

基于神经网络的甲状腺肿瘤复发风险评估模型

罗爱静^{1,3,4,5}, 王哲轩^{1,3,4,5}, 谢文照^{2,3,4,5}, 胡德华³, 徐倩^{1,3,4,5}, 舒泳搏^{1,3,4,5}

1.中南大学湘雅二医院, 湖南长沙410011; 2.中南大学湘雅三医院毕业后医学教育办公室, 湖南长沙410013; 3.中南大学生命科学学院, 湖南长沙410013; 4.医学信息研究湖南省普通高等学校重点实验室(中南大学), 湖南长沙410013; 5.湖南省心血管智能医疗临床医学研究中心, 湖南长沙410011

【摘要】目的:开发基于神经网络的甲状腺肿瘤患者术后复发预测的深度学习模型,并通过外部验证,为临床医生提供可靠的决策支持参考工具。**方法:**基于人工神经网络结构,使用SEER数据库筛选得到的甲状腺肿瘤数据作为训练集,并使用加利福尼亚大学尔湾分校(UCIrvine)公布的开源数据以及来自湖南省某大型三甲医院的100例患者数据进行外部验证。模型通过多项性能指标评估其预测复发的准确性与可靠性。**结果:**实验结果显示,该模型在复发预测中的表现优于Logistic模型。内部验证的具体结果为:准确率0.915 3,召回率0.981 8,精确率0.921 1,F1值为0.947 4;UCIrvine验证集上的具体结果为:准确率0.832 9,召回率0.945 5,精确率0.841 4,F1值为0.890 4,ROC_AUC为0.78;本地验证集的具体结果为:准确率0.870 0,召回率0.880 0,精确率0.862 7,F1值为0.871 3,ROC_AUC为0.80。**结论:**基于人工神经网络的预测模型在甲状腺肿瘤复发预测中表现出色,为临床医生提供有效的辅助决策工具,有助于优化术后治疗方案和提高患者预后管理。

【关键词】甲状腺肿瘤;术后复发;机器学习;人工神经网络

【中图分类号】R318;R736.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2025)07-0974-07

A neural network-based model for predicting thyroid tumor recurrence risk

LUO Aijing^{1,3,4,5}, WANG Zhexuan^{1,3,4,5}, XIE Wenzhao^{2,3,4,5}, HU Dehua³, XU Qian^{1,3,4,5}, SHU Yongbo^{1,3,4,5}

1. The Second Xiangya Hospital of Central South University, Changsha 410011, China; 2. Post-Graduation Education Office, the Third Xiangya Hospital of Central South University, Changsha 410013, China; 3. School of Life Sciences, Central South University, Changsha 410013, China; 4. Key Laboratory of Medical Information Research (Central South University), College of Hunan Province, Changsha 410013, China; 5. Clinical Research Center for Cardiovascular Intelligent Healthcare in Hunan Province, Changsha 410011, China

Abstract: Objective To develop a neural network-based deep learning model for predicting postoperative recurrence in thyroid tumor patients and validate the model with external datasets for providing clinicians with a reliable decision support tool. **Methods** An artificial neural network structure was adopted in the study, with thyroid tumor data from the SEER database serving as the training set. External validation was conducted with open-source data from the University of California, Irvine (UCIrvine), and the data from 100 patients at a general tertiary hospital in Hunan province. The model's accuracy and reliability in predicting recurrence were evaluated through multiple performance metrics. **Results** Experimental results showed that the model outperformed Logistic model in recurrence prediction, with accuracy, recall rate, precision and F1 score reaching 0.915 3, 0.981 8, 0.921 1 and 0.947 4 in internal validation. Moreover, the model achieved accuracies, recall rates, precisions, F1 scores and ROC_AUC values of 0.832 9, 0.945 5, 0.841 4, 0.890 4 and 0.78 on the UCIrvine validation set, while 0.870 0, 0.880 0, 0.862 7, 0.871 3 and 0.80 on the local validation set. **Conclusion** This neural network-based predictive model exhibits excellent performance in thyroid tumor recurrence prediction, providing clinicians with a valuable decision support tool that can help optimize postoperative treatment plans and improve patient prognosis management.

Keywords: thyroid tumor; postoperative recurrence; machine learning; artificial neural network

【收稿日期】2025-02-06

【基金项目】湖南省心血管智能医疗临床医学研究中心(2021SK4005)

【作者简介】罗爱静,博士,教授,博士生导师,研究方向:卫生信息管理、医药信息学,E-mail:luoaj@csu.edu.cn

【通信作者】舒泳搏,博士,研究方向:医药信息学、医学人工智能,E-mail:shuyongbo@csu.edu.cn

前言

甲状腺肿瘤作为内分泌系统中常见的疾病之一,其发病率在近年来呈现上升趋势。据全球范围内的统计数据显示,甲状腺肿瘤的发病率显著增长,已成为内分泌系统恶性肿瘤中较为常见的一种^[1-2]。尽管大多数甲状腺肿瘤属于良性范畴,且手术治疗后预后通常较好,但仍有部分患者在手术后面临复发的风险^[3]。复发的甲状腺肿瘤不仅增加了治疗的复杂性,也可能对患者的生活质量造成不利影响。因此,对于甲状腺肿瘤复发风险的准确预测,对于改善患者预后和制定个性化治疗方案具有重要的临床意义。甲状腺肿瘤的术后复发是一个涉及多种因素的复杂过程,包括肿瘤的生物特性、手术的彻底性、患者的免疫状态以及术后的随访和治疗情况等^[4]。传统的统计方法在处理此类问题时,通常基于数据服从某种特定分布的假设,然而临床数据的复杂性和多变性往往难以满足这些假设条件^[5-6]。

随着人工智能技术的不断进步,机器学习在医学领域的应用日益广泛,尤其在疾病诊断和预后预测方面展现出巨大潜力。在甲状腺肿瘤诊疗领域,机器学习的应用也逐渐受到关注^[7]。已有研究利用机器学习方法对甲状腺肿瘤患者进行相关预测,结果显示其模型的准确率和召回率均优于传统方法^[8-10]。然而,这些研究所使用的数据来源较为单一,缺乏足够可信的外部验证,且采用的模型方法较为落后,效果并不尽如人意。因此,本研究旨在基于已被证实多个癌症复发预测任务中表现出色的人工神经网络结构模型(Artificial Neural Network, ANN),构建甲状腺肿瘤术后复发风险预测模型^[11-13]。该模型使用SEER数据库^[14]中公开的甲状腺肿瘤记录数据集进行训练,为了进一步证明模型的泛化能力,本研究使用来自加利福尼亚大学尔湾分校(UCIrvine)^[15]公开的甲状腺肿瘤数据集作为外部验证。最后,为了验证模型在本地的应用价值,本研究还收集了来自湖南省某大型三甲医院的100例符合要求的甲状腺患者数据进行外部验证。

1 资料与方法

1.1 研究对象

本研究的训练数据集来源于SEER数据库,涵盖了2011年~2021年间甲状腺肿瘤患者的临床及病理资料。在进行数据筛选时,依据既定的纳入与排除标准,从87 191例甲状腺肿瘤患者中筛选出符合条件的患者共计9 670例。纳入标准:(1)患者的临床及病理资料完整无缺;(2)患者的随访资料齐全;(3)经病理确诊为甲状腺肿瘤。排除标准:(1)未接受甲

状腺相关手术治疗或相关信息缺失的患者;(2)术后死亡且死因非甲状腺肿瘤的患者;(3)术后生存状态不明确的患者。

1.2 数据预处理

通过广泛查阅相关文献并咨询医师专家的意见,最终确定了以下9个特征作为模型的输入变量:患者年龄、性别、放射史、组织学类型(包括乳头状、滤泡变异型、髓质型和Hurthle细胞型)、肿瘤病灶特征(单灶性与多灶性)、肿瘤分期,以及TNM分期系统中的T(肿瘤大小)、N(淋巴结转移情况)和M(远处转移情况)参数。输出变量则为患者术后是否复发^[16-19]。

在本研究的数据预处理阶段,针对SEER数据库提供的年龄段信息,研究团队采取将对应年龄段的中位数作为患者具体年龄值的策略。这一方法有助于减少年龄数据的离散性,同时保持数据的代表性。对于存在缺失值的特征数据,研究团队选择剔除处理,以确保后续分析的完整性和准确性。这种处理方式虽然可能导致部分数据的损失,但有助于避免因缺失值导致的分析偏差,确保分析结果的可靠性。为实现特征的标准化处理,本研究依据国际疾病分类第十版(ICD-10)编码对肿瘤的病理学特征进行分类与归纳,从而规范化各类病理学特征的表达,确保数据在分析过程中具备一致性和可比性。此外,本研究还对患者的临床治疗信息进行详细审查,排除那些未接受甲状腺相关手术治疗或缺失相关信息的患者,以及那些术后死亡原因与甲状腺肿瘤无关的病例,以保证研究结果的针对性和可靠性。通过这些严格的数据预处理步骤,本研究旨在为后续的统计分析和结果解释提供一个坚实、准确的数据基础。各变量名称、具体定义如表1所示。

表1 特征名称及含义

Table 1 Feature names and their meanings

名称	定义
年龄	诊断或治疗时患者的年龄
性别	患者的性别(男性或女性)
放射史	任何病症的放射史
病理学 局灶性	通过活检样本的病理学检查确定的特定类型的甲状腺癌 癌症是单灶性(仅限于一个位置)还是多灶性 (存在于多个位置)
T	根据肿瘤大小和侵入附近结构的程度进行肿瘤分类
N	淋巴结分类表明淋巴结受累
M	转移分类,表明是否存在远处转移
分期	癌症的总体分期,通常通过结合T、N和M分类来确定
复发	表明癌症在初始治疗后是否复发

在确保数据质量和分析准确性的前提下,本研究通过严格的筛选流程,最终纳入295例甲状腺肿瘤

复发患者的完整数据。为了维持训练数据集的平衡性,研究团队采取随机抽样的方法,从未复发的甲状腺肿瘤患者群体中同样选取295例数据作为对照组。

1.3 模型构建

在本研究中,所构建的甲状腺肿瘤复发预测模型(Thy-ANN)包含一个输入层,输入的维度与数据集中收集到的特征数量一致。模型的隐藏层设计为两层,每层包含100个神经元,并使用ReLU激活函数以引入非线性特征。隐藏层中引入Dropout层进行正则化,旨在减少过拟合风险。同时隐藏层的神经元通过L2正则化技术进一步增强泛化性能。输入数据在进入隐藏层之前,首先经过批量归一化处理,以确保数据分布的稳定性,提高模型训练的效果。最后,输出层由一个神经元组成,采用Sigmoid激活函数,生成0~1的概率值,输出值 ≥ 0.5 即为正类预测。

在优化策略上,模型最初设置的学习率为0.001。若在5个训练周期内模型性能没有明显提升,学习率将自动降低10倍。若在10个周期后仍无显著改进,将启动提前停止机制,终止训练以防止过拟合。模型使用Adam优化器,确保高效的梯度更新和整体稳定的训练过程。具体模型的结构见图1。

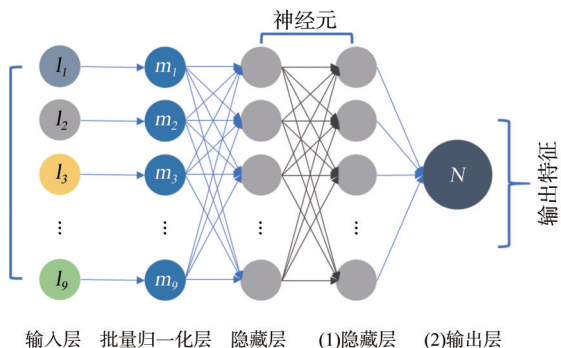


图1 模型结构图

Figure 1 Model structure diagram

本阶段研究在Python 3.9.12环境中执行,使用pymadstat 1.1.7、pandas 1.3.5和numpy 1.22.4等工具进行数据清理。模型的开发和测试阶段使用scikit-learn 1.0.2和autogluon 0.4.2完成。此外,还部署了matplotlib 3.5.2和seaborn 0.12.2用于数据可视化。

2 结果

2.1 样本统计分析

本研究共纳入1 073例研究对象,其中590例患者的数据来源于SEER数据库,383例患者的数据则来自UCIrvine,还有100例患者数据来源于湖南省某

大型三甲医院。研究团队对SEER数据库中的甲状腺疾病数据进行深入挖掘,并对患者术后复发与未复发情况进行系统的统计分析。针对每个分类变量,本研究进行详尽的统计汇总,尤其重点分析甲状腺肿瘤患者术后复发的情况。首先,依据复发与否对所有分类变量进行汇总,旨在揭示两组人群在不同特征上的分布差异。具体分析内容涵盖患者的性别、放射治疗史、病理类型、肿瘤的局限性、肿瘤分期(T)、淋巴结受累情况(N)、远处转移情况(M)以及整体分期等关键特征,具体分析结果见表2。对于外部验证集,本研究也参考来自SEER的数据集进行相关变量统计与分类,分析结果详见表3和表4。

本研究的训练数据集特征如表2所示,患者中女性比例明显较高,占总数的66.61%。在病理亚型方面,甲状腺乳头状癌为最主要的类型,包括微乳头型甲状腺癌和乳头状甲状腺癌,共覆盖了病例的63.90%;第二高的是滤泡变异型乳头状甲状腺癌,占比18.47%;此外,甲状腺滤泡癌、髓样甲状腺癌、Hurthle细胞癌分别占6.95%、5.93%和4.75%。肿瘤灶性方面,单灶性病变患者占比为85.76%。进一步分析表明,患者中处于疾病I期的比例最高,达到41.53%;而处于II期、III期和IV期的患者分别占6.78%、15.08%和36.61%。

本研究的两个外部验证数据集分布如表3、表4所示,在来自UCIrvine数据集的患者中,女性占比高达81.46%。病理亚型分析显示,甲状腺乳头状癌仍为最常见的类型,乳头状甲状腺癌和微乳头状甲状腺癌占总病例的87.47%,而甲状腺滤泡癌和Hurthle细胞癌,分别占7.31%和5.22%。此外,64.49%的患者呈现单灶性病变。特别值得关注的是,大多数患者(86.95%)处于疾病的I期,而II期、III期和IV期的患者分别占8.36%、1.04%和3.66%。在来自湖南省某三甲医院的数据集中,女性患者占比达到78%。病理亚型分析显示,乳头状甲状腺癌和微乳头型甲状腺癌为共占总病例的92%,剩下为滤泡型甲状腺癌和Hurthle细胞癌,分别占7%和1%。此外,63%的患者为单灶性病变。从疾病阶段来看,大多数患者(69%)处于疾病的I期,而II期、III期和IV期的患者分别占10%、5%和16%。

值得一提的是,训练数据集中的变量类别多于两种外部验证集,这说明训练集中的特征类别更为丰富。

2.2 模型结果

为全面评估模型的性能,选用准确率、精确率、召回率以及F1分数作为评价指标。此外,还引入传统回归模型作为对照组,分别在内部验证集与外部验证集上进行严格的验证分析,以确保结果的可靠

表2 训练数据集分类频数

Table 2 Classification frequency of the training dataset

原始参数名称	中文标注	未复发	复发
Gender_F	女性	244	149
Gender_M	男性	51	146
Radiotherapy History_No	无放射治疗史	146	78
Radiotherapy History_Yes	有放射治疗史	149	217
Types of Thyroid Cancer (Pathology)_Follicular	滤泡型甲状腺癌	15	26
Types of Thyroid Cancer (Pathology)_Hurthel cell	Hurthle细胞型甲状腺癌	5	23
Types of Thyroid Cancer (Pathology)_Papillary with Follicular Variant	滤泡变异型乳头状甲状腺癌	59	50
Types of Thyroid Cancer (Pathology)_Micropapillary	微乳头型甲状腺癌	55	19
Types of Thyroid Cancer (Pathology)_Papillary	乳头状甲状腺癌	153	150
Types of Thyroid Cancer (Pathology)_Medullary	髓样甲状腺癌	8	27
Focality_Multi-Focal	多灶性	14	70
Focality_Uni-Focal	单灶性	281	225
T ₁	肿瘤不超过3 cm	169	44
T _{1a}	肿瘤不超过1 cm	90	21
T _{1b}	肿瘤大于1 cm但不超过2 cm	79	23
T ₂	肿瘤大于3 cm但不超过5 cm	60	29
T ₃	肿瘤大于5 cm但不超过7 cm	59	115
T ₄	肿瘤大于7 cm	7	107
T ₄ NOS(s)	肿瘤大于7 cm且未另作说明	0	1
T _{4a}	肿瘤大于7 cm且已长出甲状腺	7	50
T _{4b}	肿瘤大于7 cm且肿瘤侵入邻近结构	0	56
N ₀	无区域淋巴结转移	218	120
N _{1a}	颈部中央区域淋巴结转移	38	48
N _{1b}	颈部侧区域淋巴结转移	32	114
N ₁ NOS	区域淋巴结有转移,转移情况未知	7	10
NX	转移情况无法评估	0	3
M ₀	无远处转移	291	215
M ₁	有远处转移	4	80
Stage_First-Stage	第一阶段	217	28
Stage_Second-Stage	第二阶段	26	14
Stage_Third-Stage	第三阶段	33	56
Stage_IVA	IVA阶段	17	89
Stage_IVB	IVB阶段	0	27
Stage_IVC	IVC阶段	2	78
Stage_IVNOS	IV阶段未评估	0	3
Recurred_No	未复发	295	0
Recurred_Yes	复发	0	295

性与普适性。图2~图4的结果显示,本模型在内部验证集和外部验证集上的整体性能均优于传统回归模型。图5和图6进一步展示了两种模型在两个验证集上的表现性能对比,通过ROC曲线清晰呈现了性能差异。

3 讨论

本研究基于神经网络构建了甲状腺癌患者复发风险的预测模型,结果表明无论在内部验证集还是两个外部验证集上,模型的表现均优于传统回归模型,展现出出色的泛化能力。有许多研究已经证明神经网络结构在肿瘤预测任务之中的优势^[20-21]。基于神经网络的模型具有强大的特征学习能力和非线

性建模能力,可以自动从复杂的医学数据中提取有效特征,而不依赖人工设定特征集,能够捕捉到传统模型难以处理的高阶特征交互与潜在的非线性关系^[22]。

本模型通过多层结构逐步提炼信息,更好地适应肿瘤病理特征和患者个体差异等复杂生物学机制。Dropout正则化技术(如Dropout和L2正则化)避免模型过拟合,进一步提高其在不同数据集上的稳健性^[23]。因此,该神经网络模型在癌症复发和预后预测任务中展现出比传统回归模型更优越的性能,尤其在多特征、非线性和高维数据处理上表现尤为突出。模型的结果显示,其在内部验证集上表现优于外部验证集。参考了其他使用SEER数据库的研究

表 3 UC Irvine 外部数据集分类频数
Table 3 Classification frequency of UC Irvine external dataset

原始参数名称	中文标注	No	Yes
Gender_F	女性	246	66
Gender_M	男性	29	42
Radiotherapy History_No	无放射治疗史	274	102
Radiotherapy History_Yes	有放射治疗史	1	6
Types of Thyroid Cancer (Pathology)_Follicular	滤泡型甲状腺癌	16	12
Types of Thyroid Cancer (Pathology)_Hurthel cell	Hurthle 细胞型甲状腺癌	14	6
Types of Thyroid Cancer (Pathology)_Micropapillary	微乳头型甲状腺癌	48	0
Types of Thyroid Cancer (Pathology)_Papillary	乳头状甲状腺癌	197	90
Focality_Multi-Focal	多灶性	66	70
Focality_Uni-Focal	单灶性	209	38
Tumor_tumor that is 1 cm or smaller	肿瘤不超过 1 cm	48	1
Tumor_tumor larger than 1 cm but not larger than 2 cm	肿瘤大于 1 cm 但不超过 2 cm	38	5
Tumor_tumor larger than 3 cm but not larger than 5 cm	肿瘤大于 3 cm 但不超过 5 cm	131	20
Tumor_tumor larger than 5 cm but not larger than 7 cm	肿瘤大于 5 cm 但不超过 7 cm	57	55
The tumor is larger than 7 cm and has extended beyond the thyroid gland.	肿瘤大于 7 cm 且已长出甲状腺	1	19
The tumor is larger than 7 cm and has invaded adjacent structures.	肿瘤大于 7 cm 且肿瘤侵入邻近结构	0	8
Lymph Nodes_no evidence of regional lymph node metastasis	无区域淋巴结转移	241	27
Lymph Nodes_regional lymph node metastasis in the central of the neck	颈部中央区域淋巴结转移	12	10
Lymph Nodes_regional lymph node metastasis in the lateral of the neck	颈部侧区域淋巴结转移	22	71
Cancer Metastasis_no evidence of distant metastasis	无远处转移	275	90
Cancer Metastasis_the presence of distant metastasis	有远处转移	0	18
Stage_First-Stage	第一阶段	268	65
Stage_Second-Stage	第二阶段	7	25
Stage_Third-Stage	第三阶段	0	4
Stage_IVA	IVA 阶段	0	3
Stage_IVB	IVB 阶段	0	11
Recurred_No	未复发	275	0
Recurred_Yes	复发	0	108

表 4 本地外部数据集分类频数
Table 4 Classification frequency of local external dataset

原始参数名称	中文标注	No	Yes
Gender_F	女性	62	16
Gender_M	男性	14	8
Radiotherapy History_No	无放射治疗史	74	20
Radiotherapy History_Yes	有放射治疗史	2	4
Types of Thyroid Cancer (Pathology)_Follicular	滤泡型甲状腺癌	4	3
Types of Thyroid Cancer (Pathology)_Hurthel cell	Hurthle 细胞型甲状腺癌	0	1
Types of Thyroid Cancer (Pathology)_Micropapillary	微乳头型甲状腺癌	2	3
Types of Thyroid Cancer (Pathology)_Papillary	乳头状甲状腺癌	70	17
Focality_Multi-Focal	多灶性	21	16
Focality_Uni-Focal	单灶性	55	8
Tumor_tumor that is 1 cm or smaller	肿瘤不超过 1 cm	12	0
Tumor_tumor larger than 1 cm but not larger than 2 cm	肿瘤大于 1 cm 但不超过 2 cm	4	0
Tumor_tumor larger than 3 cm but not larger than 5 cm	肿瘤大于 3 cm 但不超过 5 cm	50	8
Tumor_tumor larger than 5 cm but not larger than 7 cm	肿瘤大于 5 cm 但不超过 7 cm	7	6
The tumor is larger than 7 cm and has extended beyond the thyroid gland.	肿瘤大于 7 cm 且已长出甲状腺	2	7
The tumor is larger than 7 cm and has invaded adjacent structures.	肿瘤大于 7 cm 且肿瘤侵入邻近结构	1	3
Lymph Nodes_no evidence of regional lymph node metastasis	无区域淋巴结转移	73	9
Lymph Nodes_regional lymph node metastasis in the central of the neck	颈部中央区域淋巴结转移	0	8
Lymph Nodes_regional lymph node metastasis in the lateral of the neck	颈部侧区域淋巴结转移	3	7
Cancer Metastasis_no evidence of distant metastasis	无远处转移	76	20
Cancer Metastasis_the presence of distant metastasis	有远处转移	0	4
Stage_First-Stage	第一阶段	69	0
Stage_Second-Stage	第二阶段	4	6
Stage_Third-Stage	第三阶段	0	5
Stage_IVA	IVA 阶段	0	2
Stage_IVB	IVB 阶段	3	11
Recurred_No	未复发	76	0
Recurred_Yes	复发	0	24

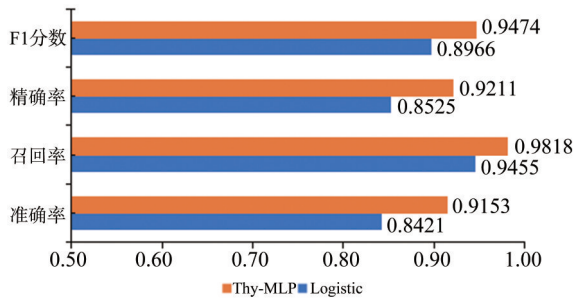


图2 内部验证结果

Figure 2 Internal validation results

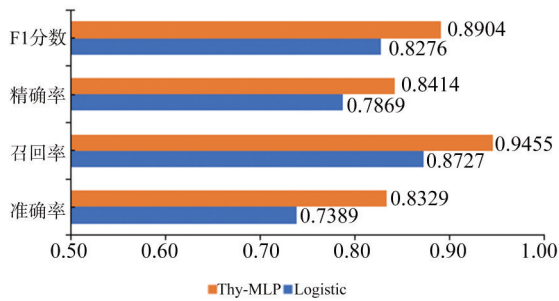


图3 UC Irvine 数据集验证结果

Figure 3 Validation results on the UC Irvine dataset

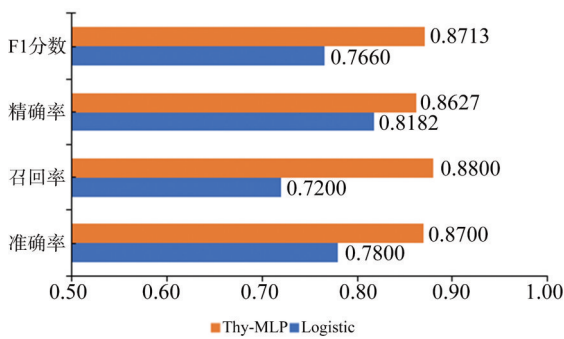


图4 本地数据集验证结果

Figure 4 Validation results on the local dataset

之后,本研究认为这一现象与数据库之间存在的样本差异有关^[24-26]。首先,SEER数据库的患者来源广泛,涵盖了来自不同地区的多样化人群,病理特征相对均衡;而UC Irvine数据库和本地数据集中的患者集中于特定医疗机构,晚期甲状腺癌病例或具有特殊病理特征的患者比例较高。这种特定群体的集中性使模型在外部验证集上难以达到在内部验证集中的稳定表现。其次,SEER数据库、本地数据集和UC Irvine数据库在数据采集和标注标准上存在显著差异。SEER数据库具有全国性覆盖,遵循统一的标准流程,而UC Irvine数据库在诊断方式、病理报告记录上有所不同,本地数据集则基于电子病历本

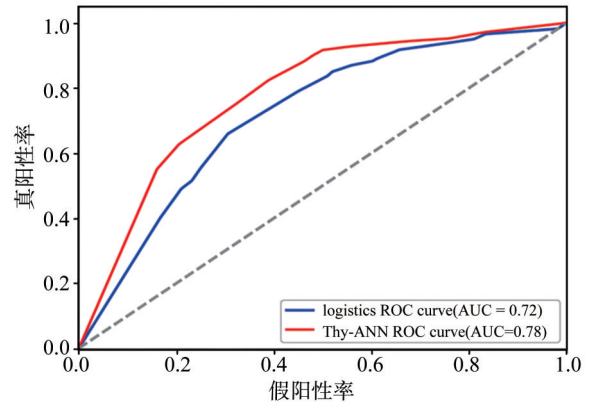


图5 UC Irvine 验证数据集受试者工作特征曲线图

Figure 5 ROC-AUC curves on UC Irvine validation dataset

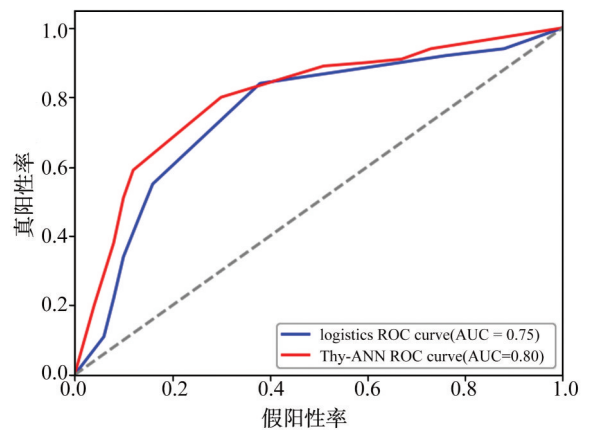


图6 本地验证数据集受试者工作特征曲线图

Figure 6 ROC-AUC curves on local validation dataset

结构,由研究者手动提取和整理为结构化数据,这一过程中可能引入误差。这些不一致的标注和记录方式使模型在外部验证集中难以适应数据分布上的变化。最后,样本量差异也影响模型的泛化能力。SEER数据库样本量较大,涵盖广泛特征模式,使模型能够更好地进行特征学习;而UC Irvine和本地数据集样本较少且偏向特定病例,尤其是本地数据集仅包含100个样本,随机性较大。在分类不平衡或数据分布差异显著时,这一特性容易导致性能波动和ROC-AUC曲线的不稳定。

综上所述,本文基于SEER数据库的甲状腺癌患者数据构建了复发风险预测模型,取得良好的效果,并通过引入外部验证集验证模型的稳健性和泛化能力。模型预测结果的透明化有助于临床医生更好地理解复发风险的关键因素,从而增强对模型的信任。同时,模型所展示出来的个性化预测能力,在一定程度上有助于医生制定更精准的复发预防方案,从而

提升治疗效果并降低复发风险。尽管本研究在模型构建和验证方面取得重要进展,仍存在一些局限性,特别是训练数据集的规模和质量对模型性能产生较大影响,限制其泛化能力和预测效果。未来研究中,增加样本量并丰富患者特征将是改进模型的关键方向,以进一步提升其在实际应用中的表现。

【参考文献】

- [1] Megwalu UC, Moon PK. Thyroid cancer incidence and mortality trends in the United States: 2000-2018[J]. *Thyroid*, 2022, 32(5): 560-570.
- [2] Vaccarella S, Lortet-Tieulent J, Colombet M, et al. Global patterns and trends in incidence and mortality of thyroid cancer in children and adolescents: a population-based study[J]. *Lancet Diabetes Endocrinol*, 2021, 9(3): 144-152.
- [3] Chan S, Karamali K, Kolodziejczyk A, et al. Systematic review of recurrence rate after hemithyroidectomy for low-risk well-differentiated thyroid cancer[J]. *Eur Thyroid J*, 2020, 9(2): 73-84.
- [4] Hutchinson KA, Guerra A, Payne AE, et al. Risk factors associated with reoperative surgery for thyroid malignancies: a retrospective cohort study[J]. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2023, 168(3): 392-397.
- [5] Grogan RH, Kaplan SP, Cao HY, et al. A study of recurrence and death from papillary thyroid cancer with 27 years of median follow-up[J]. *Surgery*, 2013, 154(6): 1436-1447.
- [6] Ohle R, O'Reilly F, O'Brien KK, et al. The Alvarado score for predicting acute appendicitis: a systematic review[J]. *BMC Med*, 2011, 9: 139.
- [7] Guo YY, Li ZJ, Du C, et al. Machine learning for identifying benign and malignant of thyroid tumors: a retrospective study of 2,423 patients[J]. *Front Public Health*, 2022, 10: 960740.
- [8] Park YM, Lee BJ. Machine learning-based prediction model using clinico-pathologic factors for papillary thyroid carcinoma recurrence[J]. *Sci Rep*, 2021, 11(1): 4948.
- [9] Lai SW, Fan YL, Zhu YH, et al. Machine learning-based dynamic prediction of lateral lymph node metastasis in patients with papillary thyroid cancer[J]. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2022, 13: 1019037.
- [10] Dell'Era V, Perotti A, Starnini M, et al. Machine learning model as a useful tool for prediction of thyroid nodules histology, aggressiveness and Treatment-Related complications[J]. *J Pers Med*, 2023, 13(11): 1615.
- [11] Zhong ZH. A gentle introduction to artificial neural networks[J]. *Ann Transl Med*, 2016, 4(19):370.
- [12] Agrawal S, Agrawal J. Neural network techniques for cancer prediction: a survey[J]. *Procedia Comput Sci*, 2015, 60: 769-774.
- [13] Muhammad W, Hart GR, Nartowt B, et al. Pancreatic cancer prediction through an artificial neural network[J]. *Front Artif Intell*, 2019, 2: 2.
- [14] Gloeckler Ries LA, Reichman ME, Lewis DR, et al. Cancer survival and incidence from the surveillance, epidemiology, and end results (SEER) program[J]. *Oncologist*, 2003, 8(6): 541-552.
- [15] Borzooei S, Tarokhian A. Differentiated thyroid cancer recurrence [EB/OL]. (2023-10-30). <https://archive.ics.uci.edu/dataset/915/differentiated+thyroid+cancer+recurrence>.
- [16] 周余,程若川. 甲状腺乳头状癌预后预测因素的研究进展[J]. *中国普外基础与临床杂志*, 2020, 27(8): 1028-1032.
Zhou Y, Cheng RC. Advances in the study of prognostic factors for papillary thyroid carcinoma[J]. *Chinese Journal of Bases and Clinics in General Surgery*, 2020, 27(8): 1028-1032.
- [17] Lan XB, Sun W, Zhang H, et al. A meta-analysis of central lymph node metastasis for predicting lateral involvement in papillary thyroid carcinoma[J]. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2015, 153(5): 731-738.
- [18] Yan HH, Zhou XQ, Jin H, et al. A study on central lymph node metastasis in 543 cN0 papillary thyroid carcinoma patients[J]. *Int J Endocrinol*, 2016, 2016: 1878194.
- [19] Chéreau N, Buffet C, Trésallet C, et al. Recurrence of papillary thyroid carcinoma with lateral cervical node metastases: predictive factors and operative management[J]. *Surgery*, 2016, 159(3): 755-762.
- [20] Thomas T, Pradhan N, Dhaka VS. Comparative analysis to predict breast cancer using machine learning algorithms: a survey[C]// 2020 International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT). Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2020: 192-196.
- [21] Desai M, Shah M. An anatomization on breast cancer detection and diagnosis employing multi-layer perceptron neural network (MLP) and Convolutional neural network (CNN)[J]. *Clin eHealth*, 2021, 4: 1-11.
- [22] Samek W, Montavon G, Lapuschkin S, et al. Explaining deep neural networks and beyond: a review of methods and applications[J]. *Proc IEEE*, 2021, 109(3): 247-278.
- [23] Ying X. An overview of overfitting and its solutions[J]. *J Phys Conf Ser*, 2019, 1168(2): 022022.
- [24] Guo ZT, Tian K, Xie XY, et al. Machine learning for predicting distant metastasis of medullary thyroid carcinoma using the SEER database[J]. *Int J Endocrinol*, 2023, 2023: 9965578.
- [25] 陈鑫明,赵平武,唐红,等. 手术治疗对胃鳞状细胞癌患者预后的影响:基于SEER数据库的倾向评分匹配分析[J]. *中国普通外科杂志*, 2024, 33(7): 1133-1141.
Chen XM, Zhao PW, Tang H, et al. Impact of surgical treatment on the prognosis of gastric squamous cell carcinoma patients: a propensity score matching analysis based on the SEER database[J]. *Chinese Journal of General Surgery*, 2024, 33(7): 1133-1141.
- [26] Shi WY, Wu WM, Zhang LY, et al. Prognosis of thyroid carcinoma patients with osseous metastases: an SEER-based study with machine learning[J]. *Ann Nucl Med*, 2023, 37(5): 289-299.

(编辑:陈丽霞)