

• 基础护理 •
• 论 著 •

基于 XGBoost 的结肠镜肠道准备失败风险预测模型构建

王娅鑫¹, 韩杨², 阳仁美¹, 刘晓玲²

摘要:目的 分析影响结肠镜检查患者肠道准备失败的危险因素,并基于极限梯度提升(XGBoost)构建肠道准备失败风险预测模型。方法 便利选取 1 133 例结肠镜检查患者,均给予标准化肠道准备方案,于检查中采用波士顿肠道准备评分量表评估肠道准备质量,并收集相关影响因素。将患者按照 7:3 的比例随机分为训练集($n=793$)和验证集($n=340$)。利用训练集数据采用 Lasso 回归对相关影响因素进行筛选和降维,通过 XGBoost 构建预测模型;利用验证集数据进行验证和评价。基于沙普利加性解释可视化每个风险因素对预测模型的整体贡献。结果 结肠镜检查肠道准备失败率为 17.4%。基于 XGBoost 建立的预测模型,训练集和验证集的受试者操作特征曲线下面积分别为 0.689(95%CI:0.635~0.744)和 0.608(95%CI:0.428~0.787),灵敏度分别为 0.815 和 0.798。性别、ASA 分级、慢性便秘、服用影响排便习惯的药物、BMI、糖尿病、服用阿片类药物、服用抗抑郁药物、腹部或盆腔外科手术史、高血压是肠道准备失败的危险因素;其中前 6 个因素的贡献较大。结论 基于 XGBoost 构建的结肠镜检查肠道准备失败风险预测模型具有良好的预测性能,可用于评估患者肠道准备失败的风险。

关键词:结肠镜检查; 肠道准备; 危险因素; 预测模型; XGBoost; 机器学习; 便秘; 护理

中图分类号:R472.9 DOI:10.3870/j.issn.1001-4152.2026.07.056

Development of a risk prediction model for inadequate bowel preparation for colonoscopy using XGBoost

Wang Yaxin, Han Yang, Yang Renmei, Liu Xiaoling. Department of Thoracic Tumor Center, Chongqing University Cancer Hospital, Chongqing 400030, China

Abstract: **Objective** To analyze the risk factors for inadequate bowel preparation for colonoscopy and to construct a risk prediction model based on Extreme Gradient Boosting (XGBoost). **Methods** A total of 1,133 patients scheduled for colonoscopy were conveniently selected and received a standard bowel preparation regimen. Quality of bowel preparation was assessed during the examination using the Boston Bowel Preparation Scale, and relevant influencing factors were collected. The samples were randomly divided into a training set ($n=793$) and a validation set ($n=340$) at a ratio of 7:3. Lasso regression was applied to the training set data to screen and reduce the dimensionality of the relevant influencing factors. A prediction model was then constructed using XGBoost. The validation set was used for model validation and evaluation. SHapley Additive exPlanations (SHAP) was employed to visualize the overall contribution of each risk factor to the prediction model. **Results** The rate of inadequate bowel preparation was 17.4%. The prediction model established based on XGBoost showed that the areas under the receiver operating characteristic curve were 0.689 (95%CI:0.635-0.744) for the training set and 0.608 (95%CI:0.428-0.787) for the validation set. The sensitivities were 0.815 and 0.798, respectively. Gender, ASA classification, chronic constipation, use of medicines that may contribute to changing bowel habits, BMI, diabetes, opiate use, antidepressant use, history of abdominal or pelvic surgery, and hypertension were identified as risk factors for inadequate bowel preparation. Among these, the first six factors contributed more significantly. **Conclusion** The XGBoost-based risk prediction model for inadequate bowel preparation for colonoscopy has good predictive performance and can be used to identify patients at high risk.

Keywords: colonoscopy; bowel preparation; risk factors; prediction model; XGBoost; machine learning; constipation; nursing care

结肠镜检查是筛查和诊断结直肠病变的金标准,但其实施的有效性和安全性高度依赖于肠道准备质量^[1]。肠道准备质量不佳不仅会延长结肠镜操作时间,增加结直肠疾病的误诊、漏诊,还可能引发肠道穿孔等严重并发症,同时也会增加患者二次检查的风险

及医疗费用^[2]。因此,早期精准识别肠道准备失败高风险患者并实施强化干预,是提高肠道准备质量的关键。尽管针对结肠镜肠道准备失败风险因素的研究已有开展,但现有研究仍存在一些局限,制约了预测模型的临床应用价值。首先,纳入分析的风险因素有限,并且多数研究样本不足,致使关键风险因素的识别存在不确定性^[3-4];其次,大多数预测模型仅纳入患者基本临床特征(如年龄、BMI等),忽略了用药史、基础健康状况等关键因素;最后,建模方式以 logistic 回归模型或自动化参数优化为主,此类模型在处理高维数据时存在明显的过拟合风险,对变量间的共线性高

作者单位:重庆大学附属肿瘤医院 1. 胸部肿瘤中心 2. 核医学科(重庆,400030)

通信作者:刘晓玲,12057996@qq.com

王娅鑫:女,硕士,护士,937829934@qq.com

科研项目:重庆市沙坪坝区技术创新项目(2024123)

收稿:2025-11-02;修回:2026-01-06

度敏感,且缺乏对复杂非线性关系的捕捉能力^[5]。机器学习作为人工智能领域的重要分支,是融合统计学、计算机科学等领域知识的交叉学科技术。近年来,随着医疗大数据和算力的快速发展,机器学习在医学领域的应用潜力日益凸显。其核心优势在于能够通过数据驱动的自适应学习算法,构建具有高度泛化能力的计算模型,并最终提供可靠的临床决策支持^[6-7]。在众多学习算法中,极限梯度提升(eXtreme Gradient Boosting,XGBoost)因其卓越的性能表现而成为研究热点^[8]。该算法基于梯度提升决策树框架,通过迭代式地构建弱学习器序列,并采用加法模型策略逐步优化,最终形成具有强预测能力的集成模型。这一机制有效控制了模型复杂度,显著提升了泛化性能并降低了过拟合风险。与随机森林、支持向量机等相比,XGBoost 采用梯度提升框架,通过序列化地优化模型并修正前一轮错误,通常能达到更高的预测精度;同时,其模型具有良好的可解释性,便于识别关键风险因素以及指导临床干预^[9]。鉴于肠道准备质量相关的危险因素多样,存在显著的高维属性,本研究基于 XGBoost 构建肠道准备失败预测模型,以期为临床识别肠道准备失败高风险患者提供更可靠的决策支持工具。

1 对象与方法

1.1 对象 选取 2024 年 1—6 月在重庆大学附属肿瘤医院消化内科行结肠镜检查的患者作为研究对象。纳入标准:①预约进行结肠镜检查,年龄 ≥ 18 岁;②采用聚乙二醇电解质散肠道准备方案;③自愿参与研究,并签署知情同意书。排除标准:①有肠梗阻、肠穿孔、肠道狭窄;②并存严重的心脑血管、肝肾疾病;③有结肠或直肠手术史;④存在沟通障碍。剔除标准:①肠道准备方案依从性差(服药 $<$ 规定剂量的 80%);②因其他原因未能完成结肠镜检查。样本量根据公式^[10] $n=(1.96/\delta)^2 P(1-P)$ 计算,既往文献^[11]中,肠道准备失败发生率为 30%,容许误差 δ 为 0.035,且考虑 10%的脱落率,则建模所需的最小样本量为 732;模型验证所需最小样本量为 220(总样本按建模与验证 7:3 进行分配)。本研究纳入 1 226 例,剔除因身体原因未完成检查(20 例)及未严格执行肠道准备方案(73 例),最终获得有效样本 1 133 例。本研究通过重庆大学附属肿瘤医院伦理委员会审查(CZLS2021042-A)。

1.2 方法

1.2.1 肠道准备方法 患者均采用标准方案,即 3 L 聚乙二醇电解质散溶液进行肠道准备。标准剂量复方聚乙二醇电解质散(下称和爽),根据结肠镜预约检查时间,检查前 1 d 20:00(约距结肠镜检查前 14 h),将 1 袋和爽溶于 1 杯 1 000 mL 温开水(和爽专用杯),服药速度为 250 mL/10~15 min,于 1 h 内服完。

检查当天 3:00—5:00,剩余的 2 000 mL 于检查前 4~6 h 服用,每间隔 15 min 服用 250 mL。嘱患者服药期间适当走动,轻揉腹部。在肠道准备过程中如出现腹胀、腹痛及其他严重反应,暂停服用,直到症状消失或明显缓解后再继续服用,最后排出清水样便为止。

1.2.2 肠道准备质量评分标准 应用波士顿肠道准备评分量表(Boston Bowel Preparation Scale, BBPS)^[12-13]对患者的肠道准备质量进行评估。该量表针对右侧结肠(含盲肠和升结肠)、横结肠(含肝曲和脾曲)及左侧结肠(含降结肠、乙状结肠和直肠)3 个肠段,依据 4 级(0~3 分)标准进行评价。其中,“肠道准备质量极差,肠段内有固体粪便存留,无法看到结肠黏膜”计 0 分;“可看到部分结肠黏膜,但是由于污斑、残留大便和/或不透明液体致使其他区域的结肠黏膜不能被很好地观察”计 1 分;“存有少量的污斑、大便和/或不透明液体,但可清楚地观察到结肠黏膜”计 2 分;“结肠黏膜清晰可见,并且无污斑、大便和/或不透明液体存在”计 3 分。BBPS 总分 0~9 分,得分 < 6 分或任一肠段得分 < 2 分则为肠道准备失败。由 1 名完成结肠镜检查 $\geq 2 000$ 例的医生与 2 名具备 4 年以上结肠镜检查相关护理经验的护士,在退镜过程中共同完成肠道准备质量评估。

1.2.3 肠道准备失败影响因素调查表 该调查表由研究者在文献回顾的基础上设计,包括 2 个部分。①人口学资料:性别、年龄、身高、体质量、吸烟史、饮酒史、是否为住院患者。②临床相关资料:有无结肠镜检查史,是否患有高血压、糖尿病、甲状腺功能减退症、颅脑疾病(包括帕金森病、脑血栓、脑出血等),腹部或盆腔外科手术史,是否有慢性便秘,是否近期服用过影响排便习惯的药物(如导泻药、止泻药、促动力药物、益生菌等),是否服用三环类抗抑郁药物、阿片类药物,以及美国麻醉医师协会麻醉风险(American Society of Anesthesiology, ASA)分级。有无慢性便秘参照中国慢性便秘专家共识意见^[14]判断。

1.2.4 统计学方法 使用 SPSS27.0 软件进行统计分析。不服从正态分布的计量资料采用 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示,采用 Mann-Whitney U 检验进行比较;计数资料以频数表示,采用 χ^2 检验进行比较。使用 RStudio4.2.3 和 Python3.11.4 进行模型构建。将 1 133 例患者按照 7:3 的比例随机分为训练集($n=793$)和验证集($n=340$)。在训练集内,采用 Lasso 回归筛选预测变量。使用 Python 构建 XGBoost 机器学习模型,并采用 5 折交叉验证进行模型构建和拟合。最终模型的性能在验证集上进行评估,包括受试者操作特征曲线(Receiver Operating Characteristic Curve, ROC)、校准曲线和决策曲线分析(Decision Curve Analysis, DCA)来评估模型的预测性能。此

外,使用沙普利加性解释(SHapley Additive Explanations,SHAP)对最优模型的预测结果进行解释。

2 结果

2.1 肠道准备失败与成功患者相关资料比较 最终

表 1 肠道准备失败与成功患者相关资料比较

组别	例数	性别(例)		BMI(例)		吸烟史 (例)	高血压 (例)	饮酒史 (例)	糖尿病 (例)	甲状腺功能 减退症(例)	颅脑疾病 (例)	慢性便秘 (例)	腹部或盆腔外科 手术史(例)
		男	女	<24 kg/m ²	≥24 kg/m ²								
失败组	197	100	97	122	75	44	46	17	28	4	29	31	62
成功组	936	389	547	624	312	152	160	83	81	15	100	47	245
χ^2		5.617		1.624		4.227	4.282	5.607	5.785	0.181	2.629	29.088	2.311
<i>P</i>		0.018		0.202		0.040	0.039	0.017	0.016	0.671	0.105	<0.001	0.128

组别	例数	服用影响排便 习惯的药(例)		服用抗抑郁 药物(例)		服用阿片类 药物(例)		ASA 分级(例)		年龄 [岁, <i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ , <i>P</i> ₇₅)]	身高 [cm, <i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ , <i>P</i> ₇₅)]	体质量 [kg, <i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ , <i>P</i> ₇₅)]
		≤2	≥3	≤2	≥3	≤2	≥3					
失败组	197	23		2		9		118	79	58.0(50.0,67.0)	160.0(155.0,167.0)	60.0(53.0,66.0)
成功组	936	23		3		11		715	221	55.0(48.0,65.0)	160.0(155.0,166.0)	60.0(52.0,67.0)
χ^2/Z		35.501		1.788		10.807		22.734		-2.733	-0.774	-0.117
<i>P</i>		<0.001		0.181		0.001		<0.001		0.006	0.439	0.907

2.2 Lasso 回归筛选预测变量 在训练集上,采用 Lasso 回归模型处理 18 个预测变量间的多重共线性问题,通过 10 折交叉验证法,获得最小交叉验证误差对应的 λ 值($\lambda. \min=0.011$)以及标准误规则对应的 λ 值($\lambda. 1se=0.046$)。考虑到本研究旨在全面识别潜在的临床风险因素,为后续制订个性化干预方案提供更完整的证据基础,选择 $\lambda. \min$ 进行主分析。提取出 10 个非 0 系数的变量,分别为性别、BMI、高血压、糖尿病、腹部或盆腔外科手术史、慢性便秘、服用影响排便习惯的药、服用抗抑郁药物、服用阿片类药物、ASA 分级。Lasso 回归系数路径及交叉验证图,见附件 1。

2.3 基于 XGBoost 机器学习算法肠道准备失败预测模型的构建与评价

2.3.1 预测模型的构建与验证

表 2 XGBoost 模型在训练集和验证集的预测性能

数据集	AUC(95%CI)	灵敏度(95%CI)	特异度(95%CI)	F1 分数(95%CI)
训练集	0.689(0.635~0.744)	0.815(0.764~0.866)	0.625(0.568~0.682)	0.846(0.818~0.873)
验证集	0.608(0.428~0.787)	0.798(0.747~0.848)	0.530(0.428~0.632)	0.825(0.789~0.861)

2.3.3 临床效能评价 采用决策分析曲线评估 XGBoost 模型应用的临床收益,见图 4。XGBoost 模型在 10%~40%的阈值概率区间表现出更高的临床净获益。

2.4 基于 SHAP 分析的 XGBoost 模型解释 采用 SHAP 算法解析 XGBoost 模型,以确定各预测因子对肠道准备失败风险的影响程度。基于平均绝对 SHAP 值对特征重要性进行排序,见图 5。对模型预测结果贡献最大的前 6 个预测因子依次为:性别、ASA 分级、慢性便秘、服用影响排便习惯的药物、BMI 以及糖尿病史。

3 讨论

本研究在构建结肠镜检查肠道准备失败风险预

纳入 1 133 例患者,男 489 例,女 644 例;年龄 31~78 岁,中位年龄 55(48,65)岁,其中 ≥65 岁的患者 283 例。肠道准备失败 197 例,占 17.4%。肠道准备失败与成功患者相关资料比较,见表 1。

Lasso 回归筛选出的 10 个非零系数的预测变量,应用 XGBoost 算法构建预测模型。为优化模型性能并防止过拟合,利用 5 折交叉验证法和网格搜索法寻找模型最优参数。网格搜索的范围如下:学习率选择 [0.01,0.1,0.2],最大树深度选择 [3,4,5,6],最小叶节点权重和选择 [1,2,3],L2 正则化系数选择 [0.1,0.5,1,2]。基于交叉验证的性能,最终确定的模型参数为:learning_rate:0.1;max_depth:4;min_child_weight:2;reg_lambda:0.5。XGBoost 模型在训练集和验证集的预测性能,见表 2;ROC 曲线见图 1、图 2。

2.3.2 校准度评价 采用校准曲线评估 XGBoost 模型在验证集上的预测校准度,见图 3。XGBoost 模型在预测概率的准确性方面表现一般。

测模型前,整合了多维临床特征,包括人口统计学资料、并存疾病(如高血压、糖尿病、慢性便秘)、用药史(如阿片类药物、抗抑郁药物)、既往手术史(腹部或盆腔外科手术)、体格检查指标(BMI)以及身体状况(ASA 分级)。基于此,采用 XGBoost 构建预测模型,并利用 5 折交叉验证进行超参数优化,最终建立了具有良好预测效能的机器学习模型。内部验证结果显示,模型在训练集与验证集的 AUC 分别为 0.689(95%CI:0.635~0.744)与 0.608(95%CI:0.428~0.787),表明所构建的模型具备一定的疾病风险判别能力。Kutyla 等^[15]的研究中采用 logistic 回归建立预测模型,AUC 为 0.63。而本研究采用的 XGBoost 算法能够自动捕捉预测变量与结局之间潜在的非线

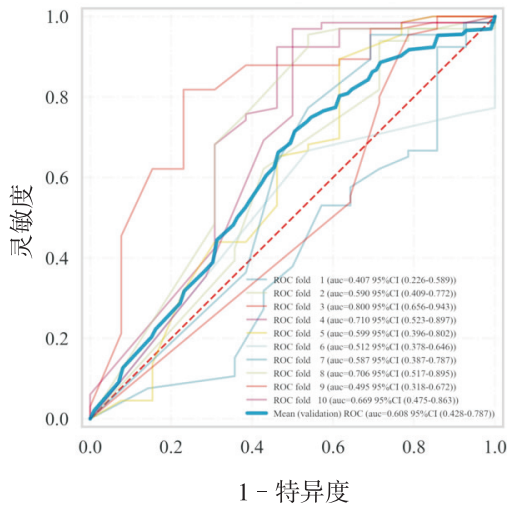


图 1 训练集 ROC 曲线

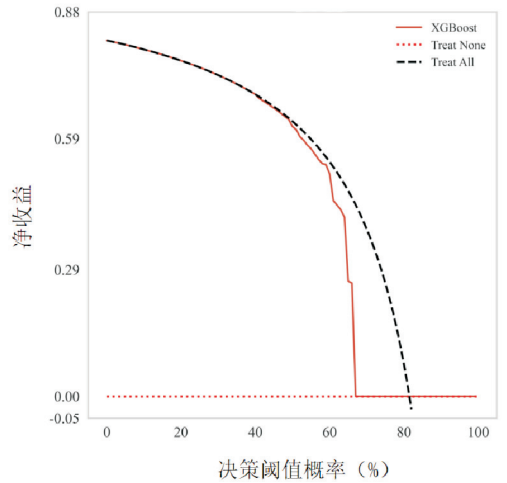


图 4 XGBoost 模型决策分析曲线

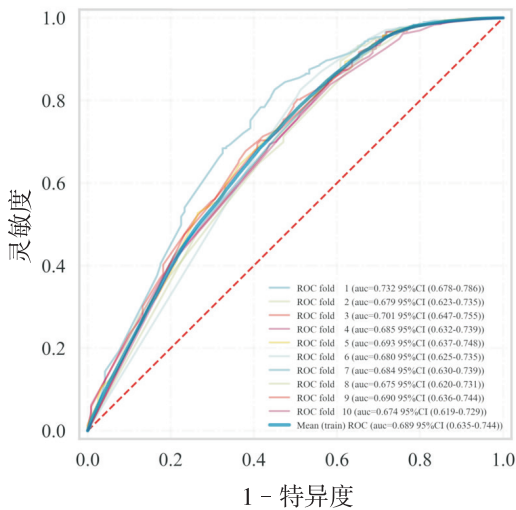


图 2 验证集 ROC 曲线

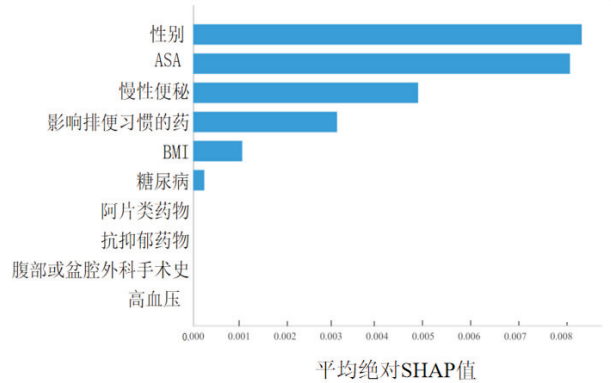


图 5 XGBoost 模型 SHAP 特征重要性

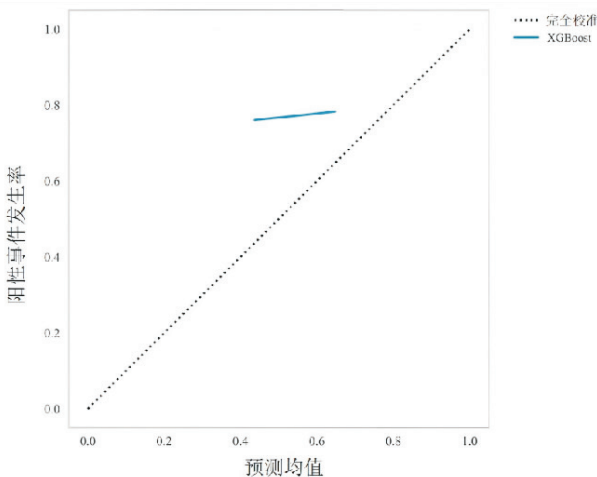


图 3 XGBoost 模型校准曲线

性关系及复杂的交互效应,避免传统线性模型的局限。

本研究显示,性别、ASA 分级、慢性便秘、服用影响排便习惯的药物、BMI 及糖尿病这 6 个因素对 XG

Boost 模型输出的贡献度更高;而其余 4 个因素(服用阿片类药物、服用抗抑郁药物、腹部或盆腔外科手术史及高血压)的贡献度相对微弱。其中,性别是影响肠道准备失败的最重要危险因素。与女性患者相比,男性的肠道准备情况较差。有研究对 10 921 例结肠镜检查分析发现,男性是肠道准备失败的一个独立危险因素^[16]。一项荟萃分析表明,在亚洲、北美、欧洲、澳大利亚均显示男性患者的准备不足率较高^[17]。其原因可能与男性的生活行为方式有关,例如吸烟、饮酒的比例普遍较高,而这些因素被证实可能干扰肠道菌群稳态和正常的肠蠕动功能^[18]。提示应对男性患者给予更强烈的风险警示。建议采取结构化健康教育策略:首先,在预约结肠镜检查时,即对男性患者进行重点宣教,明确告知其由于生理及行为习惯(如吸烟、饮酒)所导致的较高风险;其次,提供清晰、书面的肠道准备指导,特别提醒和确认男性患者对肠道准备方案及大量饮水要求的理解与执行。ASA 分级是肠道准备失败排序第 2 的危险因素,这与 Dik 等^[19]的研究结论一致。其机制可能在于:ASA 分级高的患者通常伴有更多的并存疾病、更差的整体生理状况及更复杂的用药史,这些因素可通过多种途径影响肠道准

备质量。

关于 BMI 对肠道准备质量的影响,现有研究结论尚存争议^[20],这可能是由于纳入研究的人群存在异质性(如年龄、基础疾病的差异),或是个别研究中 BMI 与结局之间存在复杂的非线性关系,而传统的线性统计模型未能有效捕捉^[17,21-22]。本研究发现,BMI ≥ 24 kg/m² 是患者肠道准备失败的危险因素。根据中国人群 BMI 分级标准,BMI ≥ 24 kg/m² 为超重。这类患者常伴有体力活动不足等状况,容易导致肠道蠕动功能减弱、便秘风险增加及慢性病增多^[23],因此发生肠道准备失败的风险较高。在护理实践中,对于超重或肥胖患者,护理人员可建议医生考虑根据体质量调整服药剂量,并向患者充分说明标准剂量可能不足以达到理想清肠效果的风险。

药物因素是肠道准备失败的另一个重要危险因素,长期服用阿片类药物、抗抑郁类药物及影响排便习惯的药物可能通过影响胃肠动力导致多种不良反应。例如,抗抑郁药物可能通过其抗胆碱能特性,引发胃肠道的不良反应^[24]。有研究显示,每 1 000 例接受氯氮平治疗的患者中就会有 300~600 例出现便秘,其中 4 例可能发生肠梗阻等严重并发症^[25]。阿片类药物可通过多种途径延迟胃肠排空、减慢排便进而导致便秘,其主要机制在于与黏膜下促分泌神经元上的特定受体结合,抑制血管活性肠肽和乙酰胆碱的释放,从而减少胃肠道中电解质和水分的分泌^[26]。有研究发现,阿片类药物治疗慢性疼痛时便秘发生率约为 41%^[27]。对于长期服用此类药物的患者,护理人员应在评估阶段,主动、详细地收集用药史,并协同医生探讨检查前短暂调整用药方案的可行性或提前启动强化肠道准备方案。本研究中,服用抗抑郁药物与阿片类药物的患者例数较少。尽管 XGBoost 算法对稀疏变量具有一定容忍度,但样本量不足仍可能影响这两个因素在模型中贡献度的准确估计,并可能削弱模型在涉及此类用药人群中的泛化能力。未来研究需要在更大规模、更具代表性的多中心样本中,进一步验证精神类药物与肠道准备质量的确切关联。

此外,本研究结果发现,慢性便秘和糖尿病亦是肠道准备失败的危险因素。慢性便秘患者面临更高的肠道准备失败风险,与 Guo 等^[28] 研究结果一致。其机制主要源于慢性便秘患者常存在肠道蠕动迟缓、自主神经功能紊乱和肠道功能减弱,导致粪便在肠腔内大量残留,直接影响肠道准备质量^[29]。因此,应将“是否便秘”纳入护理评估的核心条目,并对便秘患者常规实施检查前 3~5 d 的预准备方案。本研究也证实糖尿病是肠道准备失败的独立危险因素,与 Liu 等^[30] 研究结果一致。目前,其确切机制尚未完全阐明,现有研究提示可能与糖尿病引起肠神经系统和肠细胞微环境改变有关,这些变化可诱导胃肠细胞氧化应激与凋亡,损伤胃肠道神经元,最终导致胃排空功

能障碍和肠道运动的延迟^[31]。上述病理改变可导致糖尿病患者服用泻药后胃肠道的传输速度显著慢于常人,直接影响清肠效果。因此,如何为糖尿病患者制订有效的肠道准备方案,已成为当前临床实践中的一项重要挑战。目前国内外指南尚缺乏针对性的推荐意见,高级别循证证据不足。未来亟需通过深化机制研究、探索新型泻药与干预模式,以期为该人群确立更为安全高效的肠道准备路径。

4 结论

本研究基于 XGBoost 算法构建的肠道准备失败风险预测模型具有良好的判别能力,能有效识别结肠镜检查人群中的高风险者。SHAP 分析进一步揭示,性别、ASA 分级、慢性便秘、服用影响排便习惯的药物、BMI 及糖尿病是核心预测因素。这一发现为临床护理提供了精准的干预靶点,建议将男性、高 ASA 分级及慢性便秘的患者列为重点干预对象。该模型的应用有助于医护人员前瞻性地识别高危人群并制订个性化肠道准备方案,如为高危患者提供强化宣教和更严格的肠道准备过程监督,这对于降低检查失败率、优化医疗资源利用效率具有重要潜在价值。本研究存在一定局限性。首先,数据来源于单一中心,可能导致一定的选择偏倚。其次,模型性能在验证集中的 AUC 值为 0.608,提示其预测性能尚有优化空间,这可能与本研究主要依赖结构化临床变量,未能充分考虑患者的心理状态、受教育程度、健康素养等潜在预测因子有关。未来研究可扩大样本量,纳入多维度的预测因子并进行多中心外部验证,以进一步提高模型的泛化能力及预测效能。如何推动模型的临床转化,整合入医院信息系统或内镜预约平台,需要进一步探索。

附件 1 Lasso 回归系数路径图

及交叉验证图

请用微信扫码查看



附件 1 Lasso 回归系数路径图及交叉验证图

参考文献:

- [1] Gimeno-García A Z, Benitez-Zafra F, Nicolás-Pérez D, et al. Colon bowel preparation in the era of artificial intelligence; is there potential for enhancing colon bowel cleansing? [J]. *Medicina*, 2023, 59(10): 1834.
- [2] Shaukat A, Kahi C J, Burke C A, et al. ACG clinical guidelines: colorectal cancer screening 2021 [J]. *Am J Gastroenterol*, 2021, 116(3): 458-479.
- [3] 杨文博,李红,何利平. 结肠镜检查等待时间对患者肠道准备质量的影响研究[J]. *中华护理杂志*, 2020, 55(10): 1452-1457.
- [4] Wang C N, Yang R B, Hookey L. Does it work in clinical practice? A comparison of colonoscopy cleansing effectiveness in clinical practice versus efficacy from selec-

- ted prospective trials [J]. *J Can Assoc Gastroenterol*, 2020, 3(3):111-119.
- [5] 刘娅, 刘晓晴, 杨雪凝, 等. 结肠镜检查患者肠道准备失败风险预测模型的构建及验证[J]. *中华护理杂志*, 2024, 59(9):1091-1098.
- [6] Greener J G, Kandathil S M, Moffat L, et al. A guide to machine learning for biologists [J]. *Nat Rev Mol Cell Biol*, 2022, 23:40-55.
- [7] Handelman G S, Kok H K, Chandra R V, et al. eDoctor: machine learning and the future of medicine [J]. *J Intern Med*, 2018, 284:603-619.
- [8] Strutz S, Liang H, Carey K, et al. Machine learning for predicting critical events among hospitalized children [J]. *JAMA Netw Open*, 2025, 8(5):e2513149.
- [9] Tsai S F, Yang C T, Liu W J, et al. Development and validation of an insulin resistance model for a population without diabetes mellitus and its clinical implication: a prospective cohort study [J]. *EclinicalMedicine*, 2023, 58:101934.
- [10] Riley R D, Ensor J, Snell K I E, et al. Calculating the sample size required for developing a clinical prediction model [J]. *BMJ*, 2020, 368:m441.
- [11] Woo D H, Kim K O, Jeong D E, et al. Prospective analysis of factors associated with inadequate bowel preparation for colonoscopy in actual clinical practice [J]. *Intest Res*, 2018, 16(2):293-298.
- [12] Ki Ngsley J, Karanth S, Revere F L, et al. Cost effectiveness of screening colonoscopy depends on adequate bowel preparation rates: a modeling study [J]. *PLoS One*, 2016, 11(12):e167452.
- [13] Aaderson J C, Baron J A, Ahned D J, et al. Factors associated with shorter colonoscopy surveillance for patients with low-risk colorectal adenomas and effects on outcome [J]. *Gastroenterology*, 2017, 152(8):1933-1943.
- [14] 中华医学会消化病学分会胃肠动力学组, 中华医学会消化病学分会功能性胃肠病协作组. 中国慢性便秘专家共识意见(2019, 广州) [J]. *中华消化杂志*, 2019, 39(9):577-598.
- [15] Kutyla M J, O'Connor S, Hourigan L F, et al. An evidence based approach towards targeted patient education to improve bowel preparation for colonoscopy [J]. *J Clin Gastroenterol*, 2020, 54(8):707-713.
- [16] Lewohl B, Wang T C, Neugut A I. Socioeconomic and other predictors of colonoscopy preparation quality [J]. *Dig Dis Sci*, 2010, 55(7):2014-2020.
- [17] Gandhi K, Tofani C, Sokach C, et al. Patient characteristics associated with quality of colonoscopy preparation: a systematic review and meta-analysis [J]. *Clin Gastroenterol Hepatol*, 2018, 16(3):357-369.
- [18] 罗欣童, 琚雅文, 孟思佳, 等. 结直肠腺瘤患者吸烟与肠道菌群和炎症的关系 [J]. *中国微生态学杂志*, 2025, 37(1):70-77.
- [19] Dik V K, Moons L M, Huyuk M, et al. Predicting inadequate bowel preparation for colonoscopy in participants receiving split-dose bowel preparation: development and validation of a prediction score [J]. *Gastrointest Endosc*, 2015, 81(3):665-672.
- [20] Gandhi K, Tofani C, Sokach C, et al. Patient characteristics associated with quality of colonoscopy preparation: a systematic review and meta-analysis [J]. *Clin Gastroenterol Hepatol*, 2018, 16(3):357-369.
- [21] Mahmood S, Farooqui S, Madhoun M. Predictors of inadequate bowel preparation for colonoscopy: a systematic review and meta-analysis [J]. *Eur J Gastroenterol Hepatol*, 2018, 30(8):819-826.
- [22] Kushnir V, Bhat P, Chokshi R, et al. The impact of opiate pain medications and psychoactive drugs on the quality of colon preparation in outpatient colonoscopy [J]. *Dig Liver Dis*, 2014, 46(1):56-61.
- [23] Cheng C, Liu N, Tang J, et al. Predictors of suboptimal bowel preparation using 3-l of polyethylene glycol for an outpatient colonoscopy: a prospective observational study [J]. *Dig Dis Sci*, 2017, 62(2):345-351.
- [24] Oliva V, Lippi M, Paci R, et al. Gastrointestinal side effects associated with antidepressant treatments in patients with major depressive disorder: a systematic review and meta-analysis [J]. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry*, 2021, 109:110266.
- [25] Every-Palmer S, Nowitz M, Stanley J, et al. Clozapine-treated patients have marked gastrointestinal hypomotility, the probable basis of life-threatening gastrointestinal complications: a cross sectional study [J]. *EBioMedicine*, 2016, 5:125-134.
- [26] 倪嘉淳, 蔡增进, 江琼, 等. 药物治疗阿片类药物所致便秘的研究进展 [J]. *中国全科医学*, 2022, 25(12):1499-1505.
- [27] Kalso E, Edwards J, Moore A, et al. Opioids in chronic non-cancer pain: systematic review of efficacy and safety [J]. *Pain*, 2004, 112(3):372-380.
- [28] Guo X, Shi X, Kang X, et al. Risk factors associated with inadequate bowel preparation in patients with functional constipation [J]. *Dig Dis Sci*, 2020, 65(4):1082-1091.
- [29] 郭盛丽, 袁薇, 朱婷, 等. 患者结肠镜检查前肠道准备失败风险预测模型的系统评价 [J]. *护理学报*, 2022, 29(1):35-40.
- [30] Liu C, Song X, Hao H. Educational video followed by retelling bowel preparation process to improve colonoscopy bowel preparation quality: a 36 prospective nursing intervention study [J]. *Med Sci Monit*, 2018, 24:6029-6037.
- [31] Piper M S, Saad R J. Diabetes mellitus and the colon [J]. *Curr Treat Options Gastroenterol*, 2017, 15(4):460-474.