		

尿病(是=1,否=0); $X_2$ :切口长度(>15 cm=1,≤15 cm=0); $X_3$ :手术时间(>2.5 h=1,≤2.5 h=0); $X_4$ :出血量(>300 mL=1,≤300 mL=0); $X_5$ :联合脏器切除(是=1,否=0); $X_6$ :术后发生吻合口瘘(是=1,否=0); $X_7$ :术后引流管留置时间(>10 d=1,≤10 d=0)]为自变量,以是否发生腹腔感染为因变量(发生=1,未发生=0)进行 Logistic 回归分析。通过方差膨胀因子(variance inflation factor, VIF)检验排除共线性干扰,并采用

逐步回归法筛选变量。结果显示,合并糖尿病、切口长度、手术时间、出血量、联合脏器切除、术后发生吻合口瘘、术后引流管留置时间是结直肠癌患者术后发生腹腔感染的危险因素( $P<0.05$ )(表 2)。基于上述各危险因素及其回归系数,建立原始预警模型  $P_1=1/[1+e^{-(5.009+1.190X_1+0.737X_2+0.905X_3+0.941X_4+1.028X_5+1.047X_6+0.929X_7)}]$ ,对该模型进行 H-L 检验,结果表明模型拟合度良好( $R^2=0.429,P=0.621$ )。

表 2 多因素 Logistic 回归分析  
 Tab. 2 Multivariate Logistic regression analysis

因素	回归系数	标准误	Wald	P	OR	95% CI	
						下限	上限
合并糖尿病	1.190	0.355	11.209	0.001	3.286	1.638	6.595
切口长度>15 cm	0.737	0.356	4.279	0.039	2.090	1.039	4.204
手术时间>2.5 h	0.905	0.349	6.716	0.010	2.473	1.247	4.905
出血量>300 mL	0.941	0.351	7.199	0.007	2.564	1.289	5.100
联合脏器切除	1.028	0.364	7.994	0.005	2.795	1.371	5.701
术后发生吻合口瘘	1.047	0.353	8.783	0.003	2.849	1.426	5.693
术后引流管留置时间>10 d	0.929	0.351	6.989	0.008	2.532	1.272	5.042
常数	-5.009	0.592	71.709	0.000	0.007		

### 2.4 基于 SMOTE 算法的预警模型

基于 SMOTE 算法扩充 6 倍 (278/50) 抽样, 得到感染和非感染比例近似为 1, 采用 Logistic 回归分析抽样后数据, 结果见表 3。基于 SMOTE 算法模型构

建预警模型  $P_2=1/[1+e^{-(-6.152+1.251X_1+0.788X_2+0.915X_3+0.972X_4+1.109X_5+1.276X_6+0.958X_7)}]$ , 对预警模型  $P_2$  进行 H-L 检验, 结果表明该模型拟合度良好 ( $R^2=0.607, P=0.793$ )。

表 3 基于 SMOTE 算法的 Logistic 回归分析结果  
 Tab. 3 Results of Logistic regression analysis based on SMOTE algorithm

因素	回归系数	标准误	Wald	P	OR	95% CI	
						下限	上限
合并糖尿病	1.251	0.369	3.390	0.000	1.565	1.736	7.142
切口长度>15 cm	0.788	0.387	2.036	0.021	1.409	2.483	6.725
手术时间>2.5 h	0.915	0.358	2.556	0.008	0.837	2.267	6.485
出血量>300 mL	0.972	0.356	2.730	0.004	0.945	2.323	6.684
联合脏器切除	1.109	0.335	3.310	0.002	1.223	1.827	5.973
术后发生吻合口瘘	1.276	0.384	3.323	0.001	1.628	2.269	6.574
术后引流管留置时间>10 d	0.958	0.394	2.431	0.005	0.918	0.043	0.689
常数	-6.152	0.706	99.345	0.000	0.004		

### 2.5 模型评估

为了比较两组模型的优异程度及验证预警模型的效能, 分别对预警模型  $P_1$  和  $P_2$  进行 ROC 曲线分析, 结果显示, 预警模型  $P_1$  的 AUC 为 0.814 (图

1), 预警模型  $P_2$  的 AUC 为 0.833 (图 2)。与原始数据预警模型的 TPR、F-score、PPV 值相比, SMOTE 算法预警模型的 TPR 值较低, 而 F-score、PPV 值较高 (表 4)。

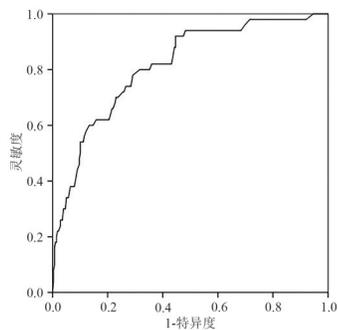


图 1 预警模型  $P_1$  的 ROC 曲线图  
 Fig. 1 ROC curve of the warning model  $P_1$

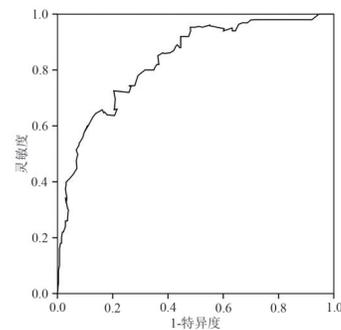


图 2 预警模型  $P_2$  的 ROC 曲线图  
 Fig. 2 ROC curve of the warning model  $P_2$

表 4 两组预警模型预测概率验证

Tab. 4 Prediction probability verification for the two warning models

模型	AUC	95% CI	TPR 值	F-score 值	PPV 值
原始数据预警模型	0.814	0.765~0.826	0.746	0.672	0.611
SMOTE 算法预警模型	0.833	0.792~0.854	0.721	0.758	0.799

### 3 讨论

#### 3.1 结直肠癌患者术后发生腹腔感染的概率分析

结直肠癌患者术后发生腹腔感染可给其康复带来较大困扰,不仅会延长住院时间,还会影响生存时间<sup>[12]</sup>。腹腔感染的发生机制主要与炎症因子介导的病理过程相关<sup>[13]</sup>。炎症细胞(如巨噬细胞、中性粒细胞)会释放肿瘤坏死因子- $\alpha$ 、白细胞介素-1、白细胞介素-6等多种炎症因子,这些炎症因子可引发炎症反应,导致血管扩张、血管通透性增加及炎症细胞浸润,为感染的发生创造条件。此外,炎症因子可增强炎症细胞的活性,促进巨噬细胞的吞噬作用,并激活巨噬细胞释放抗菌肽、自由基等杀菌物质以抵御感染。然而,在感染的早期,炎症因子的过度释放可导致炎症反应过度激活,从而破坏正常的组织结构,损伤宿主的防御机制,进而增加感染的风险。因此,结直肠癌患者术后腹腔感染的发生率较高<sup>[14]</sup>。本研究结果显示,328例结直肠癌患者中有50例术后发生了腹腔感染,发生率为15.24%,高于其他研究结果(14.55%)<sup>[15]</sup>。分析其原因,可能与以下因素有关:首先,样本量差异可能对结果产生了影响;其次,腹腔手术后的护理是预防感染的重要环节,护理不到位或存在差异可能导致术后腹腔感染的发生率增加;另外,两组患者在年龄、性别、合并症等方面可能存在差异,这些因素也可能影响术后腹腔感染的发生率;此外,抗生素的应用对术后腹腔感染的发生率也有影响,不同研究在术后抗生素使用策略上的差异可能导致观察到的感染发生率有所不同。

#### 3.2 影响因素分析

本研究结果显示,合并糖尿病、切口长度、手术时间、出血量、联合脏器切除、术后发生吻合口瘘、术后引流管留置时间是结直肠癌患者术后发生腹腔感染的危险因素,与其他研究结果相符<sup>[16-17]</sup>。其原因可能为:(1)糖尿病可影响患者的免疫系统功能,导致血糖控制不稳定,使白细胞功能下降,减弱机体对细菌和病毒的抵抗力<sup>[18]</sup>。此外,糖尿病可导

致微血管病变和微循环障碍,影响术后创面的愈合,增加感染的风险。糖尿病还可导致神经功能障碍(包括自主神经功能紊乱和感觉神经损伤),使患者对术后腹腔感染早期症状的感知能力下降,延误治疗时机。(2)切口长度>15 cm是结直肠癌患者术后发生腹腔感染的危险因素之一<sup>[19]</sup>。该类切口面积较大,组织损伤更严重,易受细菌感染与侵袭,且创口愈合时间延长,进一步增加感染风险。(3)长时间手术可能会导致患者免疫系统受到抑制,增加感染易感性<sup>[20]</sup>。(4)结直肠癌患者术后出血量大是术后发生腹腔感染的危险因素之一<sup>[21]</sup>。术后出血量大易导致腹腔内血液积聚,破坏内环境平衡,且术后创面愈合延迟、细菌侵入机会增加,同时可致肠功能恢复缓慢、住院时间延长,进一步提升感染风险。(5)联合脏器切除因延长手术时间,导致术中出血增多、术后肠道功能恢复延迟等<sup>[22]</sup>。(6)结直肠癌术后吻合口瘘处可能存在血管供应不足、组织坏死及感染等情况,导致吻合口愈合不良,从而增加腹腔感染的风险<sup>[23]</sup>。同时,术后患者免疫功能相对低下,易引发腹腔感染。(7)引流管留置时间过长为细菌侵入提供途径<sup>[24]</sup>,且结直肠癌手术本身可致肠道菌群失衡,增加腹腔感染风险。

#### 3.3 SMOTE 算法的临床指导价值

由于统计资料存在不均衡性,传统的统计模型在预测时易对多数类别给予过多关注,导致对少数类别(如阳性个体)的预测出现偏差,从而影响整体预测准确性。SMOTE算法可通过对原始数据进行重构,并结合 Logistic 回归方法建立预警模型<sup>[25]</sup>。本研究结果显示,原始预警模型  $P_1$  的 AUC 为 0.814 (95% CI: 0.765~0.826),而 SMOTE 算法预警模型  $P_2$  的 AUC 为 0.833 (95% CI: 0.792~0.854),较原始预警模型更高,提示基于 SMOTE 算法的预测效果更优。值得注意的是,与原始数据预警模型相比,SMOTE 算法预警模型的 F-score、PPV 值更高。F-score 是精确率和召回率的调和平均数,其值更高意味着模型在平衡预测准确性和预测精度方面表现更优;而 PPV 值(阳性预测值)更高则表明模型预测为阳性的

样本中,实际为感染患者的比例更高。这可能与 SMOTE 算法在处理不平衡数据时通过合成少数类样本提升模型对少数类的识别能力有关,但其在引入合成样本的同时也可能伴随过拟合风险,致使对真正感染患者的识别略有降低,但在整体预测的稳定性和准确性上有所提升。基于该预警模型,护理人员制定的术前护理对策应包括对患者进行全面评估,重点关注其糖尿病史并了解血糖控制情况及合并症,加强血糖管理以确保术前血糖维持在合理范围内。同时,评估患者的营养状况,通过合理调整饮食补充必要营养素来增强免疫力,降低术后感染的风险。此外,术前还需正确选择手术方案并提前评估手术风险,根据手术类型和患者情况选用适当的抗生素以减少术前感染风险。术中护理对策主要涵盖严格执行无菌操作,维持手术环境清洁无菌,以减少术中感染的机会;对于手术时间较长的患者,应加强术中监测与护理,以避免低血压、心律失常等并发症;对于联合脏器切除的患者,需密切关注术中出血量及情况,并及时处理出血以降低感染风险。术后护理对策包括严密的术后监护与感染预防;对于术后发生吻合口瘘的患者,应及时监测处理并保持伤口清洁、定期更换敷料;对于术后留置引流管的患者,需密切观察引流液的情况,并及时处理引流液异常以防止感染。此外,术后护理还包括加强营养支持以提高患者的免疫力、促进伤口愈合及减少感染风险。

综上所述,基于 SMOTE 算法构建的预警模型 AUC 值高于原始数据预警模型。本研究在数据质量、特征选择等方面存在不足,这可能对模型的预测准确性和可解释性产生影响,故在构建模型时需关注上述问题并采取相应措施予以缓解。

## 参考文献

[1] BILLER L H, SCHRAG D. Diagnosis and treatment of metastatic colorectal cancer: a review [J]. JAMA, 2021, 325(7): 669-685. DOI: 10.1001/jama.2021.0106.

[2] SALIBASIC M, PUSINA S, BICAKCIC E, et al. Colorectal cancer surgical treatment, our experience [J]. Med Arch, 2019, 73(6): 412-414. DOI: 10.5455/medarh.2019.73.412-414.

[3] 梁海峰,刘新艳,梁译心,等.结直肠癌患者术后腹腔感染病原菌及其危险因素[J].中华医院感染学杂志,2023,33(20): 3099-3103. DOI: 10.11816/cn.ni.2023-230366.

[4] BISLENGHI G, VANHAVERBEKE A, FIEUWS S, et al. Risk factors for surgical site infection after colorectal resection: a prospective single centre study. An analysis on 287 consecutive elective and urgent procedures within an institutional quality improvement project [J]. Acta Chir Belg, 2021, 121(2):

86-93. DOI: 10.1080/00015458.2019.1675969.

[5] NGUYEN T, Mengersen K, SOUS D, et al. SMOTE-CD: SMOTE for compositional data [J]. PLoS One, 2023, 18(6): e0287705. DOI: 10.1371/journal.pone.0287705.

[6] HASSANZADEH R, FARHADIAN M, RAFIEEMEHR H. Hospital mortality prediction in traumatic injuries patients: comparing different SMOTE-based machine learning algorithms [J]. BMC Med Res Methodol, 2023, 23(1): 101. DOI: 10.1186/s12874-023-01920-w.

[7] KOSOLWATTANA T, LIU C N, HU R J, et al. A self-inspected adaptive SMOTE algorithm (SASMOTE) for highly imbalanced data classification in healthcare [J]. BioData Min, 2023, 16(1): 15. DOI: 10.1186/s13040-023-00330-4.

[8] 张文博,赵紫昱,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. DOI: 10.11816/cn.ni.2023-230110.

[9] 袁锡裕,李庆贤,龚时文,等.结直肠癌术后并发腹腔感染患者的病原学特点、危险因素分析及对患者预后的影响[J].现代生物医学进展,2019,19(20): 3929-3934. DOI: 10.13241/j.cnki.pmb.2019.20.029.

[10] 张万莉,罗璐,郭令飞,等.C-反应蛋白测定与B超检查对术后腹腔感染诊断的价值[J].中华医院感染学杂志,2019,29(1): 102-105. DOI: 10.11816/cn.ni.2019-174173.

[11] BLAGUS R, LUSA L. Improved shrunken centroid classifiers for high-dimensional class-imbalanced data [J]. BMC Bioinformatics, 2013, 14: 64. DOI: 10.1186/1471-2105-14-64.

[12] SUEDA T, TEI M, YOSHIKAWA Y, et al. Prognostic impact of postoperative intra-abdominal infections after elective colorectal cancer resection on survival and local recurrence: a propensity score-matched analysis [J]. Int J Colorectal Dis, 2020, 35(3): 413-422. DOI: 10.1007/s00384-019-03493-x.

[13] 李兆龙,刘大勇,陈锁艳,等.腹腔镜结直肠癌根治术后腹腔感染病原菌分布及耐药性[J].中华医院感染学杂志,2022,32(10): 1519-1523. DOI: 10.11816/cn.ni.2022-213761.

[14] 李昂,周毕军,陈中建,等.结直肠癌术后腹腔感染危险因素及与 UGT1A1\*28 位点基因多态性的关联[J].中华医院感染学杂志,2022,32(13): 2015-2019.

[15] 孙振,谢毅,孙亚峰,等.结肠癌根治术后患者腹腔感染的危险因素分析[J].海南医学,2023,34(12): 1774-1777. DOI: 10.3969/j.issn.1003-6350.2023.12.024.

[16] 胡笏生,朱袭嘉,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. DOI: 10.12138/j.issn.1671-9638.20211159.

[17] 张美娟.结直肠癌术后发生腹腔感染的危险因素分析[J].中国卫生统计,2020,37(6): 926-928. DOI: 10.3969/j.issn.1002-3674.2020.06.033.

[18] ZHAI W S, YANG Y, ZHANG K Y, et al. Impact of visceral obesity on infectious complications after resection for colorectal cancer: a retrospective cohort study [J]. Lipids Health Dis, 2023, 22(1): 139. DOI: 10.1186/s12944-023-01890-4.

[19] 林文君,李媛.结直肠癌术后腹腔感染的相关危险因素分析[J].河南外科学杂志,2022,28(5): 33-35. DOI: 10.16193/j.cnki.hnwk.2022.05.060.

[20] KREBS B, IVANECZ A, POTRC S, et al. Factors affecting the morbidity and mortality of diverting stoma closure: retrospective cohort analysis of twelve-year period [J]. Radiol Oncol,

- 2019, 53(3): 331–336. DOI: 10.2478/raon-2019-0037.
- [21] 熊洋, 宋林杰, 折占飞, 等. 同时性结直肠癌肝转移一期切除术后并发症相关因素分析[J]. 中国现代普通外科进展, 2020, 23(2): 122–125. DOI: 10.3969/j.issn.1009-9905.2020.02.009.
- [22] 顾晋. 局部晚期结肠直肠癌治疗和联合脏器切除[J]. 外科理论与实践, 2021, 26(4): 290–296. DOI: 10.16139/j.1007-9610.2021.04.004.
- [23] 李珂璇, 吴斌, 林国乐, 等. 腹腔镜内与腹腔镜外吻合对腹腔镜右半结肠切除术后近期并发症影响分析[J]. 中国实用外科杂志, 2021, 41(10): 1154–1158. DOI: 10.19538/j.cjps.issn1005-2208.2021.10.10.
- [24] 黄乾鹏, 赵丽花, 李磊, 等. 腹腔镜结直肠癌根治术行腹膜内吻合后预防性放置腹腔引流管的临床效果[J]. 广西医学, 2020, 42(12): 1522–1525. DOI: 10.11675/j.issn.0253-4304.2020.12.12.
- [25] 马灵草, 董婷, 戴晗青, 等. 基于 SMOTE 算法的声门型喉癌患者术后下呼吸道感染预警模型构建[J]. 护理学杂志, 2021, 36(8): 1–4. DOI: 10.3870/j.issn.1001-4152.2021.08.001.
- 校稿: 王娟 李征

**本文引用格式:** 杨静, 杨婕, 蒋理立. 基于 SMOTE 算法的结直肠癌患者术后发生腹腔感染的预警模型构建[J]. 肿瘤药学, 2025, 15(3): 363–369. DOI: 10.3969/j.issn.2095-1264.2025.03.10.

**Cite this article as:** YANG Jing, YANG Jie, JIANG Lili. Construction of early warning model of postoperative abdominal infection in patients with colorectal cancer based on SMOTE algorithm [J]. *Anti-tumor Pharmacy*, 2025, 15(3): 363–369. DOI: 10.3969/j.issn.2095-1264.2025.03.10.