DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2026.22.004
文章编号：1005-8982（2026）22-0024-08

慢性鼻炎鼻窦炎专题·论著

基于XGBoost算法构建慢性鼻窦炎疾病控制的预测模型及性能验证*

刘金梅，王旭平，黄星，杜龙
（南京大学医学院附属泰康仙林鼓楼医院 耳鼻咽喉头颈外科，江苏 南京 210000）

摘要：目的 基于极度梯度提升树（XGBoost）算法构建慢性鼻窦炎疾病控制预测模型，并验证其性能。**方法** 回顾性分析2020年12月—2025年12月南京大学医学院附属泰康仙林鼓楼医院收治的300例慢性鼻窦炎患者的临床资料，以4∶1比例，采用留出法将患者随机分为建模组（240例）和验证组（60例）。采用LASSO回归分析筛选关键变量，纳入多因素一般Logistic回归分析，基于相关文献因素，采用R语言构建XGBoost模型，分别采用受试者工作特征（ROC）曲线和决策曲线验证模型的预测性能和临床效用，采用Shapley加性解释法（SHAP）对XGBoost模型进行可解释性分析。**结果** 该研究纳入患者术后症状未控制率为24%（72/300）。LASSO回归分析基于λ_{1se}筛选出13个变量，据此进行多因素一般Logistic分析，结果显示：变应性鼻炎、Lund-Mackay评分、嗜酸性粒细胞、免疫球蛋白E、C反应蛋白（CRP）、分化簇4$^+$（CD4$^+$）/分化簇8$^+$（CD8$^+$）均为慢性鼻窦炎疾病未控制的危险因素（P<0.05）。ROC曲线分析显示，建模组和验证组AUC分别为0.920、0.962。DCA分析显示，在高风险阈值0.05～0.95和0.05～1.00范围内，采用XGBoost模型干预，存在净效益。SHAP分析结果显示，CD4$^+$/CD8$^+$、CRP对模型预测贡献最大，且CD4$^+$/CD8$^+$高特征值可降低未控制风险，CRP高特征值可增加未控制风险；个体预测路径显示，该患者基线风险0.057，经各因素累加后最终风险达0.024。**结论** 该研究构建XGBoost模型可准确预测慢性鼻窦炎术后疾病控制情况，可为患者术后治疗方案的制订提供参考依据。

关键词： 慢性鼻窦炎；疾病控制；预测模型；极度梯度提升树
中图分类号： R765.4　　**文献标识码：** A

Construction and performance validation of a predictive model for chronic rhinosinusitis disease control based on the XGBoost algorithm*

Liu Jin-mei, Wang Xu-ping, Huang Xing, Du Long
(Department of Otorhinolaryngology and Head and Neck Surgery, Taikang Xianlin Drum Tower Hospital, Nanjing University Medical School, Nanjing, Jiangsu 210000, China)

Abstract: Objective To construct a predictive model for chronic rhinosinusitis disease control based on the Extreme Gradient Boosting (XGBoost) algorithm and validate its performance. **Methods** A retrospective study was conducted on 300 patients with chronic rhinosinusitis admitted to our hospital from December 2020 to December 2025. The patients were randomly divided into a modeling group (n = 240) and a validation group (n = 60) at a 4∶1 ratio using the hold-out method. Clinical data were collected, and key variables were screened via LASSO regression analysis and incorporated into multivariate logistic regression analysis. Based on relevant literature factors, an XGBoost model was constructed using the R language. The model's predictive performance and clinical utility were

收稿日期：2026-07-01
* 基金项目：江苏省卫健委医学科研面上项目（ZM20240316）
[通信作者] 王旭平，E-mail：2675293@qq.com

validated using receiver operating characteristic (ROC) curves and decision curve analysis (DCA), respectively. The SHapley Additive exPlanations (SHAP) method was employed for interpretability analysis of the XGBoost model. **Results** In this study, 24.00% (72/300) of patients had uncontrolled postoperative symptoms. LASSO regression analysis identified 13 variables based on λ1se, which were used for multivariate analysis. The results indicated that allergic rhinitis, Lund-Mackay score, eosinophils, IgE, C-reactive protein, and $CD4^+/CD8^+$ ratio were all risk factors for uncontrolled chronic rhinosinusitis ($P < 0.05$). ROC curve analysis showed AUC values of 0.920 for the modeling group and 0.962 for the validation group. DCA analysis revealed a net benefit when using the XGBoost model for intervention within the high-risk thresholds of 0.05-0.95 and 0.05-1.00. SHAP analysis demonstrated that $CD4^+/CD8^+$ and CRP contributed the most to the model's predictive power, with high $CD4^+/CD8^+$ values reducing the risk of uncontrolled disease, while high CRP values increased it. The individual prediction pathway showed the patient's baseline risk was 0.057, and after cumulative factor effects, the final risk reached 0.024. **Conclusion** The XGBoost model developed in this study can accurately predict postoperative disease control in chronic rhinosinusitis and provide a reference basis for formulating postoperative treatment plans for patients.

Keywords: chronic rhinosinusitis; disease control; predictive model; extreme gradient boosting tree

慢性鼻窦炎是耳鼻喉科常见慢性炎症性疾病，病程迁延、易反复发作，即便接受规范鼻内镜手术治疗，仍有部分患者术后病情无法得到有效控制，严重影响患者生活质量，也给临床诊疗带来较大挑战[1-2]。目前临床多依靠医师经验评估患者预后，缺乏客观、精准的量化预测手段。变应性因素、炎症指标、免疫状态等均被证实与术后疾病转归密切相关，但各指标联合预测价值尚未被充分挖掘[3-4]。传统统计模型存在拟合能力有限、复杂交互作用解析不足等问题。极度梯度提升树（extreme gradient boosting, XGBoost）作为新型机器学习算法，具备强大的非线性数据拟合与预测能力，在医学预后预测领域应用日趋广泛[5-6]。本研究拟基于临床多项相关指标，运用XGBoost算法构建慢性鼻窦炎术后疾病控制预测模型，并对模型效能与临床实用性进行验证，同时对模型进行可解释性分析，旨在为临床早期识别术后病情失控高危人群、个体化制订干预方案提供科学参考，进而改善患者整体预后。

1　资料与方法

1.1　一般资料

回顾性分析2020年12月—2025年12月南京大学医学院附属泰康仙林鼓楼医院收治的300例慢性鼻窦炎患者的临床资料，以4∶1比例，采用留出法将患者随机分为建模组（240例）和验证组（60例）。采用EPV10法计算样本量，模型预计纳入6个变量，每个变量纳入10个样本，纳入总样本量为300，预实验中慢性鼻窦炎术后疾病未控制发生率为24%（72/300），计算得出建模组样本量为240例。本研究获得知情豁免及医院医学伦理委员会批准（2026-043-01），符合《赫尔辛基宣言》[7]。

1.2　纳入与排除标准

1.2.1　纳入标准　①符合《慢性鼻窦炎诊断和治疗指南（2024）》[8]中慢性鼻窦炎相关诊断标准；②药物治疗不佳、反复发作，后行鼻内镜手术治疗；③年龄≥18周岁；④临床资料完整。

1.2.2　排除标准　①有鼻腔手术史；②伴恶性肿瘤；③伴自身免疫性疾病；④伴全身炎症反应。

1.3　方法

1.3.1　资料收集　收集患者临床资料，包括患者的性别、年龄、体质量指数（body mass index, BMI）、合并症（变应性鼻炎、哮喘）、吸烟史、饮酒史、术前糖皮质激素治疗、Lund-Mackay评分、22项鼻腔鼻窦结局测试量表（22-item sinonasal outcome test, SNOT-22）评分、嗅觉识别测试（university of pennsylvania smell identification test, UPSIT）评分、手术时间、固有层水肿、基底膜增厚、杯状细胞增生、白细胞计数（white blood cell, WBC）、血小板计数（Platelet, PLT）、嗜酸性粒细胞（Eosinophil, EOS）、嗜酸性白血球（eosinophil cationic protein, ECP）、免疫球蛋白E（immunoglobulin E, IgE）、C反应蛋白（C-reactive protein, CRP）、白细胞介素-1β（Interleukin-1β, IL-1β）、白细胞介素-5（Interleukin-5, IL-5）、T淋巴细胞[分化簇4^+（cluster of differentiation 4^+, $CD4^+$）、

分化簇 8^+（cluster of differentiation 8^+, $CD8^+$）、$CD4^+$/$CD8^+$]。

1.3.2 组织学检查方法 鼻息肉组织标本均为术中手术切除所得，标本经 10% 甲醛固定、石蜡包埋后，制作厚度为 4 μm 的连续切片，行苏木精–伊红染色，封片后置于光学显微镜下观察，观察时先在低倍镜（×40）下扫描整张切片，筛选出具有典型病理特征的视野，再更换高倍视野（×100、×400）进行观察。对固有层水肿、基底膜增厚进行分级，评分标准为 0～3 分：0 分为无异常改变，1 分为轻度改变，2 分为中度改变，3 分为重度改变。杯状细胞增生程度，参照文献[9]标准分级：每高倍视野细胞数≤3 个，计 0 分；每高倍视野细胞数 4～10 个，计 1 分；每高倍视野细胞数 11～19 个，计 2 分；每高倍视野细胞数≥20 个，计 3 分。所有切片的视野观察、细胞数及各项指标评分，均由 2 名病理科医师采用双盲方式独立完成，以减少人为观测误差。

1.3.3 实验室检测方法 术后 24 h 内，采集患者空腹肘静脉血 3 mL，采用全自动血细胞分析仪（型号：DxH 500，注册证编号：国械注进 20182220358，生产商：Beckman Coulter Ireland Inc.）检测 WBC、PLT、EOS、ECP、T 淋巴细胞；采用全自动生化分析仪（型号：ADVIA Chemistry XPT，注册证编号：国械注进 20152224028，生产商：Siemens Healthcare Diagnostics Inc.）检测 IgE、CRP、IL–1β、IL–5 水平。

1.4 疾病控制的判断标准

疾病控制的判断标准：①无慢性鼻窦炎相关症状表现；②鼻内镜检查无病变或炎症；③无需口服药物辅助治疗。满足以上 3 个条件，即为完全控制；满足任意 1～2 个条件，即为部分控制；3 个条件均未满足，即为未控制[10]。

1.5 模型构建及可解释性分析

基于 LASSO 回归和多因素分析筛选获得的独立危险因素，采用“xgboost”包构建极度梯度提升树（eXtreme gradient boosting，XGBoost）模型，最大迭代次数设定为 1 000，学习率 eta=0.1，通过交叉验证优化树深度和最小叶子节点权重。采用“shapviz”包绘制蜂群图展示全局特征重要性及瀑布图解析个体预测路径。分析中特征值以颜色区分，正负 Shapley 加性解释法（shapley additive exPlanations，SHAP）值分别表示对疾病控制的推高或降低作用。

1.6 统计学方法

数据分析采用 SPSS 27.0 和 R 4.5.1 统计软件。计量资料以均数 ± 标准差（$\bar{x} \pm s$）表示，比较用 t 检验；计数资料以构成比或率（%）表示，比较用 χ^2 检验；影响因素的分析采用多因素一般 Logistic 回归模型；绘制受试者工作特征（receiver operating characteristic, ROC）曲线和决策曲线。P <0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 建模组与验证组临床资料比较

建模组与验证组疾病控制率、性别构成、年龄、BMI、变应性鼻炎率、哮喘率、吸烟史率、饮酒史率、术前糖皮质激素治疗率、Lund–Mackay 评分、SNOT–22 评分、UPSIT 评分、手术时间构成、固有层水肿构成、基底膜增厚构成、杯状细胞增生构成、WBC、PLT、EOS、ECP、IgE、CRP、IL–1β、IL–5、$CD4^+$、$CD8^+$和 $CD4^+/CD8^+$比值比较，经 χ^2/t 检验，差异均无统计学意义（P >0.05）。见表 1。

2.2 LASSO 回归分析筛选关键变量

本研究采用 LASSO 回归分析，对所有 26 个变量进行筛选，基于 λ_{min}（0.009 939）和 λ_{1se}（0.048 330）

表 1 建模组与验证组临床资料比较

组别	n	疾病控制 例(%)		男/女/例	年龄/(岁，$\bar{x} \pm s$)
		控制	未控制		
建模组	240	182(75.83)	58(24.17)	144/96	43.74 ± 8.26
验证组	60	46(76.67)	14(23.33)	37/23	43.63 ± 7.95
χ^2/t 值		0.018		0.056	0.088
P 值		0.892		0.813	0.930

续表 1

组别	BMI/(kg/m^2，$\bar{x}\pm s$)	变应性鼻炎 例(%)	哮喘 例(%)	吸烟史 例(%)	饮酒史 例(%)	术前糖皮质激素治疗 例(%)
建模组	23.94 ± 2.93	84(35.00)	62(25.83)	67(27.92)	70(29.17)	173(72.08)
验证组	23.72 ± 2.72	23(38.33)	17(28.33)	16(26.67)	15(25.00)	44(73.33)
χ^2/t 值	0.525	0.155	0.155	0.037	0.410	0.037
P 值	0.600	0.694	0.694	0.846	0.522	0.846

组别	Lund-Mackay 评分 ($\bar{x}\pm s$)	SNOT-22 评分 ($\bar{x}\pm s$)	UPSIT 评分 ($\bar{x}\pm s$)	手术时间 例(%)	
				<120 min	≥120 min
建模组	15.99 ± 4.08	38.84 ± 10.51	21.47 ± 8.18	116(48.33)	124(51.67)
验证组	17.00 ± 3.94	38.78 ± 10.25	22.02 ± 8.43	31(51.67)	29(48.33)
χ^2/t 值	−1.731	0.036	−0.463	0.213	
P 值	0.084	0.971	0.644	0.644	

组别	固有层水肿 例(%)		基底膜增厚 例(%)		杯状细胞增生 例(%)	
	无/轻度	中/重度	无/轻度	中/重度	无/轻度	中/重度
建模组	118(49.17)	122(50.83)	34(14.17)	206(85.83)	177(73.75)	63(26.25)
验证组	30(50.00)	30(50.00)	9(15.00)	51(85.00)	46(76.67)	14(23.33)
χ^2/t 值	0.013		0.027		0.214	
P 值	0.908		0.869		0.644	

组别	WBC/($\times 10^9$/L，$\bar{x}\pm s$)	PLT/($\times 10^9$/L，$\bar{x}\pm s$)	EOS/(%，$\bar{x}\pm s$)	ECP/(μg/L，$\bar{x}\pm s$)	IgE/(IU/mL，$\bar{x}\pm s$)
建模组	7.29 ± 1.96	284.40 ± 48.15	4.88 ± 2.07	19.57 ± 7.24	202.38 ± 86.07
验证组	7.41 ± 2.04	279.56 ± 47.11	5.03 ± 1.65	19.18 ± 6.18	206.77 ± 87.69
χ^2/t 值	−0.399	0.699	−0.523	0.385	−0.353
P 值	0.690	0.485	0.602	0.701	0.725

组别	CRP/(mg/L，$\bar{x}\pm s$)	IL-1β/(pg/mL，$\bar{x}\pm s$)	IL-5/(pg/mL，$\bar{x}\pm s$)	CD4$^+$/(%，$\bar{x}\pm s$)	CD8$^+$/(%，$\bar{x}\pm s$)	CD4$^+$/CD8$^+$ ($\bar{x}\pm s$)
建模组	7.18 ± 2.05	11.87 ± 5.16	13.04 ± 5.68	44.01 ± 7.28	26.15 ± 4.75	1.75 ± 0.45
验证组	7.03 ± 1.89	12.54 ± 4.93	13.30 ± 5.14	43.78 ± 7.38	27.17 ± 4.88	1.67 ± 0.44
χ^2/t 值	0.498	−0.907	−0.328	0.216	−1.485	1.196
P 值	0.619	0.365	0.743	0.829	0.139	0.233

可分别筛选出 19 个和 13 个变量，为尽可能降低模型的二项式偏差，同时考虑变量过多可能造成模型发生过拟合，故本研究基于 λ_{1se} 筛选出 13 个变量，即变应性鼻炎、哮喘、术前糖皮质激素治疗、Lund-Mackay 评分、UPSIT 评分、EOS、ECP、IgE、CRP、IL-1β、IL-5、CD8$^+$、CD4$^+$/CD8$^+$。见图 1。

2.3　慢性鼻窦炎疾病控制的多因素一般 Logistic 回归分析

以患者疾病控制情况为因变量（0=控制，1=未控制），LASSO 回归分析筛选出的变量为自变量，即变应性鼻炎（0=无，1=有）、哮喘（0=无，1=有）、术前糖皮质激素治疗（0=否，1=是）、Lund-Mackay 评分（实际值）、UPSIT 评分（实际值）、EOS（实际值）、ECP（实际值）、IgE（实际值）、CRP（实际值）、IL-1β（实际值）、IL-5（实际值）、CD8$^+$（实际值）、CD4$^+$/CD8$^+$（实际值）为自变量，进行多因素一般 Logistic 回归分析，结果显示：变应性鼻炎[$\hat{OR}$=4.155（95% CI：1.393，12.390）]、Lund-Mackay 评分升高[$\hat{OR}$=1.191（95% CI：1.022，1.389）]、EOS 升高[$\hat{OR}$=1.668（95% CI：1.287，2.163）]、IgE 升高[$\hat{OR}$=1.015（95% CI：1.008，1.022）]、CRP 升高[$\hat{OR}$=1.654（95% CI：1.267，

2.160）]、CD4⁺/CD8⁺ 降低 [$\hat{OR}$=0.113（95% CI：0.019，0.688）]均为慢性鼻窦炎疾病未控制的危险因素（P<0.05）。见表 2。

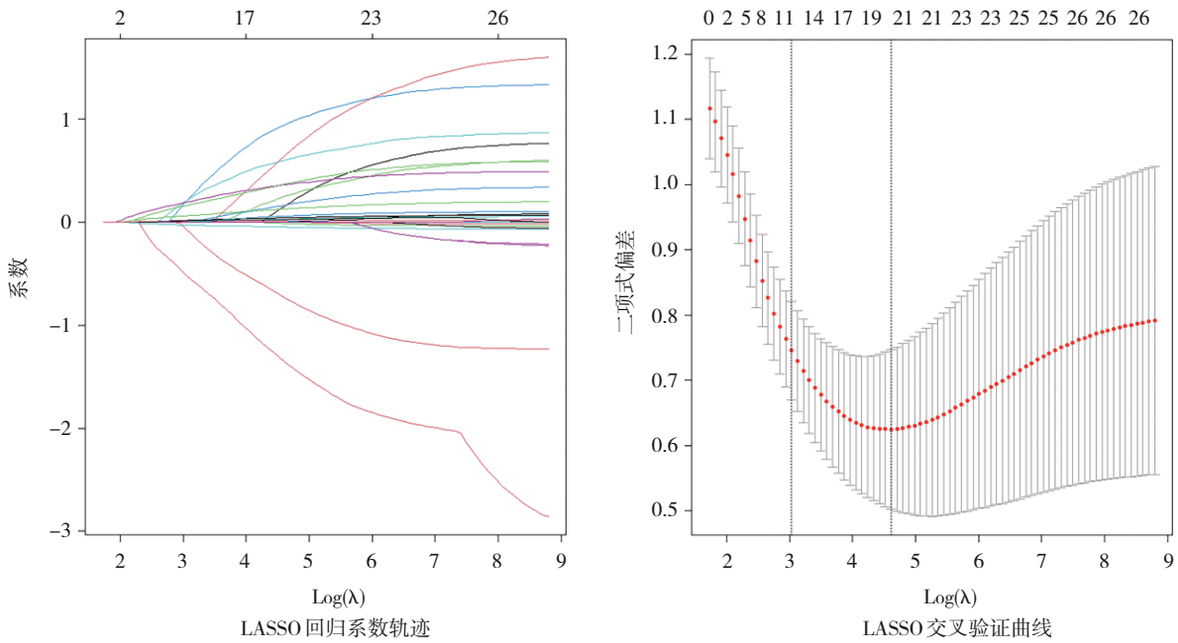

图 1　LASSO 回归分析

表 2　慢性鼻窦炎疾病控制的多因素一般 Logistic 回归分析参数

自变量	b	S_b	Wald χ^2 值	P 值	$\hat{OR}$ 值	95% CI	
						下限	上限
变应性鼻炎（有）	1.424	0.557	6.528	0.011	4.155	1.393	12.390
哮喘（有）	1.012	0.605	2.797	0.094	2.750	0.840	9.001
术前糖皮质激素治疗（是）	−1.010	0.553	3.334	0.068	0.364	0.123	1.077
Lund-Mackay 评分	0.175	0.078	4.997	0.025	1.191	1.022	1.389
UPSIT 评分	−0.065	0.034	3.700	0.054	0.937	0.877	1.001
EOS	0.512	0.132	14.948	0.000	1.668	1.287	2.163
ECP	0.062	0.036	2.981	0.084	1.064	0.992	1.141
IgE	0.015	0.004	17.582	0.000	1.015	1.008	1.022
CRP	0.503	0.136	13.658	0.000	1.654	1.267	2.160
IL-1β	0.104	0.055	3.574	0.059	1.110	0.996	1.236
IL-5	0.058	0.040	2.061	0.151	1.060	0.979	1.147
CD8⁺	0.014	0.078	0.032	0.857	1.014	0.871	1.181
CD4⁺/CD8⁺	−2.182	0.922	5.598	0.018	0.113	0.019	0.688

2.4　慢性鼻窦炎疾病控制 XGBoost 模型的预测性能验证

ROC 曲线分析结果显示，建模组 AUC 为 0.920（95% CI：0.882，0.959），验证组 AUC 为 0.962（95% CI：0.908，1.000），见图 2。DCA 曲线分析结果显示，在高风险阈值 0.05 ~ 0.95 和 0.05 ~ 1.00 范围内，采用 XGBoost 模型干预，存在净效益。见图 3。

2.5　慢性鼻窦炎疾病控制 XGBoost 模型的可解释性分析

SHAP 分析结果显示，CD4⁺/CD8⁺、CRP 对模型预测贡献最大，且 CD4⁺/CD8⁺高特征值可降低未控制风险，CRP 高特征值可增加未控制风险；个体预测路径显示，该患者基线风险 0.057，经各因素累加后最终风险达 0.024。见图 4。

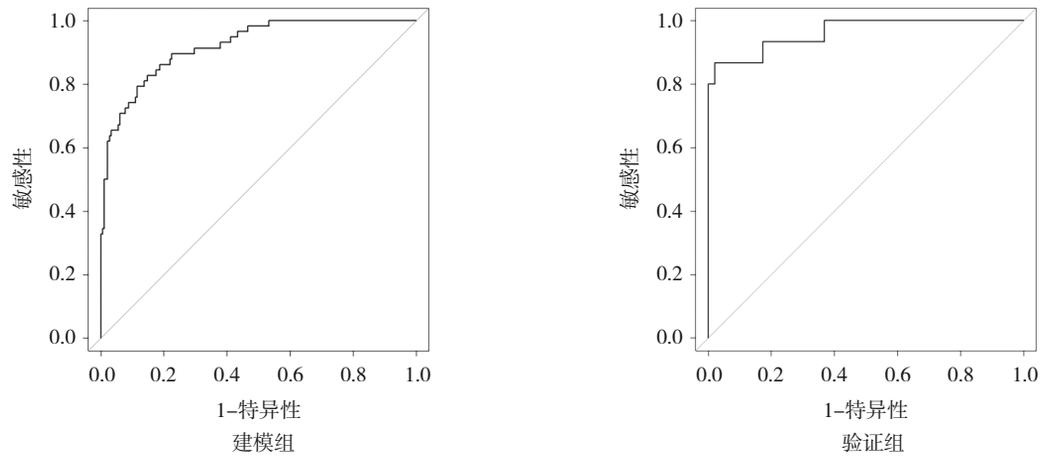

图2　慢性鼻窦炎疾病控制XGBoost模型的ROC曲线

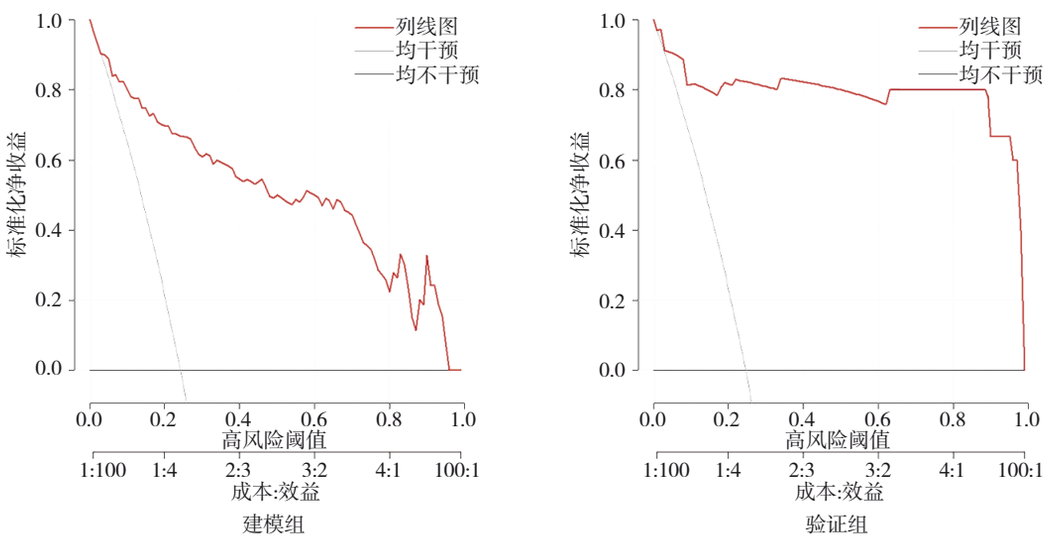

图3　慢性鼻窦炎疾病控制XGBoost模型的DCA曲线

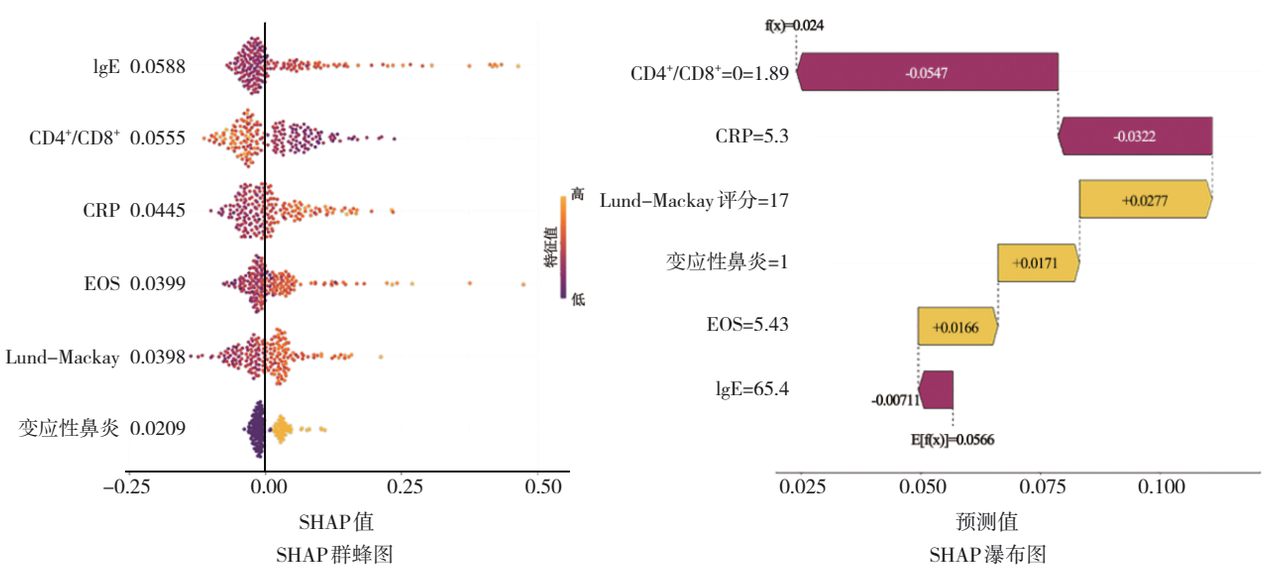

图4　慢性鼻窦炎疾病控制XGBoost模型的SHAP可解释性分析

3 讨论

本研究纳入300例慢性鼻窦炎手术患者，术后疾病未控制率为24%，该结果与国内多数同类研究结论基本相符[11-12]。本研究严格遵循统一诊断与疗效判定标准，入组病例排除了既往鼻腔手术史、恶性肿瘤及自身免疫病等干扰因素，基线资料均衡性良好，所得未控制率能够真实反映本院此类患者术后整体转归情况，也再次证实慢性鼻窦炎术后仍存在较高的病情复发与控制不佳风险，开展术前预后预测具备现实必要性。

本研究中，变应性鼻炎、Lund-Mackay评分升高、EOS升高、IgE升高、CRP升高、$CD4^+/CD8^+$降低均为慢性鼻窦炎术后疾病未控制的独立危险因素。变应性鼻炎与慢性鼻窦炎常共存，变应原持续刺激会造成鼻黏膜反复水肿、腺体分泌亢进，破坏术区黏膜修复环境，加重局部慢性炎症，阻碍术后病灶恢复[13-14]。Lund-Mackay评分是评估鼻窦病变范围与严重程度的经典影像学指标，评分越高，代表鼻窦解剖病变越广泛、骨质及黏膜受累越严重，手术难以彻底清除隐匿病灶，术后炎症易再次蔓延，直接影响疾病控制效果[15-16]。EOS是变应性炎症的核心效应细胞，其水平升高提示机体处于持续变应性炎症状态，可释放多种炎性介质，加重鼻黏膜损伤与组织重塑[17-19]。血清IgE作为过敏反应的重要标志物，数值升高，代表机体致敏状态活跃，会持续诱发鼻黏膜变态反应，增加术后炎症复发概率[20-21]。CRP是全身炎症反应敏感指标，其水平上升说明患者局部炎症已进展至全身应答阶段，炎症负荷重，单纯手术干预难以彻底消除炎症，术后炎症持续存在会导致病情难以控制[22-23]。$CD4^+/CD8^+$升高为慢性鼻窦炎术后疾病未控制的保护因素，该比值下降提示机体T淋巴细胞亚群失衡，细胞免疫功能紊乱，机体对局部炎症的清除、免疫监视能力下降，无法有效抑制病原及炎症进展，进而提升疾病失控风险[24-25]。

本次构建的XGBoost模型表现出优异的预测效能，建模组与验证组AUC分别达到0.920、0.962，区分能力突出。DCA分析证实模型在广泛风险阈值内均可为临床带来正向净效益，具备实际临床应用价值。相较于多因素一般Logistic回归模型，XGBoost算法可挖掘变量间复杂的非线性关系与交互作用，对多维度临床数据的拟合效果更佳。同时本研究结合SHAP方法完成模型解析，打破了机器学习模型“黑箱”局限，明确了各指标的贡献程度与作用方向，让模型结果更易被临床理解和接受，便于临床医师解读与使用。

然而，本研究为单中心回顾性研究，样本仅来源于本院，病例选择存在一定局限性，外部人群适用性有待进一步验证。其次，研究随访时间较短，仅评估了术后短期疾病控制情况，未对患者远期复发及长期预后进行追踪。最后，部分潜在影响因素，如环境因素、术后用药依从性等未纳入分析，可能对模型预测的全面性造成一定影响。

综上所述，本研究基于多项临床、实验室及病理指标构建的XGBoost预测模型，可精准预测慢性鼻窦炎患者术后疾病控制情况，各项验证指标均提示模型效能可靠、临床实用性强。未来需开展多中心、大样本的前瞻性研究，补充相关变量并延长随访周期，持续优化模型。

参 考 文 献：

[1] Saratziotis A, Emanuelli E, Zanotti C, et al. Endoscopic sinus surgery outcomes in CRS: quality of life and correlations with NOSE scale in a prospective cohort study[J]. Eur Arch Otorhinolaryngol, 2021, 278(4): 1059-1066.

[2] den Heijer M C, van der Ven M M, Joustra G E, et al. Exploring predictors of post-surgical health-related quality of life and revision surgery in patients with chronic rhinosinusitis with nasal polyps: a cohort study[J]. Clin Otolaryngol, 2025, 50(5): 856-863.

[3] Tsuei L H, Jiang R S. The influence of allergic biomarkers in chronic rhinosinusitis patients who underwent functional endoscopic sinus surgery[J]. OTO Open, 2025, 9(2): e70138.

[4] Wang G, Zheng H Y, Chen X Q, et al. Exploration of predictive biomarkers for postoperative recurrence in chronic rhinosinusitis with nasal polyps based on serum multiple-cytokine profiling[J]. Mediators Inflamm, 2022, 2022: 1061658.

[5] Cao Y, Forssten M P, Sarani B, et al. Development and validation of an XGBoost-algorithm-powered survival model for predicting in-hospital mortality based on 545,388 isolated severe traumatic brain injury patients from the TQIP database[J]. J Pers Med, 2023, 13(9): 1401.

[6] 李惠萍, 胡安民. 机器学习DNN和XGBoost算法对危重患者预后预测模型效能评估[J]. 实用医学杂志, 2020, 36(4): 466-469.

[7] World Medical Association. World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human participants[J]. JAMA, 2025, 333(1): 71-74.

[8] 中华耳鼻咽喉头颈外科杂志编辑委员会鼻科组, 中华医学会耳鼻咽喉头颈外科学分会鼻科学组. 慢性鼻窦炎诊断和治疗指南(2024)[J]. 中华耳鼻咽喉头颈外科杂志, 2025, 60(3): 221-249.

[9] Nag A K, Saltagi A K, Saltagi M Z, et al. Management of post-infectious anosmia and hyposmia: a systematic review[J]. Ann Otol Rhinol Laryngol, 2023, 132(7): 806-817.

[10] Fokkens WJ, de Corso E, Backer V, et al. EPOS2020/EUFOREA expert opinion on defining disease states and therapeutic goals in CRSwNP[J]. Rhinology, 2024, 62(3): 287-298.

[11] 邹庆云, 李皓楠, 徐恩鸿, 等. 慢性鼻-鼻窦炎经功能性内镜鼻窦手术治疗预后的影响因素分析[J]. 中国耳鼻咽喉颅底外科杂志, 2024, 30(4): 18-22.

[12] 黄海平, 杨培培, 张丹. 基于LASSO回归的慢性鼻窦炎伴鼻息肉术后控制情况的风险预测模型[J]. 临床耳鼻咽喉头颈外科杂志, 2024, 38(3): 200-206.

[13] 徐秀钦, 赵琪余, 沈暘, 等. 慢性鼻窦炎鼻内镜术后嗅觉功能转归的研究进展[J]. 中国耳鼻咽喉颅底外科杂志, 2025, 31(1): 36-41.

[14] 丁乐霓, 李佩忠. 翼管神经切断术联合筛前神经切断术对合并变应性鼻炎的慢性鼻窦炎患者嗅觉及临床疗效的影响[J]. 中国医药, 2025, 20(6): 877-881.

[15] Alaraifi A K, Alanizy B, Alsalamah S, et al. Predictors and time interval of chronic rhinosinusitis recurrence after endoscopic sinus surgery[J]. Turk Arch Otorhinolaryngol, 2023, 61(4): 160-165.

[16] 黄晶煜, 骆勇戈, 吕浩, 等. 基于多维特征的无监督聚类分析揭示慢性鼻窦炎伴鼻息肉不同内在型的临床特点及相关因素[J]. 中华耳鼻咽喉头颈外科杂志, 2024, 59(6): 590-601.

[17] 刘承耀, 王向东, 司马宇彤, 等. 嗜酸粒细胞性鼻窦炎伴鼻息肉患者术后症状及体征变化在预测复发中的作用[J]. 临床耳鼻咽喉头颈外科杂志, 2023, 37(11): 864-870.

[18] 张志存, 李佩忠, 唐海燕, 等. 慢性鼻-鼻窦炎伴鼻息肉患者外周血和息肉组织中嗜酸粒细胞相关性分析[J]. 临床耳鼻咽喉头颈外科杂志, 2019, 33(1): 14-16.

[19] 戴桂林, 方晓颖, 肖光倩. 托里通窦汤联合西药治疗慢性鼻窦炎合并过敏性鼻炎临床疗效及对EOS、ECP的影响[J]. 四川中医, 2023, 41(1): 167-171.

[20] Wang W C, Fu J M, Chang W S. Risk factors for postoperative relapse of chronic rhinosinusitis with nasal polyps and improvement in clinical treatment[J]. Am J Transl Res, 2024, 16(12): 7609-7617.

[21] 王瑞平, 金铭鑫, 刘洪, 等. 手术切除标本IgE、Foxp3表达水平与慢性鼻窦炎伴鼻息肉患者术后嗅觉转归的相关性研究[J]. 海南医学, 2026, 37(4): 532-537.

[22] 刘业军, 张承宏, 刘建设, 等. 吡酮莫特治疗对慢性鼻窦炎患者外周T淋巴细胞亚群、NK细胞活性以及炎症因子的影响[J]. 海南医学院学报, 2016, 22(3): 306-309.

[23] 吴敏曼, 王旋, 谭凌翔, 等. 通鼻消涕颗粒对慢性鼻窦炎患者全身免疫功能及炎症因子的影响[J]. 中国中西医结合耳鼻咽喉科杂志, 2023, 31(5): 321-324.

[24] Seif F, Ghalehbaghi B, Aazami H, et al. Frequency of $CD4^+$ and $CD8^+$ T cells in Iranian chronic rhinosinusitis patients[J]. Allergy Asthma Clin Immunol, 2018, 14: 47.

[25] 宋鹏, 徐杨斌. 鼻内镜手术联合糠酸莫米松鼻喷雾剂治疗慢性鼻窦炎伴鼻息肉疗效及对患者鼻黏膜$CD4^+$及$CD8^+$T细胞分布的影响[J]. 陕西医学杂志, 2025, 54(1): 105-108.

（龚仪　编辑）

本文引用格式：刘金梅, 王旭平, 黄星, 等. 基于XGBoost算法构建慢性鼻窦炎疾病控制的预测模型及性能验证[J]. 中国现代医学杂志, 2026, 36(22): 24-31.

Cite this article as: Liu J M, Wang X P, Huang X, et al. Construction and performance validation of a predictive model for chronic rhinosinusitis disease control based on the XGBoost algorithm[J]. China Journal of Modern Medicine, 2026, 36(22): 24-31.