

• 专科护理 •
• 论 著 •

基于机器学习的糖尿病足发病风险预测模型构建

楼佳焯¹, 王艳梅², 潘欣欣², 张志英³, 王红岩²

摘要:目的 采用 5 种机器学习算法构建 2 型糖尿病患者糖尿病足发病风险预测模型, 筛选最优预测模型, 为早期精准识别糖尿病足高危人群提供依据。方法 通过文献回顾和专家咨询拟定糖尿病足发病风险因素调查表。2018 年 3 月至 2021 年 10 月选取住院且接受随访管理的 984 例 2 型糖尿病患者作为研究对象, 收集患者资料, 采用 Lasso 回归法筛选预测变量, 按 8 : 2 的比例随机划分训练集 787 例和验证集 197 例。训练集采用 logistic 回归、决策树、支持向量机、随机森林和极端梯度提升构建模型, 验证集进行内部验证, 评估模型的预测性能。综合评估 ROC 曲线下面积和 F1 分数确定最优模型。基于最优模型构建并验证 2 型糖尿病患者糖尿病足发病风险评分表。结果 有 217 例(22.05%) 2 型糖尿病患者发生糖尿病足。Lasso 回归筛选出 8 个预测变量, 包括年龄、总胆固醇、吸烟、针刺痛觉、足部皮肤湿冷、足部畸形、趾甲畸形和鞋袜不舒适。结果显示随机森林 ROC 曲线下面积为 0.787, 准确率为 0.838, 精确率为 0.591, 灵敏度为 0.361, 特异度为 0.944, F1 分数为 0.448, 较其他模型有较好的预测性能。基于随机森林模型构建的 2 型糖尿病患者糖尿病足发病风险评分表得分为 0~101 分, 最佳截断值为 43 分, ROC 曲线下面积为 0.745。结论 基于随机森林算法构建的模型整体预测性能最优, 基于此模型构建的 2 型糖尿病患者糖尿病足发病风险评分表能够用于糖尿病足高风险人群的早期筛查。

关键词: 2 型糖尿病; 糖尿病足; 风险因素; 预测模型; 机器学习; 决策树; 随机森林算法; 护理

中图分类号: R473.5 **DOI:** 10.3870/j.issn.1001-4152.2025.09.026

Construction of machine learning-based prediction models for diabetic foot risk in diabetes patients

Lou Jiaye, Wang Yanmei, Pan Xinxin, Zhang Zhiying, Wang Hongyan. School of Nursing, Ningxia Medical University, Yinchuan 750004, China

Abstract: **Objective** To construct predictive models for the onset of diabetic foot in type 2 diabetes patients using five machine learning algorithms, to select the optimal performing model, and to provide evidence for healthcare workers to early and accurately identify high-risk individuals for diabetic foot. **Methods** Through literature review and expert consultation, a list of risk factors for diabetic foot ulcer was formulated to create a questionnaire. A total of 984 patients with type 2 diabetes who were admitted from March 2018 to October 2021 and received follow-up management were selected. Data collection was conducted, and the predictive variables were screened using the Lasso regression method. The patients were randomly divided into a training set of 787 and a validation set of 197 patients in a ratio of 8 : 2. The training set used logistic regression, decision trees, support vector machines, random forests, and extreme gradient boosting to build models, and the validation set was internally validated. The optimal model was determined based on a comprehensive evaluation of the area under the receiver operating characteristic curve (AUC), and F1 score. A risk scoring table for diabetic foot ulcer in type 2 diabetes patients was constructed and validated based on the optimal model. **Results** The incidence rate of diabetic foot ulcers in the training set stood at 22.05% (217 cases). Lasso regression identified 8 predictors, including age, total cholesterol, smoking, tingling pain, cold and wet skin on the foot, foot deformity, toenail deformity, and footwear discomfort. The results showed that the AUC of the random forest model was 0.787, the accuracy was 0.838, the precision was 0.591, the sensitivity was 0.361, the specificity was 0.944, and the F1 score was 0.448, indicating better predictive performance than other models. The diabetic foot ulcer risk scoring table based on the random forest model had a score range of 0 to 101 points, with the optimal cut-off value of 43 points, and the AUC was 0.745. **Conclusion** The model built based on the random forest algorithm has the best overall prediction performance, and the diabetic foot disease risk scoring table based on this model can be used for early screening of high-risk patients with diabetic foot disease.

Keywords: type 2 diabetes mellitus; diabetic foot; risk factor; risk prediction model; machine learning; decision tree; random forest algorithm; nursing

作者单位: 1. 宁夏医科大学护理学院(宁夏 银川, 750004); 2. 上海市浦东新区公利医院; 3. 石河子大学医学院

通信作者: 王艳梅, 877927981@qq.com

楼佳焯: 女, 硕士, 护士, 1003132977@qq.com

科研项目: 上海市浦东新区卫生系统领先人才培养计划(PWR12020-04); 上海市浦东新区卫生系统重点学科建设基金资助项目(PWZxk2022-14)

收稿: 2024-11-06; 修回: 2025-02-24

截至 2021 年, 全球成人糖尿病患者约有 5.37 亿, 到 2045 年将增至 7.83 亿^[1]。我国成人糖尿病患病率为 11.2%, 90% 为 2 型糖尿病^[2]。糖尿病足是 2 型糖尿病常见的并发症之一, 也是亟待解决的重大公共卫生问题之一。我国 50 岁以上的糖尿病患者糖尿病足年发病率为 8.1%^[3]。糖尿病足不仅会导致患者截肢和死亡, 还给社会和家庭带来沉重的经济负

担^[4-5]。因此早期筛查识别糖尿病足的危险因素和开展分层预防干预至关重要。糖尿病足发病风险预测模型可为识别糖尿病足高风险人群和采取个性化干预措施提供强有力的支持^[6]。机器学习算法具有深入挖掘和分析大数据的独特优势,被广泛应用于疾病预测和预后中^[7]。国外学者基于机器学习算法构建了预测性能较好的糖尿病足发病风险预测模型^[8],但受国情、人种和生活习惯等因素影响,在我国人群中的适用性尚不确切。我国预测模型建模方式选择以 logistic 回归模型为主,既往研究中随访时间多为住院期间或 1 年^[9],对更长时间的随访缺乏关注。不同算法各有优劣,尚需在同一样本中采用多种算法构建预测模型并进行性能比较。因此,本研究旨在分析 2 型糖尿病患者随访 2 年内糖尿病足发生情况,采用 logistic 回归、决策树、支持向量机、随机森林和极端梯度提升 5 种机器学习算法构建 2 型糖尿病患者糖尿病足发病风险预测模型并比较其预测性能,以期为护理人员早期精准识别糖尿病足高危人群提供依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取 2018 年 3 月至 2021 年 10 月在上海市浦东新区公利医院内分泌科收治住院且接受国家标准化代谢疾病管理中心随访管理的 2 型糖尿病患者作为研究对象。纳入标准:①符合 2020 年版《中国 2 型糖尿病防治指南》中 2 型糖尿病的诊断标准^[10];②年龄 ≥ 18 岁。排除标准:①病历资料不全者;②糖尿病急性并发症发作期;③其他原因导致的足溃疡。依据二分类结局预测模型样本量计算公式: $n = (1.96/\delta)^2 P(1-P)$ 进行样本量计算^[11],其中预期总结局事件比例 P 为 19%,绝对误差范围 δ 为 0.03,考虑 10% 的样本流失,至少需要样本量 730。本研究共计纳入样本 984 例。采用 Python 编程软件将所有样本按 8:2 随机划分训练集(787 例)和验证集(197 例)。本研究已通过上海市浦东新区公利医院医学伦理委员会审批(GLYY1s2023-001)。

1.2 方法

1.2.1 研究工具 采用自制 2 型糖尿病患者糖尿病足发病风险因素调查表进行资料收集。通过文献回顾,系统检索、筛选和汇总 2 型糖尿病患者糖尿病足发病风险因素相关的指南、专家共识、证据总结、系统评价、综述和原始研究,初步拟定风险因素条目池(41 个)。咨询糖尿病护理、护理管理和内分泌科、骨科和整形外科医疗领域的 8 名医护专家(医生 3 人,护士 5 人),对初拟条目池进行修订完善。其中专家年龄 33~61 岁,中位数 46.5 岁;博士 2 名、硕士 2 名、本科 4 名;正高级职称 3 名、副高级 1 名、中级 4 名。最终形成的调查表分 4 个维度,共计 41 个预测因子。①一般资料(7 项):年龄、性别、身体质量指数(BMI)、文化程度、婚姻状况、吸烟和饮酒;②疾病相关资料(13

项):糖尿病病程、足溃疡史或截肢史、糖尿病视网膜病变、糖尿病周围神经病变、糖尿病周围血管病变、糖尿病肾病、外周动脉病变、冠心病、脑梗死、高血压、高尿酸血症、高脂血症和低蛋白血症;③实验室检查资料(9 项):空腹血糖、餐后 2 h 血糖、糖化血红蛋白、总胆固醇、甘油三酯、高密度脂蛋白胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇、血小板计数和超敏 C-反应蛋白,上述指标均为患者在住院期间的首次检查结果,连续性变量取首次测定结果;④足部相关资料(12 项):针刺痛觉、振动觉、温度觉、压力觉、踝反射、间歇性跛行、足背动脉搏动、足部皮肤湿冷、足部皮肤色素沉着、足部畸形、趾甲畸形和鞋袜不适。

1.2.2 资料收集方法 通过医院 HIS 收集患者一般资料、疾病相关资料和实验室检查资料(取首次检查结果)。内分泌科医生体格检查评估后,记录病历中包括针刺痛觉、振动觉等足部相关资料;结合内分泌科国家标准化代谢疾病管理中心专科护士的随访记录,评估患者的足部情况,包括趾甲畸形、鞋袜不适等情况;糖尿病足的确定以国家标准化代谢疾病管理中心随访记录中的医疗诊断为准。本研究以 2 型糖尿病患者首次确诊后的 2 年为预测窗口,即每例 2 型糖尿病患者首次确诊时间为追踪起点,2 年后为追踪终点,2 年内糖尿病足发生情况为结局事件,首例 2 型糖尿病患者纳入的时间为 2018 年 3 月,最后 1 例患者追踪终点时间为 2023 年 10 月。采用 Excel2010 软件双人录入,录入完毕后双人核对。

1.2.3 统计学方法 使用 SPSS25.0 软件进行数据分析,Python3.10 进行模型构建。服从正态分布的计量资料以 $(\bar{x} \pm s)$ 表示,组间比较采用 t 检验;非正态分布的计量资料以 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示,组间比较采用 Mann-Whitney U 检验;计数资料以频数和百分比表示,组间比较采用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法。检验水准 $\alpha = 0.05$ 。采用 Lasso 回归法筛选预测变量,通过调节 λ 值筛选出系数较小的预测变量,采用 10 折交叉验证法确定最佳 λ 值,选取 lambda.min 作为最佳 λ 值以获得纳入模型的预测变量;通过 Python 软件,将 Lasso 回归筛选出的预测变量作为模型的输入特征变量(自变量),以是否发生糖尿病足作为输出特征变量(因变量);将原始数据集按 8:2 的比例随机分为训练集和验证集,训练集上采用 logistic 回归、决策树、支持向量机、随机森林和极端梯度提升进行预测模型的构建,采用 5 折交叉验证法和网格搜索法进行模型参数优化;验证集上通过内部验证评估模型的预测性能。模型性能评价指标包括 ROC 曲线下面积(Area Under the Curve, AUC)、准确率、精确率、灵敏度、特异度和 F1 分数。AUC 取值范围为 0~1,若 AUC 在 0.5~0.7,表示模型的预测性能较差;0.7~0.9 表示模型的预测性能中等; > 0.9 表示模型的预测性能很好。F1 分数取值为 0~1,越接近

1,表示模型的预测性能越好。综合评估 AUC 和 F1 分数确定最优模型。

2 结果

2.1 2 型糖尿病患者的一般资料 本研究共纳入 984 例 2 型糖尿病患者,男 545 例,女 439 例;年龄 18~91 [66.00 (59.25, 72.00)] 岁;BMI 24.52 (22.28, 26.73)kg/m²;初中及以下文化程度 562 例,高中或中专 265 例,大专或本科 147 例,硕士及以上 10 例;已婚 945 例,未婚 20 例,离婚或丧偶 19 例;有吸烟史 299 例;有饮酒史 106 例;糖尿病病程 2.70 (2.30, 3.70)年;空腹血糖 7.90 (6.60, 10.20)mmol/L;餐后 2 h 血糖 12.40 (9.60, 15.50)mmol/L;糖化血红蛋白 8.90 (7.40, 10.90)%;总胆固醇 4.55 (3.81, 5.32)mmol/L;甘油三酯 1.37 (0.99, 2.03)mmol/L;高密度脂蛋白胆固醇 1.02 (0.86, 1.24)mmol/L;低密度脂蛋白胆固醇(2.82±1.05)mmol/L;血小板计数 209(174, 249)×10⁹/L;超敏 C 反应蛋白 0.50(0.50, 2.08)mg/L;有足溃疡史或截肢史 12 例;糖尿病视网膜病变 202 例;糖尿病周围神经病变 651 例;糖尿病周围血管病变 700 例;糖尿病肾病 242 例;外周动脉病变 30 例;冠心病 116 例;脑梗死 142 例;高血压 607 例;高尿酸血症 38 例;高脂血症 168 例;低蛋白血症 7 例;针刺痛觉异常 684 例;振动觉异常 97 例;温度觉异常 239 例;压力觉异常 193 例;踝反射异常 12 例;有间歇性跛行 53 例;足背动脉搏动异常 231 例;有足部皮肤湿冷 39 例;有足部皮肤色素沉着 36 例;有足部畸形 45 例;有趾甲畸形 116 例;有穿鞋袜不适 269 例。训练集和验证集在文化程度方面比较,差异有统计学意义($P < 0.05$),其余资料比较差异无统计学意义(均 $P > 0.05$)。

2.2 2 型糖尿病患者糖尿病足发生情况 984 例 2 型糖尿病患者中,217 例 2 年内发展为糖尿病足,发生率为 22.05%。训练集 787 例中,糖尿病足者 181 例(23.00%),非糖尿病足者 606 例(77.00%);验证集 197 例中,糖尿病足者 36 例(18.27%),非糖尿病足者 161 例(81.73%)。

2.3 预测变量的筛选 通过 Lasso 回归对 41 个自变量进行预测变量筛选。通过 10 折交叉验证法确定最佳 λ 值为 0.018,筛选纳入 8 个预测变量:年龄、总胆固醇、吸烟、针刺痛觉、足部皮肤湿冷、足部畸形、趾甲畸形和鞋袜不适。

2.4 预测模型的构建 训练集上,以 Lasso 回归筛选出的 8 个预测变量为自变量,以是否发生糖尿病足为因变量,分别采用 logistic 回归、决策树、支持向量机、随机森林和极端梯度提升构建预测模型,利用 5 折交叉验证法和网格搜索法寻找模型最优参数。logistic 回归模型最优参数为 'C':0.01, 'solver': 'newton-cg';决策树模型最优参数为 max_depth:3, min_

samples_leaf:4, min_samples_split:2;支持向量机模型的最优参数为 'C':10, 'gamma': 'scale', 'kernel': 'rbf';随机森林模型的最优参数为 'max_depth':20, 'min_samples_split':10, 'n_estimators':100;极端梯度提升模型的最优参数为 'learning_rate':0.01, 'max_depth':6, 'n_estimators':200。5 种机器学习模型在训练集的预测性能见表 1。

表 1 5 种机器学习模型在训练集上的预测性能

模型	AUC	准确率	精确率	灵敏度	特异度	F1 分数
logistic 回归模型	0.781	0.809	0.943	0.182	0.997	0.306
决策树模型	0.764	0.817	0.691	0.370	0.950	0.482
支持向量机模型	0.811	0.842	0.771	0.448	0.960	0.566
随机森林模型	0.971	0.891	0.913	0.580	0.983	0.709
极端梯度提升模型	0.900	0.845	0.873	0.381	0.983	0.531

2.5 预测模型的内部验证 验证集上,对 5 种预测模型进行内部验证并评估其预测性能。结果见表 2。

表 2 5 种机器学习模型在验证集上的预测性能

模型	AUC	准确率	精确率	灵敏度	特异度	F1 分数
logistic 回归模型	0.766	0.822	0.600	0.083	0.988	0.146
决策树模型	0.732	0.807	0.438	0.194	0.944	0.269
支持向量机模型	0.750	0.838	0.583	0.389	0.938	0.467
随机森林模型	0.787	0.838	0.591	0.361	0.944	0.448
极端梯度提升模型	0.787	0.822	0.529	0.250	0.950	0.340

2.6 2 型糖尿病患者糖尿病足发病风险评分表的构建 本研究结果显示随机森林预测模型预测性能最优。采用随机森林模型的 feature_importances_函数计算模型中各个特征变量的重要性分数并进行排序。将重要性分数最小的特征变量赋值为 1,计算其他变量与该变量的比值并按照四舍五入取整后对各变量进行赋值,形成评分表,得分 0~101 分,见表 3。

2.7 2 型糖尿病患者糖尿病足发病风险评分表的验证 使用 2 型糖尿病患者糖尿病足发病风险评分表对训练集患者进行评分。基于评分结果以及是否发生糖尿病足,计算 AUC 为 0.577,通过最大约登指数获取最佳截断值,最大约登指数为 0.231,此时对应的最佳截断值为 43,灵敏度为 0.465,特异度为 0.765。在验证集上验证评分表,当截断值为 43 时,此时对应的 AUC 为 0.745,灵敏度为 0.028,特异度为 0.988,准确率为 0.812。

3 讨论

3.1 2 型糖尿病患者糖尿病足发生情况 本研究糖尿病足发生率为 22.05%,高于谢晓冉等^[12]报道的 20.89%,低于国外研究报道的足溃疡发生率 25%^[13]。一项系统评价显示,糖尿病患者糖尿病足发生率在 1.93%~50%^[9]。不同地区研究报道的糖尿病足发生率差异可能与研究场所、研究对象人口学特征、种族和地域、国家及地区经济水平和医疗服务水平差异相关。目前 2 型糖尿病患者糖尿病足高发,因此应该重视糖尿病足高危人群,加强糖尿病足早期筛查和防治工作。

表 3 2 型糖尿病患者糖尿病足发病风险评分表

变量	重要性分数	评分表	
		变量值	赋分
总胆固醇	0.417 049	<5.2	0
		5.2~6.2	21
		>6.2	42
年龄	0.309 086	<60	0
		≥60	31
鞋袜不适	0.126 099	有	13
		无	0
足部畸形	0.053 650	有	5
		无	0
趾甲畸形	0.028 425	有	3
		无	0
吸烟	0.028 305	是	3
		否	0
针刺痛觉	0.027 900	有	3
		无	0
足部皮肤湿冷	0.009 486	有	1
		无	0

注:总胆固醇的单位为 mmol/L,年龄的单位为岁。

3.2 2 型糖尿病患者糖尿病足发病风险因素

3.2.1 年龄增长、总胆固醇升高和吸烟 本研究发现,年龄、总胆固醇升高和吸烟是 2 型糖尿病患者糖尿病足发病的风险因素,与既往研究结果^[14-16]一致。随着年龄增长,个体血管和神经功能逐渐衰退,足部缺血缺氧和发生神经病变,且患者认知水平降低,糖尿病足自我管理能力低,会显著提升糖尿病足的发生风险^[17]。提示应加强患者足部血液循环和神经系统评估,开展认知功能锻炼和糖尿病自我管理和足部预防保健教育以避免或延缓糖尿病足的发生^[18]。总胆固醇升高导致下肢动脉闭塞,足部组织缺血缺氧,增加足部溃疡和感染的发生风险^[15]。提示应指导患者定期监测总胆固醇水平,制订并动态调整饮食等生活方式方案,必要时加以药物治疗进行联合干预^[10]。长期吸烟会增加足部血液循环障碍和神经损伤的可能,从而增加下肢血管病变和神经病变风险,进而导致糖尿病足的发生,因此应督促患者戒烟^[19]。

3.2.2 针刺痛觉异常和足部皮肤湿冷 本研究发现,针刺痛觉异常和足部皮肤湿冷是 2 型糖尿病患者糖尿病足发病的风险因素,与既往研究结果^[16,20]一致。针刺痛觉异常常与下肢周围神经病变有关,患者下肢保护性刺激感知敏感性降低增加糖尿病足的发生风险^[21]。提示应告知患者足部神经检查方法并进行定期自检,一旦发现异常应尽早就医接受规范诊疗。足部皮肤湿冷极易导致血管腔变窄,引起足部皮肤组织缺血、缺氧。提示应督促患者定期进行足部皮温监测,出现异常应及时就医接受早期干预。

3.2.3 足部畸形、趾甲畸形和穿鞋袜不适 本研究

发现,足部畸形、趾甲畸形和鞋袜不适是 2 型糖尿病患者糖尿病足发病的风险因素,与既往研究结果^[14]一致。足部畸形引起局部组织受压过大导致足底毛细血管闭塞,局部缺血、坏死,极易引发足部溃疡。提示应开展糖尿病患者足部生物力学评估和畸形筛查,异常患者实施针对性足部减压和矫正干预^[22]。由于畸形趾甲增厚会压迫周围组织,造成局部组织压力升高出现缺血缺氧,加速糖尿病足的发生。提示应指导患者识别畸形趾甲并掌握修剪趾甲的方法,促进其开展趾甲保养^[23]。不适宜的鞋袜会引起足部压力异常和皮肤损伤,极易造成糖尿病足的发生。提示应指导患者选择透气性好、大小适宜和质地松软的鞋或特定的减压鞋,同时搭配松紧适度、棉质浅色袜子,降低机械性损伤风险,预防足部损伤,降低糖尿病足的发生风险^[24]。

3.3 各模型的比较 本研究采用 logistic 回归、决策树、支持向量机、随机森林和极端梯度提升 5 种机器学习算法构建了 2 型糖尿病患者糖尿病足发病风险预测模型。研究结果显示,训练集上随机森林模型的 AUC、准确率、灵敏度和 F1 分数均高于其他模型,验证集上随机森林模型和极端梯度提升模型的 AUC 最高,AUC 值越接近 1,模型的分类性能越优,识别能力越强,表示模型能准确识别高风险的糖尿病足患者。随机森林模型的 F1 分数明显高于 logistic 回归模型、决策树模型和极端梯度提升模型,略低于支持向量机模型。F1 分数越接近 1,模型的精确度和稳健度越好,表明模型精确率和召回率越均衡,能够减少高风险糖尿病足患者漏诊和低风险糖尿病足误诊^[25]。因此通过综合评估 AUC 和 F1 分数,基于随机森林算法构建的预测模型预测性能最优。临床实践中需要最大限度准确区分高风险的糖尿病患者,这对于糖尿病足早期预防和干预意义重大,同时有助于合理分配医疗卫生保健资源,减少医疗资源浪费。糖尿病足的发生是多因素变量共同作用的结果,随机森林不易受变量共线性影响,处理分类问题具有高稳健性,尤其在准确性和易实施方面具有独特优势,对于结果的解释性更具灵活性,因此具有较高的预测能力^[26]。综上所述,基于随机森林算法构建预测模型能够用于精准筛查识别早期糖尿病足高危人群,为提早干预和预防,降低或延缓糖尿病足发生提供客观支持。

3.4 2 型糖尿病患者糖尿病足发病风险评分表的应用价值分析 本研究将随机森林模型转化成了评分表,将模型中的各个风险因素根据重要性分数进行赋值,形成了 2 型糖尿病患者糖尿病足发病风险评分表,通过最大约登指数确定评分表的最佳截断值为 43 分。此评分表在验证集中的 AUC 为 0.745,具有较高的特异度和准确率,但灵敏度欠佳,可能与本研究为单中心研究有关,预测模型的性能还有待提高。该评分表简便实用,护理人员在使用该表时,应当结

合自身临床经验以及其他发病因素来综合筛查识别糖尿病足高危人群,从而及早地进行早期精准干预,尽可能降低糖尿病足的发生率和漏诊率。

4 结论

本研究发现,2型糖尿病患者糖尿病足的发生率较高,年龄、总胆固醇、吸烟、针刺痛觉、足部皮肤湿冷、足部畸形、趾甲畸形和鞋袜不适是2型糖尿病患者糖尿病足发病的风险因素,提示应高度重视该类人群,开展针对性干预。基于随机森林算法构建的糖尿病足发病风险预测模型预测性能最优,将其转化为评分表后,便于临床护士应用,可帮助其有效识别高危人群并开展个性化预防干预,延缓或减少糖尿病足的发生。本研究是回顾性单中心研究,人群代表性上存在一定不足且缺乏外部验证,转化的评分表的灵敏度较低,今后拟进一步纳入多中心数据,扩大样本量并进行外部验证来优化模型预测性能。

参考文献:

- [1] Sun H, Saeedi P, Karuranga S, et al. IDF Diabetes Atlas: Global, regional and country-level diabetes prevalence estimates for 2021 and projections for 2045 [J]. *Diabetes Res Clin Pract*, 2022, 183: 109119.
- [2] Li Y, Teng D, Shi X, et al. Prevalence of diabetes recorded in mainland China using 2018 diagnostic criteria from the American Diabetes Association: national cross sectional study [J]. *BMJ*, 2020, 369: m997.
- [3] Jiang Y, Wang X, Xia L, et al. A cohort study of diabetic patients and diabetic foot ulceration patients in China [J]. *Wound Repair Regen*, 2015, 23(2): 222-230.
- [4] McDermott K, Fang M, Boulton A J M, et al. Etiology, epidemiology, and disparities in the burden of diabetic foot ulcers [J]. *Diabetes Care*, 2023, 46(1): 209-221.
- [5] Raghav A, Khan Z A, Labala R K, et al. Financial burden of diabetic foot ulcers to world: a progressive topic to discuss always [J]. *Ther Adv Endocrinol Metab*, 2018, 9(1): 29-31.
- [6] 冉倩,田娇,赵锡丽. 糖尿病足发病风险预测模型的研究进展 [J]. *重庆医学*, 2023, 52(15): 2374-2378.
- [7] 兰欣,卫荣,蔡宏伟,等. 机器学习算法在医疗领域中的应用 [J]. *医疗卫生装备*, 2019, 40(3): 93-97.
- [8] Nanda R, Nath A, Patel S, et al. Machine learning algorithm to evaluate risk factors of diabetic foot ulcers and its severity [J]. *Med Biol Eng Comput*, 2022, 60(8): 2349-2357.
- [9] 林令君,郭俊,王俊伟,等. 糖尿病足发病风险预测模型的系统评价 [J]. *中国全科医学*, 2024, 27(3): 357-363, 380.
- [10] 中华医学会糖尿病学分会. 中国2型糖尿病防治指南(2020年版) [J]. *中华糖尿病杂志*, 2021, 13(4): 315-409.
- [11] 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.
- [12] 谢晓冉,徐蓉,张静,等. 糖尿病足风险预测模型的构建与验证 [J]. *护理学杂志*, 2022, 37(11): 9-14.
- [13] Singh N, Armstrong D G, Lipsky B A. Preventing foot ulcers in patients with diabetes [J]. *JAMA*, 2005, 293(2): 217-228.
- [14] 戴薇薇,周秋红,白姣姣,等. 糖尿病足危险因素的多中心筛查及原因分析 [J]. *中国老年学杂志*, 2018, 38(22): 5429-5431.
- [15] Wang J, Xue T, Li H, et al. Nomogram prediction for the risk of diabetic foot in patients with type 2 diabetes mellitus [J]. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2022, 13: 890057.
- [16] 谢晓冉,徐蓉. 糖尿病足发病风险筛查和评估的最佳证据总结 [J]. *护理学杂志*, 2020, 35(24): 90-93.
- [17] 张秋伊,顾淑君,薛雨星,等. 常熟市2型糖尿病患者糖尿病足危险因素分析 [J]. *中国慢性病预防与控制*, 2017, 25(5): 343-345.
- [18] 张丽,杨晓春,刘静雯,等. 中老年2型糖尿病患者并发糖尿病足的危险因素分析及防控健康教育 [J]. *护理实践与研究*, 2020, 17(20): 14-16.
- [19] Yin K, Qiao T, Zhang Y, et al. Unraveling shared risk factors for diabetic foot ulcer: a comprehensive Mendelian randomization analysis [J]. *BMJ Open Diabetes Res Care*, 2023, 11(6): e003523.
- [20] 《多学科合作下糖尿病足防治专家共识》编写组. 多学科合作下糖尿病足防治专家共识(2020版)全版 [J]. *中华烧伤杂志*, 2020, 36(8): E01-E52.
- [21] Yang L, Rong G C, Wu Q N. Diabetic foot ulcer: challenges and future [J]. *World J Diabetes*, 2022, 13(12): 1014-1034.
- [22] 吴然,白姣姣. 基于足踝生物力学的糖尿病足护理研究进展 [J]. *护理学杂志*, 2019, 34(3): 13-16.
- [23] Sato T, Kasuya A, Kobayashi H, et al. A case of an ex vivo onychomycosis model introduced with a cultured colony of *Koeruri koreensis* from a diabetic ingrown toenail [J]. *Med Mycol J*, 2021, 62(4): 89-92.
- [24] 中国中西医结合学会周围血管病专业委员会. 中西医结合防治糖尿病足中国专家共识(第1版) [J]. *血管与腔内血管外科杂志*, 2019, 5(5): 379-402.
- [25] 秦源. 基于机器学习的社区老年人衰弱风险预测模型的构建 [D]. 长春: 吉林大学, 2023.
- [26] Liu H, Zhang X, Liu H, et al. Using machine learning to predict cognitive impairment among middle-aged and older chinese: a longitudinal study [J]. *Int J Public Health*, 2023, 68: 1605322.

(本文编辑 赵梅珍)