

基于BP神经网络与行为学损伤的阿尔茨海默病预测模型构建与分析

刘淑娟 陈迟到 黄忠浩

齐鲁医药学院

DOI:10.32629/ffcr.v4i2.19972

[摘要] 目的: 探讨将行为学损伤特征与BP神经网络相结合用于阿尔茨海默病(AD)患者预测的可行性与性能分析,并构建与验证相应的预测模型。方法: 本研究基于阿尔茨海默病神经影像计划(ADNI)数据库,选取242名受试者作为研究对象,其中阿尔茨海默病(AD)106例、认知正常(CN)136例。所有受试者均具备完整行为学评分及人口学信息。以BP神经网络为主要分类器,采用交叉验证进行模型训练、超参数调优与稳健性评估;此外,本研究基于SHAP方法对BP神经网络模型的特征重要性进行了可视化分析。结果: 模型的分类性能较好,准确率为84.5%。SHAP分析显示,冷漠(NPIG)对AD预测贡献最高,是模型中最重要的特征。结论: 基于BP神经网络的行为学损伤特征预测模型可较稳定、准确地识别阿尔茨海默病风险,其中冷漠、抑郁、食欲与进食障碍等行为学指标具有重要预测价值。

[关键词] BP神经网络; 阿尔茨海默病; 行为学损伤; 预测模型

中图分类号: Q189 文献标识码: A

Construction and Analysis of a Predictive Model for Alzheimer's Disease Based on BP Neural Network and Behavioral Impairment

Shujuan Liu Chidao Chen Zhonghao Huang

Qilu Medical University

[Abstract] Objective: To investigate the feasibility and performance analysis of combining behavioral impairment features with a BP neural network for predicting Alzheimer's disease (AD), and to construct and validate a corresponding predictive model. Methods: Based on data from the Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative (ADNI) database, a total of 242 subjects were enrolled in this study, including 106 patients with Alzheimer's disease (AD) and 136 cognitively normal (CN) controls. All subjects had complete behavioral assessment scores and demographic information. The BP neural network was employed as the primary classifier, and cross-validation was used for model training, hyperparameter tuning, and robustness evaluation. Additionally, the SHAP method was applied to visualize the feature importance of the BP neural network model. Results: The model demonstrated good classification performance, achieving an accuracy of 84.5%. SHAP analysis revealed that apathy (NPIG) contributed the most to AD prediction and was the most important feature in the model. Conclusion: The predictive model based on BP neural network and behavioral impairment features can stably and accurately identify the risk of Alzheimer's disease, among which behavioral indicators such as apathy, depression, and appetite/eating disorders hold significant predictive value.

[Key words] BP neural network; Alzheimer's disease; behavioral impairment; predictive model

引言

阿尔茨海默病(Alzheimer's disease, AD)是一种以进行性认知功能减退为主要特征的神经退行性疾病,严重影响患者生活质量并给社会和家庭带来沉重负担^[1]。随着人口老龄化加

剧,AD的早期识别与风险预测已成为临床研究的重要方向。传统诊断主要依赖神经心理量表、影像学检查及生物标志物检测,但上述方法在临床推广中仍存在成本高、侵入性强及可及性有限等问题。近年来研究表明,行为学损伤特征作为AD早期常见的

临床表现,在疾病发生与进展过程中具有重要指示意义^[2]。与此同时,人工神经网络在复杂非线性模式识别方面表现出良好性能,为疾病预测提供了新的技术手段。BP神经网络作为一种经典的前馈神经网络模型,已广泛应用于医学数据分析领域^[3]。基于此,本研究拟将行为学损伤特征与BP神经网络相结合,构建阿尔茨海默病预测模型,并通过可解释性分析揭示关键行为学指标的预测价值,以期AD的早期筛查与临床辅助决策提供新的思路。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究基于AD神经影像计划 (ADNI) 数据库 (<https://adni.loni.usc.edu>)。按照既往文献及研究设计要求,选取ADNI队列中55岁以上的受试者作为研究对象。为确保行为学损伤特征的完整性,进一步纳入具备完整NPI (Neuropsychiatric Inventory) 评分、年龄及性别的受试者;缺失NPI项目的受试者予以排除。最终共纳入242名受试者,其中阿尔茨海默病 (AD) 患者106例,认知正常 (CN) 个体136例。所有数据均来自ADNI公共数据库,经匿名化处理,仅用于科研分析。纳入标准:(1)年龄 ≥55岁;(2)临床诊断为AD或CN;(3)NPI行为学评分完整;(4)临床人口学资料齐全。

1.2 统计学方法

采用SPSS 21.0统计软件进行数据分析。符合正态分布的连续型变量以均数±标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示,组间比较采用独立样本t检验,用于评估AD组与CN组之间各特征平均值的差异。设定显著性水平为 $P < 0.05$,当P值小于该阈值时,认为两组差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 统计学分析

统计学分析显示,AD患者的年龄、性别以及NPI评分中的焦虑 (NPIE)、冷漠/漠不关心 (NPIG) 及食欲与进食障碍 (NPIL) 在AD与CN分组间存在显著差异 (均 $P < 0.05$),见表1。

表1 AD vs. CN受试者的特征

项目	CN组 (n=136)	AD组 (n=106)	P 值
Gender	70M/66F	65M/41F	0.046
Age	73.5 ± 6.11	73.9 ± 8.25	0.009
NPIA	0.00 (0 to 0)	1.34 (0 to 9)	0.998
NPIB	0.00 (0 to 0)	0.16 (0 to 1)	0.999
NPIC	0.09 (0 to 4)	1.69 (0 to 8)	0.096
NPID	0.19 (0 to 8)	1.32 (0 to 6)	0.176
NPIE	0.07 (0 to 3)	1.27 (0 to 6)	0.036
NPIF	0.00 (0 to 0)	0.77 (0 to 8)	0.999
NPIG	0.01 (0 to 1)	2.46 (0 to 8)	0.005
NPIH	0.01 (0 to 1)	1.23 (0 to 9)	0.067
NPII	0.19 (0 to 4)	1.95 (0 to 8)	0.427
NPIJ	0.01 (0 to 1)	1.38 (0 to 8)	0.075
NPIK	0.24 (0 to 8)	1.58 (0 to 8)	0.428
NPIL	0.03 (0 to 4)	2.78 (0 to 12)	0.047

注释:NPA=妄想,NPIB=幻觉,NPIC=烦躁/攻击性,NPID=抑郁/忧郁,NPIE=焦虑,NPIF=愉快/欣喜,NPIG=冷漠/漠不关心,NPIH=失抑制,NPII=易怒/情绪不稳定,NPIJ=异常运动行为,NPIK=睡眠,NPIL=食欲和进食障碍。

2.2 BP神经网络模型

以AD状态 (AD=1/CN=0) 为输出变量,以年龄、性别及NPI行为学评分 (NPIA - NPIL) 为输入变量,构建BP神经网络预测模型,模型图如图1所示。模型包含一层隐藏层,节点数为64,激活函数为ReLU^[4],引入了Dropout层^[5],丢弃率设置为0.2,输出层采用Sigmoid激活函数。数据集按8:2划分为训练集与测试集,使用Adam优化函数,其学习率设置为0.001,损失函数采用二元交叉熵,训练轮次为50,批次大小为16。

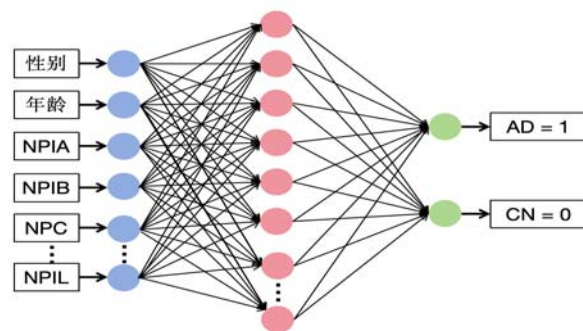


图1 BP神经网络模型预测阿尔茨海默病

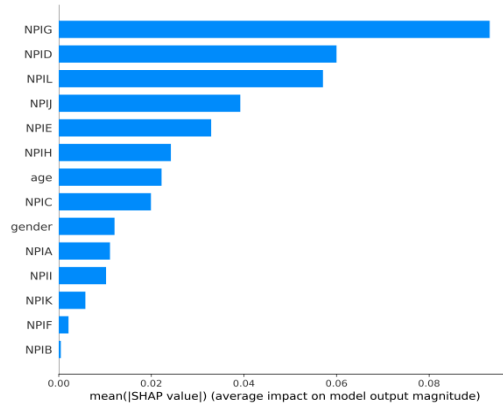
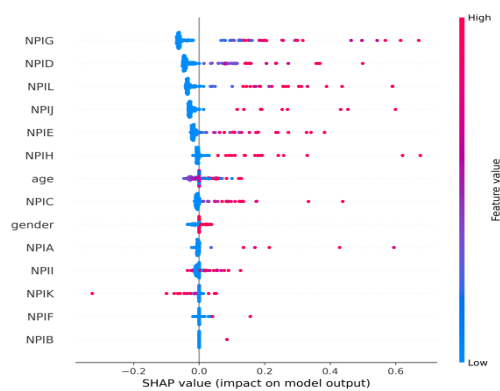


图2 SHAP分析特征重要性结果图

训练结果显示,模型预测准确率为84.5%,精确率为93.2%,召回率为67.9%,F1-Score为78.6%。模型在AD风险预测中具有较高的稳定性与可靠性。基于ROC曲线分析,模型在测试集上的曲线下面积(AUC)为84.1%,提示其对AD与CN的区分能力较好。

2.3 SHAP分析可视化

特征重要性分析结果如图2所示。特征的预测贡献度排序如下:NPIC>NPID>NPIL>NPIJ>NPJE>NPIH>age>NPIC>gender>NPJA>NPJI>NPJK>NPJL>NPJM>NPJN>NPJO>NPJP>NPJQ>NPJR>NPJS>NPJT>NPJU>NPJW>NPJX>NPJY>NPJZ>NPJA。具体而言,冷漠对模型输出的贡献最为显著,显示出其在AD状态判别中的关键作用。幻觉的贡献度相对最低。在神经精神行为症状中,冷漠、异常运动行为及食欲障碍对AD风险的识别具有关键判别价值,其重要性高于年龄与性别等人口学因素。

3 讨论

本研究基于ADNI数据库构建了以年龄、性别及NPI行为学评分为输入的BP神经网络AD预测模型。研究结果显示,该模型具有良好的预测性能(准确率84.5%,AUC 84.1%),其中冷漠、抑郁、食欲与进食障碍等行为学特征在AD识别中展现出关键预测价值,SHAP分析进一步证实冷漠是最具判别力的核心特征。

传统AD诊断主要依赖认知评估与生物标志物检测,但在临床前阶段及基层医疗场景中,这些方法往往存在实施门槛。本研究发现,以神经精神量表为代表的行为学特征能够有效区分AD与CN状态,其中冷漠在模型中的贡献度最高,这与神经精神症状作为AD早期临床表现的病理生理基础相符——冷漠与额叶边缘系统功能紊乱密切相关,常早于明显的记忆衰退出现,可作为AD早期筛查的敏感行为标志^[6]。通过SHAP方法对模型进行可解释性分析,不仅验证了冷漠等关键特征的临床重要性,还揭示了特征间的交互影响模式,其中异常运动行为与焦虑等特征的重要性排序,为理解AD异质性临床表现提供了量化依据。分析显示,行为学特征的整体预测贡献优于人口学变量,这为AD早期识别提供了新的视角:在缺乏高级影像或体液标志物检测条件时,系统化的行为学评估可作为有效的补充工具。

综上所述,本研究成功构建并验证了一个基于BP神经网络的AD预测模型,证实了行为学特征在AD识别中的重要作用。模型具有良好的区分能力与临床适用性,尤其适用于基层医疗机构或大规模社区筛查场景。未来可通过扩大样本量、纳入多中心数据、结合纵向随访信息等方式进一步优化模型性能,推动AD早期预警向精准化、个体化方向发展。

[参考文献]

- [1]Kawahara J,Brown C J,Miller S P,et al.BrainNetCNN: Convolutional neural networks for brain networks; towards predicting neurodevelopment[J].NeuroImage,2017,146:1038-1049.
- [2]Monastero R,Mangialasche F,Camarda C,et al.A systematic review of neuropsychiatric symptoms in mild cognitive impairment[J].Journal of Alzheimer's disease,2009,18(1):11-30.
- [3]宋媛媛,陈兵,刘静静,等.BP神经网络模型与Logistic回归模型在精神分裂症患者复发影响因素分析中的比较[J].护理学报,2022,29(13):59-65.
- [4]Nair V,Hinton G E.Rectified linear units improve restricted boltzmann machines[C]//Proceedings of the 27th international conference on machine learning(ICML-10).2010:807-814.
- [5]Srivastava N, Hinton G, Krizhevsky A,et al.Dropout: a simple way to prevent neural networks from overfitting[J].The journal of machine learning research,2014,15(1):1929-1958.
- [6]Robert P, Lanctôt K L, Agüera-Ortiz L, et al. Is it time to revise the diagnostic criteria for apathy in brain disorders? The 2018 international consensus group[J].European Psychiatry, 2018,54:71-76.

作者简介:

刘淑娟(1998--),女,汉族,山东淄博人,研究生,齐鲁医药学院教师,研究方向:医学图像处理、计算机视觉。