

· 临床研究 ·

基于合成少数类过采样技术算法构建颌面部骨折术后内固定装置感染的预警模型

姜金凤 王海燕 施燕峰 徐克

南通大学附属医院口腔颌面外科, 南通 226000

[摘要] 目的 探索颌面部骨折术后内固定装置感染的独立风险因素, 并基于合成少数类过采样技术 (SMOTE) 算法构建预警模型。方法 选取2021年1月—2024年12月期间于南通大学附属医院口腔颌面外科进行诊治的颌面部骨折手术患者1 104例为研究对象, 根据患者术后是否发生内固定装置感染分为装置感染组 (27例) 与非装置感染组 (1 077例)。收集并分析2组患者的临床资料, 运用单因素及二元 Logistic 回归分析方法筛选颌面部骨折术后内固定装置感染的危险因素, 并进行 Logistic 回归分析, 同时基于 SMOTE 算法改进数据集, 构建改进数据集的预警模型, 并对比验证模型的预测效能。结果 1 104例颌面部骨折术后内固定装置感染者27例, 其发生率为2.45% (27/1 104)。年龄、糖尿病史、骨折严重程度及口腔卫生状况均为颌面部骨折术后内固定装置感染的危险因素 (P 值均 <0.05); 原始预警模型P1的受试者工作特征 (ROC) 曲线下面积 (AUC) 为0.861, 基于 SMOTE 算法的预警模型P2的 AUC 为0.882, P2模型的预测效能优于P1模型。DeLong 检验结果显示, 2种模型在 AUC 上的差异具有统计学意义 ($P<0.05$)。结论 年龄、糖尿病史、骨折严重程度及口腔卫生状况均为颌面部骨折术后内固定装置感染的危险因素。本研究基于 SMOTE 算法构建的颌面部骨折术后内固定装置感染的预警模型具有较好的预测效能, 医护人员可据此进行有效干预, 以预判颌面部骨折术后内固定装置感染情况。

[关键词] 合成少数类过采样技术; 颌面部骨折; 术后; 内固定装置感染; 预警模型

[中图分类号] R782.4 **[文献标志码]** A **[doi]** 10.7518/hxkq.2025.2025040



本文链接 开放科学标识码

Early warning model of postoperative infection of internal fixation device in maxillofacial fracture based on the synthetic minority over-sampling technique algorithm

Jiang Jinfeng, Wang Haiyan, Shi Yanfeng, Xu Ke

Dept. of Oral and Maxillofacial Surgery, Affiliated Hospital of Nantong University, Nantong 226000, China

Supported by: Nantong Municipal Health Commission Research Project (MSZ2024020)

Correspondence: Wang Haiyan, E-mail: 1004897949@qq.com

[Abstract] **Objective** This study investigates independent risk factors for postoperative internal fixation device infection in patients with maxillofacial fractures and proposes an early warning model based on the synthetic minority over-sampling technique (SMOTE) algorithm. **Methods** A total of 1 104 patients who underwent surgical treatment for maxillofacial fractures at Oral and Maxillofacial Surgery Department, Affiliated Hospital of Nantong University from January 2021 to December 2024 were retrospectively analyzed. The patients were divided into two groups based on the presence of postoperative internal fixation device infection: the infection group (27 cases) and non-infection group (1 077

cases). Clinical data from both groups were collected and subjected to statistical analysis. Univariate and binary Logistic regression analysis were used to identify risk factors for postoperative internal fixation device infection in maxillofacial fractures. Subsequently, a Logistic regres-

[收稿日期] 2025-01-27; **[修回日期]** 2025-07-09

[基金项目] 南通市卫生健康委科研课题 (MSZ2024020)

[第一作者] 姜金凤, 主管护师, 学士, E-mail: jjfqcf@163.com

[通信作者] 王海燕, 副主任护师, 本科, E-mail: 1004897949@qq.com

com

sion model was established, and the dataset was improved based on the SMOTE algorithm to construct an early warning model with the improved dataset. The prediction performance of the models was compared and validated. **Results** Among the 1 104 patients who underwent surgical treatment for maxillofacial fractures, 27 cases of postoperative internal fixation device infections were identified, corresponding to an infection rate of 2.45% (27/1 104). Age, diabetes history, fracture severity, and oral hygiene status were all identified as risk factors for postoperative internal fixation device infections in maxillofacial fractures (all $P<0.05$). The prediction model based on the original data (P1). The prediction model based on the SMOTE algorithm (P2). Receiver operating characteristic (ROC) curve analysis shows that the area under curve (AUC) for the P2 model was 0.882, the P1 model was 0.861, indicating the superior predictive performance of the P2 model. The DeLong test results show that the difference in AUC between the two models was statistically significant ($P<0.05$). **Conclusion** Age, diabetes history, postoperative fracture severity, and oral hygiene status are all risk factors for infections associated with internal fixation devices after maxillofacial fracture surgery. The proposed early warning model demonstrated good predictive performance. Medical professionals can utilize this model to effectively intervene and anticipate infections related to internal fixation devices after maxillofacial fracture surgery.

[Key words] synthetic minority over-sampling technique; maxillofacial fracture; postoperative; internal fixation device infection; early warning model

颌面部骨折是指发生在颌骨或面部骨骼的骨折，是颅面部创伤中的一种常见类型，常由交通事故、摔伤、运动损伤、工伤及暴力伤害等外力因素引起^[1-2]。由于颌面部解剖结构的复杂性，骨骼较薄且直接暴露于外界环境，骨折治疗的难度较大。内固定装置已成为临床治疗颌面部骨折的重要方法，通过提供稳定的力学支持，促进骨折愈合，改善患者的恢复进程^[3]。然而，术后感染是颌面部骨折治疗的主要并发症，严重影响患者的治疗效果和生活质量，显著延长治疗周期，可导致复杂的病理性损伤，甚至危及生命^[4]。因此，识别和管理术后感染风险对于改善患者预后至关重要。

近年来，大数据技术和机器学习方法逐渐应用于医学领域，为疾病诊断和预警提供了新的工具。然而，颌面部骨折术后感染患者数量相对较少，医学数据普遍存在类别不平衡问题，使传统机器学习算法在少数类样本预测时效果有限。合成少数类过采样技术（synthetic minority over-sampling technique, SMOTE）作为一种数据平衡方法，通过生成新的少数类样本，可有效提高模型在不平衡数据集上的预测性能^[5-6]。目前，SMOTE算法已在医学领域得到较为普遍的应用，包括慢性肾病和甲状腺结节的评估与预测^[7-8]。基于此，本研究旨在应用SMOTE算法，构建一个能够准确预测颌面部骨折术后内固定装置感染的模型。通过平衡数据集中的装置感染和非装置感染样本，期望该模型能够更加敏感地识别出可能导致装置感染的风险因素，从而为临床医师提供更加精准

的决策支持，制订更加个性化的治疗和管理策略，从而降低装置感染风险，也让患者更加了解自己的病情和预后情况，减轻心理压力。

1 材料和方法

1.1 研究对象

选取2021年1月—2024年12月间于南通大学附属医院口腔颌面外科进行诊治的颌面部骨折手术患者1 104例为研究对象，根据患者术后是否发生内固定装置感染分为装置感染组（27例）与非装置感染组（1 077例）。

纳入标准：1) 患者经影像学检查诊断为颌面部骨折，并接受内固定装置治疗；2) 年龄18周岁或以上；3) 患者术后随访临床资料完整。

排除标准：1) 内固定装置用于其他疾病或骨折部位的患者；2) 术前伴发局部感染的患者；3) 存在严重感染者，如泌尿道感染、呼吸道感染等；4) 伴随严重全身性疾病，如恶性肿瘤、免疫缺陷病等疾病；5) 患者中途退出研究或术后随访资料不完整；6) 患者在术后30 d内因内固定装置松动或感染等原因接受第二次内固定手术；7) 病例资料缺少者。本研究已获得南通大学附属医院医学伦理委员会的批准，且患者知悉本研究内容，并同意签署知情书。

1.2 术后感染的临床诊断标准

患者术后感染的临床诊断参考美国疾病控制与预防中心（Centers for Disease Control and Prevention, CDC）的手术部位感染诊断标准^[9]及《中

国骨折内固定术后感染诊断与治疗专家共识(2018)》^[10]中的相关标准,具体如下。1)感染为急性伤口感染,定义为术后30 d内发生的感染,临床表现:局部红肿、疼痛、压痛、发热、脓液排出及寒战、心动过速等症状;2)实验室检查标准:白细胞计数>10 000/ μL ,或中性粒细胞比例>75%,或C反应蛋白>10 mg/L,或红细胞沉降率>20 mm/h;3)影像学检查标准:X线检查显示软组织脓肿或骨质破坏,CT检查显示软组织脓肿或骨质侵蚀,MRI检查显示软组织炎症或脓肿;4)病原学检查:伤口分泌物或血液细菌培养阳性。确诊感染需满足以下所有条件:1)临床症状和体征明显;2)至少两项实验室检查指标异常;3)影像学检查显示明确感染征象;4)病原学检查结果阳性。疑似感染满足以下任一条件:1)临床症状和体征明显,但实验室检查指标正常;2)至少一项实验室检查指标异常,但无明显临床症状;3)影像学检查显示轻度感染征象,但无明显临床症状。

1.3 方法

1.3.1 临床资料及随访

基于医院电子病历系统收集受试者的临床资料,具体如下。1)患者基本临床信息:涵盖性别、年龄、体重指数(body mass index, BMI)、高血压史、糖尿病史、吸烟史及饮酒史等;2)骨折严重程度:不完全骨折为轻度;单纯性骨折为中度;粉碎性骨折及骨质缺损为重度;3)实验室检查数据:白蛋白水平;4)手术相关数据:手术时间;5)术后治疗信息:口腔卫生状况。

术后1周首次随访,术后1个月第二次随访,随访时间截至2025年1月。随访的关键指标为颌面部骨折术后是否有内固定装置感染。在随访过程中,详细记录患者的术后病情,包括感染和口腔卫生状况等。

1.3.2 SMOTE算法

本研究中SMOTE算法的实施步骤参考Blagus等^[11]的定义方法。研究对象中的少数类样本为装置感染组,共27例。为平衡类别样本数量,按照公式计算扩充倍数为 $n = \text{非装置感染组样本数} / \text{装置感染组样本数}$,即 $1\ 077/27 \approx 40$ 。选取最近邻点 $k=40$,总计扩充出 $27 \times 40 = 1\ 080$ 个新样本,从而补充少数类数据。通过SMOTE算法生成扩展数据集的过程中,原始样本集的空间边界未发生变化,从而保持数据的可信性,确保扩展数据集在样本分布上的合理性。

1.4 统计学方法

采用SPSS 26.0软件对数据进行统计分析。首先对2组患者的临床资料进行单因素分析。计数资料采用例数(n)和百分比(%)表示时,组间比较使用卡方检验;计量资料以均值和标准差表示时,组间比较采用独立样本 t 检验。构建Logistic回归分析模型和SMOTE算法模型,并通过十折交叉验证法对模型效能进行评估。评估指标包括F分数(F-score)、真阳性率(true positive rate, TPR)、阳性预测值(positive predictive value, PPV)和受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线下面积(area under curve, AUC),以验证模型数据的准确性。此外,采用Hosmer-Lemeshow(H-L)检验评估模型的拟合优度。采用DeLong检验比较2个模型的AUC差异,以判断模型预测效能的统计学显著性。在双侧检验中,若 $P < 0.05$,则认为模型间的差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 颌面部骨折术后内固定装置感染的发生情况

1 104例颌面部骨折术后内固定装置感染者27例,其发生率为2.45%(27/1 104)。

2.2 2组患者的临床资料单因素分析

2组患者的性别、BMI、吸烟史、饮酒史、高血压史、手术时间、白蛋白及住院时间方面,差异无统计学意义($P > 0.05$);而2组患者的平均年龄、糖尿病史、骨折严重程度及口腔卫生状况方面,差异有统计学意义($P < 0.05$),见表1。

2.3 颌面部骨折术后内固定装置感染的危险因素

以颌面部骨折术后是否有内固定装置感染的情况为因变量,将年龄、糖尿病史、骨折严重程度及口腔卫生状况为自变量,进行颌面部骨折术后内固定装置感染的Logistic回归分析。通过数值编码对特征指标进行检验,并分析连续变量的共线性,结果发现连续变量的共线性程度较低(表2)。结果显示,年龄、糖尿病史、骨折严重程度及口腔卫生状况均为颌面部骨折术后内固定装置感染的危险因素(均为 $P < 0.05$),原始预警模型 $P1 = 1/[1 + e^{-(-4.912 + 1.129 * \text{年龄} + 1.850 * \text{糖尿病史} + 1.488 * \text{骨折严重程度} + 1.226 * \text{口腔卫生状况})}]$,见表3。对该模型进行H-L检验,结果提示,决定性系数 $R^2 = 0.617$, $P = 0.719$,提示模型拟合度良好。

2.4 分析基于SMOTE算法的Logistic预警模型

基于2.3中筛选出的独立危险因素,通过

SMOTE算法进行2倍过抽样，使得2组患者数比例近似为1（装置感染组患者27例，非装置感染组患者1077例，比例≈40），然后对过抽样后的数据重新拟合Logistic回归模型，结果见表4。基

于SMOTE算法的预警模型 $P2=1/[1+e^{-(-5.856+1.246*年龄+1.583*糖尿病史+0.369*骨折严重程度+3.619*口腔卫生状况)}]$ 。对该模型进行H-L检验，结果提示，决定性系数 $R^2=0.651$ ， $P=0.760$ ，说明模型拟合度良好。

表 1 装置感染组与非装置感染组临床资料的单因素分析

Tab 1 Univariate analysis of clinical data between device infection group and non-device infection group

因素	装置感染组 (n=27)	非装置感染组 (n=1077)	χ^2 值	P值	
性别	男	19 (70.37%)	582 (54.04%)	2.832	0.092
	女	8 (29.63%)	495 (45.96%)		
年龄/岁	62.48±3.82	60.88±4.01	2.050	0.041	
BMI/(kg/m ²)	27.63±5.53	28.94±5.99	1.124	0.261	
吸烟史	是	6 (22.22%)	376 (34.91%)	1.874	0.171
	否	21 (77.78%)	701 (65.09%)		
糖尿病史	是	18 (66.67%)	408 (37.88%)	9.209	0.002
	否	9 (33.33%)	669 (62.12%)		
饮酒史	是	15 (55.56%)	452 (41.97%)	1.992	0.158
	否	12 (44.44%)	625 (58.03%)		
高血压史	是	10 (37.04%)	389 (36.12%)	0.010	0.922
	否	17 (62.96%)	688 (63.88%)		
骨折严重程度	轻中度	7 (25.93%)	596 (55.34%)	9.193	0.002
	重度	20 (74.07%)	481 (44.66%)		
手术时间/h	2.38±0.67	2.25±0.45	1.462	0.144	
口腔卫生状况	差	16 (59.26%)	341 (31.66%)	9.168	0.002
	好	11 (40.74%)	736 (68.34%)		
白蛋白/(g/L)	≤35	12 (44.44%)	623 (57.85%)	1.936	0.164
	>35	15 (55.56%)	454 (42.15%)		
住院时间/d	≥10	19 (70.37%)	701 (65.09%)	0.324	0.569
	<10	8 (29.63%)	376 (34.91%)		

表 2 因变量与自变量赋值表

Tab 2 Assignment table for dependent and independent variables

变量	赋值方式	方差膨胀因子
装置感染发生情况	非装置感染组=0; 装置感染组=1	-
年龄	连续变量	1.136
糖尿病史	非=0; 是=1	-
骨折严重程度	轻中度=0; 重度=1	-
口腔卫生状况	好=0; 差=1	-

2.5 分析模型P1和P2的ROC曲线及验证

为进一步验证并比较2种模型的预测效能，分别对模型P1和P2进行ROC曲线分析。结果显示，模型P1的AUC为0.861（图1，表5），模型P2的AUC为0.882（图2，表5），P2的预测效能优于P1。模型P2的TPR相较于模型P1有所降低（0.745 vs 0.761），但其PPV和F-score值均有所提升（PPV: 0.715 vs 0.652; F-score: 0.802 vs 0.760）。此外，DeLong检验结果显示，2种模型在AUC上的差异具有统计学意义（ $P=0.046$ ，表5）。

表 3 颌面部骨折术后内固定装置感染的Logistic回归分析

Tab 3 Logistic regression analysis of internal fixation device infection following maxillofacial fracture surgery

因素	回归系数	标准误	Wald值	P值	OR	95%置信区间	
						下限	上限
年龄	1.129	0.510	4.910	0.027	3.093	1.139	8.399
糖尿病史	1.850	0.499	13.745	0.000	6.360	2.446	28.877
骨折严重程度	1.488	0.312	22.753	0.000	4.429	1.879	10.441
口腔卫生状况	1.226	0.522	2.661	0.015	3.406	1.350	9.293
常数	-4.912	0.797	34.947	0	0.007		

表 4 分析基于SMOTE算法的Logistic预警模型

Tab 4 Analysis of a Logistic early warning model based on the SMOTE algorithm

因素	回归系数	标准误	Wald 值	P 值	OR	95% 置信区间	
						下限	上限
年龄	1.246	0.527	5.586	0.016	3.349	1.231	9.045
糖尿病史	1.583	0.533	9.004	0.002	4.864	1.731	13.627
骨折严重程度	0.369	0.090	16.674	0.000	1.446	1.211	1.726
口腔卫生状况	3.619	1.358	7.104	0.008	37.291	2.606	533.726
常数	-5.856	0.368	81.208	0	0		

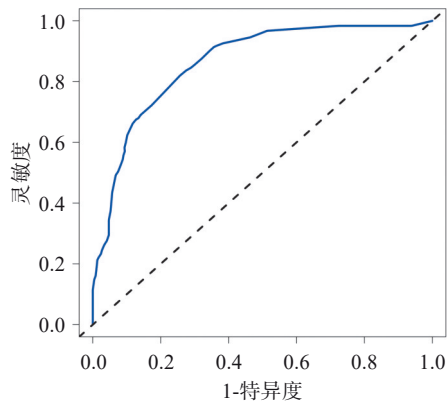


图 1 模型P1的ROC曲线

Fig 1 ROC curve of model P1

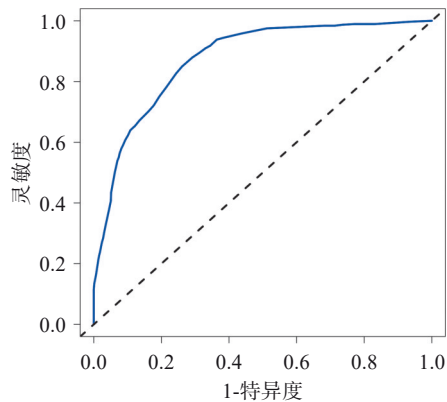


图 2 模型P2的ROC曲线

Fig 2 ROC curve of model P2

表 5 预警模型预测概率验证

Tab 5 Validation of prediction probabilities in the early warning model

模型	AUC	95%CI	TPR	PPV	F-score	P_{DeLong}
P1	0.861	0.803~0.902	0.761	0.652	0.760	0.046
P2	0.882	0.823~0.921	0.745	0.715	0.802	

3 讨论

3.1 颌面部骨折术后内固定装置感染的发生情况

颌面部骨折内固定手术是治疗复杂骨折和面部功能恢复的重要方法^[12-13]。尽管该方法已得到广

泛应用, 但术后内固定装置感染仍是较为严重的并发症之一。研究^[14-15]报道, 颌面部骨折术后内固定装置感染的发生率为0.5%~8.0%。本研究结果显示, 在1 104例颌面部骨折内固定手术患者中, 有27例发生内固定装置感染, 发生率为2.45%, 与上述研究相符。原因可能是本研究通过严格的标准对患者进行选择和筛选, 排除了具有高感染风险因素的患者。此外, 感染的发生也可能与手术操作的精细程度、内固定材料的选择、术后伤口护理的质量及患者的个体差异等因素有关。内固定装置感染会影响手术效果, 延长患者康复时间, 对患者的心理健康和生活质量造成负面影响^[16]。因此, 准确预测颌面部骨折术后内固定装置感染的影响因素并实施预防策略至关重要。

3.2 诱发颌面部骨折术后内固定装置感染的危险因素分析

本研究采用多因素 Logistic 回归分析, 结果显示年龄、糖尿病史、骨折严重程度及口腔卫生状况是颌面部骨折术后内固定装置感染的危险因素, 这与以往的研究^[17]发现相似。1) 年龄: 随着年龄增长, 患者免疫功能下降和组织再生能力减弱, 导致术后感染风险增加, 且免疫力衰退使得炎症反应不足, 影响细菌清除, 延长伤口暴露时间, 提高了感染发生可能性。Cleveland等^[18]研究显示, 老年患者在外科手术后感染的发生率相较于年轻患者更高, 进一步证实了年龄是术后感染发生的危险因素。2) 糖尿病史: 长期高血糖会导致血管病变和微循环障碍, 进而影响伤口部位的血液供应, 造成供血不足, 削弱组织的愈合能力^[19-20], 同时, 高血糖环境为细菌的繁殖提供有利条件, 而糖尿病患者的免疫功能较为低下, 易发生术后感染。有研究^[21]指出, 糖尿病患者与术后感染之间存在关联性, 强调糖尿病在术后感染风险中的关键作用。3) 骨折严重程度: 重度骨折伴随严重的血运受损, 导致骨折部位供血不足, 削弱组织的愈合能力, 降低局部免疫防御功能, 使得细菌易

在局部繁殖。此外，颌面部的解剖结构复杂，重度骨折手术后通常无法进行确切的加压包扎，易导致骨折部位软组织形成死腔，为细菌生长提供环境^[22]。同时，内固定装置的植入虽有助于骨折的固定，但也成为细菌附着的位点，尤其是在血运受损和死腔存在的条件下，增加了内固定装置感染的风险。4) 口腔卫生状况：当口腔卫生状况不佳时，口腔中会存在大量细菌，其快速繁殖并形成牙菌斑，通过手术切口或口腔黏膜的破损处进入伤口，增加感染风险^[23-24]。此外，口腔内湿润且温度适宜的环境，为细菌生长提供了有利条件，尤其是在内固定装置植入后，装置表面易成为细菌附着的位点，进一步增加感染的风险。若患者在术后仍未保持良好口腔卫生习惯，细菌会持续积累，并通过血液循环扩散至内固定装置周围，导致局部甚至全身性感染。

3.3 SMOTE算法的临床指导价值

在颌面部骨折术后内固定装置感染的研究中，感染病例的数量可能远低于未发生感染的病例。由于感染病例相对较少，传统的机器学习模型难以有效地学习到这些病例的特征。通过SMOTE算法增加装置感染病例的样本量，可以帮助模型更好地识别感染的潜在风险，进而提升预测装置感染的敏感性。因此，SMOTE算法在颌面部骨折术后内固定装置感染的研究中具有重要的应用意义，能够为感染的预防、诊断和治疗提供更为精准的支持^[25-26]。本研究基于SMOTE算法，构建了颌面部骨折术后内固定装置感染的风险模型，能解决临床数据中感染样本少导致的模型偏差问题。与以往类似研究相比，本研究对变量选择和模型构建具有一定创新性：1) 变量选择的全面性。在变量选择上进行了更为广泛和细致的考量，收集了患者的多维度数据，包括性别、年龄、BMI、高血压史、吸烟史、饮酒史、骨折严重程度、白蛋白水平、糖尿病史、手术时间及口腔卫生状况等多个因素。这些变量在以往的研究中可能未能充分涵盖，或者由于样本量的限制，未能深入探讨其对术后内固定装置感染的潜在影响。2) SMOTE算法的应用。为了处理数据不平衡问题（即装置感染组与非装置感染组样本量差异大），本研究采用了SMOTE算法对数据集进行了重建，显著提高了模型的预测效能和稳定性。SMOTE算法通过合成少数类样本，增强了装置感染组的样本量，从而帮助模型更好地学习到少数类的特征，提升了对装置感染的识别能力。为了评估两个预

警模型的拟合度和预测效果，进一步进行了H-L检验和ROC曲线分析。分析结果显示，模型P1的AUC为0.861，低于经过SMOTE算法处理后的模型P2的AUC（0.882）。此外，通过DeLong检验得出的 P 值为0.046，表明SMOTE算法处理后的模型在预测性能上具有显著优势，提示采用SMOTE算法能显著提高预测效果。因此，SMOTE算法在处理数据不平衡问题并优化模型预测性能方面具有重要的作用。

医护人员应根据该预警模型采取针对性措施：对于高龄患者，其免疫系统较为薄弱且骨愈合能力较差，应加强术后感染的监测，严格控制血糖水平，并适时进行营养支持，以促进骨折愈合和伤口修复；对于有糖尿病史的患者，应在术前确保血糖水平得到有效控制，并在术后进行严格监测，必要时使用抗生素预防感染，同时关注糖尿病引起的并发症，防止术后并发症的发生；对于重度骨折的患者，由于骨折愈合时间长且感染风险较高，应确保术中骨折对位准确，内固定装置稳定，并在术后进行护理和定期复查，以及时发现并处理可能出现的感染或其他并发症；对于口腔卫生状况差的患者，术前应加强口腔清洁和消毒，术后加强口腔护理，并给予适当的抗生素预防感染，确保口腔感染不扩散至手术部位。总之，针对颌面部骨折术后内固定装置感染的风险因素，应从多方面入手，制定个性化的预防和治疗方案，以提高患者的术后康复效果和减少并发症的发生。

综上所述，年龄、糖尿病史、骨折严重程度及口腔卫生状况均为颌面部骨折术后内固定装置感染的危险因素。本研究基于SMOTE算法构建的颌面部骨折术后内固定装置感染的预警模型具有较好的预测效能，医护人员可据此进行有效干预，以预判颌面部骨折术后内固定装置感染情况。然而，本研究样本来自同一中心，可能存在一定的选择偏倚；在研究中未考虑各危险因素之间的交互作用，此外，现有模型缺乏解释性分析，例如特征重要性排序。因此，关于基于SMOTE算法构建颌面部骨折术后内固定装置感染的预警模型有待进一步验证。

利益冲突声明：作者声明本文无利益冲突。

[参考文献]

- [1] Khan TU, Rahat S, Khan ZA, et al. Etiology and pattern of maxillofacial trauma[J]. PLoS One, 2022, 17(9):

- e0275515.
- [2] 高晓杰,刘冰,李冰,等.数字化技术结合3D打印导板在颌面部骨折手术中的应用研究[J].中国医学装备,2024,21(5):98-101,106.
Gao XJ, Liu B, Li B, et al. Research and application of digital technique combined with 3D printing guide plate in surgery of maxillofacial fracture[J]. China Med Equip, 2024, 21(5): 98-101, 106.
- [3] 杜宏,张栋,靳小雷.镁合金内固定材料在颅颌面外科应用的研究进展[J].中国美容整形外科杂志,2021,32(4):248-249,后插13.
Du H, Zhang D, Jin XL. Research progress on the application of magnesium alloy internal fixation materials in craniomaxillofacial surgery[J]. Chin J Aesth Plast Surg, 2021, 32(4): 248-249, back insert 13.
- [4] Miao R, Zhang J, Zhou J, et al. Maxillofacial fractures: a four-year retrospective study of 1 828 cases in West China[J]. Cureus, 2023, 15(6): e40482.
- [5] 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.
- [6] 谭倩梅,杨静,李秋萍.基于SMOTE算法的急性一氧化碳中毒迟发性脑病风险预警模型的构建[J].护理管理杂志,2023,23(9):760-763,780.
Tan QM, Yang J, Li QP. Construction of risk prediction model for delayed encephalopathy in acute carbon monoxide poisoning based on SMOTE algorithm[J]. J Nurs Manag, 2023, 23(9): 760-763, 780.
- [7] Shi X, Qu T, Van Pottelbergh G, et al. A resampling method to improve the prognostic model of end-stage kidney disease: a better strategy for imbalanced data[J]. Front Med (Lausanne), 2022, 9: 730748.
- [8] Khodabandelu S, Ghaemian N, Khafri S, et al. Development of a machine learning-based screening method for thyroid nodules classification by solving the imbalance challenge in thyroid nodules data[J]. J Res Health Sci, 2022, 22(3): e00555.
- [9] Yin V, Cobb JP, Wightman SC, et al. Centers for disease control (CDC) wound classification is prognostic of 30-day readmission following surgery[J]. World J Surg, 2023, 47(10): 2392-2400.
- [10] 中华医学会骨科学分会创伤骨科学组,中华医学会骨科学分会外固定与肢体重建学组,中国医师协会创伤外科医师分会创伤感染专家委员会,等.中国骨折内固定术后感染诊断与治疗专家共识(2018版)[J].中华创伤骨科杂志,2018,20(11):929-936.
Traumatic Orthopedics Group, Society of Orthopedics, Chinese Medical Association; Group of External Fixation and Limb Reconstruction, Society of Orthopedics, Chinese Medical Association; Working Committee of Traumatic Infection Experts, Society of Orthopaedists, Association of Chinese Doctors, et al. Chinese experts' consensus on diagnosis and treatment of infection after internal fixation (2018) [J]. Chin J Orthop Trauma, 2018, 20(11): 929-936.
- [11] Blagus R, Lusa L. Improved shrunken centroid classifiers for high-dimensional class-imbalanced data[J]. BMC Bioinformatics, 2013, 14: 64.
- [12] Wubulihassimu Z, Tuerhong M, Zhang Z, et al. Clinical analysis and CT 3D-mediated precise internal fixation in maxillofacial fracture[J]. Ear Nose Throat J, 2021, 100(5suppl): 420S-426S.
- [13] 许梅,苑学微,李静,等.钛板内固定联合植入式钛钉颌间牵引外固定治疗下颌角骨折患者效果观察[J].临床误诊误治,2023,36(2):108-112.
Xu M, Yuan XW, Li J, et al. Efficacy observation of titanium plate internal fixation combined with implantable titanium screw intermaxillary traction external fixation for mandibular angle fractures[J]. Clin Misdiagn Mither, 2023, 36(2): 108-112.
- [14] 黄付梅.颌骨骨折患者术后感染发生率及危险因素分析[J].山西医药杂志,2020,49(24):3459-3461.
Huang FM. Analysis of postoperative infection incidence and risk factors in patients with jaw fractures[J]. Shanxi Med J, 2020, 49(24): 3459-3461.
- [15] Piombino P, Sani L, Sandu G, et al. Titanium internal fixator removal in maxillofacial surgery: Is it necessary? A systematic review and meta-analysis[J]. J Craniofac Surg, 2023, 34(1): 145-152.
- [16] Zhang S, Zhou X, Liu T, et al. The effects of Peptide Mel4-coated titanium plates on infection rabbits after internal fixation of open fractures[J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2022, 142(5): 729-734.
- [17] 陆欣悦,潘玥彤,孙昕奕,等.颌面部骨折术后感染的危险因素分析及风险模型构建[J].口腔医学研究,2024,40(10):890-894.
Lu XY, Pan YT, Sun XY, et al. Risk factor analysis and risk model construction of postoperative infection in patients with maxillofacial fractures[J]. J Oral Sci Res,

- 2024, 40(10): 890-894.
- [18] Cleveland CN, Kelly A, DeGiovanni J, et al. Maxillofacial trauma in children: association between age and mandibular fracture site[J]. *Am J Otolaryngol*, 2021, 42(2): 102874.
- [19] 李智浩, 张绍安, 吴大龙, 等. 老年股骨颈骨折患者髋关节置换术后手术部位感染的危险因素分析[J]. *中国实验诊断学*, 2024, 28(7): 824-828.
- Li ZH, Zhang SA, Wu DL, et al. Analysis of risk factors for surgical site infection after hip replacement in elderly patients with femoral neck fractures[J]. *Chin J Lab Diagn*, 2024, 28(7): 824-828.
- [20] 韩琴, 黄祥妹, 陈玉玲, 等. 老年糖尿病患者口腔颌面部感染病原菌特点及Th17/Treg细胞免疫变化[J]. *中华医院感染学杂志*, 2021, 31(1): 15-18.
- Han Q, Huang XM, Chen YL, et al. Etiological characteristics of oral and maxillofacial infections and change of Th17/Treg cellular immunity of elderly patients with diabetes mellitus[J]. *Chin J Nosocomiol*, 2021, 31(1): 15-18.
- [21] Cai W, Liu J, Zheng L, et al. Study on the anti-infection ability of vancomycin cationic liposome combined with polylactide fracture internal fixator[J]. *Int J Biol Macromol*, 2021, 167: 834-844.
- [22] Sliepen J, Hoekstra H, Onsea J, et al. Treatment and outcome of fracture-related infection of the clavicle[J]. *Injury*, 2023, 54(8): 110910.
- [23] Camps-Font O, Sábado-Bundó H, Toledano-Serrabona J, et al. Antibiotic prophylaxis in the prevention of dry socket and surgical site infection after lower third molar extraction: a network meta-analysis[J]. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2024, 53(1): 57-67.
- [24] 王玉静, 颜光启, 杨鸣良. 口腔颌面部骨折患者的口腔卫生影响因素及对策分析[J]. *重庆医学*, 2021, 50(5): 824-827.
- Wang YJ, Yan GQ, Yang ML. Analysis of influencing factors and counter measures of oral hygiene in patients with oral and maxillofacial fracture[J]. *Chongqing Med*, 2021, 50(5): 824-827.
- [25] 董永峰, 董彦琦, 张亚娟. 面向不平衡数据集的改进SMOTE算法[J]. *河北工业大学学报*, 2022, 51(6): 40-46.
- Dong YF, Dong YQ, Zhang YJ. Improved SMOTE algorithm for imbalanced data set[J]. *J Hebei Univ Technol*, 2022, 51(6): 40-46.
- [26] 吴海燕, 陈晓磊, 范国轩. 一种自适应核SMOTE-SVM算法用于不平衡数据分类[J]. *北京化工大学学报(自然科学版)*, 2023, 50(2): 97-104.
- Wu HY, Chen XL, Fan GX. An adaptive kernel SMOTE-SVM algorithm for imbalanced data classification[J]. *J Beijing Univ Chem Technol (Nat Sci)*, 2023, 50(2): 97-104.

(本文编辑 杜冰)

《人工智能在口腔领域的应用》出版发行

书籍名称: 人工智能在口腔领域的应用

原著: Kaan Orhan, Rohan Jagtap

主译: 金作林, 翟广涛, 牛丽娜

出版社: 人民卫生出版社

内容介绍: 近年来人工智能发展迅速, 在各个领域中均发挥了重要的作用。口腔行业是处在飞速发展中的行业, 各种新技术不断革新, 人工智能正在以多种方式改变口腔行业, 从提高诊断速度和准确性到治疗精度和疗效。本书籍详细讲述了人工智能的发展现状, 对口腔医学各个领域, 包括牙体牙髓病学、口腔修复学、口腔正畸学、颌面外科学、牙周学等各个学科及口腔医学教育领域的应用, 并对人工智能未来在口腔医学领域可能的应用进行展望。

