

独居老年人衰弱的风险预测模型构建与验证研究

谢抒宸^{1,2,3,4}, 赵晓晴^{2,3,4,5}, 杜金曼^{1,2,3,4}, 杨小兰^{1,2,3,4},

董志伟^{1,2,3,4}, 李海燕^{1,2,3,4}, 井淇^{1,2,3,4}

1. 山东第二医科大学管理学院, 山东 潍坊 261053; 2. “健康山东”重大社会风险预测与治理协同创新中心;
3. 山东第二医科大学康复健康研究院; 4. 山东第二医科大学 ICF 研究院; 5. 山东第二医科大学公共卫生学院

摘要:目的 构建独居老年人衰弱的风险预测模型, 识别关键影响因素, 为衰弱的早筛查、早干预提供科学依据。方法 采用 2018 年中国老年健康影响因素跟踪调查数据, 纳入 1 758 例 60 岁及以上的独居老年人作为研究对象, 按 7:3 分为训练集 ($n=1\ 230$) 与验证集 ($n=528$)。构建衰弱指数评估衰弱状态, 基于健康生态学模型筛选预测变量, 利用 LASSO 回归和多因素 logistic 回归筛选出影响独居老年人衰弱的预测变量, 并构建风险预测模型。通过 ROC 曲线下面积、校准曲线、决策分析曲线等指标评估模型性能。结果 独居老年人衰弱检出率为 24.6%。LASSO 回归筛选出 6 个潜在预测变量; 多因素 logistic 回归显示, 高龄、女性、睡眠质量差是独居老年人衰弱的危险因素, 而锻炼、社会参与为保护因素。模型验证中, 训练集和验证集的 ROC 曲线下面积为 0.822 和 0.767, Hosmer - Lemeshow 检验值 $P>0.05$ 。决策曲线分析显示模型在 0.1~0.75 区间临床净效益显著优于极端情况。结论 本研究构建的独居老年人衰弱风险预测模型具有较好的预测效能及临床适用性, 为基层卫生人员开展重点人群衰弱筛查提供参考依据。

关键词: 独居老年人; 衰弱; 风险因素; 预测模型; 列线图

中图分类号: R592 文献标志码: A 文章编号: 1003-8507(2026)14-2502-09

DOI: 10.20043/j.cnki.MPM.202509324

Construction and validation of a risk prediction model for frailty among older adults living alone

XIE Shu - chen *, ZHAO Xiao - qing, DU Jin - man, YANG Xiao - lan,
DONG Zhi - wei, LI Hai - yan, JING Qi

* School of Management, Shandong Second Medical University, Weifang, Shandong 261053, China

Abstract: **Objective** To construct a predictive model for frailty risk among older adults living alone, identify key influencing factors, and provide scientific evidence for early screening and intervention of frailty. **Methods** Using data from the 2018 China Health and Retirement Longitudinal Study, 1 758 individuals aged 60 years and older living alone were enrolled. The dataset was divided into a training set ($n=1\ 230$) and a validation set ($n=528$) at a 7:3 ratio. The Frailty Index was constructed to assess frailty. Predictor variables were identified using a health ecology model, and LASSO regression and multivariable logistic regression were employed to select predictors influencing frailty in older adults living alone, thereby constructing a risk prediction model. Model performance was evaluated using metrics such as the area under the ROC curve, calibration curves and decision - making analysis curves. **Results** The frailty detection rate among older adults living alone was 24.6%. LASSO regression identified six potential predictors. Multivariate logistic regression revealed that advanced age, female gender, and poor sleep quality were risk factors for frailty among older adults living alone, while exercise and social engagement served as protective factors. In model validation, the area under the ROC curve was 0.822 for the training set and 0.767 for the validation set, and Hosmer - Lemeshow test value $P>0.05$. Decision curve analysis indicated that the model demonstrated significantly superior net benefit compared to extreme scenarios within the 0.1 - 0.75 interval. **Conclusion** The frailty risk prediction model developed for older adults living alone in this study exhibits good predictive performance and clinical applicability, providing a reference for primary healthcare workers to conduct frailty screening among key populations.

Keywords: Living - alone older adults; Frailty; Risk factors; Prediction model; Nomograms

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(72374156); 国家自然科学基金青年科学基金项目(72004165); 山东省高等学校“青创团队计划”团队研究课题(2022RW075)

作者简介: 谢抒宸(2002—), 女, 硕士, 研究方向: 脆弱人群健康管理

通信作者: 井淇与李海燕为共同通信作者。井淇, E-mail: jingqi@sdsmu.edu.cn; 李海燕, E-mail: lihaiyan@sdsmu.edu.cn

衰弱 (Frailty) 是老年人多系统生理储备下降导致的抗应激能力减退、机体易损性增加的非特异性临床状态^[1-2],可显著增加失能加剧乃至过早死亡等不良结局的风险^[3]。一项荟萃分析结果表明,全球老年人衰弱率为 12% ~ 24%^[4],给家庭及社会带来沉重负担。衰弱是具有可逆性,通过营养、运动等干预手段可延缓甚至改善衰弱状态^[2]。当前,伴随人口老龄化与家庭结构变迁,独居老年人口规模逐步扩大,我国独居老年人数量占老年总人口的 14.2%^[5]。研究证实,独居老年人发生衰弱的风险更高^[6],可能与社会支持缺失、心理孤独及照护缺位有关^[7],这些因素不仅增加衰弱的发生风险,还可能进一步加剧其健康恶化。

已有研究多采用回归分析探讨了独居老年人衰弱的影响因素,例如 Jang HY 等学者发现男性主要与吸烟、饮酒、社会支持不足等相关,女性则与经济困难、睡眠差、关节疾病等相关^[8];Yokoro M 等关注到社区独居老年人饮食多样性与衰弱的关联及性别差异^[9],这表明独居老年人衰弱受多维因素影响。然而,针对该人群衰弱的风险预测模型研究相对匮乏,难以精准识别高风险个体。列线图可整合多因素信息,直观评估个人风险,便于基层筛查。因此,本研究通过基于 LASSO - logistic 回归构建独居老年人风险预测模型,识别关键因素,为早期干预提供科学依据。

1 对象与方法

1.1 研究对象 本研究基于 2018 年中国老年健康影响因素跟踪调查数据 (Chinese Longitudinal Healthy Longevity Survey, CLHLS),采用概率比例规模抽样方法,以社区老年人为重点调查对象,覆盖全国 23 个省

市,该调查已获得北京大学生物医学伦理委员会批准 (IRB00001052 - 13074),所有参与者均签署知情同意书。根据本研究目的,样本筛选流程如图 1 所示,最终纳入样本 1 758 例,构建原始数据集。使用 R 软件,根据随机数序列按 7:3 的比例将原始数据集分成训练集 ($n = 1\ 230$) 和验证集 ($n = 528$),满足预测模型开发所需的样本量^[10]。

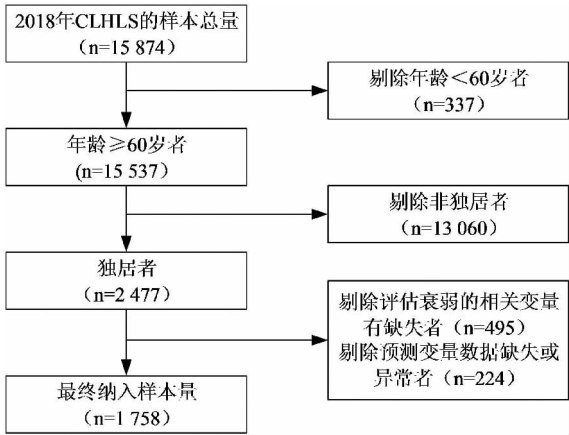


图 1 样本流程图
Fig.1 Sample flowchart

1.2 变量定义

1.2.1 结局变量 采用衰弱指数 (Frailty Index, FI) 评估独居老年人的衰弱状态。衰弱指数基于“健康累计缺陷”理论,纳入评估个体健康状态的相关指标,全面反映老年人在心理、躯体受限、认知功能等方面的情况。参考既往研究^[11],共纳入 39 项指标,得分范围为 0 ~ 40,详见表 1。计算公式为:FI = 得分之和/总分,范围为 0 ~ 1,当 FI ≥ 0.25 时,被定义为衰弱^[2]。

表 1 衰弱指数的计算条目及赋分情况
Table 1 Calculation criteria and scoring for the frailty index

分类	内容	得分
失能	洗澡、穿衣、如厕、床椅移动、控制大小便、吃饭、串门、外出购物、做饭、洗衣服、连续走 2 里路、连续蹲下站起三次、提起 5 公斤物品、乘坐公共交通工具出行	不能独立完成 = 1;能够独立完成 = 0
躯体功能	手触颈根、手触后腰、手臂上举、独立站起、捡起地上的书	不能独立完成 = 1;能够独立完成 = 0
疾病	11 项慢性病患病情况 (包括高血压、糖尿病、心脏病、中风/脑血管疾病、支气管炎/哮喘、癌症、肺结核、胃溃疡、帕金森、关节炎、褥疮)	每患 1 项计 1 分
自评健康	自评健康状况 自评近一年健康状况是否改变	不好/很不好 = 1;很好/好/一般 = 0 差一些/差多了 = 1;好多了/好一些/没变 = 0
抑郁	流调中心抑郁量表 (CES - D) ^[12]	≤ 26 分 (抑郁症状) = 1; > 26 分 = 0
认知功能	简易智力状态检查量表 (MMSE) ^[13]	< 18 分 (认知障碍) = 1; ≥ 18 分 = 0
视力	不戴眼镜,是否能看清圆圈的开口	看不清缺口方向/看不清/失明 = 1;能看清缺口方向 = 0
听力	是否有听力困难	是 = 1;否 = 0
其他	心率 访问员评价调查对象健康状况 过去两年患过几次重病	心率不齐 = 1;心率正常 = 0 身体虚弱/体弱多病 = 1;相当健康/比较健康 = 0 2 次及以上 = 2;1 次 = 1;未患过 = 0
总分		40

1.2.2 预测变量 根据健康生态学模型的五个维度对预测变量进行筛选和整理,一是个人特征层,主要有年龄、性别;二是行为特征层,主要有吸烟情况、饮酒情况、睡眠质量、锻炼情况、社交参与、生活满意度;三是人际网络层,主要有婚姻状况、代际支持、社区支

持;四是生活和工作条件层,主要有文化程度、居住地、就业情况、生活水平;五是政策环境层,主要有养老保险、医疗保险,具体变量定义及赋值情况见表 2^[14-15]。

表 2 预测变量的定义及赋值情况
Table 2 Definitions and values of predictor variables

层级	变量	定义
个人特征层	年龄	60~69 岁 =1,70~79 岁 =2,80~89 岁 =3,90 岁及以上 =4
	性别	男 =1,女 =2
行为特征层	吸烟情况	从不吸烟 =1,曾经吸烟 =2,现在吸烟 =3
	饮酒情况	从不饮酒 =1,曾经饮酒 =2,现在饮酒 =3
	睡眠质量	很好/好 =1,一般 =2,不好/很不好 =3
	锻炼情况	经常进行有目的的健身活动 =1,未进行 =0
	社会参与	参加太极拳、广场舞、串门等社会活动中任意一项 =1,未参与 =0
人际网络层	生活满意度	很好/好 =1,一般 =2,不好/很不好 =3
	婚姻状况	已婚并同居 =1,已婚不同居/离婚/丧偶/从未结过婚 =0
	代际生活照料	身体不舒服时由儿子/儿媳/女儿/女婿/孙子女进行生活照料 =1,其他人/无人帮助 =2
	代际情感慰藉	子女经常探望 =1,否则 =0
		子女经常通讯联系 =1,否则 =0
生活和工作条件层	代际经济支持	近一年子女给予 100 元及以上的现金支持 =1,否则 =0
	社区支持	获得社区提供的医疗保健、日常护理、心理照顾和法律支持四类服务中的任意一项 =1,未获得 =0
	文化程度	文盲 =1,小学 =2,小学以上 =3
	居住地	城镇 =1,农村 =2
	就业情况	专业技术人员类(专业技术人员、医生、教师和行政管理人员) =1,一般职员类(一般职员、服务人员、工人、自由职业者和军人) =2,农民及其他类(农民、家务劳动者、无业人员和其他) =3
政策环境层	生活水平	收入够用 =1,收入不够用 =0
	养老保险	享有退休金、养老金、商业养老保险中的任意一项 =1,未享有 =0
	医疗保险	享有公费医疗、城镇职工/居民医疗保险、新型农村合作医疗保险和商业医疗保险中的任意一项 =1,未享有 =0

1.3 统计学方法 应用 SPSS 27.0 和 R 4.2.2 软件分析数据。计数资料用频数和百分比表示,单因素分析采用卡方检验。利用 LASSO 回归和多因素 logistic 回归筛选出影响独居老年人衰弱的预测变量,构建预测模型并绘制列线图进行可视化展示。模型性能评价标准如下^[16]:采用接收者操作特征曲线(Receiver Operating Characteristic, ROC)曲线下面积(Area Under the Curve, AUC)、准确度、灵敏度、特异度等多种分类指标以评估模型的区分能力,其中 AUC>0.7 为区分度较好;采用校准曲线和 Brier 分数(<0.25 为宜)和 Hosmer-Lemeshow 检验($P>0.05$ 为良好)

评估模型校准度;区分度和校准度综合反映模型的预测效能;采用决策分析曲线(Decision Curve Analysis, DCA)所得的临床净效应评价模型临床适用性。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结 果

2.1 研究对象的基本情况 本研究共纳入独居老年人共 1 758 例,男性 653 例(37.14%),女性 1 105 例(62.86%);衰弱检出率为 24.6%(432/1 758)。训练集和验证集在相关资料比较中差异均无统计学意义($P>0.05$),见表 3。

表 3 训练集和验证集的基本情况[例(%)]
Table 3 Overview of the training andtest sets[n(%)]

变量	总样本 (n = 1 758)	训练集 (n = 1 230)	验证集 (n = 528)	χ^2	P
衰弱				0.482	0.487
否	1 326(75.43)	922(74.96)	404(76.52)		
是	432(24.57)	308(25.04)	124(23.48)		
性别				0.914	0.339
男	653(37.14)	448(36.42)	205(38.83)		
女	1 105(62.86)	782(63.58)	323(61.17)		

(续表)

变量	总样本 (<i>n</i> = 1 758)	训练集 (<i>n</i> = 1 230)	验证集 (<i>n</i> = 528)	χ^2	<i>P</i>
年龄(岁)				1.751	0.626
60 ~ 69	125(7.11)	92(7.48)	33(6.25)		
70 ~ 79	427(24.29)	290(23.58)	137(25.95)		
80 ~ 89	632(35.59)	446(36.26)	186(35.23)		
≥90	574(32.65)	402(32.68)	172(32.58)		
文化程度				5.667	0.059
文盲	976(55.52)	705(57.32)	271(51.33)		
小学	544(30.94)	362(29.43)	182(34.47)		
小学以上	238(13.54)	163(13.25)	75(14.20)		
居住地				5.584	0.999
城镇	1 152(65.53)	806(65.53)	346(65.53)		
农村	606(34.47)	424(34.47)	182(34.47)		
婚姻状况				0.001	0.971
无配偶	1 652(93.97)	1 156(93.98)	496(93.94)		
有配偶	106(6.03)	74(6.02)	32(6.06)		
就业情况				3.099	0.212
专业技术人员	129(7.34)	83(6.75)	46(8.71)		
一般职员	270(15.36)	197(16.02)	73(13.83)		
农民及其他	1 359(77.30)	950(77.24)	409(77.46)		
养老保险				0.699	0.403
无	1 197(68.09)	830(67.48)	367(69.51)		
有	561(31.91)	400(32.52)	161(30.49)		
医疗保险				2.601	0.107
无	244(13.88)	160(13.01)	84(15.91)		
有	1 514(86.12)	1 070(86.99)	444(84.09)		
睡眠质量				2.833	0.243
好	850(48.35)	593(48.21)	257(48.67)		
一般	580(32.99)	418(33.98)	162(30.68)		
不好	328(18.66)	219(17.80)	109(20.64)		
锻炼情况				0.099	0.753
无	454(25.82)	315(25.61)	139(26.33)		
有	1 304(74.18)	915(74.39)	389(73.67)		
社会参与				0.801	0.371
无	82(4.66)	61(4.96)	21(3.98)		
有	1 676(95.34)	1 169(95.04)	507(96.02)		
吸烟				3.272	0.195
从未吸烟	1 315(74.80)	935(75.61)	380(71.97)		
曾经吸烟	188(10.69)	124(10.08)	64(12.12)		
现在吸烟	255(14.51)	171(13.90)	84(15.91)		
饮酒				1.765	0.414
从未饮酒	1 337(76.05)	930(75.61)	407(77.08)		
曾经饮酒	166(9.44)	113(9.19)	53(10.04)		
现在饮酒	255(14.51)	187(15.20)	68(12.88)		
生活满意度				1.176	0.555
好	1 071(60.92)	752(61.14)	319(60.42)		
一般	602(34.24)	423(34.39)	179(33.90)		
不好	85(4.84)	55(4.47)	30(5.68)		
收入是否够用				0.372	0.541
否	282(16.04)	193(15.69)	89(16.86)		
是	1 476(83.96)	1 037(84.31)	439(83.14)		
生活照料				0.976	0.323
否	338(19.23)	229(18.62)	109(20.64)		
是	1 420(80.77)	1 001(81.38)	419(79.36)		
代际探望				0.027	0.870
否	240(13.65)	169(13.74)	71(13.45)		
是	1 518(86.35)	1 061(86.26)	457(86.55)		
代际联系				0.006	0.939

(续表)

变量	总样本 (<i>n</i> = 1 758)	训练集 (<i>n</i> = 1 230)	验证集 (<i>n</i> = 528)	χ^2	<i>P</i>
否	248 (14. 11)	173 (14. 07)	75 (14. 20)	1. 432	0. 231
是	1 510 (85. 89)	1 057 (85. 93)	453 (85. 80)		
子女经济支持					
否	555 (31. 57)	399 (32. 44)	156 (29. 55)	0. 950	0. 330
是	1 203 (68. 43)	831 (67. 56)	372 (70. 45)		
社区支持					
否	683 (38. 85)	487 (39. 59)	196 (37. 12)	0. 950	0. 330
是	1 075 (61. 15)	743 (60. 41)	332 (62. 88)		

2.2 LASSO 回归 为筛选出独居老年人发生衰弱的潜在预测变量,本研究采用 LASSO 回归进行特征选择。利用 10 折交叉验证法,选择距离最小偏差 1 个标准误对应的正则化参数(λ)为最优 λ 。结果如图 2 和图 3 所示,最优 λ 为 0. 024,此时筛选出 6 个潜在预测变量,包括性别、年龄、生活满意度、睡眠质量、锻炼情况、社会参与。

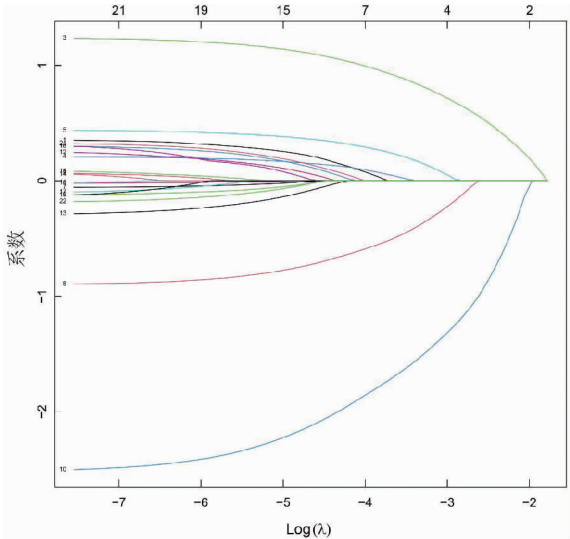


图 2 系数分布图

Fig. 2 Coefficient distribution plot

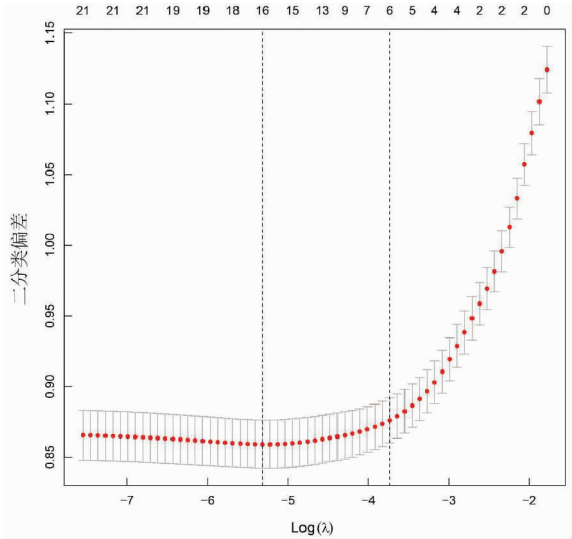


图 3 LASSO 回归交叉验证曲线

Fig. 3 Cross-validation curves for LASSO regression

2.3 Logistic 回归分析 将 LASSO 回归筛选出的 6 个潜在预测变量纳入 logistic 回归模型中。结果显示,高龄、女性、睡眠质量差是独居老年人衰弱的危险因素,锻炼、社会参与为保护因素,见表 4。

表 4 独居老年人衰弱的 logistic 回归分析结果(*n* = 1 758)

Table 4 Results of the logistic regression analysis on frailty among older adults living alone (*n* = 1 758)

变量	<i>B</i>	<i>SE</i>	Wald χ^2	<i>P</i>	OR 值(95% CI)
年龄(参照:60 ~ 69 岁)					
70 ~ 79 岁	1. 138	0. 755	2. 274	0. 132	3. 122 (0. 711 ~ 13. 709)
80 ~ 89 岁	2. 171	0. 730	8. 847	0. 003	8. 767 (2. 097 ~ 36. 655)
90 岁及以上	3. 526	0. 728	23. 484	<0. 001	33. 976 (8. 164 ~ 141. 397)
性别(参照:男)					
女	0. 358	0. 167	4. 562	0. 033	1. 430 (1. 030 ~ 1. 985)
生活满意度(参照:好)					
一般	0. 161	0. 169	0. 909	0. 340	1. 175 (0. 843 ~ 1. 638)
不好	0. 619	0. 353	3. 080	0. 079	1. 858 (0. 930 ~ 3. 709)
睡眠质量(参照:好)					
一般	0. 543	0. 178	9. 300	0. 002	1. 721 (1. 214 ~ 2. 439)
不好	0. 898	0. 216	17. 216	<0. 001	2. 454 (1. 606 ~ 3. 750)

(续表)

变量	<i>B</i>	<i>SE</i>	Wald χ^2	<i>P</i>	<i>OR</i> 值(95% <i>CI</i>)
锻炼情况(参照:无)					
有	-0.848	0.193	19.403	<0.001	0.428(0.294 ~0.625)
社会参与(参照:否)					
是	-2.440	0.420	33.799	<0.001	0.087(0.038 ~0.198)

2.4 预测模型的构建及评价 基于筛选出的预测变量构建独居老年人衰弱发生风险的预测模型,如图4所示。图中每个预测变量对应一个分值轴,根据个体特征在相应轴上确定其取值所对应的分值,将各变量分值求和得到总分,最终在总风险轴得到其衰弱发生概率。基于训练集与验证集对模型进行评价及内部验证,ROC 曲线结果显示,训练集和验证集的 AUC 分别为 0.822 (95% *CI*: 0.796 ~ 0.849) 和 0.767 (95% *CI*: 0.720 ~ 0.815),区分度较好,见图5。其中,训练集的准确度为 72.4%,灵敏度为 80.8%,特异度为 69.6%;验证集的准确度为 68.2%,灵敏度为 69.4%,特异度为 67.8%。Hosmer – Lemeshow 检验结果分别为 $\chi^2 = 4.928$ ($P = 0.765$) 和 $\chi^2 = 9.702$ ($P = 0.287$),校准曲线 Brier 分数为 0.137 和 0.147,校准度良好,见图6。DCA 结果显示,验证集在阈值 0.1 ~

0.75 区间的临床净效益均优于两种极端情况,具有较好的临床适用性,见图7。

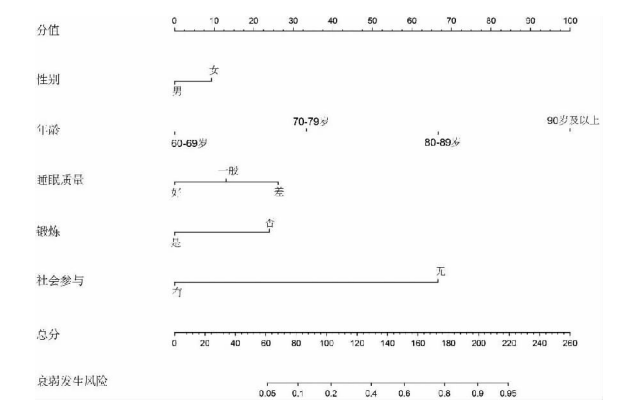
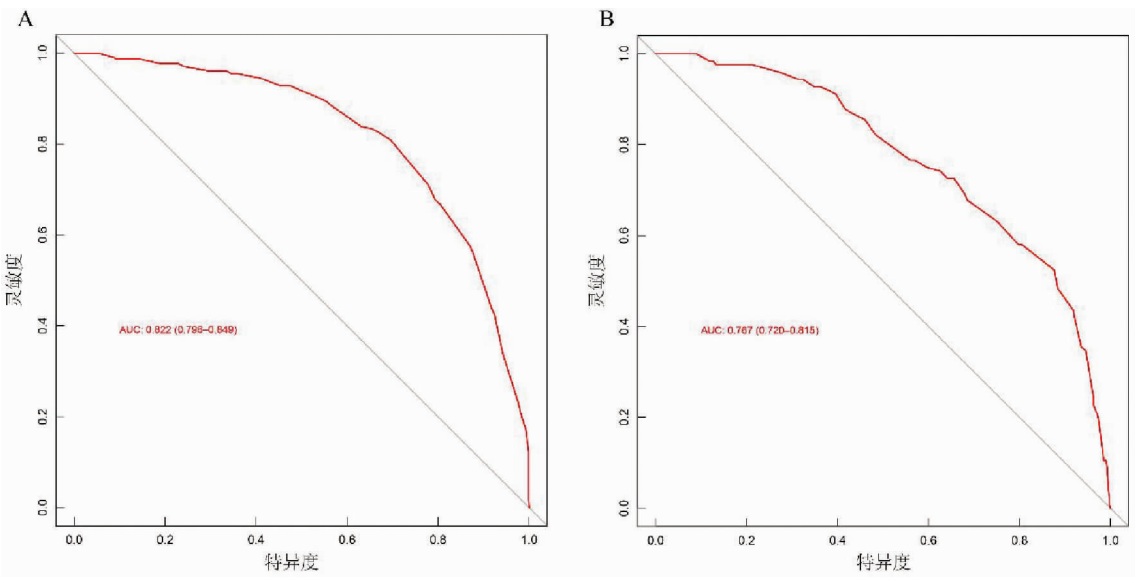


图4 独居老年人衰弱风险列线图

Fig.4 Nomogram for the risk of frailty in older adults living alone



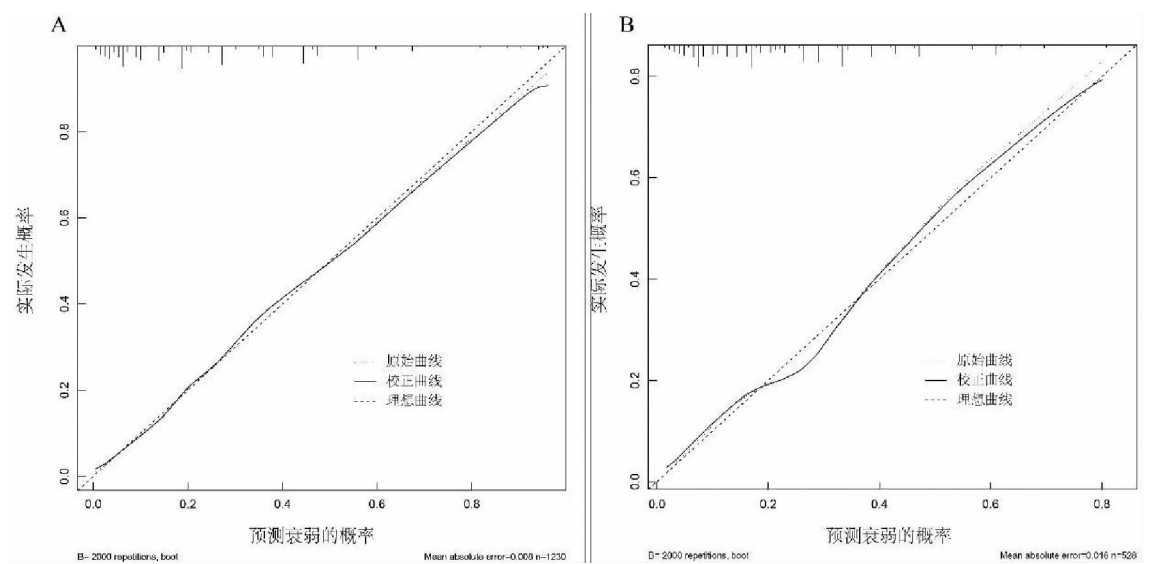
注:A 为训练集,B 为验证集。

图5 训练集和验证集的 ROC 曲线分析
Fig.5 ROC curve analysis in the training and test sets

3 讨论

目前,老年人衰弱已成为全球性的健康负担,尤其对独居老年人群体而言,其高发生率加剧了个人健康风险和社会照护压力。本研究基于健康生态学理论,构建了独居老年人衰弱的风险预测模型,具有良

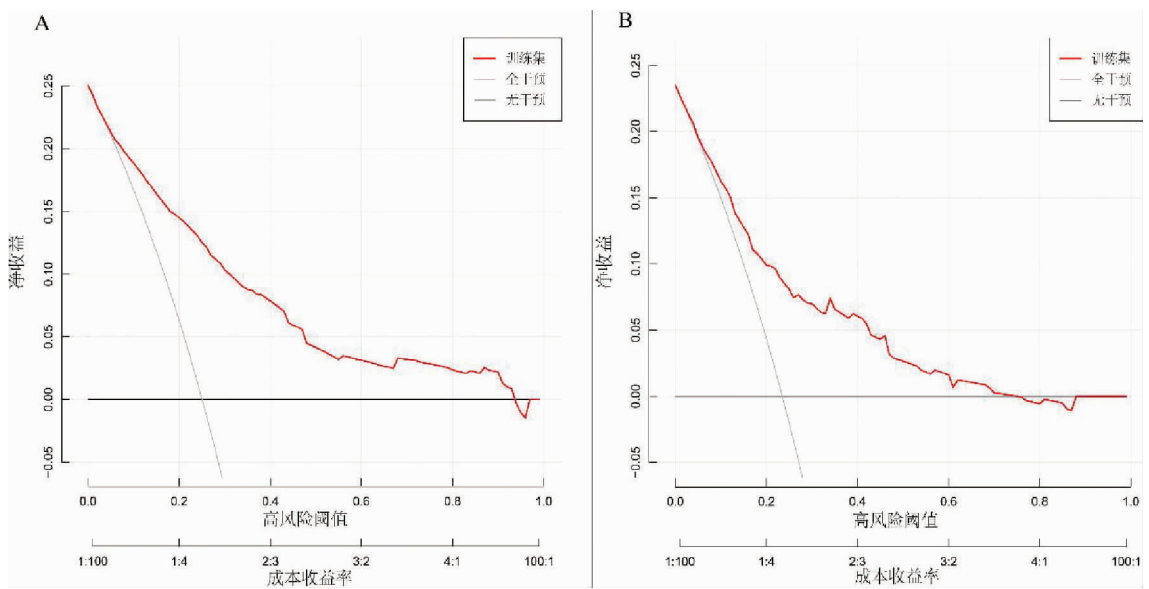
好的预测效能和临床适用性,可为社区开展早期筛查和个性化干预提供量化工具。在本研究中,独居老年人衰弱的检出率为 24.6%,明显高于张嘉骏报告的 60 岁以上老年人群总体衰弱率(11.18%)^[17]。结合既往研究^[18],这提示相较于普通老年人群,独居老年人群的衰弱检出率可能更高。这可能与独居老年人



注:A 为训练集,B 为验证集。

图 6 训练集与验证集的校准曲线分析

Fig.6 Calibration curve analysis in the training and test sets



注:A 为训练集,B 为验证集。

图 7 训练集与验证集的 DCA 曲线分析

Fig.7 DCA curve analysis in the training and test sets

心理层面因情感缺失与社交隔离引发的负面情绪,以及行为层面存在的健康管理有关^[6-7]。

本研究发现,性别和年龄是独居老年人衰弱的重要影响因素,这与既往研究结果一致^[11]。其中,女性风险显著高于男性,主要与肌肉量较少、骨密度较低及绝经后雌激素下降等生理特点相关,这些因素可能引发血脂代谢异常、肌肉萎缩等身体机能衰退^[19]。此外,增龄伴随的细胞修复再生能力下降、神经肌肉协调性减弱以及免疫失调,使得老年人生理储备与抗应激能力大幅降低,从而增加衰弱风险^[2]。同时,年

龄相关的口腔问题也会影响营养摄入,间接提升认知障碍风险^[13]。

除人口学因素外,本研究发现睡眠质量和定期锻炼等行为因素也与独居老年人衰弱的发生密切相关,已有研究证实这一观点^[20-21]。睡眠障碍可能诱发炎症反应、内分泌失调及应激激素异常释放,加速肌肉分解和代谢紊乱,进而影响认知与躯体功能^[20]。规律锻炼不仅能够肌肉力量与心肺功能,还能通过促进多巴胺等神经递质释放改善心理状态,缓解抑郁与焦虑^[21]。由于缺乏必要的照护和资源,独居老年人在

应对上述生理功能衰退时更加脆弱,睡眠问题不易被及时发现和干预,持续加剧其负面情绪并减少日间活动,进而影响衰弱的发生与发展^[18]。

此外,与韩佳滢等学者研究结果相同,本研究发现高社会参与的老年人在认知功能和躯体功能上表现更好^[22]。社会衰弱是指个体长期处于社会需求无法满足的状态,常早于身体衰弱出现,并与多种不良健康结局相关^[23]。通过参与广场舞、棋牌等集体活动,能够帮助老年人排解独居带来的不良情绪,有效调动认知与肢体功能,进而维护其心理健康与自理能力^[24]。

验证结果显示,本研究构建的独居老年人衰弱风险预测模型具有良好的区分度与校准度,并表现出较好的临床适用性。此外,城乡差异未被纳入预测因子,表明该模型适用于不同居住环境的独居老年人衰弱筛查,具有良好的普适性和推广价值。

综上所述,在构建独居老年人健康管理方案时,可将睡眠质量、体育锻炼及社会参与纳入评估与干预框架,如提供睡眠指导、适老化运动方案,以及打造融合日间照料与社交活动的嵌入式养老服务平台。本研究亦存在一定局限性:尽管基于健康生态学模型纳入多维度变量,仍可能存在未纳入的潜在影响因素;数据收集多依赖自我报告,且因缺失值排除样本,可能存在回忆偏倚和选择偏倚;此外,横断面研究无法推断因果。未来需开展多中心队列研究,纳入更多客观指标与干预实验,以进一步验证模型的有效性与可推广性。

利益冲突声明 本研究不存在任何利益冲突

参考文献

- [1] Clegg A, Young J, Iliffe S, et al. Frailty in elderly people[J]. *Lancet*, 2013, 381(9868): 752–762.
- [2] 中华医学会老年医学分会,《中华老年医学杂志》编辑委员会. 老年人衰弱预防中国专家共识(2022)[J]. *中华老年医学杂志*, 2022, 41(5): 503–511. Geriatrics Society of Chinese Medical Association, Editorial Committee of Chinese Journal of Geriatrics. Chinese expert consensus on prevention of frailty in the elderly (2022)[J]. *Chinese Journal of Geriatrics*, 2022, 41(5): 503–511. (In Chinese)
- [3] Dent E, Martin FC, Bergman H, et al. Management of frailty: opportunities, challenges, and future directions[J]. *Lancet*, 2019, 394(10206): 1376–1386.
- [4] O'caimh R, Sezgin D, O'Donovan MR, et al. Prevalence of frailty in 62 countries across the world: a systematic review and meta-analysis of population-level studies[J]. *Age and Ageing*, 2021, 50(1): 96–104.
- [5] 中国老龄协会. 第五届中国城乡老年人生活状况抽样调查基本数据公报[EB/OL]. [2026–06–11]. www.crca.cn/index.php/19-data-resource/life/1117-2024-10-17-08-01-05.html
- [6] 张倩,钟文芳,谢嘉浩,等. 中国高龄老人居住安排与衰弱风险的关联[J]. *中华疾病控制杂志*, 2025, 29(7): 750–757, 789. Zhang Q, Zhong WF, Xie JH, et al. Study on the association between living arrangements and frailty among the oldest-old in China[J]. *Chinese Journal of Disease Control & Prevention*, 2025, 29(7): 750–757, 789. (In Chinese)
- [7] 李康香. 社会工作介入农村独居老人生活困境的实务研究——以C市N村为例[D]. 贵阳: 贵州大学, 2024. Li KX. A practical study on social work intervention in addressing the living difficulties of rural elderly living alone[D]. Guiyang: Guizhou University, 2024. (In Chinese)
- [8] Jang HY, Kim JH. Factors associated with frailty according to gender of older adults living alone[J]. *Healthcare*, 2021, 9(4): 475.
- [9] Yokoro M, Otaki N, Yano M, et al. Associations between dietary variety and frailty in community-dwelling older people who live alone: gender differences[J]. *The Journal of Frailty & Aging*, 2023, 12(1): 30–36.
- [10] Peduzzi P, Concato J, Kemper E, et al. A simulation study of the number of events per variable in logistic regression analysis[J]. *Journal of Clinical Epidemiology*, 1996, 49(12): 1373–1379.
- [11] 顾耀华. 健康老龄化视角下中国老年人的衰弱指数研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2021. Gu YH. The frailty index among Chinese older adults—in the perspectives of health aging[D]. Wuhan: Wuhan University, 2021. (In Chinese)
- [12] 林露,何平平,邱思慧,等. 我国老年人认知障碍的潜在类别分析及影响因素[J]. *中华疾病控制杂志*, 2025, 29(4): 386–392. Lin L, He PP, Qiu SH, et al. A latent class analysis of cognitive impairment in the elderly in China and its influencing factors[J]. *Chinese Journal of Disease Control & Prevention*, 2025, 29(4): 386–392. (In Chinese)
- [13] Guo TT, Zhao XQ, Zhang XY, et al. Development and validation of a dynamic nomogram for predicting cognitive impairment risk in older adults with dentures: analysis from CHARLS and CLHLS data[J]. *BMC Geriatrics*, 2025, 25(1): 127.
- [14] 李嘉雨,陈娜. 子女代际支持对老年健康的影响——基于虚弱指数的研究[J]. *现代预防医学*, 2023, 50(17): 3203–3207. Li JY, Chen N. The effect of children's intergenerational support on the health of the elderly: a study based on frailty index[J]. *Modern Preventive Medicine*, 2023, 50(17): 3203–3207. (In Chinese)
- [15] Zhang C, Tang DS, Wang Y, et al. Community support and promoting cognitive function for the elderly[J]. *Frontiers in Psychology*, 2022, 13(3): 942474.
- [16] 陈颖勇,张正敏,左倩倩,等. 社区老年人认知衰弱风险预测模型的构建及验证[J]. *中华护理杂志*, 2022, 57(2): 197–203. Chen YY, Zhang ZM, Zuo QQ, et al. Construction and validation of a prediction model for the risk of cognitive frailty among the elderly in a community[J]. *Chinese Journal of Nursing*, 2022, 57(2): 197–203. (In Chinese)

[18]

Espindola MS, Habiél DM, Narayanan R, et al. Targeting of TAM receptors ameliorates fibrotic mechanisms in idiopathic pulmonary fibrosis[J]. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 2018, 197(11): 1443 – 1456.

[19]

Wagner JC, Burns J, Munday DE, et al. Presence of fibronectin in pneumoconiotic lesions[J]. Thorax, 1982, 37(1): 54 – 56.

[20]

Geng F, Xu J, Ren X, et al. Effect of macrophage – to – myofibroblast transition on silicosis[J]. Anim Models Exp Med, 2025, 8(2): 363 – 371.

[21]

Yoo YJ, Choi E, Kim Y, et al. Therapeutic potential of targeting cathepsin S in pulmonary fibrosis [J]. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2022, 145(1): 112245.

[22]

You XJ, Xie YJ, Xiong GY, et al. Silica – induced innate immune activation drives macrophage pyroptosis and lung inflammation through glycolytic reprogramming [J]. Environmental Pollution, 2025, 382(3): 126762.

[23]

Gong GC, Song SR, Su J. Pulmonary fibrosis alters gut microbiota and associated metabolites in mice; an integrated 16S and metabolomics analysis [J]. Life Sciences, 2021, 264 (1): 118616.

[24]

Zhou Y, Chen L, Sun GF, et al. Alterations in the gut microbiota of patients with silica – induced pulmonary fibrosis[J]. Journal of Occupational Medicine and Toxicology, 2019, 14(1): 5.

[25]

Zhang WL, Qi XJ, Han MM, et al. Activation of Sirt1 by acetate alleviates silicofibrosis; contribution of the gut microbiota [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2025, 292(2): 117969.

[26]

Guo JG, Zhang BX, Xiong Y, et al. The temporal characteristics of the disruption of gut microbiota, serum metabolome, and cytokines by silica exposure in wistar rats[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2023, 252(2): 114580.

[27]

Zhang CW, Wan BB, Zhang YK, et al. Deciphering the role of VIM, STX8, and MIF in pneumoconiosis susceptibility: a mendelian randomization analysis of the lung – gut axis and multi – omics insights from European and East Asian populations [J]. Biomedical and Environmental Sciences, 2025, 38(10): 1270 – 1286.

[28]

Huang PF, Liu YQ, Li NN, et al. Causal relationship between gut microbiota and pneumonia: a Mendelian randomization and retrospective case – control study[J]. BMC Pulmonary Medicine, 2025, 25(1): 449.

[29]

Keshavarz aziziraftar S, Bahrami R, Hashemi D, et al. The beneficial effects of Akkermansia muciniphila and its derivatives on pulmonary fibrosis [J]. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2024, 180(1): 117571.

[30]

You – Tae K, Joon – Gi K, O’ Sullivan DJ, et al. Regulatory mechanism of cysteine – dependent methionine biosynthesis in Bifidobacterium longum; insights into Sulfur metabolism in gut microbiota[J]. Gut Microbes, 2024, 16(1): 2419565.

[31]

Ková ě J, Vítězová M, KushkevychI. Metabolic activity of sulfate – reducing bacteria from rodents with colitis[J]. Open Medicine, 2018, 13(1): 344 – 349.

[32]

Shen Z, Cui T, Liu Y, et al. Astragalus membranaceus and Salvia miltiorrhiza ameliorate diabetic kidney disease via the “gut – kidney axis”[J]. Phytomedicine, 2023, 121(2): 155129.

收稿日期:2026-03-29

(上接第 2509 页)

[17]

张嘉骏. 饮食多样性和饮食模式对衰弱的影响及性别差异研究——基于 CLHLS 数据[D]. 济南:山东大学,2023.

Zhang JJ. Effects of dietary diversity and dietary patterns on frailty and gender differences study – based on CLHLS data [D]. Jinan; Shandong University, 2023. (In Chinese)

[18]

Kojima G, Taniguchi Y, Kitamura A, et al. Is living alone a risk factor of frailty? – a systematic review and meta – analysis[J]. Ageing Research Reviews, 2020, 59(4): 101048.

[19]

段景宜,马亚男,阿尔有布,等. 炎症与衰弱的关系研究进展 [J]. 实用老年医学,2025,39(7):649 – 653.

Duan JY, Ma YN, A EYB, et al. Association of inflammation and frailty[J]. Practical Geriatrics, 2025, 39(7): 649 – 653. (In Chinese)

[20]

Zhang Y, Yu G, Bai W, et al. Association of depression and sleep quality with frailty: a cross – sectional study in China[J]. Front Public Health, 2024, 12(3): 1361745.

[21]

Schoufour JD, Overvest E, Weijs P, et al. Dietary protein, exercise, and frailty domains [J]. Nutrients, 2019, 11 (10): 2399.

[22]

韩佳滢,巢健茜,罗宗玉,等. 不同社会参与模式老年人的认知衰弱差异[J]. 中华疾病控制杂志,2023,27(9):1052 – 1058.

Han JY, Chao JQ, Luo ZY, et al. A comparative study of differences in cognitive frailty in older adults with different social participation patterns [J]. Chinese Journal of Disease Control & Prevention, 2023, 27(9): 1052 – 1058. (In Chinese)

[23]

Bunt S, Steverink N, Olthof J, et al. Social frailty in older adults: a scoping review[J]. European Journal of Ageing, 2017, 14(3): 323 – 334.

[24]

葛汝旭,井淇,郭桐桐,等. 老年人社会参与对认知功能的影响: 代际精神支持和抑郁的链式中介作用[J]. 现代预防医学, 2024,51(22):4159 – 4164, 4218.

Ge RX, Jing Q, Guo TT. Effects of social participation on cognitive functioning in older adults: the chain – mediated role of intergenerational psychosocial support and depression[J]. Modern Preventive Medicine, 2024, 51(22): 4159 – 4164, 4218. (In Chinese)

收稿日期:2025-09-19