· 流行病学研究 ·

青少年睡眠质量与抑郁症状关系的随访研究：基于 XGBoost 模型预测

朱元忠[1]，郭燕[2]，余清雅[1]，柯思思[2]，肖琛嫦[3]，杨银梅[4]，燕虹[1]，俞斌[1]

1. 武汉大学公共卫生学院流行病与卫生统计学系，武汉 430071；
2. 武汉市疾病预防控制中心，武汉 430024；
3. 武汉城市学院医学部，武汉 430083；
4. 郑州大学公共卫生学院，郑州 450052
通信作者：俞斌，E-mail：binyu1029@whu.edu.cn

【摘　要】目的 探究青少年睡眠质量不同维度对抑郁症状的影响，为青少年抑郁症状的预防提供参考依据。**方法** 于 2023 年 9—11 月，采用分层整群抽样方法随机抽取武汉市初中、高中、职高各 2 所共 2 373 名青少年进行基线调查。并于 2024 年 9—11 月进行随访，使用匹兹堡睡眠质量指数量表（PSQI）、流行病学调查中心抑郁量表（CES-D）进行调查。采用最小绝对收缩和选择算子回归（LASSO）筛选影响因素，使用梯度增强决策树算法（XGBoost）构建预测模型，以受试者工作曲线下面积（AUC）评估预测效能。**结果** 武汉市青少年基线调查和随访时的抑郁症状检出率分别为 31.73%、32.28%。PSQI 总分［中位数（四分位距）］为 4（2～6）分。随访时有抑郁症状者的 PSQI 总分（5 分）、入睡时间得分（1 分）和日间功能障碍得分（2 分）显著高于无抑郁症状者的 3、0、1 分（均 P<0.05）。LASSO 回归结果显示，基线抑郁症状（β=0.15）、日间功能障碍（β=0.04）、入睡时间（β=0.02）、睡眠障碍（β=0.02）是随访抑郁症状的影响因素，预测模型的 AUC 值为 0.775（95%*CI*=0.739～0.812）。基线抑郁症状和日间功能障碍对随访抑郁症状的影响最大（贡献度分别为 0.36、0.20），两者交互效应值为 0.022（95%*CI*=0.020～0.023）。**结论** 日间功能障碍是预测青少年未来抑郁症状的关键睡眠风险因素，且与基线抑郁症状存在交互作用，显著放大其后续抑郁风险。

【关键词】 青少年；睡眠质量；抑郁症状；机器学习；日间功能障碍；抑郁量表；武汉市

Predicting depressive symptoms from sleep quality in adolescents: a longitudinal study using the XGBoost algorithm

ZHU Yuanzhong[1], GUO Yan[2], YU Qingya[1], KE Sisi[2], XIAO Chenchang[3], YANG Yinmei[4], YAN Hong[1], YU Bin[1] (*1. Department of Epidemiology and Health Statistics*, *School of Public Health*, *Wuhan University*, *Wuhan* 430071, *China*; *2. Wuhan Center for Disease Control and Prevention*, *Wuhan* 430024, *China*; *3. Department of Medicine*, *City University of Wuhan*, *Wuhan* 430083, *China*; *4. College of Public Health*, *Zhengzhou University*, *Zhengzhou* 450052, *China*)
Corresponding author: YU Bin, E-mail: binyu1029@whu.edu.cn

【Abstract】 Objective To investigate the impacts of different dimensions of sleep quality on depressive symptoms among adolescents, thus providing evidence for the prevention of depressive symptoms among adolescents. **Methods** A baseline survey was conducted from September to November 2023 for 2 373 adolescents selected by stratified cluster sampling from two junior high schools, two senior high schools, and two vocational high schools in Wuhan city. A follow-up survey was conducted from September to November 2024. The Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) and the Center for Epidemiologic Studies Depression Scale (CES-D) were used for the investigation. The Least Absolute Shrinkage and Selection Operator (LASSO) regression was employed to screen the influencing factors, and the eXtreme Gradient Boosting (XGBoost) algorithm was adopted to construct a prediction model. The prediction performance was evaluated by the area under the curve (AUC). **Results** The detection rates of depressive symptoms among adolescents in Wuhan were 31.73% at baseline and 32.28% at the one-year follow-up. The median (interquartile range) PSQI total score was 4 (2–6). Adolescents with depressive symptoms at follow-up had higher PSQI total score (5 vs. 3), sleep latency subscale score (1 vs. 0), and daytime dysfunction subscale score (2 vs. 1) than those without depressive symptoms (all P < 0.05). LASSO regression results indicated that baseline depressive symptoms (β = 0.15), daytime dysfunction (β = 0.04), sleep latency (β = 0.02), and sleep disturbances (β = 0.02) were influencing factors for follow-up depressive symptoms. The prediction model achieved an AUC of 0.775 (95%*CI*: 0.739–0.812). Baseline depressive symptoms and

开放获取：CC BY-NC-ND 4.0 DOI：10.11847/zgggws1149123
基金项目：国家自然科学基金青年基金（82204073）；教育部人文社科青年基金（22YJC840037）；武汉市预防医学科研专项（WY22B09）；郑州市 2025 年度社科调研课题（ZSLX20250404）
第一作者：朱元忠（2001—），硕士在读，研究方向：精神健康流行病学。
收稿日期：2025-10-21　修回日期：2026-01-19　录用日期：2026-03-30
利益冲突：不存在　伦理审查：已获取　出版授权：全体作者已与编辑部签署作者贡献声明及版权转让协议

daytime dysfunction had the greatest impacts on follow-up depressive symptoms (with contributions of 0.36 and 0.20, respectively), and their interaction effect value was 0.022 (95%*CI*: 0.020–0.023). **Conclusions** Daytime dysfunction is a key sleep-related risk factor for future depressive symptoms among adolescents. It interacts with baseline depressive symptoms, significantly amplifying the risk of subsequent depression.

【**Keywords**】 adolescents; sleep quality; depressive symptoms; machine learning; daytime dysfunction; CES-D; Wuhan city

抑郁症状是影响青少年心理健康发展的公共卫生问题。2024 年世界卫生组织报告显示，15～19 岁青少年抑郁症检出率达 3.4%[1]，我国儿童青少年抑郁症状总体患病率为 26.2%[2]。青少年抑郁症状不仅影响其学业表现，也与自伤、自杀等风险行为相关，亟待开展有效防控。睡眠问题是影响抑郁症状的重要因素，但是现有研究多关注睡眠质量整体评估或单一维度[3]，传统统计方法易受共线性干扰，且假设线性关系限制了复杂关联的探索[4]。基于此，本研究于 2023 年 9—11 月对湖北省武汉市 2 373 名中学生进行问卷调查，2024 年 9—11 月进行随访。采用梯度增强决策树算法（extreme gradient boosting, XGBoost）构建预测模型[5]，分析不同维度睡眠质量与抑郁症状的关联，并量化其预测重要性，以期为青少年抑郁症状的精准预防提供依据。

1 对象与方法

1.1 对象　于 2023 年 9—11 月，在武汉市采用分层整群抽样方法随机选取初中、高中、职高各 2 所，再从每所学校的一年级随机抽取 5～8 个班级，以班级为单位建立前瞻性研究队列并进行基线调查，2024 年 9—11 月进行追踪随访。收集同一批研究对象的相关信息，以分析其睡眠质量与抑郁症状随时间的动态变化。研究对象纳入标准：（1）自愿参与调查并取得监护人知情同意；（2）基线调查前 1 年（2022 年 9 月—2023 年 8 月）居住地稳定，随访期间不会从居住地迁移；（3）有足够的理解能力，可以独立或者在调查员的协助下完成问卷调查。排除标准：认知能力受限者（由于智力障碍、学习障碍等健康问题无法理解或完成问卷调查）。共回收调查问卷 2 401 份，删除缺失、无效数据后，有效问卷 2 373 份，有效回收率为 98.83%。本研究获武汉大学生命医学伦理委员会审批（批准号：IRB2022006）。

1.2 调查方法　本次调查在获得学生及家长知情同意的前提下开展。基线调查内容包括学生的一般资料、睡眠质量及抑郁症状；随访调查聚焦于睡眠质量与抑郁症状的当前状况。2 次调查均采用线下纸质问卷形式，由经培训的调查员在教室内统一发放问卷，现场说明研究目的与保密原则后，由学生独立填写并当场回收。为保障研究质量，本研究实施了全流程质量控制。在设计阶段，通过广泛查阅文献和咨询相关领域专家来优化问卷内容并进行预调查，根据反馈调整问卷。在调查阶段，对调查员进行标准化培训，对问卷进行严格的质量审核。在数据录入阶段，使用 Epi-Data 3.1 双人双录入和 Excel 逻辑核查确保数据准确无误。

1.3 测量工具

1.3.1 人口学特征调查问卷　自行设计调查问卷，内容包括性别、年龄、学段、生源地、留守经历、家庭经济情况、父母关系、是否住校、是否重点班、是否担任班干部、成绩班级排名、学校适应、童年期不良经历、负性生活事件等。留守经历定义为 16 周岁前，因父母一方或双方外出务工，被留在户籍所在地，未与父母一起生活，且留守时间≥6 个月[6]。家庭经济情况通过问题“你觉得你的家庭经济情况与班级其他同学相比如何”自评；父母关系通过问题“你觉得你的父母关系如何”自评。班干部定义为在班级中承担管理、服务或组织职责的学生职务，包括班长、学习委员、劳动委员等。学校适应采用崔娜[7] 编制的学校适应量表，涵盖学校情感态度、同伴关系、师生关系、学业适应及常规适应等维度，共 27 个条目；采用 5 级评分（1～5 分），总分 27～135 分，分数越高表示学校适应性越好（Cronbach′s α=0.93）；童年期不良经历采用 Kaiser-CDC 实验室开发的童年期不良经历问卷[8]，包括虐待、忽视和家庭功能障碍等维度，共 10 个条目，根据回答“是、否”情况确定分数，总分 0～10 分，分数越高表明不良经历暴露越多（Cronbach′s α=0.77）；负性生活事件采用青少年生活事件量表[9]，包括惩罚、丧失、人际压力、学习压力和适应问题等维度，共 27 个条目；采用 6 级评分（0=未发生，5=极重度），总分 0～135 分，分数越高表示负性生活事件影响越严重（Cronbach′s α=0.95）。

1.3.2 匹兹堡睡眠质量指数量表　采用 Buysse D J 等[10] 编制的匹兹堡睡眠质量指数量表（Pittsburgh sleep quality index, PSQI）评估个体基线及随访调查前 1 个月的睡眠情况。该量表共 18 个条目，分为 7 个维度，适用于评估青少年的睡眠情况，包括主观睡眠质量、入睡时间、睡眠时间、睡眠效率、睡眠障碍、催眠药物、日间功能障碍。每个维度按 0～3 等级计分，累积各维度得分为 PSQI 总分；总

分范围为 0～21，得分越高，表示睡眠质量越差。本研究中该量表基线及随访时的 Cronbach′s α 系数为 0.72，0.76。

1.3.3 流调中心抑郁量表　采用 Lenore Radloff 编制的流行病学研究中心抑郁量表（The Center for Epidemiological Studies Depression Scale, CES-D）[11] 评估个体基线及随访调查前 1 周内抑郁症状的频率和严重程度。该量表共 20 个条目，适用于评估青少年的抑郁症状，每个条目采用 4 级评分，将反向计分题反向计分后计算总分，总分范围为 0～60，分数越高表示抑郁程度越高。以 CES-D 总分≤15 分判定为不存在抑郁症状，>15 分判定为存在抑郁症状。本研究中该量表基线及随访时的 Cronbach′s α 系数均为 0.89。

1.4 统计分析　采用 R 4.5.0 软件进行数据分析。使用随机森林法插补缺失值。计数资料以频数和百分比描述，计量资料（如学校适应得分、PSQI 得分）经正态性检验不符合正态分布，以 $M(P_{25}～P_{75})$ 描述。采用 χ^2 检验和秩和检验比较不同基线特征青少年随访抑郁症状差异。采用最小绝对收缩和选择算子回归（least absolute shrinkage and selection operator, LASSO）进行变量筛选，将数据集按 7:3 比例划分为训练集与测试集，其中训练集用于模型构建与内部优化，测试集用于最终评估模型在未见数据上的泛化性能，避免过拟合。基于筛选出的变量，采用 XGBoost、逻辑回归（logistic regression, LR）、决策树（decision tree, DT）、随机森林（random forest, RF）、支持向量机（support vector machine, SVM）、多层感知器（multilayer perceptron, MLP）等模型预测青少年随访时抑郁症状的发生风险。通过网格搜索结合交叉验证优化超参数（包括最大深度、学习率、采样比例及正则化参数），以受试者工作曲线下面积（area under curve, AUC）评估模型预测效能，AUC 取值范围为 0.5～1.0，值越高表示模型区分是否存在抑郁症状的能力越强，AUC > 0.7 通常视为具有可接受的预测价值 [12]。利用 SHAP（SHapley Additive exPlanations）值量化各变量的贡献度，并分析贡献度最大的两个变量的交互作用。所有统计分析检验均采用双侧检验，检验水准为 α=0.05。

2 结　果

2.1 研究对象基线人口学特征及青少年随访抑郁症状发生情况（表 1）　共调查 2 373 名青少年，调查对象年龄为 11～20 岁，平均年龄（14.46±1.61）岁；男生 1 172 人（49.39%）；初中、高中和职高学生分别为 959 人（40.41%）、468 人（19.72%）和 946 人（39.87%）；生源地为本市的有 1 883 人（79.35%）；报告存在留守经历的 317 人（13.36%）；青少年家庭经济情况一般 1 407 人（59.29%）；存在父母关系紧张 210 人（8.85%）。住校 696 人（29.33%），所在班级属于重点班 732 人（30.85%），担任过班干部 1 107 人（46.65%），成绩的班级排名在 50% 以后 418 人（17.61%）。研究对象基线抑郁症状检出率为 31.73%，随访时抑郁症状的检出率为 32.28%。随访时有、无抑郁症状在年龄、性别、学段、生源地、留守经历、家庭经济状况、父母关系、住校、重点班、班干部、成绩班级排名和基线抑郁症状等方面的差异均有统计学意义（均 P<0.05）。

表 1　不同基线人口学特征青少年随访时抑郁症状比较

Table 1　Comparison of follow-up depressive symptoms among adolescents with different baseline demographic characteristics

特征	总数		无抑郁症状		有抑郁症状		χ^2值	P值
	人数	构成比/%	人数	构成比/%	人数	构成比/%		
年龄/岁							52.20	<0.001
11～15	987	41.59	750	46.67	237	30.94		
16～20	1 386	58.41	857	53.33	529	69.06		
性别							83.13	<0.001
男性	1 172	49.39	898	55.88	274	35.77		
女性	1 201	50.61	709	44.12	492	64.23		
学段							75.00	<0.001
初中	959	40.41	732	45.55	227	29.63		
高中	468	19.72	327	20.35	141	18.41		
职高	946	39.87	548	34.10	398	51.96		
生源地							7.07	0.029
本市	1 883	79.35	1 296	80.65	587	76.63		
省内外市	346	14.58	213	13.25	133	17.36		

续表 1
Table 1 Continued

特征	总数		无抑郁症状		有抑郁症状		χ^2值	*P*值
	人数	构成比/%	人数	构成比/%	人数	构成比/%		
外省	144	6.07	98	6.10	46	6.01		
留守经历							35.51	<0.001
无	2 056	86.64	1 439	89.55	617	80.55		
有	317	13.36	168	10.45	149	19.45		
家庭经济情况							43.14	<0.001
很好	316	13.32	251	15.62	65	8.49		
较好	513	21.62	369	22.96	144	18.80		
一般	1 407	59.29	919	57.19	488	63.71		
较差	118	4.97	56	3.48	62	8.09		
很差	19	0.80	12	0.75	7	0.91		
父母关系							118.26	<0.001
很融洽	1 070	45.09	829	51.59	241	31.46		
比较融洽	746	31.44	485	30.18	261	34.07		
一般	347	14.62	202	12.57	145	18.93		
比较紧张	149	6.28	66	4.11	83	10.84		
很紧张	61	2.57	25	1.56	36	4.70		
住校							65.36	<0.001
是	696	29.33	387	24.08	309	40.34		
否	1 677	70.67	1 220	75.92	457	59.66		
重点班							11.58	0.001
是	732	30.85	532	33.11	200	26.11		
否	1 641	69.15	1 075	66.89	566	73.89		
班干部							6.44	0.011
是	1 107	46.65	779	48.48	328	42.82		
否	1 266	53.35	828	51.52	438	57.18		
成绩班级排名							25.84	<0.001
排名≤ 10%	333	14.03	246	15.31	87	11.36		
10%<排名≤20%	403	16.98	287	17.86	116	15.14		
20%<排名≤30%	383	16.14	271	16.86	112	14.62		
30%<排名≤40%	321	13.53	233	14.50	88	11.49		
40%<排名≤50%	515	21.70	321	19.98	194	25.33		
50%<排名≤100%	418	17.61	249	15.49	169	22.06		
基线抑郁症状							296.17	<0.001
无	1 620	68.27	1 280	79.65	340	44.39		
有	753	31.73	327	20.35	426	55.61		

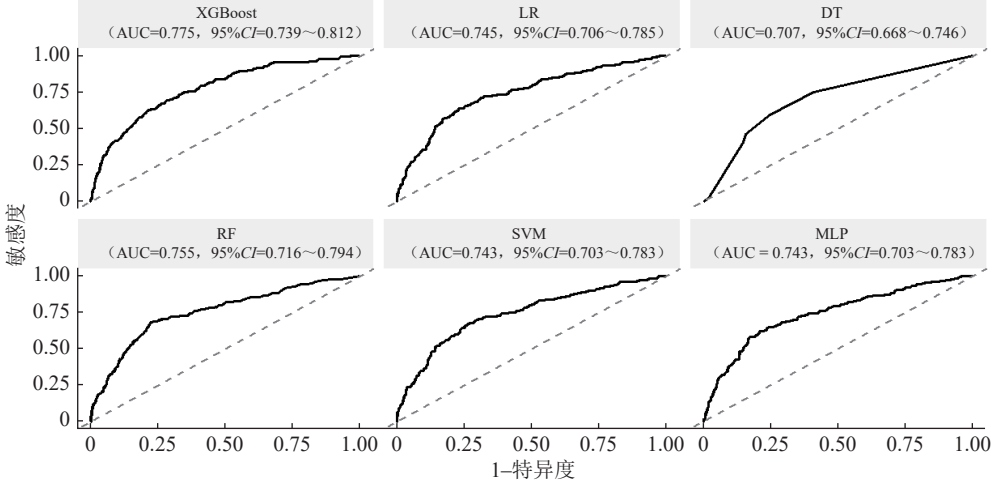
2.2　不同基线心理社会特征及睡眠质量青少年随访抑郁症状比较(表 2)　研究对象心理社会特征方面，学校适应得分 $M(P_{25}, P_{75})$为 113(100～123)分，童年期不良经历得分为 0(0～1)分，负性生活事件得分为 13(4～ 29)分。睡眠质量方面，PSQI 总分为 4(2～6)分，主观睡眠质量、入睡时间、睡眠时间、睡眠效率、睡眠障碍、催眠药物、日间功能障碍的得分分别为 1(0～1)、1(0～1)、0(0～1)、0(0～0)、1(0～1)、0(0～0)、1(0～2)分。随访有、无抑郁症状在学校适应、童年期不良经历、负性生活事件、PSQI 总分、主观睡眠质量、入睡时间、睡眠时间、睡眠效率、睡眠障碍、催眠药物、日间功能障碍等维度得分差异均有统计学意义(均 *P*<0.05)。

表 2　不同基线心理社会特征及睡眠质量青少年随访时抑郁症状比较
Table 2　Comparison of follow-up depressive symptoms among adolescents with different baseline psychosocial factors and sleep quality

特征	总分		无抑郁症状		有抑郁症状		*Z*值	*P*值
	M	P_{25}～P_{75}	*M*	P_{25}～P_{75}	*M*	P_{25}～P_{75}		
心理社会特征								
学校适应	113	100～123	116	105～126	102	92～115	15.98	<0.001
童年期不良经历	0	0～1	0	0～1	1	0～2	−11.78	<0.001
负性生活事件	13	4～29	9	2～22	25	11～43	−15.45	<0.001
睡眠质量								
PSQI总分	4	2～6	3	1～5	5	3～8	−16.74	<0.001
主观睡眠质量	1	0～1	1	0～1	1	1～2	−11.57	<0.001
入睡时间	1	0～1	0	0～1	1	0～2	−10.38	<0.001
睡眠时间	0	0～1	0	0～0	0	0～1	−6.57	<0.001
睡眠效率	0	0～0	0	0～0	0	0～0	−6.55	<0.001
睡眠障碍	1	0～1	1	0～1	1	1～1	−13.07	<0.001
催眠药物	0	0～0	0	0～0	0	0～0	−3.05	0.002
日间功能障碍	1	0～2	1	0～2	2	1～2	−15.57	<0.001

2.3　睡眠特征与抑郁症状的多因素分析　将随访时有、无抑郁症状作为因变量，单因素分析差异有统计学意义的特征作为自变量纳入 LASSO 回归模型。结果显示，基线抑郁症状（β=0.15）、日间功能障碍（β=0.04）、学校适应（β= −0.04）、性别（β=0.04）、入睡时间（β=0.02）、睡眠障碍（β=0.02）、负性生活事件（β=0.02）、父母关系（β=0.01）、学段（β=0.01）是随访抑郁症状的影响因素。

2.4　预测模型构建（图 1）　将随访时有、无抑郁症状作为因变量，LASSO 回归筛选的变量作为自变量，构建预测模型。在测试集预测表现方面，XGBoost 模型表现最好，AUC 值为 0.775（95%*CI*=0.739～0.812），其次为 RF 模型，AUC 值为 0.755（95%*CI*=0.716～0.794），其他模型预测效能相对较低（AUC 值均<0.750）。



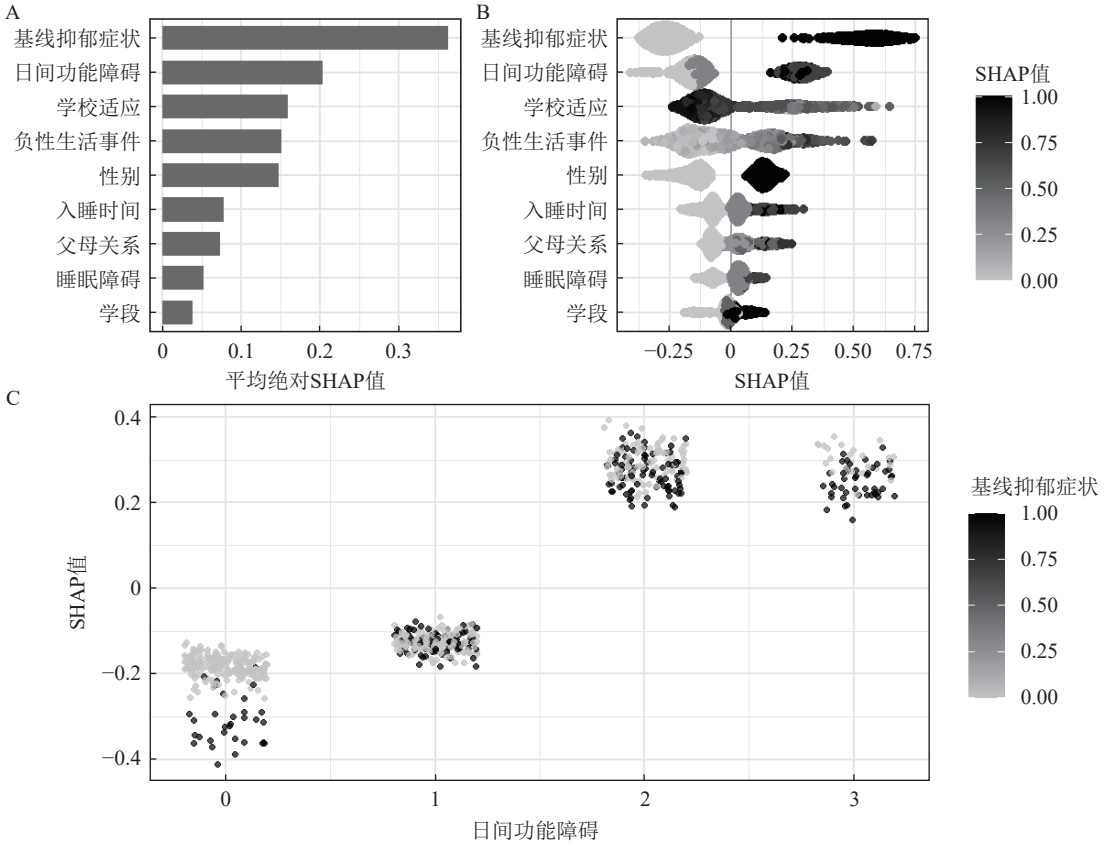
注：XGBoost 为梯度增强决策树；LR 为逻辑回归；DT 为决策树；RF 为随机森林；SVM 为支持向量机；MLP 为多层感知器。AUC 为曲线下面积；*CI* 为 95% 置信区间。

图 1　不同预测模型的 ROC 曲线
Fig. 1　ROC curves of different prediction models

2.5　基于 SHAP 值的特征重要性分析

2.5.1　不同特征对模型预测值的影响　SHAP 值分析结果显示，基线抑郁症状是最重要的特征，平均绝对 SHAP 值为 0.36，显著高于其他特征。其次是日间功能障碍，平均绝对 SHAP 值为 0.20，表明较多的日间功能障碍与更高的随访抑郁风险有关。学校适应、负性生活事件和性别也显示出相对较高的重要性，但与前两个特征相比贡献度有所降低（平均绝对 SHAP 值分别为 0.16、0.15、0.15）。其他特征如入睡时间、父母关系、睡眠障碍等在全局视角下重要性较低，平均绝对 SHAP 值均<0.10。

2.5.2 重要特征对模型预测值的交互作用(图 2) 从模型中识别出贡献度最大的 2 个特征(基线抑郁症状和日间功能障碍)进行交互分析。日间功能障碍的 SHAP 值呈现出明显的非线性递增趋势。日间功能障碍得分≤1 时，SHAP 值增长平缓，且多为负值(平均 SHAP 值分别为−0.200 和−0.126)，表明日间功能障碍少对预测抑郁症状有负向贡献。日间功能障碍得分>1 时，SHAP 值迅速上升，进入正值区域(平均 SHAP 值分别为 0.284 和 0.267)，表明日间功能障碍的效应转变为显著的正向贡献。当用基线抑郁症状着色后，发现日间功能障碍得分为 0 时，基线无抑郁症状(灰色点)的样本较多，SHAP 值为负值，模型预测随访抑郁症状的概率较低；日间功能障碍得分为 1 时，点颜色混杂，SHAP 值普遍较低且集中，说明此时日间功能障碍是主导因素，基线抑郁症状影响不大；日间功能障碍得分>1 时，基线有抑郁症状(黑色点)的样本较多，所有样本的 SHAP 值都较高，模型预测随访抑郁风险显著增加。结果表明，两者之间存在交互作用，SHAP 交互效应值为 0.022(95%*CI*=0.020～0.023)。



注：A 为基于 SHAP 值的特征重要性分析；B 为基于 SHAP 值的特征分析全局概要；C 为日间功能障碍与基线抑郁症状的交互效应分析。日间功能障碍 0～3 分别指无、<1 次/周、1～2 次/周和≥3 次/周，基线抑郁症状 0 表示无，1 表示有。

图 2　基于 SHAP 值的特征重要性分析及交互效应分析

Fig. 2　Feature importance and interaction effect analysis based on SHAP values

3 讨　论

本研究中，基线和随访调查的抑郁症状检出率分别为 31.73% 和 32.28%，与既往研究报告的青少年抑郁症状检出率(24.3%～41.7%)接近[13–15]，揭示青少年抑郁症状的普遍性。

女生的抑郁症状发生率高于男生，与已有研究结果一致[16–18]，可能是因为女生青春期启动更早，在认知和情感技能尚未完全成熟时就面临外貌、社交等压力源，从而更容易产生抑郁症状[19]。职高生的抑郁症状发生率较高，可能与其自我效能感较低和就业压力较大有关[20]。父母关系紧张同样影响青少年抑郁症状，说明父母之间的冲突可能会损害家庭功能[21]。学校适应不良和负性生活事件强度较高的青少年更容易出现抑郁症状，可能是这些学生人际关系紧张，缺乏社会支持，承受的心理压力较大[22–23]。因此，家庭和学校应共同努力，创造良好的成长环境，以预防和减少青少年抑郁的发生。

本研究结果显示，在睡眠质量不同维度中，日间功能障碍、入睡时间和睡眠障碍与抑郁症状显著相关，而日间功能障碍的重要性最强，这与张小崔等[24]研究结果一致。日间嗜睡、精力不足等觉醒期功能损害可能是睡眠问题的核心症状，

与抑郁症状的核心“快感缺乏”紧密联结。研究还发现，入睡时间较晚与青少年抑郁症状较高有关，与 Thorburn-Winsor E A 等[25] 研究一致。入睡时间反映了昼夜节律，昼夜节律紊乱可能导致睡眠–觉醒周期不稳定，进而影响情绪调节。而睡眠障碍会引起神经内分泌失调，通过影响皮质醇觉醒反应，间接导致抑郁症状的发生[26]。预测模型结果显示，基线抑郁症状为预测未来抑郁症状发展的最强特征，贡献度远超其他变量，与 Marchetti I 等[27] 研究一致。这印证了抑郁症状的持续性和复发倾向，强调早期筛查与干预的必要性。日间功能障碍显著预测未来的抑郁症状，与 Liu X C 等[28] 研究的结果不一致。差异可能源于研究对象地域环境和测量工具的不同，未来需纳入多地样本，通过更密集的纵向追踪设计（如生态瞬时评估）探讨其双向作用机制。进一步分析发现，日间功能障碍与基线抑郁症状之间存在交互效应，可能是抑郁症状削弱了个体的情绪调节能力，而日间功能障碍进一步限制了通过日常活动获得积极体验的途径，两者的协同作用使得负性情绪长期存在[29]，从而对未来抑郁风险产生显著的放大作用。

本研究使用多种机器学习方法构建预测模型，发现 XGBoost 模型预测效能最佳。叶盛等[30] 选择 LR 和 DT 模型分析青少年抑郁焦虑症状共病的影响因素，LR 可解释性强，但受限于线性假设与多重共线性，DT 直观易懂且能捕捉非线性，却容易过拟合且对数据分布敏感。Liu X C 等[31] 采用 SVM、MLP 和 RF 等机器学习方法对青少年的抑郁症状进行预测，但 SVM 对缺失数据和特征尺度较为敏感；MLP 易陷入过拟合，模型可解释性差；RF 通过集成决策树有效增强了稳定性，不过模型透明度较低，对噪声数据也较为敏感。XGBoost 模型不仅能够高效处理高维数据，还具备捕捉复杂特征交互的能力，结合 SHAP 值能够精确评估特征重要性，从而识别关键影响因素[32–33]。

本研究较为全面地评估了睡眠质量的不同维度对青少年抑郁症状的影响，发现日间功能障碍是关键的睡眠风险因素，重要性强于入睡时间和睡眠障碍，并且与基线抑郁症状存在协同效应，能显著增强个体未来发生抑郁症状的风险。对于同时存在抑郁症状和日间功能障碍的青少年，应视为高风险人群，优先进行综合性干预，以期有效改善其心理健康结局。

本研究存在以下不足：首先，样本仅限于武汉市的学校，存在地域同质性，未来应开展多中心研究以增强普适性；其次，问卷数据源于自我报告，存在回忆偏倚，未来可结合睡眠监测设备等客观测量工具进行收集；最后，预测模型尚未进行外部验证，稳健性与泛化能力仍有待检验。

数据可用性声明 本研究数据包含了参与者的个人信息、健康状况等敏感内容。在整个研究过程中，研究团队采取了多重数据保护措施，如数据加密、匿名化处理等，以确保数据的安全性和保密性。鉴于数据的敏感性质，无法公开原始数据。

参考文献

[1] WHO. Mental health of adolescents[EB/OL]. (2025-09-01)[2025-09-29]. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/adolescent-mental-health.

[2] Zhou J, Liu Y A, Ma J Y, et al. Prevalence of depressive symptoms among children and adolescents in China: a systematic review and meta-analysis[J]. Child and Adolescent Psychiatry and Mental Health, 2024, 18(1): 150.

[3] 余军洁, 廖丽萍, 严杰, 等. 重庆市青少年睡眠时型和睡眠时间与抑郁症状的关系 [J]. 中国公共卫生, 2024, 40(9): 1076-1080.

[4] 朱君成, 熊建萍, 汤利军, 等. 大学生睡眠特征和体力活动模式与抑郁焦虑症状的关联 [J]. 中国学校卫生, 2025, 46(4): 552-557.

[5] Zhao X N, Wang Y N, Li J H, et al. A machine-learning-derived online prediction model for depression risk in COPD patients: a retrospective cohort study from CHARLS[J]. Journal of Affective Disorders, 2025, 377: 284-293.

[6] 李燕. 留守儿童的孤独感、睡眠质量和学习倦怠的关系研究 [D]. 石家庄: 河北师范大学, 2018.

[7] 崔娜. 初中生学校适应与自我概念的相关研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2008.

[8] Felitti V J, Anda R F, Nordenberg D, et al. REPRINT OF: relationship of childhood abuse and household dysfunction to many of the leading causes of death in adults: the adverse childhood experiences (ACE) study[J]. American Journal of Preventive Medicine, 2019, 56(6): 774-786.

[9] 辛秀红, 姚树桥. 青少年生活事件量表效度与信度的再评价及常模更新 [J]. 中国心理卫生杂志, 2015, 29(5): 355-360.

[10] Buysse D J, Reynolds Ⅲ C F, Monk T H, et al. The Pittsburgh sleep quality index: a new instrument for psychiatric practice and research[J]. Psychiatry Research, 1989, 28(2): 193-213.

[11] 廖娟娟, 郑亚楠, 黄亮明, 等. PHQ-2-C、CES-D 和 BDI-Ⅱ-C 在筛查青少年抑郁障碍中的应用研究 [J]. 国际精神病学杂志, 2017, 44(1): 23-25, 36.

[12] Mandrekar J N. Receiver operating characteristic curve in diagnostic test assessment[J]. Journal of Thoracic Oncology, 2010, 5(9): 1315-1316.

[13] 武海潭, 干敏雷, 尹小俭, 等. 青少年体力活动与抑郁症状的相关性 [J]. 中国学校卫生, 2023, 44(5): 672-676,681.

[14] 苏华倩, 王凯, 永忠甜, 等. 中学生睡眠和饮食节律紊乱联合暴露与抑郁症状的关联性 [J]. 中华疾病控制杂志, 2025, 29(1): 89-94,107.

[15] Tang X F, Tang S Q, Ren Z H, et al. Prevalence of depressive symptoms among adolescents in secondary school in China's mainland: a systematic review and meta-analysis[J]. Journal of Affective

Disorders, 2019, 245: 498-507.

[16] Shorey S, Ng E D, Wong C H J. Global prevalence of depression and elevated depressive symptoms among adolescents: a systematic review and meta-analysis[J]. British Journal of Clinical Psychology, 2022, 61(2): 287-305.

[17] Lee E Y, Spence J C. Pubertal development and screen time among South Korean adolescents: testing body mass index and psychological well-being as mediators[J]. Global Health Research and Policy, 2016, 1(1): 19.

[18] 卢丹丹, 李芳, 王慧豪, 等. 初中生校园欺凌与心理亚健康的关系 [J]. 中国心理卫生杂志, 2024, 38(2): 104-108.

[19] Kwong A S F, Manley D, Timpson N J, et al. Identifying critical points of trajectories of depressive symptoms from childhood to young adulthood[J]. Journal of Youth and Adolescence, 2019, 48(4): 815-827.

[20] 赵海, 王路, 滕立新, 等. 北京市大中学生抑郁流行现状及与饮食相关行为的关系 [J]. 中国学校卫生, 2022, 43(5): 715-717.

[21] Luo R, Chen F M, Ke L, et al. Interparental conflict and depressive symptoms among Chinese adolescents: a longitudinal moderated mediation model[J]. Development and Psychopathology, 2023, 35(2): 972-981.

[22] 程少贵, 高鹏, 李济平, 等. 高职学生学校生活适应不良在自闭特质与抑郁关系中的中介作用 [J]. 中华疾病控制杂志, 2023, 27(10): 1204-1211.

[23] 周惠至, 杨舒然, 韩冬, 等. 家庭动力学特征和负性生活事件与青少年抑郁症状的相关性分析 [J]. 解放军医学杂志, 2024, 49(12): 1360-1365.

[24] 张小崔, 杨颜慈, 雷辉, 等. 青少年睡眠问题与抑郁症状关系的网络分析 [J]. 中国临床心理学杂志, 2024, 32(4): 824-830.

[25] Thorburn-Winsor E A, Neufeld S A S, Rowthorn H, et al. Device-measured sleep onset and duration in the development of depressive symptoms in adolescence[J]. Journal of Affective Disorders, 2022, 310: 396-403.

[26] Kuhlman K R, Chiang J J, Bower J E, et al. Sleep problems in adolescence are prospectively linked to later depressive symptoms via the cortisol awakening response[J]. Development and Psychopathology, 2020, 32(3): 997-1006.

[27] Marchetti I, Koster E H W, Hankin B L. Which psychosocial risks are necessary for developing depression during adolescence? A novel approach applying necessary condition analysis[J]. Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry, 2025, 64 (10): 1201-1209.

[28] Liu X C, Yang Y Y, Liu Z Z, et al. Associations between insomnia, daytime sleepiness, and depressive symptoms in adolescents: a three-wave longitudinal study[J]. Journal of Clinical Medicine, 2022, 11 (23): 6912.

[29] Xie M J, Zhang Y C, Wang W, et al. Associations between multiple dimensions of sleep and mood during early adolescence: a longitudinal daily diary study[J]. Journal of Youth and Adolescence, 2024, 53(9): 2165-2177.

[30] 叶盛, 杨月, 卢雪蕾, 等. Logistic 回归与决策树模型在青少年抑郁焦虑症状共病影响因素中的应用 [J]. 中华疾病控制杂志, 2024, 28(8): 909-916.

[31] Liu X Z, Cang R, Zhang Z H, et al. Identification of depressive symptoms in adolescents using machine learning combining childhood and adolescence features[J]. BMC Public Health, 2025, 25(1): 264.

[32] 俞斌, 严婧琰, 张立群, 等. 网络使用特征对职业高中学生自杀意念影响的预测模型 [J]. 中国学校卫生, 2025, 46(8): 1175-1179, 1184.

[33] 彭瑾, 袁将, 叶志华, 等. 四川省农村地区中老年男性 HIV 检测意愿影响相关因素预测分析: 基于 XGBoost 和 SHAP 模型 [J]. 中国公共卫生, 2025, 41(12): 1473-1480.