



在线全文

基于多状态马尔科夫模型的跌倒状态纵向转移及其 风险因素关联*

寇文凯, 叶素妮, 陈雪芮, 黄婧, 师赛龙, 邱培媛[△]

四川大学华西公共卫生学院/华西第四医院 流行病与卫生统计学系(成都 610041)

【摘要】目的 探究我国中老年人跌倒状态变化的转移强度和转移概率,并评估潜在风险因素对跌倒的影响。**方法** 本研究基于中国健康与养老追踪调查(China Health and Retirement Longitudinal Study, CHARLS)数据,采用多状态马尔科夫模型(multi-state Markov model, MSM)分析未跌倒或跌倒无须治疗、跌倒需治疗和死亡状态之间的转移强度和概率。**结果** 研究共纳入14722名参与者,平均年龄为(59.4±9.7)岁,其中男性占47.9%;随访中位数为9年(IQR 7~9年)。基线时,12381名(84.1%)报告未跌倒或跌倒无须治疗,2341名(15.9%)报告跌倒需治疗。在一个随访周期内经历跌倒需要治疗者,有55.2%的概率在随后的两年内不再跌倒或仅跌倒无须治疗,有37.6%的概率可能会继续经历需治疗的跌倒,而其死亡概率为7.2%。一个随访周期从未跌倒或跌倒无须治疗状态向跌倒需治疗状态转移的风险随年龄每增加5岁上升8.6%;女性相较于男性,风险增加35.1%;农村居民的风险增加10.1%;离婚、分居、丧偶或未婚者的风险增加20.7%;躯体功能受损程度越高,风险越高;有抑郁症状风险增加31.6%;患有一种慢性病增加9.6%的风险,多病共存则使风险增加28.8%。**结论** 本研究推导出跌倒是一个动态变化的过程,应重视年龄较大、有过跌倒就医史、独居者、躯体功能受损、有抑郁症状者的跌倒预防。

【关键词】 跌倒 多状态马尔科夫模型 纵向研究 中老年人 状态转移

Longitudinal Transitions of Fall States Based on a Multi-State Markov Model and Their Associated Risk Factors
KOU Wenkai, YE Suni, CHEN Xuerui, HUANG Jing, SHI Sailong, QIU Peiyuan[△]. Department of Epidemiology and Biostatistics, West China School of Public Health and West China Fourth Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China

[△] Corresponding author, E-mail: qiupeiyan@scu.edu.cn

【Abstract】Objective To investigate the transition intensity and transition probabilities of fall states among middle-aged and older adults in China, and to assess the impact of potential risk factors on falls. **Methods** We utilized in the study data from the China Health and Retirement Longitudinal Study (CHARLS) and employed a multi-state Markov model (MSM) to analyze the transition intensity and probabilities between states of no falls or falls without treatment, falls requiring treatment, and death. **Results** A total of 14722 participants were enrolled, with a mean age of (59.4 years ± 9.7 years), and 47.9% were male. The median follow-up period was 9 years (interquartile range [IQR], 7-9 years). At baseline, 12381 participants (84.1%) reported no falls or falls without treatment, while 2341 (15.9%) reported falls requiring treatment. Participants who experienced falls requiring treatment within one follow-up cycle had a 55.2% probability of not falling again or only falling without treatment in the subsequent two years, a 37.6% probability of continuing to experience falls requiring treatment, and a 7.2% probability of death. The risk of transitioning from a state of no falls or falls without treatment to falls requiring treatment increased by 8.6% for every 5-year increase in age. The risk was 35.1% higher for females compared to males. Rural residents had a 10.1% higher risk. Those who were divorced, separated, widowed, or never married had a 20.7% higher risk. Higher degrees of physical function impairment were associated with an increased risk. Depressive symptoms increased the risk by 31.6%. Having one chronic disease raised the risk by 9.6%, while multimorbidity led to a 28.8% increase in risk. **Conclusion** According to the findings of the study, falls are a dynamic process and emphasis should be given to fall prevention for older adults, individuals with a history of fall-related medical visits, those living alone, those with impaired physical function, and those with depressive symptoms.

【Key words】 Fall Multi-state Markov model Longitudinal study Middle-aged and older adults States transition

跌倒是中老年人面临的普遍且重要的健康问题。研究显示,65岁及以上的老年人中,大约有三分之一的老年

人每年至少经历一次跌倒^[1-2]。在因跌倒前往急诊就医的老年人中,超过三分之一的人在接下来的一年中会再次因跌倒就医或死亡^[3-4]。对于老年人而言,跌倒往往是其健康状况长期恶化的起点,往往会导致髌部骨折、残疾风险升高和生活质量下降,并最终导致死亡率上升^[5]。全球

* 国家自然科学基金(No. 72174133)资助

[△] 通信作者, E-mail: qiupeiyan@scu.edu.cn

出版日期: 2025-01-20

疾病负担研究(Global Burden of Disease, GBD)的数据显示,跌倒导致了近1 700万人年的预期寿命损失、1 900万人年的受损生活年数,以及3 600万人年的伤残调整寿命年^[6]。因此,跌倒已经成为一个重大且日益严峻的公共卫生问题及临床挑战。

尽管跌倒对老年人健康的影响十分深远,但有关跌倒的动态研究却相对较少。近年来,国内外学者将多状态马尔科夫模型(multi-state Markov model, MSM)应用于分析健康状态的动态变化,如肌少症状态转变^[7]、阿尔茨海默病病程发展^[8]和高血压状态转变^[9]等。MSM模型可以通过不同状态之间的转移强度来显示多状态转移过程,动态预测不同疾病状态之间转移的概率,并估计协变量对特定疾病状态下个体转移的影响。本研究基于中国健康与养老追踪调查(China Health and Retirement Longitudinal Study, CHARLS)数据^[10],利用MSM模型深入量化跌倒状态的转移强度和转移概率,并评估潜在风险因素对状态转移的影响。研究结果将为我国中老年人跌倒的预防提供新的理论支持和科学依据。

1 资料与方法

1.1 研究人群

本研究使用了具有全国代表性的中国健康与养老追踪调查(CHARLS)的5次(2011年,2013年,2015年,2018年,2020年)调查数据。CHARLS旨在调查中国45岁及以上社区居民的社会、经济和健康状况,调查范围覆盖了28个省份的150个县,共计450个村级单位。所有参与者均签署了知情同意书,所有程序均遵守国家及机构人体研究伦理委员会的规定,并符合2013年修订的《赫尔辛基宣言》的标准,且获得北京大学伦理委员会的批准^[10-11]。

为了全面探究中老年人的跌倒风险因素,本研究选择了CHARLS中45岁及以上的参与者作为研究对象。图1展示了参与者的选择流程。本研究以CHARLS2011为基线,纳入标准:①年龄 ≥ 45 岁;②至少接受了一次CHARLS随访调查。排除标准:①基线时跌倒数据缺失;②没有跌倒随访数据;③重要协变量(包括年龄、性别、户口)缺失。

1.2 方法

1.2.1 跌倒状态

跌倒状态的评估基于基线访谈及随访中询问参与者的两个问题:“过去两年内您是否跌倒过”和“过去两年内有多少次摔倒受伤严重到需要接受治疗”。根据自我报告结果,参与者被划分为两组:NF/NTF组(未跌倒或跌倒无须治疗者),FRT组(跌倒需治疗者)。自报在过去两年摔倒受伤严重到需要接受治疗1次及以上即纳

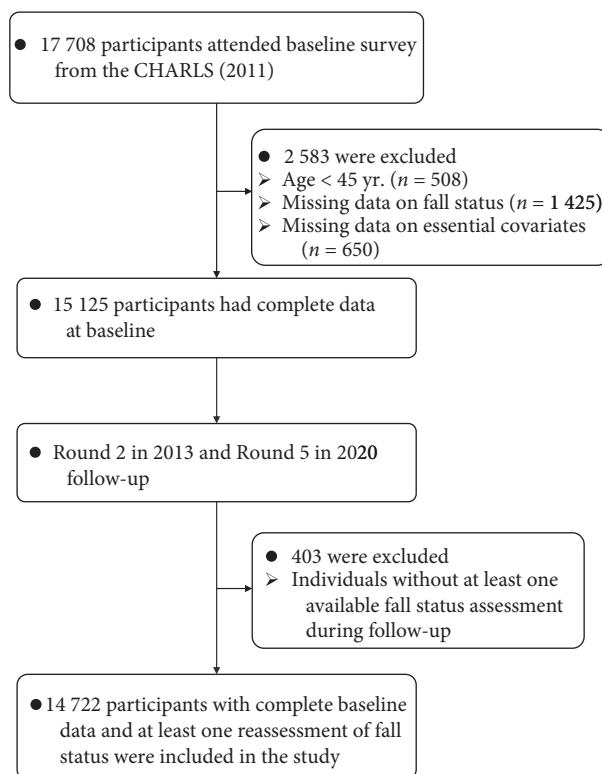


图1 参与者纳入流程图

Fig 1 Participant enrollment process

入FRT组。

1.2.2 协变量

分析中考虑了可能与跌倒相关的潜在风险因素,包括社会人口学因素、生活方式和健康状况^[12-14]。

社会人口学因素:年龄、性别(男或女)、户口(农村或城镇)、婚姻状况(已婚或有伴侣,分居、离婚、丧偶、未婚)以及受教育程度(依据2011年国际教育标准分类,包括初中或以下、高中及高中以上)^[15-16]。

生活方式因素:吸烟、饮酒及体质质量指数(BMI)。根据中国标准,BMI分为三类:体质质量不足($<18.5 \text{ kg/m}^2$)、正常体质质量($18.5 \leq \text{BMI} < 24 \text{ kg/m}^2$)和超重/肥胖($\geq 24 \text{ kg/m}^2$)^[7]。

健康状况:包括慢性病(如高血压、糖尿病、心脏病等)、抑郁症状和身体机能。慢性病的数量分为“无”“1种病症”和“2种及以上病症”。抑郁症状通过流行病学研究中心抑郁量表(CESD-10)进行评估,得分 <10 分表示无抑郁症状, ≥ 10 分表示存在抑郁症状^[17]。通过日常生活活动(Activities of Daily Living, ADL)量表评估身体机能,即评估参与者在洗澡、穿衣、吃饭、上下床、走动和上厕所六项活动中的表现,评分范围为0~6分,0分表示无功能损伤,1~2分表示轻度损伤,3分及以上表示严重损伤^[7]。使用多重插补法对缺失变量(不包括年龄、性别、户口)进行处理^[18]。

1.2.3 统计学方法

使用 t 检验(正态分布变量)和Pearson卡方检验(分类变量)对不同跌倒状态下老年人的特征变量进行比较。

采用MSM模型评估跌倒状态的动态变化及协变量对状态转移的影响。模型定义了三种状态:未跌倒或跌倒无须治疗、跌倒需治疗和死亡。其中,死亡为吸收状态,未跌倒或跌倒无须治疗状态和跌倒需治疗状态为瞬时状态,个体可以在相邻的状态之间进展或恢复,且任何一个状态可以转移到死亡状态。转移强度反映了个体从一个状态转移到另一个状态的瞬时速率。即转移强度(记作 q_{ij})表示从当前状态 i 转移到目标状态 j 的瞬时速率。转移强度矩阵 Q 表示不同状态间的过渡速率。转移强度矩阵的元素通过最大似然估计法从数据中估计,其形式为:

$$Q = \begin{pmatrix} -(q_{12} + q_{13}) & q_{12} & q_{13} \\ q_{21} & -(q_{21} + q_{23}) & q_{23} \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

式(1)中, q_{12} 为从“未跌倒”状态到“跌倒需治疗”状态的转移强度, q_{13} 为从“未跌倒”到“死亡”状态的转移强度, q_{21} 为从“跌倒需治疗”到“未跌倒”状态的转移强度, q_{23} 为从“跌倒需治疗”到“死亡”状态的转移强度。由于死亡为吸收状态, Q 矩阵中死亡状态的转移强度均设为零。基于转移强度矩阵 Q ,本研究进一步计算了转移概率,即在给定当前状态下,个体在未来某一时刻转移到另一状态的概率。转移概率 $P(t)$ 是通过矩阵指数运算来估算的:

$$P(t) = e^{Qt} \quad (2)$$

式(2)中, $P(t)$ 表示经过时间 t 后,从一个状态到另一个状态的转移概率。转移概率反映了不同状态之间的转移可能性。在MSM模型中,本研究进一步纳入了可能影响跌倒状态转移的协变量。通过多变量分析,评估协变量对状态转移速率的影响,计算相应的风险比(HR)及其95%置信区间(CI)。当95%CI不包括1时,表明该协变量对状态转移速率的影响具有统计学意义。为了进一步探讨不同群体在跌倒状态转移中的差异,本研究进行了亚组分析。根据年龄、性别、户口、婚姻状况、身体功能状态和慢性病数量将研究对象分成不同的亚组,分析各亚组跌倒状态的转移概率。

为了评估研究结果的稳健性,本研究进行了敏感性分析,即在数据插补之前重新评估了协变量数据的分析模型,以检验数据插补对结果的影响。

本研究使用R 4.4.0软件完成,主要采用“mice”包^[19]进行多重插补和“msm”包^[20]进行多状态马尔科夫建模。所

有分析都使用双侧检验,检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 个体的基线特征

在参与基线调查的17708名研究对象中,最终纳入14722人进行分析(图1)。参与者的平均年龄为(59.4±9.7)岁,其中男性占47.9%(7052人)。随访时间的中位数为9年(IQR,7~9年)。基线时,参与者的跌倒状态分布如下:12381人(84.1%)自报未跌倒或跌倒但无须治疗,2341人(15.9%)自报跌倒需治疗。跌倒需治疗者年龄较大,女性比例较高,更多居住在农村地区,并且更可能有饮酒习惯和抑郁症状。此外,他们患有慢性疾病的概率也较高,包括高血压、糖尿病、高血脂、心脏病、肺部疾病、中风史和记忆力障碍(但不包括癌症)。基线跌倒状态及参与者的协变量信息详见表1。

2.2 跌倒状态之间的转移强度

跌倒状态之间的转移强度如表2所示。对于未跌倒或跌倒无须治疗的个体,到跌倒需治疗的转移强度为0.139(95%CI: 0.133~0.144),而跌倒需治疗的个体到未跌倒或跌倒无须治疗的转移强度为0.529(95%CI: 0.510~0.549)。此外,跌倒需治疗的个体恶化为死亡的转移强度为0.055(95%CI: 0.047~0.065),较未跌倒或跌倒无须治疗的个体恶化为死亡的转移强度0.008(95%CI: 0.006~0.016)高出约6.9倍。

2.3 跌倒状态之间的转移概率

图2显示了一个随访周期(2年)内跌倒状态的转移概率。报告未跌倒或跌倒无须治疗的个体有14.5%(95%CI: 14.0%~14.8%)的概率进入到跌倒需治疗的不利状态,维持在该状态的概率为83.1%(95%CI: 82.8%~83.5%),其死亡概率为2.4%(95%CI: 2.2%~2.7%)。跌倒需治疗的个体有55.2%(95%CI: 53.9%~56.3%)的概率进入未跌倒或跌倒无须治疗的状态,有37.6%(95%CI: 36.5%~38.6%)的概率重新跌倒需要治疗,而其死亡概率为7.2%(95%CI: 6.3%~8.4%)。

2.4 协变量对跌倒状态转移的影响

表3展示了个体特征对跌倒状态转移风险比的影响。结果显示,从未跌倒或跌倒无须治疗状态到跌倒需治疗状态的负面转移风险,随着年龄每增加5岁,上升8.6%(HR=1.086, 95%CI: 1.062~1.111);女性相较于男性,转化的风险高出35.1%(HR=1.351, 95%CI: 1.215~1.503);相较于城市居民,农村居民的转化风险提升10.1%(HR=1.101, 95%CI: 1.015~1.194);与已婚或有伴侣者相比,离婚、分居、丧偶或未婚者的风险增加20.7%(HR=1.207,

表 1 参与者的基线人口统计学和临床特征
Table 1 Baseline demographic and clinical characteristics of the individuals enrolled

Characteristic	All (n=14 722)	NF/NTF (n=12 381)	FRT (n=2 341)	P
Age/yr. mean (SD)	59.4 (9.7)	59.1 (9.6)	61.4 (9.7)	<0.001
Sex/case (%)				<0.001
Male	7 052 (47.9)	6 080 (49.1)	972 (41.5)	
Female	7 670 (52.1)	6 301 (50.9)	1 369 (58.5)	
Residence/case (%)				<0.001
Rural	8 929 (60.7)	7 392 (59.7)	1 537 (65.7)	
Urban	5 793 (39.4)	4 989 (40.3)	804 (34.3)	
Marital status/case (%)				<0.001
Married /living with a partner	12 857 (88.1)	10 876 (88.6)	1 981 (85.6)	
Separated/divorced/widowed/never married	1 739 (11.9)	1 404 (11.4)	335 (14.5)	
Educational attainment/case (%)				<0.001
Lower secondary education or below	12 909 (87.7)	10 763 (86.9)	2 146 (91.7)	
Upper secondary	1 520 (10.3)	1 358 (11.0)	162 (7.0)	
Higher than upper secondary	293 (2.0)	260 (2.1)	33 (1.4)	
Physical function/case (%)				<0.001
No impairment	12 177 (83.5)	10 546 (86.0)	1 631 (70.3)	
Mild impairment	1 709 (11.7)	1 260 (10.3)	449 (19.4)	
Severe impairment	696 (4.8)	455 (3.7)	241 (10.4)	
Body mass index/case (%)				0.043
Underweight	864 (7.0)	697 (6.7)	167 (8.3)	
Normal weight	6 577 (53.2)	5 526 (53.4)	1 051 (52.1)	
Overweight/obese	4 925 (39.8)	4 124 (39.9)	801 (39.7)	
Smoking/case (%)	4 526 (30.7)	3 860 (31.2)	666 (28.5)	0.009
Alcohol consumption/case (%)	5 766 (39.2)	4 797 (38.8)	969 (41.4)	0.016
Depressive symptoms/case (%)	5 381 (37.0)	4 149 (33.9)	1 232 (53.3)	<0.001
Hypertension/case (%)	3 860 (26.2)	3 152 (25.5)	708 (30.2)	<0.001
Diabetes mellitus/case (%)	908 (6.2)	710 (5.7)	198 (8.7)	<0.001
Dyslipidemia/case (%)	1 476 (10.0)	1 184 (9.6)	292 (12.5)	<0.001
Chronic lung disease/case (%)	1 457 (9.9)	1 164 (9.4)	293 (12.5)	<0.001
Coronary heart disease/case (%)	1 818 (12.4)	1 468 (11.9)	350 (15.0)	<0.001
Stroke history/case (%)	390 (2.7)	298 (2.4)	92 (4.0)	<0.001
Memory-related disease/case (%)	235 (1.6)	165 (1.3)	70 (3.0)	<0.001
Cancer history/case (%)	133 (0.9)	115 (0.9)	18 (0.8)	0.453
Number of comorbidities/case (%)				<0.001
No condition	8 186 (55.6)	7 051 (57.0)	1 135 (48.5)	
1 condition	5 649 (38.4)	4 653 (37.6)	996 (42.6)	
2 or more conditions	887 (6.0)	677 (5.5)	210 (9.0)	

NF/NTF: non-fallers or non-treatment fallers; FRT: fallers requiring treatment; SD: standard deviation.

95%CI: 1.063 ~ 1.372)。身体机能损害程度同样增加风险,与没有身体功能损害的个体相比,轻度损伤者转化风险增加32.8%(HR=1.328, 95%CI: 1.185 ~ 1.488),而重度损伤则使风险增加71.4%(HR=1.714, 95%CI: 1.433 ~ 2.051)。此外,抑郁症状使跌倒的转化风险增加31.6%(HR=1.316, 95%CI: 1.214 ~ 1.428);单一慢性病的转化风险增加了9.6%(HR=1.096, 95%CI: 1.010 ~ 1.188),多病共存则使风

险上升28.8%(HR=1.288, 95%CI: 1.099 ~ 1.509)。

随着年龄增长,从未跌倒或跌倒后无须治疗、跌倒后需治疗的状态过渡到死亡的风险逐渐上升,男性在这方面的风险要高于女性,且身体机能重度损害以及患有单一慢性病或多种疾病共存的人都更容易面临这种风险。另外,离婚、分居、丧偶或未婚以及轻度身体机能损害的人从跌倒需治疗状态过渡到死亡的风险也会增加。

表 2 不同跌倒状态之间的转移强度
Table 2 Transition intensity between different fall states

Transition categories	Transition intensity (95% CI)
Non-fallers or non-treatment fallers → Fallers requiring treatment	0.139 (0.133-0.144)
Non-fallers or non-treatment fallers ← Fallers requiring treatment	0.529 (0.510-0.549)
Non-fallers or non-treatment fallers → Death	0.008 (0.006-0.016)
Fallers requiring treatment → Death	0.055 (0.047-0.065)

2.5 跌倒状态转移概率的亚组分析

本研究进一步进行了亚组分析, 根据年龄、性别、户口、婚姻状况、身体机能状况和慢性病数目将研究对象分成不同的亚组, 分析了各亚组跌倒状态的转移概率。

研究结果显示, 随着年龄增长(图3A), 未跌倒或跌倒无须治疗的人群更容易转移为跌倒需要治疗者, 而从跌

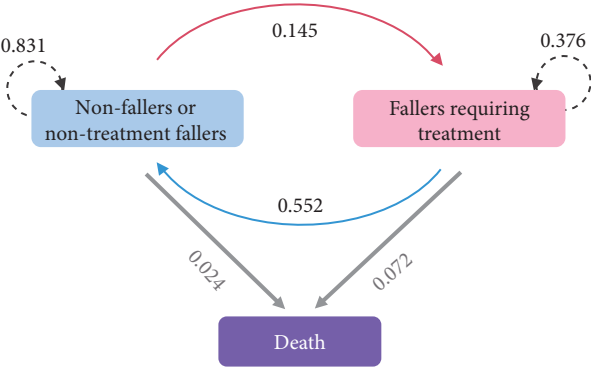


图 2 一个随访周期 (两年) 内跌倒状态的转移图
Fig 2 Transition diagrams of fall states within one follow-up cycle (two years)

倒需治疗者恢复为未跌倒或跌倒无须治疗者的可能性则逐渐降低, 同时两种跌倒状态向死亡转移的风险均显著

表 3 跌倒状态转移的多变量MSM模型 (n=14722)
Table 3 Multivariate MSM model of fall state transitions (n = 14722)

Characteristic	Hazard ratio (95% CI)			
	NF/NTF → FRT	FRT → NF/NTF	NF/NTF → D	FRT → D
Age (5-year increment)	1.086 (1.062-1.111)	0.985 (0.963-1.001)	1.535 (1.470-1.604)	1.439 (1.303-1.588)
Sex				
Male	Reference	Reference	Reference	Reference
Female	1.351 (1.215-1.503)	0.944 (0.847-1.052)	0.578 (0.478-0.697)	0.599 (0.409-0.876)
Residence				
Urban	Reference	Reference	Reference	Reference
Rural	1.101 (1.015-1.194)	1.050 (0.966-1.141)	1.016 (0.874-1.181)	0.975 (0.712-1.334)
Marital status				
Married/living with a partner	Reference	Reference	Reference	Reference
Separated/divorced/widowed/never married	1.207 (1.063-1.372)	1.116 (0.978-1.274)	1.214 (0.999-1.478)	1.489 (1.038-2.134)
Educational attainment				
Lower secondary education or below	Reference	Reference	Reference	Reference
Upper secondary	1.004 (0.870-1.158)	1.127 (0.976-1.301)	0.639 (0.472-0.865)	0.459 (0.165-1.280)
Higher than upper secondary	0.855 (0.599-1.220)	0.609 (0.354-1.049)	0.609 (0.354-1.049)	0.620 (0.147-2.626)
Physical function				
No impairment	Reference	Reference	Reference	Reference
Mild impairment	1.328 (1.185-1.488)	0.952 (0.850-1.067)	1.169 (0.936-1.461)	1.787 (1.204-2.652)
Severe impairment	1.714 (1.433-2.051)	0.942 (0.785-1.132)	1.527 (1.078-2.163)	2.502 (1.545-4.052)
Body mass index				
Normal weight	Reference	Reference	Reference	Reference
Underweight	1.117 (0.944-1.322)	1.168 (0.986-1.384)	1.550 (1.249-1.923)	0.762 (0.403-1.441)
Overweight/obese	0.970 (0.894-1.054)	1.004 (0.924-1.091)	0.815 (0.689-0.965)	0.648 (0.455-0.923)
Smoking				
No	Reference	Reference	Reference	Reference
Yes	1.018 (0.916-1.132)	1.058 (0.950-1.178)	1.058 (0.899-1.246)	1.336 (0.917-1.948)
Alcohol consumption				
No	Reference	Reference	Reference	Reference
Yes	1.078 (0.982-1.184)	0.992 (0.903-1.090)	1.097 (0.937-1.284)	0.828 (0.592-1.156)
Depressive symptoms				
No	Reference	Reference	Reference	Reference
Yes	1.316 (1.214-1.428)	0.919 (0.846-0.998)	1.040 (0.885-1.222)	0.838 (0.592-1.186)
Number of comorbidities				
No condition	Reference	Reference	Reference	Reference
1 condition	1.096 (1.010-1.188)	0.938 (0.865-1.019)	1.571 (1.352-1.825)	1.465 (1.044-2.056)
2 or more conditions	1.288 (1.099-1.509)	0.849 (0.721-0.999)	1.814 (1.337-2.461)	2.642 (1.714-4.072)

NF/NTF: non-fallers or non-treatment fallers; FRT: fallers requiring treatment; D: death. Boldfaced data indicate statistical significance (P < 0.05).

增加。性别亚组分析结果(图3B)显示, 女性比男性更容易从未跌倒或跌倒无须治疗的状态转移为跌倒需治疗状态, 但两种跌倒状态下, 女性的死亡风险都低于男性。居住地亚组分析结果(图3C)显示, 农村居民从未跌倒或跌倒无须治疗的状态转移为跌倒需治疗状态的可能性高于城镇居民。婚姻状况亚组分析结果(图3D)显示, 已婚或有伴侣者相较于离婚、分居、丧偶或未婚者, 更不易从未跌

倒或跌倒无须治疗的状态转移为跌倒需治疗状态, 而从跌倒需治疗状态恢复的可能性则较高, 两种跌倒状态死亡的风险也较低。相较于身体机能无损伤的个体, 身体机能轻度损伤和重度损伤均使从未跌倒或跌倒无须治疗者转移为跌倒需治疗者的可能性上升, 恢复的可能性减少, 且两种跌倒状态向死亡转移的风险都显著增大(图3E)。慢性病数量的增加也表现出同样的趋势(图3F)。

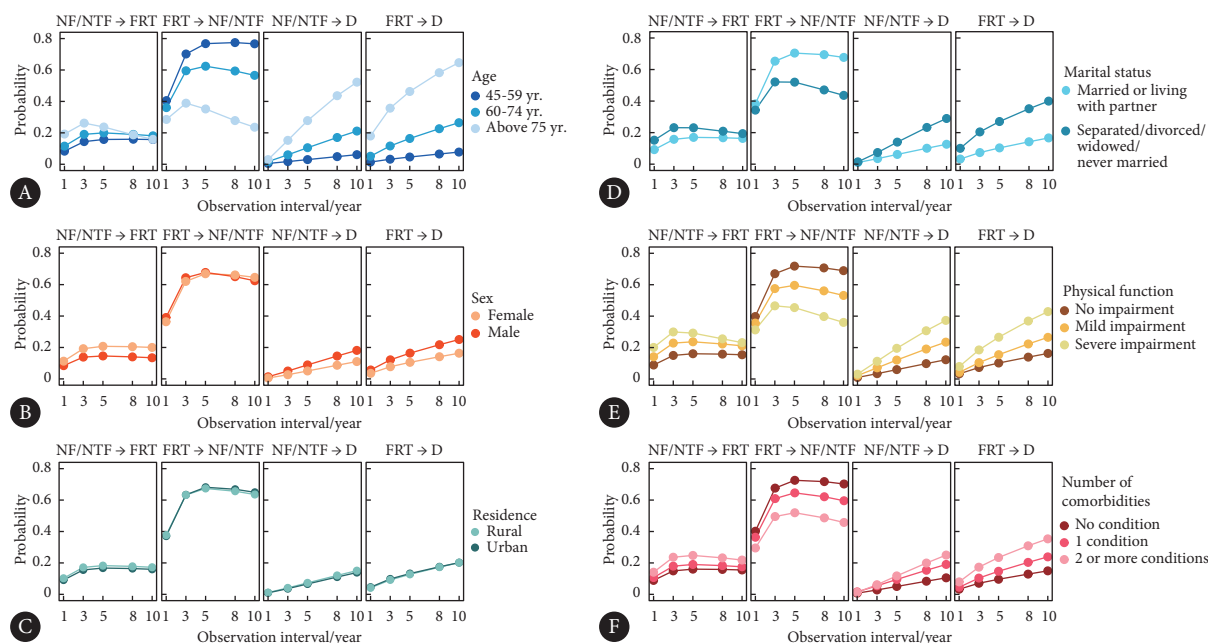


图3 不同亚组内可能发生跌倒状态转移的概率

Fig 3 The estimated probability of fall state transitions within different subgroups

The abbreviations are explained in the note to Table 3. The estimated probability of fallers requiring treatment recovering to non-fallers or non-treatment fallers, remaining as fallers requiring treatment, or transitioning to death among age subgroups (A), sex subgroups (B), residence subgroups (C), marital status subgroups (D), physical function impairment subgroups (E), and the number of comorbidities subgroups (F), within observation interval, respectively.

2.6 敏感性分析

敏感性分析结果(表4)表明, 采用未插补的协变量数据进行重新评估后, 所得研究结果与插补后的分析结果具有一致性。这一发现证实数据插补过程对研究结果的稳健性影响有限, 从而进一步增强了研究结论的可信度。

3 讨论

本研究利用中国健康与养老追踪调查自我报告的跌倒数据, 探索了我国中老年人跌倒状态转移强度和概率, 并分析了与跌倒状态转移相关的风险因素。

研究表明, 跌倒状态随着时间的推移是动态变化的。在一个随访周期内经历跌倒需治疗的中老年人, 在随后的两年内有37.6%的概率可能会继续经历需治疗的跌倒, 高于未跌倒或跌倒无须治疗的转移概率(14.5%)。

在一个随访周期内经历跌倒需治疗的中老年人, 在随后两年内的死亡概率为7.2%, 高于未跌倒或跌倒无须治疗者在两年内的死亡概率(2.4%)。该变化趋势与HARTLEY等^[21]基于爱尔兰老龄纵向研究(Irish Longitudinal Study on Ageing, TILDA)的纵向跌倒状态转移结果基本一致。尽管有跌倒治疗史的老年人再发生跌倒就医的风险更高, 但其跌倒状态也并非一成不变。在经历跌倒需治疗后, 有55.2%的概率在随后的两年内不再跌倒或仅跌倒无须治疗。以上发现表明, 跌倒并非不可逆的恶化过程, 因此, 针对跌倒危险因素的干预是有必要的。

本研究结果显示, 中老年人因跌倒需治疗的风险随着年龄增长而增加, 这与既往研究结果一致^[21-23]。随着年龄增长, 中老年人的肌肉力量、姿势控制以及定向反射能力逐渐减弱, 这些生理变化增加了跌倒的风险; 且随着年龄增大, 身体机能下降, 使中老年人跌倒的危险性增高。与

表 4 基于未插补数据的跌倒状态转移多变量MSM模型分析 ($n=12\,117$)
Table 4 Multivariable MSM model analysis of fall status transitions using unimputed data ($n = 12\,117$)

Characteristic	Hazard ratio (95% CI)			
	NF/NTF → FRT	FRT → NF/NTF	NF/NTF → D	FRT → D
Age (5-year increment)	1.076 (1.049-1.103)	0.976 (0.952-1.001)	1.536 (1.463-1.612)	1.491 (1.335-1.666)
Sex				
Male	Reference	Reference	Reference	Reference
Female	1.391 (1.238-1.562)	0.924 (0.820-1.040)	0.546 (0.441-0.675)	0.646 (0.411-1.019)
Residence				
Urban	Reference	Reference	Reference	Reference
Rural	1.095 (1.002-1.198)	1.046 (0.958-1.145)	0.950 (0.805-1.122)	0.965 (0.679-1.372)
Marital status				
Married/living with partner	Reference	Reference	Reference	Reference
Separated/divorced/widowed/never married	1.271 (1.105-1.461)	1.163 (0.941-1.438)	1.317 (1.059-1.638)	1.440 (1.022-2.027)
Educational attainment				
Lower secondary education or below	Reference	Reference	Reference	Reference
Upper secondary	0.959 (0.818-1.123)	1.063 (0.908-1.244)	0.762 (0.581-0.998)	0.445 (0.121-1.643)
Higher than upper secondary	0.733 (0.450-1.192)	0.749 (0.375-1.496)	0.679 (0.373-1.235)	0.299 (0.017-5.288)
Physical function				
No impairment	Reference	Reference	Reference	Reference
Mild impairment	1.315 (1.163-1.487)	0.946 (0.837-1.069)	1.235 (0.976-1.562)	1.611 (1.068-2.429)
Severe impairment	1.591 (1.310-1.931)	0.824 (0.675-1.007)	1.650 (1.207-2.254)	1.922 (1.072-3.446)
Body mass index				
Normal weight	Reference	Reference	Reference	Reference
Underweight	1.075 (0.928-1.245)	0.906 (0.760-1.078)	1.217 (0.635-2.266)	0.746 (0.433-1.285)
Overweight/obese	0.927 (0.775-1.111)	0.997 (0.989-1.005)	0.916 (0.764-1.099)	0.785 (0.664-0.928)
Smoking				
No	Reference	Reference	Reference	Reference
Yes	1.025 (0.913-1.151)	1.047 (0.929-1.179)	1.056 (0.881-1.267)	1.610 (1.031-2.513)
Alcohol consumption				
No	Reference	Reference	Reference	Reference
Yes	1.055 (0.953-1.167)	0.955 (0.862-1.057)	1.194 (0.974-1.463)	0.882 (0.607-1.291)
Depressive symptoms				
No	Reference	Reference	Reference	Reference
Yes	1.291 (1.182-1.410)	0.908 (0.830-0.993)	1.054 (0.878-1.265)	0.904 (0.603-1.355)
Number of comorbidities				
No condition	Reference	Reference	Reference	Reference
1 condition	1.142 (1.045-1.248)	0.953 (0.872-1.042)	1.591 (1.346-1.880)	1.587 (1.088-2.315)
2 or more conditions	1.324 (1.108-1.584)	0.887 (0.803-0.980)	2.009 (1.430-2.823)	2.756 (1.602-4.739)

The abbreviations are explained in the note to Table 3. Boldfaced data indicate statistical significance ($P < 0.05$).

此同时, 本研究发现女性比男性更容易面临跌倒需治疗的风险, 与国内外多项研究结果一致^[22-24]。这可能与绝经后缺乏雌激素, 女性更容易患上骨质疏松症有关。也有研究认为随着年龄的增长, 女性的下肢肌肉力量比同龄男性下降得更快, 因此更容易跌倒^[23]。对此, 建议中老年人在专业人员的指导下进行增强肌肉力量和姿势控制的锻炼, 如平衡训练和抗阻力训练等。其次, 对中老年人, 尤其是女性进行骨质疏松的筛查和防治是公共卫生

领域重要的干预手段, 建议这些人群进行适当的户外运动, 确保钙质和维生素D的摄入, 并定期进行骨密度检查。

此外, 本研究还发现居住在农村相较于居住在城镇更加容易发生跌倒需治疗, 这可能与农村基础设施相对落后, 使得农村中老年人跌倒后伤害更严重有关。还有可能是因为农村居民的文化程度较低, 对跌倒的认识和治疗处理不足^[25], 导致更严重的后果。本研究结果还显示, 非在婚状态的中老年人发生跌倒需治疗的风险高于

在婚状态的中老年人,与既往研究结果一致^[25],这可能与非在婚状态的中老年人独居比例较高、缺乏家庭成员的日常照顾和支持有关^[26]。因此,建议开展针对性的健康教育,提高中老年人尤其是农村居民和非在婚状态者对跌倒预防的认识和自我管理能力,并提供更多的社会支持,加大改善农村基础设施建设,以降低跌倒风险。

研究结果还发现,常见的中老年人慢性疾病,如高血压和糖尿病,以及抑郁症状均可能增加跌倒风险。对于高血压患者来说,直立性低血压是降压药常见的并发症,尤其是服用有利尿和扩血管作用的降压药的中老年人,由于血管扩张和血容量减少,直立性低血压发生率增加,进而也会影响大脑供血,进一步升高跌倒风险^[27-28]。而对于糖尿病患者,糖尿病引起的周围神经及血管病变可能导致肌肉萎缩,结合老年人运动不足,容易造成老年糖尿病患者下肢平衡失调,加重跌倒风险^[29];此外胰岛素和其他降糖药物的使用可能会发生诱发低血糖而增加跌倒的风险^[30]。未经治疗的抑郁症和抗抑郁药的使用都可能会增加跌倒风险。抑郁症可能会导致心理运动迟缓、步态和平衡异常、睡眠和注意力受损等增加跌倒风险;抗抑郁药可能通过导致平衡和反应时间受损、体位性低血压、低钠血症等方式,进一步增加跌倒风险^[31]。因此,建议加强对慢性病患者的健康管理及监测,并加强患者的健康教育,根据患者自身情况制定综合护理干预和管理方案,在开始使用降压药物、降糖药物或抗抑郁药物时,建议谨慎使用并进行额外监测,及时关注药物使用情况,以降低跌倒风险。

本研究利用CHARLS数据,基于MSM模型评估了我 国中老年人跌倒状态转移的长期趋势,并分析了可能影响转移趋势的潜在风险因素,为预防我国中老年人跌倒预防提供了新的科学依据。需要指出的是,本研究也存在一定的局限性。跌倒信息来自于研究对象的自我报告,可能存在回忆性偏倚。既往研究表明,自报跌倒率往往低估了实际的跌倒率。此外,由于CHARLS问卷的限制,我们的研究缺乏更加细致的跌倒类型。

本研究推导出我国中老年人跌倒状态变化的转移强度和转移概率,分析了与跌倒状态变化相关的风险因素。跌倒是一个动态变化的过程,且具有跌倒就医史的人群发生跌倒再治疗及死亡的概率更高,其中年龄、女性、农村居住地、非在婚状态、慢性病及抑郁症状是跌倒进入不利转移的危险因素。然而,跌倒状态并非不可逆转,我们可以通过有效的干预措施来预防和减少跌倒的发生。因此,未来的研究和实践中应更加重视对跌倒风险因素的识别和干预,以降低中老年人跌倒就医的风险,提高他们的生活质量和健康结果。

* * *

作者贡献声明 寇文凯负责论文构思、数据审编、正式分析、研究方法、软件、可视化、初稿写作和审读与编辑写作,叶素妮负责研究方法、软件、可视化、初稿写作和审读与编辑写作,陈雪芮负责研究方法、验证、初稿写作和审读与编辑写作,黄婧负责验证、可视化和审读与编辑写作,师赛龙负责研究方法、可视化和审读与编辑写作,邱培媛负责论文构思、数据审编、经费获取、研究项目管理、监督指导、初稿写作和审读与编辑写作。所有作者已经同意将文章提交给本刊,且对将要发表 的版本进行最终定稿,并同意对工作的所有方面负责。

Author Contribution KOU Wenkai is responsible for conceptualization, data curation, formal analysis, methodology, software, visualization, writing-original draft, and writing-review and editing. YE Suni is responsible for methodology, software, visualization, writing-original draft, and writing-review and editing. CHEN Xuerui is responsible for methodology, validation, writing-original draft, and writing-review and editing. HUANG Jing is responsible for validation, visualization, and writing-review and editing. SHI Sailong is responsible for methodology, visualization, and writing-review and editing. QIU Peiyuan is responsible for conceptualization, data curation, funding acquisition, project administration, supervision, writing-original draft, and writing-review and editing. All authors have agreed to submit the article to this Journal, have finalized the version to be published, and have agreed to be accountable for all aspects of the work.

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

Declaration of Conflicting Interests All authors declare no competing interests.

参 考 文 献

- [1] GANZ D A, LATHAM N K. Prevention of falls in community-dwelling older adults. *N Engl J Med*, 2020, 382(8): 734-743. doi: 10.1056/NEJMcp1903252.
- [2] MORELAND B, KAKARA R, HENRY A. Trends in nonfatal falls and fall-related injuries among adults aged ≥ 65 years - United States, 2012-2018. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep*, 2020, 69(27): 875-881. doi: 10.15585/mmwr.mm6927a5.
- [3] KATSIFERIS A, MORTENSEN L H, KHURANA M P, *et al.* Predicting mortality risk after a fall in older adults using health care spending patterns: a population-based cohort study. *Age Ageing*, 2023, 52(8): afad159. doi: 10.1093/ageing/afad159.
- [4] COLÓN-EMERIC C S, MCDERMOTT C L, LEE D S, *et al.* Risk assessment and prevention of falls in older community-dwelling adults: a review. *JAMA*, 2024, 331(16): 1397-1406. doi: 10.1001/jama.2024.1416.
- [5] DAUTZENBERG L, BEGLINGER S, TSOKANI S, *et al.* Interventions for preventing falls and fall-related fractures in community-dwelling older adults: A systematic review and network meta-analysis. *J Am Geriatr Soc*, 2021, 69(10): 2973-2984. doi: 10.1111/jgs.17375.
- [6] JAMES S L, LUCCHESI L R, BISIGNANO C, *et al.* The global burden of falls: global, regional and national estimates of morbidity and mortality from the Global Burden of Disease Study 2017. *Inj Prev*, 2020, 26(Suppl 1): i3-i11. doi: 10.1136/injuryprev-2019-043286.
- [7] LUO Y X, ZHOU X H, HENG T, *et al.* Bidirectional transitions of sarcopenia states in older adults: the longitudinal evidence from

- CHARLS. J Cachexia Sarcopenia Muscle, 2024, 15(5): 1915-1929. doi: 10.1002/jcsm.13541.
- [8] SANZ-BLASCO R, RUIZ-SÁNCHEZ De LEÓN J M, ÁVILA-VILLANUEVA M, *et al.* Transition from mild cognitive impairment to normal cognition: determining the predictors of reversion with multi-state Markov models. *Alzheimers Dement*, 2022, 18(6): 1177-1185. doi: 10.1002/alz.12448.
- [9] YANG J, LIU F, WANG B, *et al.* Blood pressure states transition inference based on multi-state markov model. *IEEE J Biomed Health Inform*, 2021, 25(1): 237-246. doi: 10.1109/jbhi.2020.3006217.
- [10] ZHAO Y, HU Y, SMITH J P, *et al.* Cohort profile: the China Health and Retirement Longitudinal Study (CHARLS). *Int J Epidemiol*, 2014, 43(1): 61-68. doi: 10.1093/ije/dys203.
- [11] World Medical Association. World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA*, 2013, 310(20): 2191-2194. doi: 10.1001/jama.2013.281053.
- [12] ONG M F, SOH K L, SAIMON R, *et al.* Fall prevention education to reduce fall risk among community-dwelling older persons: a systematic review. *J Nurs Manag*, 2021, 29(8): 2674-2688. doi: 10.1111/jonm.13434.
- [13] WANG X, ELLUL J, AZZOPARDI G. Elderly fall detection systems: a literature survey. *Front Robot AI*, 2020, 7: 71. doi: 10.3389/frobt.2020.00071.
- [14] XU Q, OU X, LI J. The risk of falls among the aging population: a systematic review and meta-analysis. *Front Public Health*, 2022, 10: 902599. doi: 10.3389/fpubh.2022.902599.
- [15] CHO T C, YU X, GROSS A L, *et al.* Negative wealth shocks in later life and subsequent cognitive function in older adults in China, England, Mexico, and the USA, 2012-18: a population-based, cross-nationally harmonised, longitudinal study. *Lancet Healthy Longev*, 2023, 4(9): e461-e469. doi: 10.1016/s2666-7568(23)00113-7.
- [16] OECD, EUROSTAT, STATISTICS U I F. ISCED 2011 Operational Manual: Guidelines for Classifying National Education Programmes and Related Qualifications, Paris: OECD Publishing. 2015. doi: 10.1787/9789264228368-en.
- [17] ZHOU L, MA X, WANG W. Relationship between cognitive performance and depressive symptoms in Chinese older adults: the China Health and Retirement Longitudinal Study (CHARLS). *J Affect Disord*, 2021, 281: 454-458. doi: 10.1016/j.jad.2020.12.059.
- [18] WHITE I R, ROYSTON P, WOOD A M. Multiple imputation using chained equations: issues and guidance for practice. *Stat Med*, 2011, 30(4): 377-399. doi: 10.1002/sim.4067.
- [19] Van BUUREN S, GROOTHUIS-OUDSHOORN K. Mice: multivariate imputation by chained equations in R. *J Stat Softw*, 2011, 45(3): 1-67. doi: 10.18637/jss.v045.i03.
- [20] JACKSON C. Multi-state models for panel data: the MSM Package for R. *J Stat Softw*, 2011, 38(8): 1-28. doi: 10.18637/jss.v038.i08.
- [21] HARTLEY P, FORSYTH F, O'HALLORAN A, *et al.* Eight-year longitudinal falls trajectories and associations with modifiable risk factors: evidence from The Irish Longitudinal Study on Ageing (TILDA). *Age Ageing*, 2023, 52(3): afad037. doi: 10.1093/ageing/afad037.
- [22] ALMADA M, BROCHADO P, PORTELA D, *et al.* Prevalence of fall and associated factors among community-dwelling european older adults: a cross-sectional study. *J Frailty Aging*, 2021, 10(1): 10-16. doi: 10.14283/jfa.2020.44.
- [23] LIN W Q, LIN L, SUN S Y, *et al.* Prevalence of falls, injury from falls and associations with chronic diseases among community-dwelling older adults in Guangzhou, China: a cross-sectional study. *Front Public Health*, 2023, 11: 1251858. doi: 10.3389/fpubh.2023.1251858.
- [24] LARSEN R, BÄCKSTRÖM D, FREDRIKSON M, *et al.* Female risk-adjusted survival advantage after injuries caused by falls, traffic or assault: a nationwide 11-year study. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*, 2019, 27(1): 24. doi: 10.1186/s13049-019-0597-3.
- [25] 张晗, 齐士格, 崔露, 等. 中国社区老年人跌倒及跌倒后受伤情况分析. *中国公共卫生*, 2021, 37(11): 1590-1593. doi: 10.11847/zgggws1133277.
- ZHANG H, QI S G, CUI L. Prevalence of falls and fall-related injuries among Chinese community-dwelling older adults: a one-year retrospective follow-up data analysis. *Chin J Public Health*, 2021, 37(11): 1590-1593. doi: 10.11847/zgggws1133277.
- [26] 齐士格, 王志会, 王丽敏, 等. 2013年中国老年居民跌倒伤害流行状况分析. *中华流行病学杂志*, 2018, 39(4): 439-442. doi: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2018.04.010.
- QI S G, WANG Z H, WANG L M, *et al.* Current status of falls and related injuries among Chinese elderly in 2013. *Chin J of Epidemiol*, 2018, 39(4): 439-442. doi: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2018.04.010.
- [27] PRONK A C, WANG L, Van POELGEEST E P, *et al.* The impact of cardiovascular diagnostics and treatments on fall risk in older adults: a scoping review and evidence map. *Gero Science*, 2024, 46(1): 153-169. doi: 10.1007/s11357-023-00974-4.
- [28] DAVE C V, LI Y, STEINMAN M A, *et al.* Antihypertensive medication and fracture risk in older veterans health administration nursing home residents. *JAMA Intern Med*, 2024, 184(6): 661-669. doi: 10.1001/jamainternmed.2024.0507.
- [29] MIKOS M, WINNICKI K, HENRY B M, *et al.* Link between cardiovascular disease and the risk of falling: a comprehensive review of the evidence. *Pol Arch Intern Med*, 2021, 131(4): 369-376. doi: 10.20452/pamw.15849.
- [30] FREIRE L B, BRASIL-NETO J P, Da SILVA M L, *et al.* Risk factors for falls in older adults with diabetes mellitus: systematic review and meta-analysis. *BMC Geriatr*, 2024, 24(1): 201. doi: 10.1186/s12877-024-04668-0.
- [31] Van POELGEEST E P, PRONK A C, RHEBERGEN D, *et al.* Depression, antidepressants and fall risk: therapeutic dilemmas-a clinical review. *Eur Geriatr Med*, 2021, 12(3): 585-596. doi: 10.1007/s41999-021-00475-7.

(2024-09-26收稿, 2025-01-15修回)

编辑 汤 洁



开放获取 本文使用遵循知识共享署名—非商业性使用 4.0国际许可协议(CC BY-NC 4.0), 详细信息请访问

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>。

OPEN ACCESS This article is licensed for use under Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (CC BY-NC 4.0). For more information, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

© 2025 《四川大学学报(医学版)》编辑部

Editorial Office of *Journal of Sichuan University (Medical Sciences)*