

# 移居高原人群睡眠障碍的实用筛查工具：基于问卷的列线图模型构建与验证

李丁<sup>1,2,3</sup>, 陈嘉宁<sup>1,2</sup>, 刘雪晨<sup>1,2</sup>, 蔺颖<sup>1,2</sup>, 高琦昌<sup>1,2</sup>, 徐静<sup>4\*</sup>, 张熙<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>解放军医学院, 北京 100853; <sup>2</sup>解放军总医院第二医学中心神经内科, 北京 100853; <sup>3</sup>联勤保障部队第967医院精神科, 辽宁大连 116041; <sup>4</sup>解放军总医院第二医学中心医学心理科, 北京 100853

[中图分类号] R741 [文献标志码] A [DOI] 10.11855/j.issn.0577-7402.2253.2026.0507

[声明] 本文所有作者声明无利益冲突

[引用本文] 李丁,陈嘉宁,刘雪晨等.移居高原人群睡眠障碍的实用筛查工具:基于问卷的列线图模型构建与验证[J].解放军医学杂志, DOI:10.11855/j.issn.0577-7402.2253.2026.0507.

[收稿日期] 2025-11-03 [录用日期] 2026-01-07 [上线日期] 2026-05-07

**[摘要]** **目的** 探讨移居高原人群发生睡眠障碍的危险因素, 并构建与验证一种基于易获取变量的个体化风险预测列线图模型。**方法** 2025年7—8月采用整群随机抽样方法, 对西藏自治区不同海拔高度地区符合条件的移居人员开展问卷调查, 收集人口学特征、生活习惯、高原生活史、既往病史、睡眠及疲劳程度等信息。最终收集了1405名移居高原人员的问卷信息。将调查对象按7:3比例随机划分为训练集( $n=984$ )和验证集( $n=421$ )。采用单因素分析、LASSO回归以及多因素logistic回归筛选独立危险因素, 并构建列线图模型。采用受试者工作特征(ROC)曲线、校准曲线、Hosmer-Lemeshow检验和决策曲线分析(DCA)对模型进行内部验证。**结果** 经单因素分析和LASSO回归初步筛选出潜在的相关变量后, 进一步的多因素logistic回归分析显示, 学历水平、居住地区海拔高度、在高原生活时长、高脂血症患病时长、高尿酸血症患病时长、椎间盘突出症患病时长, 以及多维疲劳量表(MFI-20)总分7个因素是高原睡眠障碍的独立危险因素。基于上述危险因素建立列线图模型并进行验证。列线图模型在训练集和验证集中的ROC曲线下面积(AUC)分别为0.857和0.818; 校准曲线显示预测概率与实际概率之间具有良好的一致性, 训练集和验证集中Hosmer-Lemeshow检验的P值分别为0.433和0.087, 模型拟合优度良好; 决策曲线显示, 训练集和验证集中当预测风险阈值分别在0.1~0.9和0.15~1.0时, 该模型可提供显著的临床净获益。**结论** 学历水平、居住地区海拔高度、在高原生活时长、高脂血症患病时长、高尿酸血症患病时长、椎间盘突出症患病时长和MFI-20量表总分是移居高原人群发生睡眠障碍的危险因素。本研究构建的列线图模型基于易获取的问卷信息, 对移居高原人群整体睡眠障碍的风险评估表现出良好的预测效能。

**[关键词]** 高原; 睡眠障碍; 列线图; Logistic回归

## A questionnaire-based nomogram for screening sleep disorders in high-altitude migrants: a development and validation study

Li Ding<sup>1,2,3</sup>, Chen Jia-Ning<sup>1,2</sup>, Liu Xue-Chen<sup>1,2</sup>, Lin-Ying<sup>1,2</sup>, Gao Qi-Chang<sup>1,2</sup>, Xu Jing<sup>4\*</sup>, Zhang Xi<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Chinese PLA Medical School, Beijing 100853, China

<sup>2</sup>Department of Neurology, the Second Medical Center of PLA General Hospital, Beijing 100853, China

<sup>3</sup>Department of Psychiatry, No. 967 Hospital of the Joint Logistics Support Force, Dalian, Liaoning 116041, China

<sup>4</sup>Department of Medical Psychology, the Second Medical Center of PLA General Hospital, Beijing 100853, China

\*Corresponding author, Xu Jing, E-mail: xujing\_neuro@163.com; Zhang Xi, E-mail: zhangxi@301hospital.com.cn

This work was supported by the National Key Research and Development Program of China (2022YFC2403705)

**[Abstract]** **Objective** To identify risk factors for sleep disorders in high-altitude migrants and to develop and validate an individualized nomogram prediction model based on readily obtainable variables. **Methods** From July to August 2025, a

**[基金项目]** 国家重点研发计划(2022YFC2403705)

**[作者简介]** 李丁, 硕士研究生, 主治医师, 主要从事睡眠医学方面的研究

**[通信作者]** 徐静, E-mail: xujing\_neuro@163.com; 张熙, E-mail: zhangxi@301hospital.com.cn

questionnaire survey was conducted among eligible high-altitude migrants residing at various elevations in the Xizang Autonomous Region using a cluster random sampling method. Data regarding demographics, lifestyle habits, high-altitude residence history, past medical history, sleep quality, and fatigue levels were collected from a total of 1,405 participants. The surveyed cohort was randomly allocated into a training set ( $n = 984$ ) and a validation set ( $n = 421$ ) at a 7:3 ratio. Independent risk factors were identified using univariate analysis, least absolute shrinkage and selection operator (LASSO) regression, and multivariate logistic regression, which were subsequently utilized to construct a predictive nomogram. The model's discrimination, calibration, and clinical utility were internally validated employing receiver operating characteristic (ROC) curves, calibration plots, the Hosmer-Lemeshow test, and decision curve analysis (DCA). **Results** After preliminary screening of potential variables *via* univariate analysis and LASSO regression, subsequent multivariate logistic regression analysis identified seven independent risk factors for high-altitude sleep disorders: education level, altitude of residence, duration of high-altitude residence, durations of hyperlipidemia, hyperuricemia, and lumbar disc herniation, and the total score of the Multidimensional Fatigue Inventory-20 (MFI-20). A predictive nomogram model was established based on these risk factors and subsequently validated. The areas under the receiver operating characteristic curve (AUC) for the nomogram in the training and validation sets were 0.857 and 0.818, respectively. Calibration curves exhibited good consistency between the predicted and observed probabilities, and the Hosmer-Lemeshow test yielded P-values of 0.433 and 0.087 in the training and validation sets, respectively, indicating a satisfactory goodness-of-fit. Furthermore, decision curve analysis (DCA) demonstrated that the model could provide significant clinical net benefit when the threshold probabilities ranged from 0.1 to 0.9 in the training set and from 0.15 to 1.0 in the validation set. **Conclusions** Education level, altitude of residence, duration of high-altitude residence, durations of hyperlipidemia, hyperuricemia, and lumbar disc herniation, along with the MFI-20 total score, are risk factors for sleep disorders among high-altitude migrants. The nomogram model developed in this study, based on readily obtainable questionnaire data, demonstrates robust predictive performance for evaluating the overall risk of sleep disorders in this population.

**[Key words]** high-altitude; sleep disorders; nomogram; logistic regression

我国疆域辽阔，高海拔地区占我国国土面积的1/6左右。随着高原地区基础设施建设、资源开发与国防事业的发展，移居高原人群规模不断扩大，高原环境下的生理适应与健康保障成为公共卫生领域关注的焦点。高原低压低氧、干燥寒冷、强紫外线及电离辐射等特殊地理环境和气候条件对长期居住在高原地区人群的睡眠质量有着重大影响。研究显示，高原地区人群睡眠障碍患病率高达30%~50%，远高于平原地区的普通人群<sup>[1]</sup>。高原睡眠障碍会加重认知障碍、情绪障碍与免疫减退，增加高原心脏病、高血压等疾病风险<sup>[2]</sup>，对高原地区公共卫生安全及边防、基建、医疗等特殊岗位人员的作业能力构成潜在威胁。因此，开展高原人群睡眠障碍的危险因素及个体风险评估相关研究具有重要的公共卫生意义与现实必要性。本研究以移居于西藏自治区不同海拔人群为对象，通过单因素分析、最小绝对收缩和选择算子(least absolute shrinkage and selection operator, LASSO)筛选<sup>[3]</sup>及多因素logistic回归建模，识别移居高原人群发生睡眠障碍的危险因素，最终构建可视化列线图模型来预测其风险，实现高危人群的快速识别与分层管理，为制定针对性的高原睡眠健康干预策略提供科学依据。

## 1 资料与方法

**1.1 数据来源和研究人群** 本研究为横断面研究。于2025年7—8月采用整群随机抽样方法，对西藏自

治区符合条件的移居人员开展问卷调查。纳入标准：(1)生活地区海拔高度 $\geq 2500$  m；(2)在高原地区生活时间 $> 3$ 个月；(3)年龄18~55岁。排除标准：(1)无法独立完成问卷调查者；(2)问卷填写质量或内容不合格者；(3)有脑血管病、脑炎、癫痫等中枢神经系统疾病史；(4)有精神分裂症、双相情感障碍、抑郁障碍等重大精神疾病史者。共发放调查问卷1661份，剔除无效问卷256份，最终1405份有效问卷内容被纳入本研究。将最终被纳入研究的1405例调查对象按7:3比例随机划分为训练集( $n=984$ )与验证集( $n=421$ )。以PSQI量表总分 $> 7$ 分判定为发生睡眠障碍，将训练集分为无睡眠障碍组( $n=621$ )与睡眠障碍组( $n=363$ )。本研究已获得解放军总医院伦理委员会审批(S2025-610-01)。

**1.2 研究工具** (1)人口学资料调查问卷。采用问卷调查法采集以下可能影响睡眠质量的人口学因素。①人口学信息：性别、年龄、民族、身高、体重、文化程度等；②生活习惯：睡前使用电子产品时间、吸烟情况；③高原生活史：在高原生活时长、生活地区海拔高度、夜间吸氧情况、吸氧方式及吸氧频率；④既往病史：高血压、高脂血症、高尿酸血症等疾病患病时长以及用药史。问卷经高原医学及睡眠专家审核，具有良好的内容效度。(2)匹兹堡睡眠质量指数(Pittsburgh sleep quality index, PSQI)量表。采用PSQI量表评估调查对象最近1个月的睡眠质量<sup>[4]</sup>。该量表由19个自评条目和5个他评条目构成，

共7个维度,每个维度按0~3分等级计分,相加得到总分,范围0~21分,得分越高,睡眠质量越差。>7分可认为存在睡眠障碍,总分8~10分为轻度睡眠障碍,11~15分为中度睡眠障碍,16~21分为重度睡眠障碍<sup>[5]</sup>;该量表的Cronbach's  $\alpha$ 系数为0.832。(3)多维疲劳量表(multidimensional fatigue inventory-20, MFI-20)。采用MFI-20量表评估调查对象最近2周的疲劳情况<sup>[6]</sup>。该量表包含20个条目,每个条目按1~5分等级计分,总分范围为20~100分,得分越高,疲劳程度越严重;该量表的Cronbach's  $\alpha$ 系数为0.913。

**1.3 实施程序** 使用统一印制的纸质版调查问卷,由经过统一标准化培训的研究人员在现场发放并回收。填写前向调查对象说明研究目的、填写要求及保密原则。调查对象在安静环境下独立完成问卷填写。问卷回收时现场核查,发现漏填或明显逻辑错误当场请调查对象补正,并及时剔除无效问卷(如信息填写不完整、漏答题项、空白、全部相同选项等)。数据采用EpiData 3.1软件进行双人双录入,核查无误确认后的数据纳入统计分析。

**1.4 指标分析** 将人口学资料、生活习惯、高原生活史、既往病史及MFI-20量表总分等变量纳入潜在的危险因素进行分析。在训练集中对无睡眠障碍组与睡眠障碍组的基线特征相关指标进行单因素分析,以初步筛选变量。将训练集单因素分析中具有统计

学意义( $P<0.05$ )的变量纳入LASSO回归模型,通过压缩变量系数进一步筛选核心变量。将LASSO回归筛选出的变量纳入多因素logistic回归分析,明确移居高原人群发生睡眠障碍的独立危险因素,并通过列线图对该预测模型进行可视化呈现。采用受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic curve, ROC),以曲线下面积(area under the curve, AUC)反映模型的区分度,评估模型的预测效能。采用校准曲线验证模型的一致性,采用Hosmer-Lemeshow拟合优度检验衡量模型的拟合程度。采用决策曲线分析(decision curve analysis, DCA)评估模型的临床适用性。

**1.5 统计学处理** 采用SPSS 26.0和R4.1.1软件进行统计分析。计量资料符合正态分布者以 $\bar{x}\pm s$ 表示,组间比较采用 $t$ 检验;不符合正态分布者以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示,组间比较采用Mann Whitney  $U$ 检验。计数资料以例(%)表示,组间比较采用 $\chi^2$ 检验或Fisher精确检验。危险因素分析结果以比值比(OR)和95%置信区间(95%CI)表示。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 研究对象特征** 训练集与验证集的基线各指标间差异均无统计学意义( $P>0.05$ ),两个数据集均衡可比(表1)。

表1 训练集和验证集的基本特征

Tab.1 Baseline characteristics of the training set and validation set

指标	训练集( $n=984$ )	验证集( $n=421$ )	$\chi^2/Z$	$P$
民族[ $n(\%)$ ]			2.228	0.328
汉族	861(87.5)	374(88.8)		
藏族	34(3.5)	18(4.3)		
其他	89(9.0)	29(6.9)		
年龄[ $n(\%)$ ]			1.867	0.393
$\geq 20\sim 30$ 岁	138(14.0)	63(15.0)		
$\geq 30\sim 40$ 岁	761(77.3)	313(74.3)		
$\geq 40$ 岁	85(8.7)	45(10.7)		
性别[ $n(\%)$ ]			1.26	0.262
男	955(97.1)	413(98.1)		
女	29(2.9)	8(1.9)		
BMI指数[ $n(\%)$ ]			7.038	0.071
不足( $<18.5\text{ kg/m}^2$ )	12(1.2)	9(2.1)		
正常( $18.5\sim 23.9\text{ kg/m}^2$ )	697(70.8)	270(64.1)		
超重( $24.0\sim 27.9\text{ kg/m}^2$ )	253(25.7)	132(31.3)		
肥胖( $\geq 28.0\text{ kg/m}^2$ )	22(2.3)	10(2.5)		
学历[ $n(\%)$ ]			5.382	0.068
初中及高中(含中专)	229(23.3)	86(20.4)		
大专	334(33.9)	170(40.4)		
本科及以上	421(42.8)	165(39.2)		

(续表)

指标	训练集(n=984)	验证集(n=421)	$\chi^2/Z$	P
居住地区海拔高度[n(%)]			3.065	0.382
≤3000 m	112(11.4)	40(9.5)		
3001~3500 m	133(13.5)	52(12.3)		
3501~4000 m	667(67.8)	289(68.7)		
>4000 m	72(7.3)	40(9.5)		
在高原生活时长[n(%)]			1.326	0.723
≤24个月	231(23.5)	101(24.0)		
25~60个月	248(25.2)	116(27.6)		
61~120个月	177(18.0)	68(16.1)		
>120个月	328(33.3)	136(32.3)		
睡前使用电子设备时间[n(%)]			1.815	0.403
≤0.5 h	507(51.5)	201(47.7)		
0.5~1.0 h	310(31.5)	146(34.7)		
>1.0 h	167(17.0)	74(17.6)		
每日吸烟量[n(%)]			1.519	0.468
0支	549(55.8)	241(57.2)		
≤10支	299(30.4)	132(31.4)		
>10支	136(13.8)	48(11.4)		
高血压患病时长[年, M(Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )]	3.00(1.00, 5.00)	3.00(2.00, 5.00)	-1.289	0.197
高脂血症患病时长[年, M(Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )]	4.00(3.00, 5.00)	3.00(2.00, 5.00)	-1.449	0.147
高尿酸血症患病时长[年, M(Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )]	4.00(2.00, 6.00)	4.00(2.00, 5.75)	-0.950	0.342
椎间盘突出症患病时长[年, M(Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )]	4.00(2.00, 7.00)	4.25(2.00, 8.00)	-0.228	0.819
慢性肾病患病时长[年, M(Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )]	4.00(1.00, 7.00)	5.00(4.50, 5.50)	-0.344	0.731
睡眠时吸氧频率[n(%)]			4.576	0.206
0次/周	895(91.0)	377(89.5)		
1~2次/周	45(4.6)	15(3.6)		
3~6次/周	12(1.2)	10(2.4)		
7次/周	32(3.2)	19(4.5)		
睡眠期供氧方式[n(%)]			0.688	0.709
无供氧	895(91.0)	377(89.5)		
鼻导管吸氧	58(5.9)	29(6.9)		
弥散供氧	31(3.1)	15(3.6)		
MFI-20总分[M(Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )]	45.00(34.00, 57.00)	45.00(36.00, 57.00)	-0.160	0.873

BMI. 体重指数; COPD. 慢性阻塞性肺疾病; MFI-20. 多维疲劳量表

## 2.2 列线图构建

**2.2.1 睡眠障碍危险因素的单因素分析** 对训练集数据采用单因素分析进行初步筛选, 无睡眠障碍组与睡眠障碍组间的13个变量, 包括年龄、体重指数(body mass index, BMI)、学历水平、居住地区海拔高度、在高原生活时长、睡前使用电子设备时间、每日吸烟量、高血压患病时长、高脂血症患病时长、高尿酸血症患病时长、椎间盘突出症患病时长、慢性肾病患病时长及MFI-20量表总分, 其差异均有统计学意义( $P<0.05$ )(表2)。

### 2.2.2 睡眠障碍危险因素的LASSO回归及多因素

logistic回归分析 经LASSO回归进一步筛选, 最终纳入7个变量进行多因素logistic回归分析(图1)。结果显示, 文化程度越高、居住地区海拔越高、在高原生活时间越长、高脂血症患病时间越长、高尿酸血症患病时间越长、椎间盘突出症患病时间越长及MFI-20量表总分越高, 移居高原人群发生睡眠障碍的风险越高(表3)。

**2.2.3 列线图预测模型构建** 为便于评估发生睡眠障碍的个体风险, 根据多因素logistic回归分析得出的7个因素在风险模型中的贡献权重构建列线图(图2)。在该列线图中, 每个因素的数值在评分轴上

表2 训练集中无睡眠障碍组与睡眠障碍组基线特征比较

Tab.2 Comparison of baseline characteristics between the non-sleep disorder and sleep disorder groups in the training set

指标	无睡眠障碍组(n=621)	睡眠障碍组(n=363)	$\chi^2/Z$	P
民族[n(%)]			0.039	0.981
汉族	543(87.5)	318(87.6)		
藏族	22(3.5)	12(3.3)		
其他	56(9.0)	33(9.1)		
年龄[n(%)]			36.308	<0.001
≥20~30岁	118(19.0)	20(5.5)		
≥30~40岁	458(73.8)	303(83.5)		
≥40岁	45(7.2)	40(11.0)		
性别[n(%)]			0.014	0.906
男	603(97.1)	352(97.0)		
女	18(2.9)	11(3.0)		
BMI指数[n(%)]			17.507	<0.001
不足(<18.5 kg/m <sup>2</sup> )	6(1.0)	6(1.6)		
正常(18.5~23.9 kg/m <sup>2</sup> )	467(75.2)	230(63.4)		
超重(24.0~27.9 kg/m <sup>2</sup> )	133(21.4)	120(33.1)		
肥胖(≥28.0 kg/m <sup>2</sup> )	15(2.4)	7(1.9)		
学历水平[n(%)]			88.832	<0.001
初中及高中(含中专)	189(30.4)	40(11.0)		
大专	233(37.5)	101(27.8)		
本科及以上	199(32.1)	222(61.2)		
居住地区海拔高度[n(%)]			34.240	<0.001
≤3000 m	89(14.3)	23(6.4)		
3001~3500 m	102(16.4)	31(8.5)		
3501~4000 m	395(63.6)	272(74.9)		
>4000 m	35(5.7)	37(10.2)		
在高原生活时长[n(%)]			42.876	<0.001
≤24个月	179(28.8)	52(14.3)		
25~60个月	167(26.9)	81(22.3)		
61~120个月	107(17.2)	70(19.3)		
>120个月	168(27.1)	160(44.1)		
睡前使用电子设备时间[n(%)]			23.831	<0.001
≤0.5 h	354(57.0)	153(42.2)		
0.5~1.0 h	164(26.4)	146(40.2)		
>1.0 h	103(16.6)	64(17.6)		
每日吸烟量[n(%)]			12.453	0.002
0支	352(56.7)	197(54.3)		
≤10支	201(32.4)	98(27.0)		
>10支	68(10.9)	68(18.7)		
高血压患病时长[年, M(Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )]	3.00(2.00, 5.25)	2.00(1.00, 5.00)	-5.023	<0.001
高血脂症患病时长[年, M(Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )]	3.50(1.50, 7.00)	4.00(3.00, 5.00)	-5.887	<0.001
高尿酸血症患病时长[年, M(Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )]	3.00(2.00, 5.25)	4.00(2.00, 6.00)	-7.089	<0.001
椎间盘突出症患病时长[年, M(Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )]	3.00(2.00, 5.00)	5.00(3.00, 8.00)	-5.055	<0.001
慢性肾病患病时长[年, M(Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )]	7.00(7.00, 7.00)	3.00(1.00, 6.00)	-4.364	<0.001
睡眠时呼吸频率[n(%)]			1.605	0.659
0次/周	564(90.8)	331(91.2)		
1~2次/周	26(4.2)	19(5.2)		
3~6次/周	9(1.5)	3(0.8)		
7次/周	22(3.5)	10(2.8)		

(续表)

指标	无睡眠障碍组( $n=621$ )	睡眠障碍组( $n=363$ )	$\chi^2/Z$	$P$
睡眠期供氧方式[n(%)]			5.667	0.059
无供氧	564(90.8)	331(91.2)		
鼻导管吸氧	32(5.2)	26(7.2)		
弥散供氧	25(4.0)	6(1.6)		
MFI-20总分[分, $M(Q_1, Q_3)$ ]	39.00(30.75,49.50)	57.00(48.00,64.00)	-16.483	<0.001

BMI. 体重指数; COPD. 慢性阻塞性肺疾病; MFI-20. 多维疲劳量表

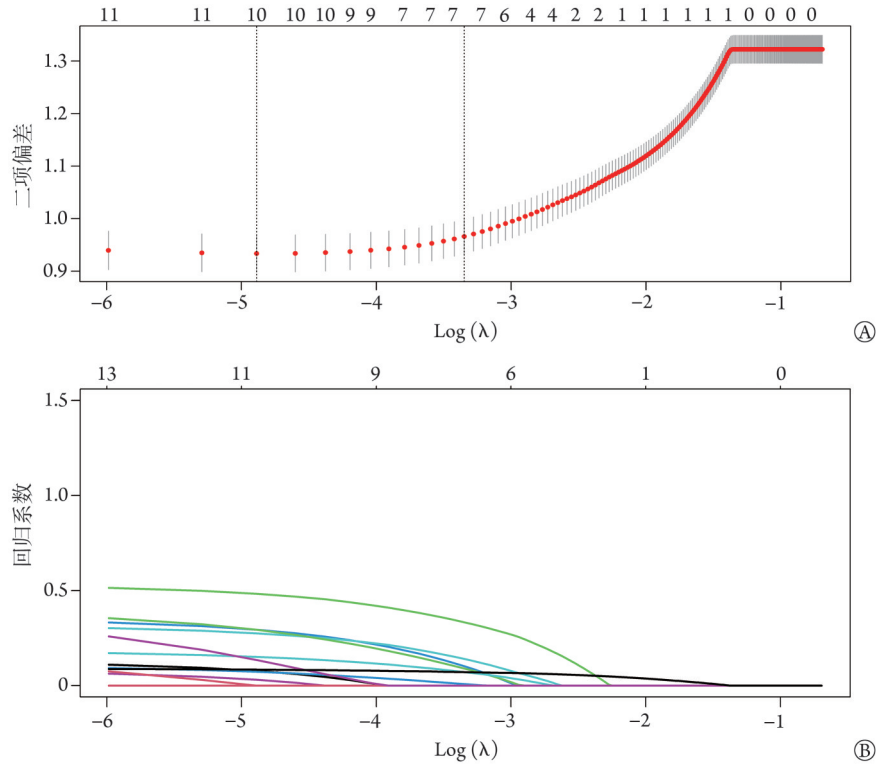


图1 基于LASSO回归的移居高原人群睡眠障碍预测变量筛选

Fig.1 Variable selection for sleep disorder prediction in high-altitude migrants based on LASSO regression

A. 交叉验证曲线。两条虚线之间的数值表示  $\log(\lambda)$  正负标准差的范围；右侧虚线显示，当模型拟合效果良好时，所含变量数量最少；本研究采用右侧虚线对应的  $\lambda$  值作为最优参数，选定7个非零系数变量；B. 回归系数路径图。图中每一条彩色的曲线代表一个独立的候选预测变量。该图展示了随着惩罚参数  $\log(\lambda)$  的增大，各变量的回归系数向零收缩的过程；随着  $\lambda$  值的降低，系数路径越晚收敛至零的变量，其对于模型的重要性越高

均有对应的分值；将每个因素的单项分值相加，即可计算出总分；将总分投射到总评分表的底部，就能估算出每位移居高原人群发生睡眠障碍的风险。

### 2.3 列线图风险预测模型的评估

**2.3.1 列线图模型的区分度评估** 采用ROC曲线对本列线图预测模型进行区分度评估。训练集中，ROC曲线的AUC为0.857(95%CI 0.833~0.881)；验证集中AUC为0.818(95%CI 0.777~0.859)。训练集和验证集ROC的AUC均>0.7，该模型对于预测移居高原人群发生睡眠障碍具有较好的区分度(图3A)。

**2.3.2 列线图模型的校准度评估** 采用校准曲线和Hosmer-Lemeshow拟合优度检验对该列线图模型的校准度进行评估。校准曲线显示，列线图预测的概率

与训练集和验证集中实际观察到的概率较一致，训练集和验证集中Hosmer-Lemeshow检验的P值分别为0.433和0.087，预测结果与实际结果之间的差异均无统计学意义，该预测模型具有良好的预测准确性(图3B)。

**2.3.3 列线图模型的临床适用性评估** 采用决策曲线分析(DCA)评估该列线图的适用性和临床应用价值，结果显示，在训练集和验证集中，大多数阈值概率获得了良好的净获益。训练集中当预测风险阈值在0.1~0.9时，以及验证集中当预测风险阈值在0.15~1.0时，该预测模型的额外临床净收益明显(图3C)。

表3 移居高原人群发生睡眠障碍的危险因素多因素logistic回归分析  
Tab.3 Multivariate logistic regression analysis of risk factors for sleep disorders in high-altitude migrants

变量	$\beta$	SE	Walds $\chi^2$	P	OR	95%CI
学历水平						
初中及高中(含中专)					1(参考)	
大专	0.766	0.250	9.409	0.002	2.150	1.318~3.508
本科及以上	1.158	0.237	23.788	<0.001	3.182	1.998~5.067
居住地区海拔高度						
≤3000 m					1(参考)	
3001~3500 m	0.676	0.377	3.217	0.073	1.967	0.939~4.118
3501~4000 m	0.859	0.297	8.369	0.004	2.362	1.319~4.228
>4000 m	1.152	0.420	7.530	0.006	3.165	1.390~7.207
在高原生活时长						
≤24个月					1(参考)	
25~60个月	0.351	0.251	1.953	0.162	1.420	0.868~2.322
61~120个月	0.396	0.273	2.113	0.146	1.486	0.871~2.536
>120个月	1.053	0.246	18.394	<0.001	2.867	1.772~4.639
高脂血症患病时长	0.418	0.155	7.268	0.007	1.520	1.121~2.060
高尿酸血症患病时长	0.113	0.068	2.730	0.098	1.120	0.979~1.281
椎间盘突出症患病时长	0.179	0.052	11.816	0.001	1.196	1.080~1.324
MFI-20总分	0.091	0.007	152.854	<0.001	1.096	1.080~1.112
常量	-7.192	0.532	182.728	<0.001		

MFI-20. 多维疲劳量表; SE. 标准误; OR. 比值比; CI. 置信区间

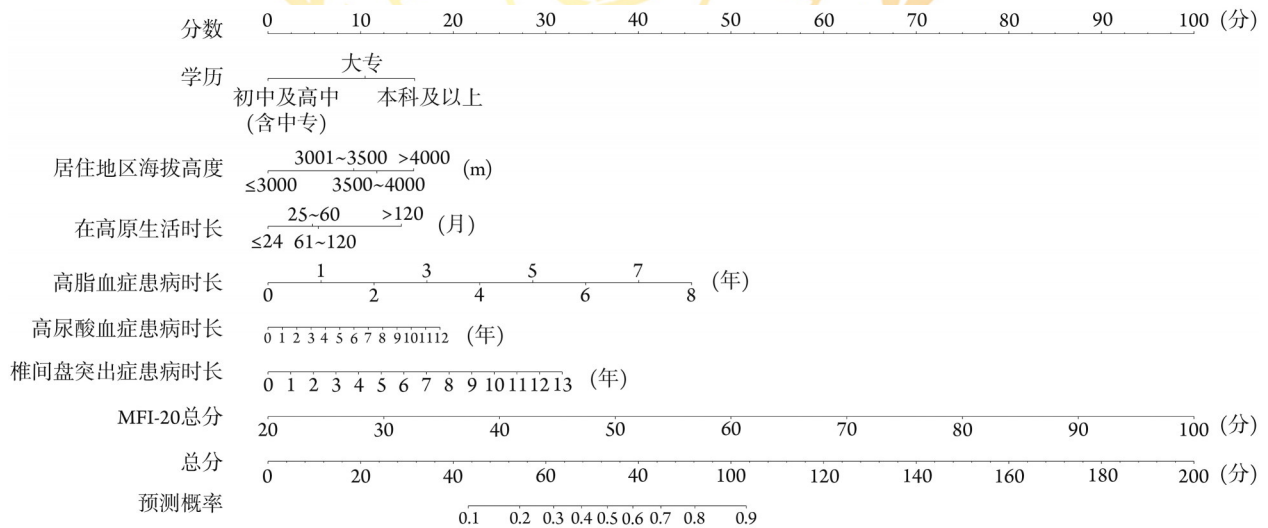


图2 移居高原人群发生睡眠障碍风险的列线图模型

Fig.2 Nomogram for predicting the risk of sleep disorders in a long-term high-altitude resident population.

### 3 讨论

高原地区缺氧、低压、低温、干燥、强紫外线辐射的特殊环境，可干扰人体的神经和呼吸调控等生理功能，诱发睡眠障碍，进而损害移居高原人群的身心健康和作业能力<sup>[7]</sup>。多项研究证实，高原环境会对睡眠质量产生显著的负面影响，其影响因素涉及人口学特征、生活习惯、高原暴露程度以及心

理和疲劳状态等多个维度<sup>[8-10]</sup>。

本研究系统收集了移居高原人群的人口学资料、生活习惯、高原生活史、既往病史等多维度变量。这些变量之间往往存在复杂的内在相关性，易产生多重共线性问题，导致模型失真。LASSO是一种机器学习方法，它通过构建惩罚函数来持续收缩变量的系数，筛选出基于精度特征的重要变量，可有效避免多重共线性与过拟合，从而简化模型<sup>[3]</sup>。本研

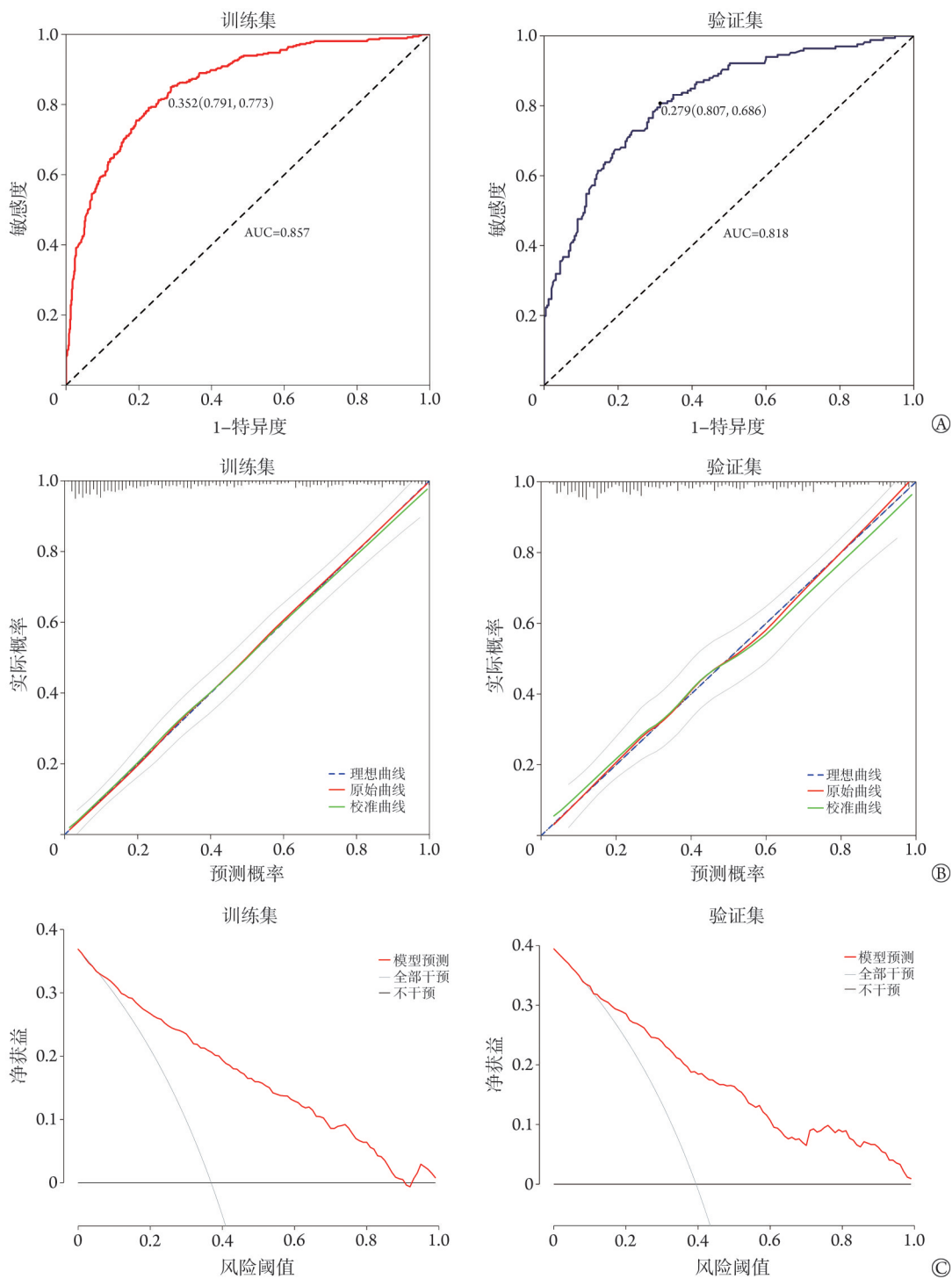


图3 列线图预测模型的性能评估

Fig.3 Performance evaluation of the nomogram prediction model

A. 训练集(红色曲线)与验证集(蓝色曲线)的ROC曲线, 图中所标数值代表模型预测的最佳截断值及其对应的特异度及敏感度; B. 训练集与验证集的校准曲线, 蓝色虚线代表理想情况曲线, 红色实线代表原始预测模型曲线, 绿色实线代表校准预测曲线; C. 训练集与验证集的决策曲线分析, 红色实线表示该列线图模型的净获益; 灰色实线表示对全部被试都进行干预的假设; 水平黑线表示不进行任何干预的假设

究通过单因素分析、LASSO回归筛选及多因素logistic回归分析, 筛选出了7个危险因素并构建了列线图模型。结果显示, 文化程度越高、居住地区海拔越高、在高原生活时间越长、高脂血症、高尿酸

血症及椎间盘突出症患病时间越长及MFI-20总分越高, 睡眠障碍风险越高。

3.1 学历水平 本研究发现, 文化程度越高, 发生睡眠障碍的风险越高。学历水平本身可能并非直接

的生物学致病因素，而是一个与经济水平、职业类型和心理应激相关的因素。既往的研究也支持这一观点<sup>[11-12]</sup>。高学历人群在高原地区多从事脑力密集型或管理类工作，工作压力大、工作难度高、工作时间长。长期精神紧张导致大脑持续处于兴奋状态，干扰睡眠-觉醒节律，增加睡眠障碍的发生风险<sup>[7,10]</sup>。研究发现，高学历睡眠障碍人群对失眠的认知行为疗法(cognitive behavioral therapy for insomnia, CBT-I)的治疗反应更好且起效更快<sup>[13-14]</sup>，因此早期识别该群体并实施CBT-I治疗具有重要的临床实践价值。CBT-I可纠正高原适应不良性睡眠认知与行为，并具有良好的安全性。其中腹式呼吸放松训练能显著提升移居高原人群的血氧饱和度，长期坚持能够明显改善睡眠状态<sup>[15]</sup>，在高原睡眠障碍的治疗中具有独特优势。

**3.2 海拔高度** 既往研究证实，相比于低海拔地区，高海拔地区人群的总睡眠时间减少，睡眠效率降低，深睡眠比例下降，夜间清醒时间延长，觉醒次数增多<sup>[16]</sup>。从生理机制来看，高海拔环境中气压随海拔升高呈指数下降，导致氧分压降低。低压低氧可导致高原周期性呼吸(high altitude periodic breathing, HAPB)，影响睡眠结构的完整性，尤其在非快速动眼睡眠期易导致频繁的微觉醒<sup>[17]</sup>。随着海拔高度的上升，HAPB的发生率、时间占比增高，与夜间觉醒明显相关<sup>[18]</sup>。也有研究认为，导致睡眠结构紊乱的主要因素是低氧血症而不是HAPB<sup>[19]</sup>。低氧还可抑制大脑皮层的兴奋性，干扰睡眠-觉醒周期调控，导致入睡困难、睡眠持续时间缩短及睡眠质量下降。此外，高海拔地区寒冷、干燥、强紫外线等环境因素可协同加剧睡眠障碍。

**3.3 在高原生活时长** 随着在高原生活时间的延长，人体可逐渐出现慢性适应不良，增加睡眠障碍发生风险。短期进入高原时，机体通过增加通气量、心输出量和脑血流量等生理反应维持组织氧合，增加红细胞生成和血红蛋白浓度以提高血液携氧能力，适应低氧环境<sup>[20]</sup>。长期居住在高原，慢性低氧会刺激红细胞增生，增加血液黏稠度，影响血液流动和氧气输送，加重组织缺氧并干扰睡眠调节；同时可导致肺血管收缩，影响心脏功能，引发夜间胸闷、憋气等不适，进一步影响睡眠<sup>[21]</sup>。缺氧和睡眠不足会进一步损害呼吸肌耐力，降低通气效率，形成恶性循环。此外，长期生活在高原的人群易患慢性高原病(chronic mountain sickness, CMS)。CMS与严重的夜间低氧血症、夜间交感神经过度兴奋和心血管并发症有关，睡眠障碍是其主要的临床表现之一。长期低氧还会造成神经递质失衡<sup>[22]</sup>，破坏睡眠-觉醒周期调控。

**3.4 高脂血症患病时长** 本研究发现，高脂血症患病时间越长，睡眠障碍风险越高。高脂血症与睡眠障碍之间存在双向影响。睡眠障碍可导致交感神经过度激活，儿茶酚胺释放增加，促进肝脏合成低密度脂蛋白(low-density lipoprotein, LDL)，抑制血管内皮一氧化氮释放，削弱血管对LDL的清除能力，加速高脂血症和动脉粥样硬化进展<sup>[23]</sup>。高脂血症可通过多种途径影响睡眠质量。一方面，长期的高脂血症导致的头颈部动脉粥样硬化可影响颅脑血液供应，干扰神经系统功能，导致睡眠结构紊乱、睡眠质量下降<sup>[24]</sup>。另一方面，高脂血症患者易出现颈部脂肪堆积，导致上气道狭窄，增加阻塞性睡眠呼吸暂停(obstructive sleep apnea, OSA)的发生风险<sup>[25]</sup>。OSA引发的夜间低氧血症及微觉醒可进一步加重睡眠碎片化，导致深睡眠减少，睡眠效率下降<sup>[26]</sup>。此外，高脂血症常与肥胖、胰岛素抵抗、高尿酸血症等代谢异常并存，协同加重睡眠障碍。睡眠障碍也会加剧代谢性疾病进展，形成恶性循环<sup>[27]</sup>。

**3.5 高尿酸血症患病时长** 高尿酸血症患病时长与移居高原人群睡眠障碍发生风险呈正相关。高海拔地区高尿酸血症患病率明显高于平原地区，主要与慢性缺氧相关<sup>[28-29]</sup>。慢性缺氧状态可直接诱导及激活缺氧诱导因子(hypoxia inducible factor, HIF)通路，促进红细胞生成和嘌呤代谢，导致代谢生成的尿酸增多。其次，低氧环境能够抑制三羧酸循环(tricarboxylic acid cycle, TCA)，使黄嘌呤氧化酶和腺苷脱氨酶表达增加，进一步增加尿酸的内源性生成<sup>[30]</sup>。此外，糖酵解产生的乳酸在肾脏竞争性抑制尿酸排泄，且肾脏细胞中 $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATP}$ 酶活性降低，尿酸转运的能量供应减少。以上原因共同作用，使血尿酸水平升高<sup>[31]</sup>。目前，睡眠障碍与高尿酸血症之间关系的机制尚未完全阐明，考虑与以下原因有关：首先，睡眠不足会增加交感神经兴奋性，儿茶酚胺水平上升，加速嘌呤代谢。其次，尿酸是机体重要的亲水性抗氧化剂。睡眠缺乏可能改变食欲及饱腹感信号激素水平，导致高油高糖食物摄入量增加，促使血脂升高、体脂率上升，使体内疏水性增强，降低了尿酸的抗氧化消耗。此外，尿酸盐结晶沉积在关节时，可引起疼痛，直接影响睡眠。高尿酸血症也是各种代谢和心血管疾病的重要风险因素，常与代谢综合征、心血管疾病等共病，增加睡眠障碍的发生风险<sup>[32]</sup>。睡眠不足可加剧代谢障碍、氧化应激和慢性炎症，造成肾脏及胃肠道功能障碍，减少尿酸排泄<sup>[33]</sup>。

**3.6 椎间盘突出症患病时长** 椎间盘突出症患者常因椎间盘源性下腰痛(discogenic low back pain, DLBP)、下肢放射性疼痛等症状，影响睡眠质量和

睡眠持续时间。慢性疼痛患者普遍存在睡眠问题<sup>[34]</sup>。在高原低压低氧环境下，HIF表达水平升高，促进炎症细胞募集与炎症因子释放，骨关节疾病高发<sup>[35]</sup>。炎症因子的过量产生还会增加脊髓背根神经节神经元兴奋性，导致中枢痛觉敏化，加重疼痛症状<sup>[36]</sup>。长期的睡眠障碍亦会诱发或加重痛觉过敏，降低疼痛耐受阈值<sup>[37]</sup>。研究发现，DLBP患者经过治疗疼痛减轻后，睡眠质量得到明显改善，改善睡眠质量后，能够提高疼痛阈值，缓解疼痛感受<sup>[38]</sup>。

**3.7 疲劳程度** 疲劳程度与移居高原人群睡眠障碍发生风险密切相关。疲劳是身体和心理状态的综合表现。严重的疲劳可能会干扰正常的睡眠调节机制，导致入睡困难、REM睡眠时长减少，睡眠碎片化，睡眠效率显著降低<sup>[39]</sup>。心理疲劳如精神倦怠、情绪低落等，也会影响睡眠质量。长期处于心理疲劳状态的人群，易出现负面情绪，加重睡眠障碍<sup>[40]</sup>。睡眠障碍会导致身体和心理无法得到充分休息，进一步加重疲劳程度，二者存在双向影响。

本研究结果为高原睡眠障碍的风险分层提供了一定的数据基础，但其仍存在一定局限性。(1)模型聚焦于整体睡眠障碍的风险预测，未针对失眠障碍、OSA等特定亚型进行分层分析，目前主要适用于移居高原人群睡眠障碍的非特异性筛查。(2)研究条件的客观限制可能影响结果的普适性：①样本仅来源于西藏地区，且调查对象绝大部分为男性，性别构成失衡，同时未纳入世居高原人群进行对比分析，可能影响模型对不同性别或不同居住背景人群的适用性；②缺乏移居高原前的睡眠基线数据，难以完全排除既往睡眠问题的潜在干扰；③缺乏多中心、大样本的外部独立队列验证，模型的泛化能力有待进一步证实。下一步研究可结合客观检查明确亚型诊断，针对不同亚型开展亚组分析，构建亚型分层的预测模型，提升干预的精准性；扩大样本量及覆盖地域，优化性别比例，纳入世居高原人群进行对比分析，以提升研究结论的代表性；补充基线睡眠数据，进一步验证危险因素在新发高原睡眠障碍中的独立作用；加强模型的外部验证与优化，并通过干预性研究验证防控措施的效果，以提升高原睡眠健康管理的针对性与实效性。

本研究采用了具有代表性的移居高原人群样本，采用整群随机抽样划分训练集与验证集，并系统收集多维度变量，结合LASSO回归及多因素logistic分析，构建并内部验证了睡眠障碍风险的预测模型，提升了变量筛选的准确性与模型的稳健性。本模型所采用的变量易于采集，无需复杂设备，具有无创、快速、成本低的优势，适用于高原基层和偏远地区睡眠障碍的普筛及早期识别，为高原地区睡眠障碍

的防控提供了务实、高效的技术支持。

#### 【参考文献】

- [1] 周琳琳,刘春,陈郁,等.高原驻防部队官兵睡眠情况调查及其与慢性高原病的相关性分析[J].解放军医学杂志,2017(6):553-558.
- [2] 张俞苑,巴桑卓玛.高原人群睡眠状况及与慢性高原病的关系[J].西藏医药,2022,43(3):154-156.
- [3] McNeish DM. Using Lasso for predictor selection and to assuage overfitting: a method long overlooked in behavioral sciences[J]. *Multivariate Behav Res*, 2015, 50(5): 471-484.
- [4] 刘贤臣,唐茂芹,胡蕾,等.匹兹堡睡眠质量指数的信度和效度研究[J].中华精神科杂志,1996,29(2):103-107.
- [5] Zheng W, Chen Q, Yao L, et al. Prediction models for sleep quality among college students during the COVID-19 outbreak: cross-sectional study based on the Internet new media[J]. *J Med Internet Res*, 2023, 25: e45721.
- [6] Westenberger A, Nöhre M, Brähler E, et al. Psychometric properties, factor structure, and German population norms of the multidimensional fatigue inventory (MFI-20) [J]. *Front Psychiatry*, 2022, 13: 1062426.
- [7] 许珂,赵梦雪,王佳,等.知觉压力对常驻高原军人睡眠质量的影响:职业紧张的调节作用[J].陆军军医大学学报,2024,46(14):1618-1625.
- [8] 宋佳颖,央拉,多吉卓玛,等.西藏自治区干部职工的睡眠质量及相关影响因素[J].现代预防医学,2021,48(14):2532-2537.
- [9] 孙孟泽,曾泽,罗勇军,等.驻高原某部青年官兵睡眠质量调查及其影响因素分析[J].人民军医,2021,64(9):811-815.
- [10] Bian S, Zhang L, Jin J, et al. The onset of sleep disturbances and their associations with anxiety after acute high-altitude exposure at 3700 m[J]. *Transl Psychiatry*, 2019, 9(1): 175.
- [11] Bui PTM, Van Nguyen T, Nguyen TQ, et al. Exploring the relationship between sleep quality, obesity, and biochemical markers in elderly outpatients[J]. *Am J Hum Biol*, 2025, 37(5): e70056.
- [12] Romigi A, Mercuri NB, Caccamo M, et al. Subjective sleep disorders and daytime sleepiness in patients with restrictive type anorexia nervosa and effects on quality of life: a case-control study[J]. *Sleep Biol Rhythms*, 2021, 20(2): 181-189.
- [13] Hu N, Xu Y, Mao H. Factors influencing the efficiency of cellphone-based CBT for treating sleep disorders[J]. *Front Psychiatry*, 2022, 13: 974888.
- [14] Zhang Y, Jiang Z, Mao H, et al. Temporal subtypes and characteristics of insomnia treatment responses[J]. *Sci Rep*, 2025, 15(1): 20994.
- [15] 李博志,刘清源,张颖,等.腹式呼吸放松训练对高原移居人群血氧饱和度及主观睡眠质量的改善作用[J].中华保健医学杂志,2020,22(6):565-567.
- [16] Graf LC, Furian M, Bitos K, et al. Effect of altitude and acetazolamide on sleep and nocturnal breathing in healthy lowlanders 40 y of age or older. Data from a randomized trial[J]. *Sleep*, 2023, 46(4): zsa269.
- [17] San T, Polat S, Cingi C, et al. Effects of high altitude on sleep and respiratory system and their adaptations[J]. *Sci World J*, 2013, 2013: 241569.

- [18] Torlasco C, Bilo G, Giuliano A, *et al.* Effects of acute exposure to moderate altitude on blood pressure and sleep breathing patterns [J]. *Int J Cardiol*, 2020, 301: 173-179.
- [19] Patrician A, Anholm JD, Ainslie PN. A narrative review of periodic breathing during sleep at high altitude: From acclimatizing lowlanders to adapted highlanders[J]. *J Physiol*, 2024, 602(21): 5435-5448.
- [20] Li C, Li X, Liu J, *et al.* Investigation of the differences between the Tibetan and Han populations in the hemoglobin-oxygen affinity of red blood cells and in the adaptation to high-altitude environments [J]. *Hematology*, 2018, 23(5): 309-313.
- [21] Kovacs G, Bartolome S, Denton CP, *et al.* Definition, classification and diagnosis of pulmonary hypertension[J]. *Eur Respir J*, 2024, 64(4): 2401324.
- [22] Zhang Z, Sun Y, Yuan Z, *et al.* Insight into the effects of high-altitude hypoxic exposure on learning and memory[J]. *Oxid Med Cell Longev*, 2022, 2022: 4163188.
- [23] Papadakis Z, Garcia-Retortillo S, Koutakis P. Effects of acute partial sleep deprivation and high-intensity interval exercise on postprandial network interactions[J]. *Front Netw Physiol*, 2022, 2: 869787.
- [24] Tobaldini E, Costantino G, Solbiati M, *et al.* Sleep, sleep deprivation, autonomic nervous system and cardiovascular diseases [J]. *Neurosci Biobehav Rev*, 2017, 74(Pt B): 321-329.
- [25] Bloomgarden Z. Obstructive sleep apnea and diabetes[J]. *J Diabetes*, 2023, 15(11): 916-919.
- [26] Labarca G, Vena D, Hu W, *et al.* Sleep apnea physiological burdens and cardiovascular morbidity and mortality[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2023, 208(7): 802-813.
- [27] Jang JH, Kim W, Moon JS, *et al.* Association between sleep duration and incident diabetes mellitus in healthy subjects: a 14-year longitudinal cohort study[J]. *J Clin Med*, 2023, 12(8): 2899.
- [28] Jefferson JA, Escudero E, Hurtado M, *et al.* Hyperuricemia, hypertension, and proteinuria associated with high-altitude polycythemia[J]. *Am J Kidney Dis*, 2002, 39(6): 1135-1142.
- [29] He B, Feng J, Shu Y, *et al.* Prevalence and risk factors of hyperuricemia among young and middle-aged Tibetan men living at ultrahigh altitudes: a cross-sectional study[J]. *High Alt Med Biol*, 2024, 25(1): 42-48.
- [30] Pu L, Xu H, Wang Z, *et al.* Intermittent high altitude hypoxia induced liver and kidney injury leading to hyperuricemia[J]. *Arch Biochem Biophys*, 2024, 758: 110078.
- [31] Du Y, Qi M, Wang W, *et al.* Effect of high-altitude hypoxia environment on uric acid excretion, desmin protein level in podocytes, and Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup>-ATPase activity[J]. *Cell Mol Biol (Noisy-le-grand)*, 2022, 68(6): 84-91.
- [32] Kuwabara M, Ae R, Kosami K, *et al.* Current updates and future perspectives in uric acid research, 2024[J]. *Hypertens Res*, 2025, 48(2): 867-873.
- [33] Wang X, Fan J. Association between life's essential 8 and hyperuricemia among adults in the United States: insights from NHANES 2005-2018[J]. *Front Med (Lausanne)*, 2024, 11: 1455164.
- [34] Orzeszek S, Martynowicz H, Smardz J, *et al.* Assessment of sleep quality in patients with orofacial pain and headache complaints: a polysomnographic study[J]. *Dent Med Probl*, 2024, 61(4): 549-562.
- [35] Zhang X, Kong H. Mechanism of HIFs in osteoarthritis[J]. *Front Immunol*, 2023, 14: 1168799.
- [36] Weng H. Emerging molecular and synaptic targets for the management of chronic pain caused by systemic lupus erythematosus[J]. *Int J Mol Sci*, 2024, 25(7): 3602.
- [37] Jain SV, Panjeton GD, Martins YC. Relationship between sleep disturbances and chronic pain: a narrative review[J]. *Clin Pract*, 2024, 14(6): 2650-2660.
- [38] Roehrs TA, Harris E, Randall S, *et al.* Pain sensitivity and recovery from mild chronic sleep loss[J]. *Sleep*, 2012, 35(12): 1667-1672.
- [39] Mohamed AZ, Andersen T, Radovic S, *et al.* Objective sleep measures in chronic fatigue syndrome patients: a systematic review and meta-analysis[J]. *Sleep Med Rev*, 2023, 69: 101771.
- [40] Huan Y, Mujun X, Xin L, *et al.* Short sleep duration as a risk factor for depression, anxiety and fatigue in patients with leukemia[J]. *Neuropsychiatr Dis Treat*, 2022, 18: 1573-1582.