

· 临床研究 ·

# 高龄膝骨关节炎患者跌倒的危险因素分析及风险预测模型建立

何克, 孙官军, 银毅, 彭旭

(遂宁市中心医院, 四川 遂宁 629000)

**摘要** 目的: 分析高龄膝骨关节炎患者跌倒的危险因素, 建立跌倒风险预测模型。方法: 以 2020 年 1 月至 2022 年 4 月在遂宁市中心医院就诊的年龄  $\geq 65$  岁的膝骨关节炎患者为研究对象。根据 6 个月内是否有排除外力因素的跌倒史进行分组, 有跌倒史者归入跌倒组, 无跌倒史者归入未跌倒组。收集 2 组患者的年龄、性别、病程、体质量指数 (body mass index, BMI)、患病侧别、其他部位疼痛情况、合并其他慢性病情、其他部位关节置换史、经常爬楼梯史、膝关节外伤史、Kellgren-Lawrence 分级等一般资料。采用西安大略和麦克马斯特大学骨关节炎指数 (Western Ontario and McMaster Universities osteoarthritis index, WOMAC) 评价患膝疼痛、僵硬和功能受限程度, 采用 Lysholm 膝关节评分评价膝关节功能。进行下肢三维运动学和动力学测试, 收集包括时空参数、运动学参数和动力学参数在内的各项数据。比较 2 组患者的一般资料、临床评价结果及下肢各项力学参数, 进行单因素分析。根据单因素分析结果采用 Logistic 回归分析高龄膝骨关节炎患者跌倒的危险因素, 构建跌倒风险预测模型, 并对模型进行评价。结果: ①单因素分析结果。共纳入 140 例患者, 跌倒组 78 例, 未跌倒组 62 例。2 组患者病程、其他部位疼痛情况、其他部位关节置换史、经常爬楼梯史、膝关节外伤史、Kellgren-Lawrence 分级的组间比较, 差异均有统计学意义。跌倒组患者 WOMAC 评分中疼痛、僵硬、功能障碍评分均高于未跌倒组, 对侧腿离地期、步时长于未跌倒组, 步长短于未跌倒组, 步速慢于未跌倒组, 足跟着地期踝背伸角、支撑期最大踝跖屈角、最大踝背伸角、最大踝跖屈角、足跟着地期膝伸角、支撑期最大膝伸角均大于未跌倒组, 支撑期最大膝屈角、最大膝屈角、最大髌伸角、髌屈力矩峰值、髌伸力矩峰值、膝屈力矩峰值、膝伸力矩峰值、踝跖屈力矩峰值均小于未跌倒组。②高龄膝骨关节炎患者跌倒的危险因素分析及风险预测模型评价结果。Logistic 回归分析结果显示, 病程长、经常爬楼梯、疼痛重、足跟着地期踝背伸角增大、足跟着地期膝伸角增大、最大膝屈角减小、膝屈力矩峰值减小、踝跖屈力矩峰值减小均为高龄膝骨关节炎患者跌倒的独立危险因素 [ $OR = 5.230, 95\% CI(3.232, 7.021), P = 0.004$ ;  $OR = 4.367, 95\% CI(2.648, 5.953), P = 0.003$ ;  $OR = 4.252, 95\% CI(2.159, 6.231), P = 0.003$ ;  $OR = 3.473, 95\% CI(2.982, 4.028), P = 0.021$ ;  $OR = 6.977, 95\% CI(3.667, 8.964), P = 0.001$ ;  $OR = 3.989, 95\% CI(1.667, 5.264), P = 0.010$ ;  $OR = 7.051, 95\% CI(4.267, 8.164), P = 0.001$ ;  $OR = 4.675, 95\% CI(2.563, 6.798), P = 0.008$ ]。跌倒风险预测列线图模型显示, 病程  $> 6$  年、经常爬楼梯、WOMAC 疼痛评分  $> 48$  分、足跟着地期踝背伸角  $> 9.25^\circ$ 、足跟着地期膝伸角  $> 2.35^\circ$ 、最大膝屈角  $< 45^\circ$ 、膝屈力矩峰值  $< 0.65 N \cdot m \cdot kg^{-1}$ 、踝跖屈力矩峰值  $< 0.90 N \cdot m \cdot kg^{-1}$  时, 高龄膝骨关节炎患者跌倒风险的预测值总分为 409 分, 患者发生跌倒的概率为 71.90%。受试者操作特征 (receiver operating characteristics, ROC) 曲线分析结果显示, 预测模型区分度较高, 训练集 ROC 曲线下面积为 0.698 ( $P = 0.000$ ), 灵敏性 71.43%, 特异性 65.89%; 验证集 ROC 曲线下面积为 0.699 ( $P = 0.000$ ), 灵敏性 78.26%, 特异性 63.18%。Hosmer-Lemeshow 拟合优度检验结果显示, 预测模型拟合优度好 (训练集:  $\chi^2 = 0.748, P = 0.504$ ; 验证集:  $\chi^2 = 1.328, P = 0.263$ )。临床决策曲线分析结果显示, 训练集阈值概率在 9% ~ 88% 时净获益率高; 验证集阈值概率在 11% ~ 92% 时净获益率高。结论: 病程长、经常爬楼梯、疼痛重、足跟着地期踝背伸角增大、足跟着地期膝伸角增大、最大膝屈角减小、膝屈力矩峰值减小、踝跖屈力矩峰值减小均为高龄膝骨关节炎患者跌倒的独立危险因素; 根据这些危险因素建立的跌倒风险预测模型, 对于高龄膝骨关节炎患者的跌倒风险具有一定的预测价值。

**关键词** 骨关节炎; 膝; 意外跌倒; 危险因素; 风险; 预测

## Risk factors and a risk forecasting model for falls in aged patients with knee osteoarthritis

HE Ke, SUN Guan-jun, YIN Yi, PENG Xu

Suining Central Hospital, Suining 629000, Sichuan, China

**ABSTRACT** **Objective:** To analyze the risk factors for falls in aged patients with knee osteoarthritis (KOA), and to build a fall risk prediction model. **Methods:** The patients aged  $\geq 65$  years who were treated in the Suining Central Hospital for KOA from January 2020 to April

基金项目: 四川省医学青年创新科研课题计划项目 (Q22045)

通讯作者: 彭旭 E-mail: 78060104@qq.com

2022 were selected as the subjects. The patients with and without the history of fall caused by non-external force factors within the past 6 months were assigned into a fall group and a non-fall group, respectively. The general information, including age, gender, disease course, body mass index (BMI), affected side, pain in other sites, combined with other chronic diseases, history of joint replacement in other parts, history of frequent stair climbing, history of knee trauma, Kellgren-Lawrence classification, was collected. The affected knee pain degree, stiffness and functional limitation degree were evaluated by using Western Ontario and McMaster Universities osteoarthritis index (WOMAC), and the knee function was assessed by using Lysholm knee score; furthermore, the three-dimensional kinematic and kinetic tests on the lower limbs were conducted, and the temporal-spatial parameters, kinematic parameters, and kinetic parameters were measured and extracted. Moreover, the general information, clinical evaluation results, and lower limb mechanical parameters were compared between the 2 groups, and based on the single factor analysis results, the risk factors for falls among aged KOA patients were analyzed by logistic regression, and then a fall risk prediction model was constructed and evaluated. **Results:** ① One hundred and forty patients were included in the final analysis, 78 ones in the fall group, and 62 ones in the non-fall group. The differences in disease course, pain in other sites, history of joint replacement in other parts, history of frequent stair climbing, history of knee trauma, and Kellgren-Lawrence classification were statistically significant between the 2 groups. The scores of pain, stiffness and dysfunction in WOMAC scores were higher, the contralateral leg off-ground time and step time were longer, the step length was shorter, and the step speed was slower in fall group compared to non-fall group; in addition, the ankle dorsal extension angle at the heel strike phase, maximum ankle plantarflexion angle at the support phase, maximum ankle dorsal extension angle, maximum ankle plantarflexion angle, knee extension angle at the heel strike phase, and the maximum knee extension angle at the support phase were all greater in fall group compared with those of non-fall group; while, the maximum knee flexion angle at the support phase, maximum knee flexion angle, maximum hip extension angle, peak hip flexion moment, peak hip extension moment, peak knee flexion moment, peak knee extension moment, and peak ankle plantarflexion moment were all smaller in fall group compared with those of non-fall group. ② The results of logistic regression analysis revealed that a long disease course, frequent stair climbing, severe pain, increased ankle dorsal extension angle at the heel strike phase, increased knee extension angle at the heel strike phase, decreased maximum knee flexion angle, decreased peak knee flexion moment, and decreased peak ankle plantarflexion moment were all the independent risk factors for falls among the aged KOA patients ( $OR = 5.230, 95\% CI(3.232, 7.021), P = 0.004$ ;  $OR = 4.367, 95\% CI(2.648, 5.953), P = 0.003$ ;  $OR = 4.252, 95\% CI(2.159, 6.231), P = 0.003$ ;  $OR = 3.473, 95\% CI(2.982, 4.028), P = 0.021$ ;  $OR = 6.977, 95\% CI(3.667, 8.964), P = 0.001$ ;  $OR = 3.989, 95\% CI(1.667, 5.264), P = 0.010$ ;  $OR = 7.051, 95\% CI(4.267, 8.164), P = 0.001$ ;  $OR = 4.675, 95\% CI(2.563, 6.798), P = 0.008$ ). The fall risk prediction nomogram model showcased that a total score of 409 points for fall risk and a probability of 71.90% for falls were predicted in the aged KOA patients when the disease course > 6 years, frequent stair climbing, WOMAC pain score > 48 points, ankle dorsal extension angle > 9.25 degrees at the heel strike phase, knee extension angle > 2.35 degrees at the heel strike phase, maximum knee flexion angle < 45 degrees, peak knee flexion moment < 0.65 N · m/kg, and peak ankle plantarflexion moment < 0.90 N · m/kg. The results of receiver operating characteristics (ROC) curve analysis showed that the risk forecasting model had high discrimination performance, with the area under ROC curve, sensitivity, and specificity as 0.698 ( $P = 0.000$ ), 71.43%, and 65.89%, respectively, in training set, and 0.699 ( $P = 0.000$ ), 78.26%, and 63.18%, respectively, in validation set. The results of Hosmer-Lemeshow goodness-of-fit (GOF) test showed that the model had a good GOF (training set:  $\chi^2 = 0.748, P = 0.504$ ; validation set:  $\chi^2 = 1.328, P = 0.263$ ). The results of clinical decision curve analysis indicated a high net benefit rate when threshold probability ranged from 9% to 88% in the training set, and 11% to 92% in the validation set. **Conclusion:** A long disease course, frequent stair climbing, severe pain, increased ankle dorsal extension angle at the heel strike phase, increased knee extension angle at the heel strike phase, decreased maximum knee flexion angle, decreased peak knee flexion moment, and decreased peak ankle plantarflexion moment are all the independent risk factors for falls in the aged KOA patients. The model established based on the above risk factors has a certain applied value in forecasting the risk for falls in the aged KOA patients.

**Keywords** osteoarthritis; knee; accidental falls; risk factors; risk; forecasting

老年人跌倒是一个严重的公共卫生问题,它不仅会对个人健康造成严重影响,还会给社会和家庭带来沉重的经济负担。膝骨关节炎是一种常见的退变性关节疾病,膝骨关节炎患者发生跌倒的概率高于正常

人,50%以上的老年膝骨关节炎患者每年至少发生1次跌倒<sup>[1]</sup>。膝骨关节炎患者发生跌倒的原因和机制尚不明确,跌倒可能是各种危险因素相互作用的结果<sup>[2]</sup>。关节不稳定或僵硬、肌肉无力、疼痛等都可能

是膝骨关节炎患者发生跌倒的危险因素<sup>[3-4]</sup>。分析高龄膝骨关节炎患者发生跌倒的危险因素,对跌倒风险进行预测,有利于进行有效的临床干预,降低患者跌倒的概率。我们对高龄膝骨关节炎患者跌倒的危险因素进行了分析,并建立了风险预测模型,以期为临床提供参考,现报告如下。

## 1 临床资料

### 1.1 一般资料

选取 2020 年 1 月至 2022 年 4 月在遂宁市中心医院就诊的膝骨关节炎患者为研究对象。试验方案经遂宁市中心医院医学伦理委员会审查通过,伦理批件号:025HK261。

### 1.2 纳入标准

①符合膝骨关节炎诊断标准<sup>[5]</sup>;②年龄 $\geq 65$ 岁;③Kellgren-Lawrence 分级 II ~ IV 级<sup>[6]</sup>;④行走距离 $\geq 6$  m;⑤对本研究方案知情同意并签署知情同意书。

### 1.3 排除标准

①6 个月内接受过膝关节或下肢手术者;②6 个月内接受过皮质类固醇或透明质酸钠关节内注射者;③局部有炎症,或合并神经系统疾病者;④6 个月内有外力因素(如冲撞、晕厥等)导致的跌倒者;⑤认知障碍者。

## 2 方法

### 2.1 分组方法

根据 6 个月内是否有排除外力因素的跌倒史进行分组,有跌倒史者归入跌倒组,无跌倒史者归入未跌倒组。

### 2.2 数据收集方法

收集 2 组患者的年龄、性别、病程、体质质量指数(body mass index, BMI)、患病侧别、其他部位疼痛情况、合并其他慢性病情况、其他部位关节置换史、经常爬楼梯史、膝关节外伤史、Kellgren-Lawrence 分级等一般资料。

采用西安大略和麦克马斯特大学骨关节炎指数<sup>[7]</sup>(Western Ontario and McMaster Universities osteoarthritis index, WOMAC)评价患膝疼痛、僵硬和功能受限程度,采用 Lysholm 膝关节评分<sup>[8]</sup>评价膝关节功能。

进行下肢三维运动学和动力学测试。受试者测试部位贴标记物,沿设置好的步道往返行走,行走中双足各踏过 1 块测力台。通过 Vicon 三维运动捕捉

系统收集双下肢时空参数、动力学参数,以及患侧(双侧者取重侧)运动学参数。时空参数:对侧腿离地期、对侧腿支撑期、步幅、步频、步时、步长、步速。运动学参数:足跟着地期踝背伸角、最大踝背伸角、支撑期最大跖屈角、最大踝跖屈角、足跟着地期膝伸角、支撑期最大膝伸角、最大膝屈角、支撑期最大膝屈角、足跟着地期髌屈角、最大髌伸角、支撑期最大髌屈角。动力学参数:踝、膝、髌屈伸力矩峰值。

### 2.3 数据统计方法

采用 SPSS22.2 统计软件处理数据。比较 2 组患者的一般资料、临床评价结果及下肢各项力学参数,进行单因素分析。2 组患者年龄、BMI、WOMAC、Lysholm 膝关节评分以及下肢三维运动学和动力学检测各项参数的组间比较采用  $t$  检验,性别、病程、患病侧别、合并其他部位疼痛情况、合并其他慢性病情况、其他部位关节置换史、经常爬楼梯史、膝关节外伤史、Kellgren-Lawrence 分级的组间比较采用  $\chi^2$  检验。根据单因素分析结果采用 Logistic 回归分析高龄膝骨关节炎患者发生跌倒的危险因素,建立风险预测列线图模型,采用受试者操作特征(receiver operating characteristics, ROC)曲线评价模型的区分度, Hosmer-Lemeshow 拟合优度检验评价模型拟合度,采用临床决策曲线评价模型的应用价值。检验水准  $\alpha = 0.05$ 。

## 3 结果

### 3.1 分组结果

共纳入 140 例患者,跌倒组 78 例,未跌倒组 62 例。

### 3.2 单因素分析结果

2 组患者病程、其他部位疼痛情况、其他部位关节置换史、经常爬楼梯史、膝关节外伤史、Kellgren-Lawrence 分级的组间比较,差异均有统计学意义;年龄、性别、BMI、患病侧别、合并其他慢性病情况的组间比较,差异均无统计学意义(表 1)。跌倒组患者 WOMAC 疼痛、僵硬、功能障碍评分均高于未跌倒组, Lysholm 膝关节评分低于未跌倒组(表 2)。跌倒组对侧腿离地期、步时长于未跌倒组,步长短于未跌倒组,步速慢于未跌倒组;2 组对侧腿支撑期、步幅、步频的组间比较,差异均无统计学意义(表 3)。跌倒组足跟着地期踝背伸角、支撑期最大踝跖屈角、最大踝背伸角、最大踝跖屈角、足跟着地期膝伸角、支撑期最大膝伸角均大于未跌倒组,支撑期最大膝屈角、最大膝屈

角度和最大髋伸角均小于未跌倒组;2 组足跟着地期髋屈角、支撑期最大髋屈角的组间比较,差异均无统计学意义(表 4)。跌倒组髋屈力矩峰值、髋伸力矩峰值、膝屈力矩峰值、膝伸力矩峰值、踝跖屈力矩峰值均小于未跌倒组;2 组间踝背伸力矩峰值的比较,差异无统计学意义(表 5)。

### 3.3 高龄膝骨关节炎患者跌倒的危险因素分析及风险预测模型评价结果

Logistic 回归分析结果显示,病程长、经常爬楼梯、疼痛重、足跟着地期踝背伸角增大、足跟着地期膝伸角

增大、最大膝屈角减小、膝屈力矩峰值减小、踝跖屈力矩峰值减小均为高龄膝骨关节炎患者跌倒的独立危险因素(图 1)。跌倒风险预测列线图模型示,病程 > 6 年、经常爬楼梯、WOMAC 疼痛评分 > 48 分、足跟着地期踝背伸角 > 9.25°、足跟着地期膝伸角 > 2.35°、最大屈膝角 < 45°、膝屈力矩峰值 < 0.65 N·m·kg<sup>-1</sup>、踝跖屈力矩峰值 < 0.90 N·m·kg<sup>-1</sup> 时,高龄膝骨关节炎患者跌倒风险的预测值总分为 409 分,患者发生跌倒的概率为 71.90%(图 2)。ROC 曲线分析结果显示,预测模型区分度较高,训练集 ROC 曲线下面积为

表 1 2 组膝骨关节炎患者的一般资料

组别	样本量/ 例	年龄/ ( $\bar{x} \pm s$ , 岁)	性别/例		病程/例		BMI <sup>1)</sup> / ( $\bar{x} \pm s$ , kg·m <sup>-2</sup> )	患病侧别 <sup>2)</sup> /例			其他部位疼痛/例	
			男	女	≤6 年	>6 年		①	②	③	有	无
跌倒组	78	78.10 ± 3.18	40	38	28	50	31.16 ± 2.54	23	35	20	26	52
未跌倒组	62	77.24 ± 2.99	32	30	42	20	30.80 ± 3.08	22	24	16	11	51
检验统计量		$t = 1.632$	$\chi^2 = 0.002$		$\chi^2 = 14.012$		$t = 0.758$	$\chi^2 = 0.379$			$\chi^2 = 4.319$	
P 值		0.105	0.969		0.000		0.450	0.827			0.038	

组别	合并其他 慢性病/例		其他部位关节 置换史/例		经常爬楼梯/例		膝关节外伤史/例		Kellgren-Lawrence 分级/例		
	<2 种	≥2 种	有	无	是	否	是	否	Ⅱ级	Ⅲ级	Ⅳ级
跌倒组	30	48	10	68	17	61	35	43	31	29	18
未跌倒组	21	41	2	60	2	60	13	49	34	15	13
检验统计量	$\chi^2 = 0.314$		$\chi^2 = 4.058$		$\chi^2 = 10.154$		$\chi^2 = 8.760$		$\chi^2 = 9.592$		
P 值	0.575		0.044		0.001		0.003		0.022		

注:1) 体质质量指数;2) 中①为左侧,②为右侧;③为双侧。

表 2 2 组膝骨关节炎患者的临床评价结果

组别	样本量/例	WOMAC <sup>1)</sup> /( $\bar{x} \pm s$ , 分)			Lysholm 膝关节评分/ ( $\bar{x} \pm s$ , 分)
		疼痛	僵硬	功能障碍	
跌倒组	78	13.08 ± 4.29	6.64 ± 1.36	43.98 ± 5.65	22.36 ± 4.63
未跌倒组	62	10.98 ± 3.15	3.28 ± 1.54	15.28 ± 4.12	26.69 ± 3.60
t 值		3.224	13.692	33.525	6.051
P 值		0.002	0.000	0.000	0.000

注:1) 西安大略和麦克马斯特大学骨关节炎指数。

表 3 2 组膝骨关节炎患者下肢三维运动学和动力学测试时空参数

组别	样本量/ 例	对侧腿离地期/( $\bar{x} \pm s$ , %)		对侧腿支撑期/( $\bar{x} \pm s$ , %)		步幅/( $\bar{x} \pm s$ , m)	
		左侧	右侧	左侧	右侧	左侧	右侧
跌倒组	78	18.23 ± 4.52	19.46 ± 6.21	51.49 ± 8.36	49.32 ± 8.41	1.18 ± 0.23	1.19 ± 0.22
未跌倒组	62	12.68 ± 6.21	10.56 ± 3.09	49.87 ± 2.97	50.71 ± 3.47	1.12 ± 0.11	1.13 ± 0.12
t 值		6.116	10.311	1.454	1.221	1.889	1.930
P 值		0.000	0.000	0.148	0.224	0.061	0.056

组别	步频/ ( $\bar{x} \pm s$ , 步·s <sup>-1</sup> )	步时/( $\bar{x} \pm s$ , s)		步长/( $\bar{x} \pm s$ , m)		步速/( $\bar{x} \pm s$ , m·s <sup>-1</sup> )	
		左侧	右侧	左侧	右侧	左侧	右侧
跌倒组	1.69 ± 0.22	0.94 ± 0.30	0.95 ± 0.23	0.45 ± 0.15	0.41 ± 0.13	0.95 ± 0.16	0.93 ± 0.13
未跌倒组	1.72 ± 0.23	0.68 ± 0.25	0.66 ± 0.18	0.58 ± 0.19	0.56 ± 0.18	1.03 ± 0.24	1.04 ± 0.18
t 值	0.785	5.477	8.140	4.525	5.720	2.385	4.195
P 值	0.434	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020	0.015

0.698 ( $P = 0.000$ ), 灵敏性 71.43%, 特异性 65.89% [图 3(1)]; 验证集 ROC 曲线下面积为 0.699 ( $P = 0.000$ ), 灵敏性 78.26%, 特异性 63.18% [图 3(2)]。 Hosmer-Lemeshow 拟合优度检验结果显示, 预测模型拟 合优度好(训练集:  $\chi^2 = 0.748, P = 0.504$ ; 验证集:  $\chi^2 = 1.328, P = 0.263$ )。见图 4。临床决策曲线分析结果显示, 训练集阈概率在 9% ~ 88% 时净获益率高 [图 5(1)]; 验证集阈概率在 11% ~ 92% 时净获益率高 [图 5(2)]。

表 4 2 组膝关节关节炎患者下肢三维运动学和动力学测试运动学参数

组别	样本量/ 例	足跟着地期踝背 伸角/ ( $\bar{x} \pm s, ^\circ$ )	支撑期最大踝 跖屈角/ ( $\bar{x} \pm s, ^\circ$ )	最大踝背伸角/ ( $\bar{x} \pm s, ^\circ$ )	最大踝跖屈角/ ( $\bar{x} \pm s, ^\circ$ )	足跟着地期膝伸角/ ( $\bar{x} \pm s, ^\circ$ )
跌倒组	78	10.30 $\pm$ 5.18	14.28 $\pm$ 4.67	18.41 $\pm$ 4.28	23.69 $\pm$ 5.92	2.67 $\pm$ 0.78
未跌倒组	62	8.24 $\pm$ 1.35	8.98 $\pm$ 2.94	16.29 $\pm$ 6.31	19.34 $\pm$ 4.21	1.99 $\pm$ 0.48
$t$ 值		3.048	7.790	2.362	4.885	6.016
$P$ 值		0.003	0.000	0.020	0.000	0.000

组别	支撑期最大 膝屈角/ ( $\bar{x} \pm s, ^\circ$ )	最大膝屈角/ ( $\bar{x} \pm s, ^\circ$ )	支撑期最大 膝伸角/ ( $\bar{x} \pm s, ^\circ$ )	足跟着地期 髌屈角/ ( $\bar{x} \pm s, ^\circ$ )	支撑期最大 髌屈角/ ( $\bar{x} \pm s, ^\circ$ )	最大髌伸角/ ( $\bar{x} \pm s, ^\circ$ )
跌倒组	5.17 $\pm$ 2.10	43.51 $\pm$ 3.97	1.72 $\pm$ 0.18	27.61 $\pm$ 7.20	28.91 $\pm$ 6.97	5.62 $\pm$ 0.87
未跌倒组	6.47 $\pm$ 2.35	47.96 $\pm$ 5.21	1.32 $\pm$ 0.13	27.39 $\pm$ 6.54	29.20 $\pm$ 5.93	8.64 $\pm$ 0.94
$t$ 值	3.451	5.736	14.708	0.187	0.261	19.686
$P$ 值	0.001	0.000	0.000	0.852	0.794	0.000

表 5 2 组膝关节关节炎患者下肢三维运动学和动力学测试动力学参数

组别	样本量/ 例	髌屈力矩峰值/ ( $\bar{x} \pm s, N \cdot m \cdot kg^{-1}$ )		髌伸力矩峰值/ ( $\bar{x} \pm s, N \cdot m \cdot kg^{-1}$ )		膝屈力矩峰值/ ( $\bar{x} \pm s, N \cdot m \cdot kg^{-1}$ )	
		左侧	右侧	左侧	右侧	左侧	右侧
跌倒组	78	0.39 $\pm$ 0.05	0.36 $\pm$ 0.09	0.58 $\pm$ 0.16	0.45 $\pm$ 0.10	0.61 $\pm$ 0.13	0.51 $\pm$ 0.12
未跌倒组	62	0.59 $\pm$ 0.13	0.57 $\pm$ 0.17	0.74 $\pm$ 0.09	0.71 $\pm$ 0.20	0.71 $\pm$ 0.16	0.60 $\pm$ 0.09
$t$ 值		12.484	9.385	7.036	10.019	4.081	4.908
$P$ 值		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

组别	膝伸力矩峰值/ ( $\bar{x} \pm s, N \cdot m \cdot kg^{-1}$ )		踝跖屈力矩峰值/ ( $\bar{x} \pm s, N \cdot m \cdot kg^{-1}$ )		踝背伸力矩峰值/ ( $\bar{x} \pm s, N \cdot m \cdot kg^{-1}$ )	
	左侧	右侧	左侧	右侧	左侧	右侧
跌倒组	0.21 $\pm$ 0.14	0.25 $\pm$ 0.13	0.88 $\pm$ 0.25	0.81 $\pm$ 0.29	0.36 $\pm$ 0.15	0.27 $\pm$ 0.12
未跌倒组	0.42 $\pm$ 0.10	0.44 $\pm$ 0.18	1.09 $\pm$ 0.24	1.20 $\pm$ 0.38	0.39 $\pm$ 0.10	0.24 $\pm$ 0.08
$t$ 值	9.960	7.246	5.025	6.888	1.353	1.692
$P$ 值	0.000	0.000	0.000	0.000	0.178	0.093

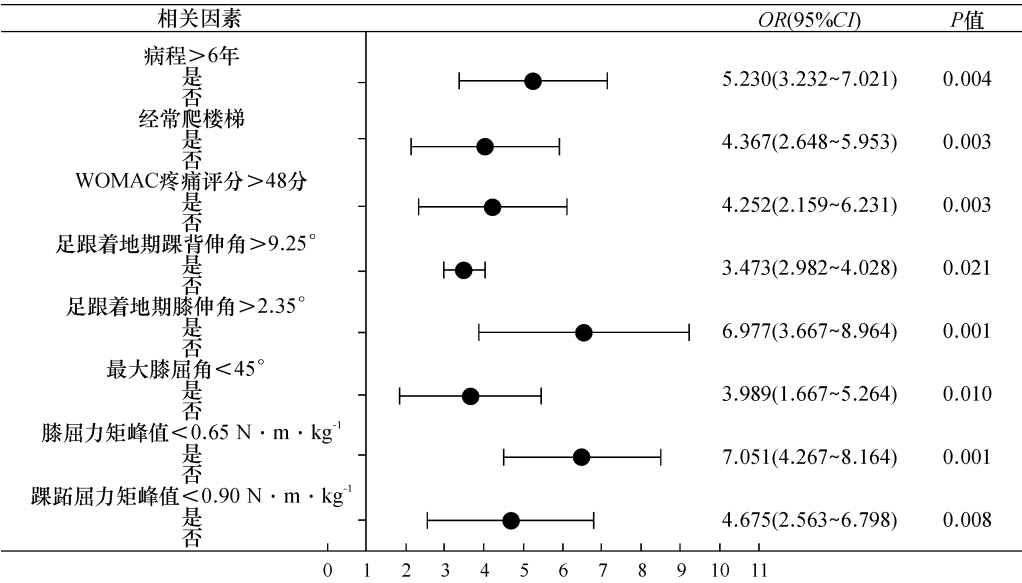


图 1 高龄膝关节关节炎患者跌倒危险因素森林图

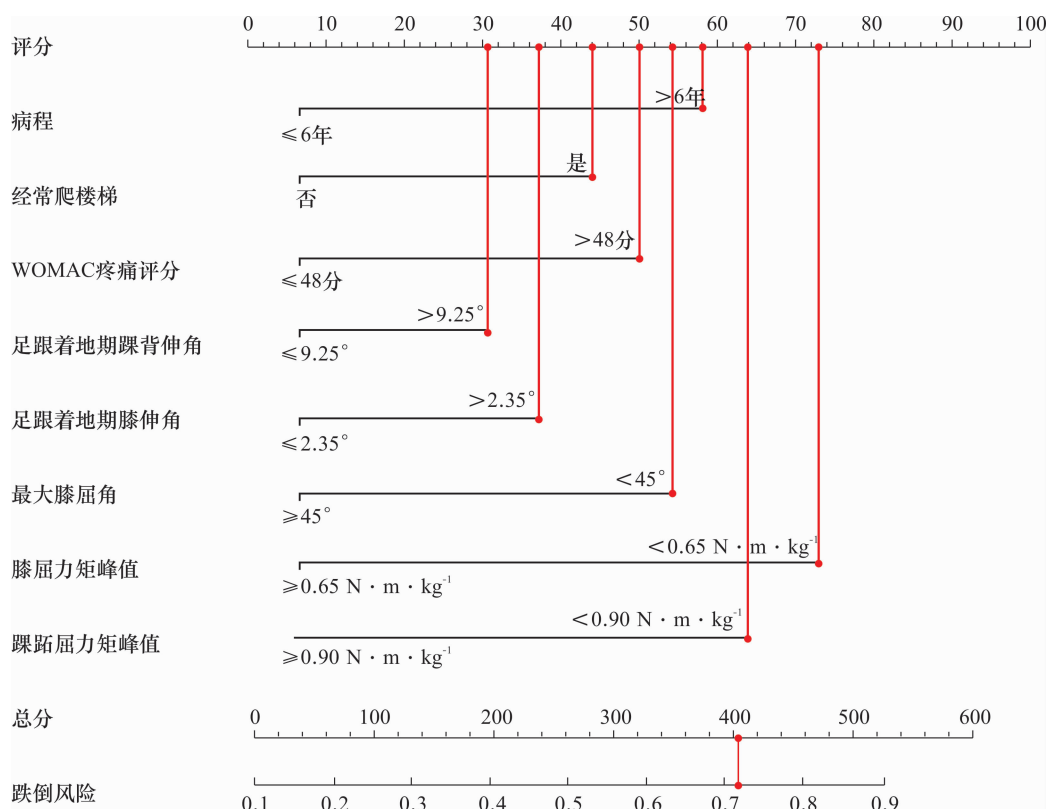


图2 高龄膝骨关节炎患者跌倒风险预测列线图

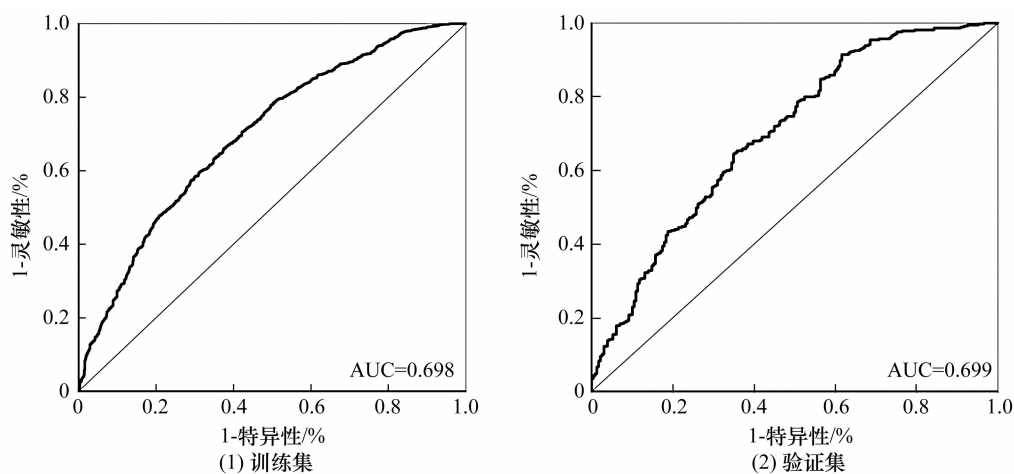


图3 高龄膝骨关节炎患者跌倒风险预测模型受试者工作曲线图

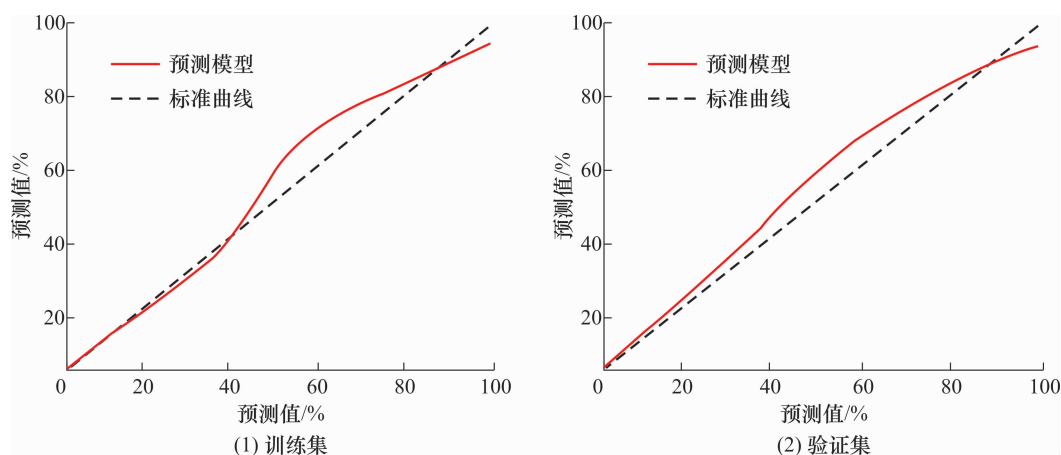


图4 高龄膝骨关节炎患者跌倒风险预测模型拟合优度检验图

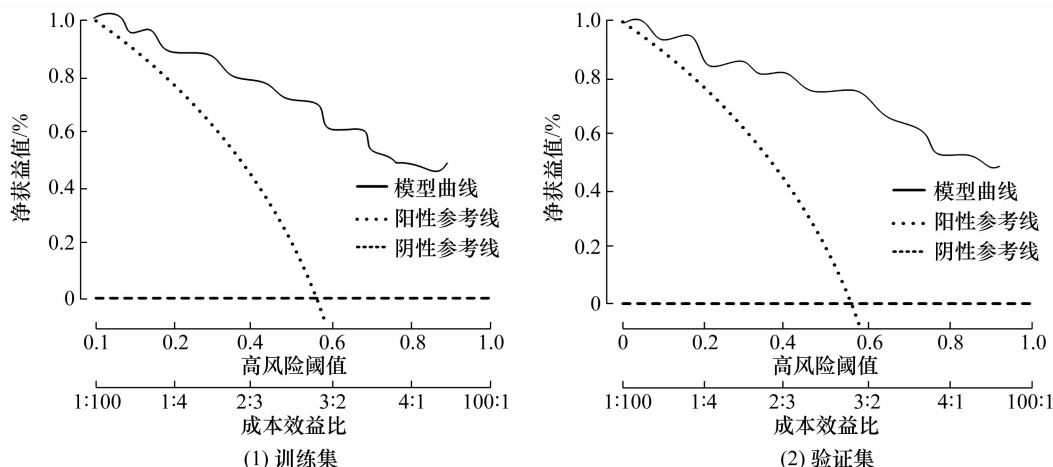


图 5 高龄膝骨关节炎患者跌倒风险预测模型临床决策曲线图

## 4 讨 论

膝骨关节炎是一种以关节软骨退变、软骨下骨改变、滑膜炎症等为特征的慢性退行性疾病,可严重影响膝关节的结构和功能<sup>[9-11]</sup>。膝骨关节炎多见于老年人,患者下肢的不稳定、身体机能下降,可发生跌倒<sup>[12]</sup>。跌倒所造成的继发性损伤可降低老年人的生活质量,严重者会导致老年人失能或死亡,已成为严重妨害老年人健康的公共卫生问题<sup>[13]</sup>。对于高龄膝骨关节炎患者,分析跌倒的危险因素,建立跌倒风险预测模型,对预防跌倒、提高患者生活质量具有重要的意义。

随着病程的进展,膝骨关节炎患者膝关节退变加剧,下肢肌肉力量减弱,平衡能力下降<sup>[14]</sup>,跌倒的风险增加。经常爬楼梯也是高龄膝骨关节炎患者跌倒风险增加的原因之一。这是因为频繁爬楼梯增加了膝关节的负担,会加剧关节疼痛和僵硬,进一步影响下肢的运动<sup>[15]</sup>。因此,对于高龄膝骨关节炎患者,应调整生活方式,尽量减少爬楼梯等活动。膝关节疼痛是膝骨关节炎患者最常见的症状,疼痛程度越重,患者的平衡能力和活动能力越受到限制,跌倒的风险越大。疼痛管理对于高龄膝骨关节炎患者的治疗具有重要作用<sup>[16]</sup>。

足跟着地期踝背伸角、足跟着地期膝伸角、最大膝屈角等下肢运动学参数的异常可反映患者的步态不稳,其发生跌倒的风险较大<sup>[17-18]</sup>。高龄膝骨关节炎患者的膝、踝关节三维运动学与动力学变化与膝关节的结构退化和僵硬有关。膝关节结构退化和僵硬可能导致关节活动受限,从而影响患者的步态<sup>[19]</sup>。一些患者会采取直腿站立的方式作为代偿策略,以减

小膝关节上受力,这会进一步影响下肢的稳定性和步态<sup>[20]</sup>。膝关节在摆动阶段的运动范围缩小可导致行走速度减慢、步态不稳。这些变化亦反映了膝关节屈伸肌肉无力<sup>[21]</sup>。踝关节跖屈角减小可导致踝关节矢状面活动范围受限,这与患者足底屈肌无力有关。踝关节运动受限、肌肉无力导致踝关节跖屈力矩减小。下肢运动学与动力学变化是关节结构退化、肌肉力量减弱、功能受限等多种因素相互作用的结果<sup>[22-23]</sup>。探讨这些因素之间的作用机制,为患者制定个性化的预防和治疗方案,帮助患者恢复正常的步态和日常活动能力,降低跌倒的风险,对于高龄膝骨关节炎患者至关重要。

本研究结果表明,病程长、经常爬楼梯、疼痛重、足跟着地期踝背伸角增大、足跟着地期膝伸角增大、最大膝屈角减小、膝屈力矩峰值减小、踝跖屈力矩峰值减小均为高龄膝骨关节炎患者跌倒的独立危险因素;根据这些危险因素建立的风险预测模型,对于高龄膝骨关节炎患者的跌倒风险具有一定的预测价值。

## 参考文献

- [1] ALJEHANI M S, CRENSHAW J R, RUBANO J J, et al. Falling risk in patients with end-stage knee osteoarthritis[J]. Clin Rheumatol, 2021, 40(1): 3-9.
- [2] VAN SCHOOR N M, DENNISON E, CASTELL M V, et al. Clinical osteoarthritis of the hip and knee and fall risk: the role of low physical functioning and pain medication[J]. Semin Arthritis Rheum, 2020, 50(3): 380-386.
- [3] BABUR M N, SIDDIQI F A, TASSADAQ N, et al. Effects of glucosamine and chondroitin sulfate supplementation in addition to resistance exercise training and manual therapy in patients with knee osteoarthritis: a randomized controlled tri-

- al[J]. J Pak Med Assoc, 2022, 72(7): 1272 – 1277.
- [4] TÜTÜNCÜLER E, ÖK N, GÜNGÖR H R, et al. A comparison of balance and fall risk in patients with unilateral and bilateral total knee arthroplasty[J]. J Back Musculoskelet Rehabil, 2022, 35(5): 1043 – 1051.
- [5] 中华医学会骨科学分会关节外科学组, 中国医师协会骨科医师分会骨关节炎学组, 国家老年疾病临床医学研究中心(湘雅医院), 等. 中国骨关节炎诊疗指南(2021 年版)[J]. 中华骨科杂志, 2021, 41(18): 1291 – 1314.
- [6] 胡永成, 马信龙, 马英. 骨科疾病的分类与分型标准[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2014: 416.
- [7] 蒋协远, 王大伟. 骨科临床疗效评价标准[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2005: 275 – 277.
- [8] 刘云鹏, 刘沂. 骨与关节损伤和疾病的诊断分类及功能评定标准[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002: 230 – 231.
- [9] 中华中医药学会. 膝骨关节炎中西医结合诊疗指南(2023 年版)[J]. 中医正骨, 2023, 35(6): 1 – 10.
- [10] 陈长贤, 仲卫红, 赖传仕, 等. 针刀松解术联合南少林站桩功锻炼治疗早期膝骨关节炎的临床研究[J]. 中医正骨, 2022, 34(2): 19 – 23.
- [11] 韩杰, 柴源, 章晓云, 等. 中药复方治疗不同分期膝骨关节炎的研究进展[J]. 中医正骨, 2022, 34(11): 57 – 61.
- [12] SARGIN S, GULER N S, SAHIN N, et al. Effects of total knee arthroplasty on balance and fall risk in elderly patients with severe gonarthrosis: an age- and sex-matched comparative study[J]. Niger J Clin Pract, 2022, 25(9): 1445 – 1451.
- [13] 张庆来, 孟站领, 李瑞宁, 等. 有无跌倒史老年人步态生物力学特征对比分析[J]. 医用生物力学, 2023, 38(6): 1107 – 1113.
- [14] 罗美杰, 董伟芹, 董胜莲, 等. 老年膝关节骨关节炎患者体重指数对关节症状的影响[J]. 中国老年学杂志, 2020, 40(3): 632 – 634.
- [15] USMANI S, SABOOR A, HARIS M, et al. Latest research trends in fall detection and prevention using machine learning: a systematic review[J]. Sensors (Basel), 2021, 21(15): 5134.
- [16] DE ZWART A H, VAN DER ESCH M, PIJNAPPELS M A, et al. Falls associated with muscle strength in patients with knee osteoarthritis and self-reported knee instability[J]. J Rheumatol, 2015, 42(7): 1218 – 1223.
- [17] KANG S H, LEE S J, PRESS J M, et al. Real-time three-dimensional knee moment estimation in knee osteoarthritis: toward biodynamic knee osteoarthritis evaluation and training[J]. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng, 2019, 27(6): 1263 – 1272.
- [18] MIYAZAKI T, KIYAMA R, NAKAI Y, et al. The relationship between leg extension angle at late stance and knee flexion angle at swing phase during gait in community-dwelling older adults[J]. Int J Environ Res Public Health, 2021, 18(22): 11925.
- [19] BRUNNER R, FRIGO C A. Control of tibial advancement by the plantar flexors during the stance phase of gait depends on knee flexion with respect to the ground reaction force[J]. Bioengineering (Basel), 2023, 11(1): 41.
- [20] LI S. Stiff knee gait disorders as neuromechanical consequences of spastic hemiplegia in chronic stroke[J]. Toxins (Basel), 2023, 15(3): 204.
- [21] REEVES N D, ORLANDO G, BROWN S J. Sensory-motor mechanisms increasing falls risk in diabetic peripheral neuropathy[J]. Medicina (Kaunas), 2021, 57(5): 457.
- [22] DYREK N, WIKAREK A, NIEMIEC M, et al. Selected musculoskeletal disorders in patients with thyroid dysfunction, diabetes, and obesity[J]. Reumatologia, 2023, 61(4): 305 – 317.
- [23] LOGERSTEDT D S, EBERT J R, MACLEOD T D, et al. Effects of and response to mechanical loading on the knee[J]. Sports Med, 2022, 52(2): 201 – 235.

(收稿日期: 2024-01-06 本文编辑: 杨雅)