

• 临床研究 •

不同程度负重对老年膝骨关节炎下肢动力学参数的影响观察

李玲玉

【摘要】 目的 探讨不同程度负重对老年膝骨关节炎患者下肢动力学参数的影响。**方法** 将 2020 年 1 月至 2023 年 4 月三六三医院收治的 108 例膝骨关节炎患者作为研究对象,按数字随机法将患者分为负重 0% 自身体重(BW)组(36 例)、负重 5%BW 组(36 例)和负重 15%BW 组(36 例)。比较 3 组患者负重慢跑时的三维方向地面反作用力、额状面下肢关节角度、矢状面下肢关节角度和膝关节动力学参数。**结果** 随着负重的增加,患者三维方向上的地面反作用力逐渐增大,且负重 5%BW 组和负重 15%BW 组均高于负重 0%BW 组,差异具有统计学意义($P<0.05$)。负重 0%BW 组与负重 5%BW 组和负重 15%BW 组膝关节内收角度峰值、踝关节内翻角度峰值和踝关节外翻角度峰值差异具有统计学意义($P<0.05$),其中负重 5%BW 组与负重 15%BW 组膝关节内收角度峰值显著降低,踝关节内翻角度峰值显著升高,踝关节外翻角度峰值显著升高。3 组其他冠状面下肢关节角度峰值差异无统计学意义($P>0.05$)。负重 0%BW 组与负重 5%BW 组和 15%BW 组踝关节背屈角度峰值和踝关节跖屈角度峰值差异具有统计学意义($P<0.05$),其中 15%BW 组踝关节背屈角度峰值显著升高,踝关节跖屈角度峰值显著降低。3 组其他矢状面下肢关节角度峰值差异无统计学意义($P>0.05$)。3 组膝关节内收力矩和膝关节屈曲力矩峰值差异具有统计学意义($P<0.05$),其中 15%BW 组膝关节内收力矩和膝关节屈曲力矩峰值显著升高。**结论** 不同程度负重对老年膝骨关节炎患者下肢动力学参数变化具有一定的影响作用。

【关键词】 膝骨关节炎;老年;负重;下肢动力学

DOI: 10.3969/j. issn. 1673-7083. 2024. 04. 015

Effect of different degrees of weight-bearing jogging tests on lower limb dynamic parameters in elderly patients with knee osteoarthritis Li Lingyu. Department of Orthopedics, 363 Hospital, Chengdu 610041, China

【Abstract】 Objective The effect of different degrees of weight-bearing on lower limb dynamic parameters was determined in elderly patients with knee osteoarthritis. **Methods** One hundred and eight patients with knee osteoarthritis who were admitted to the 363 our hospital from January 2020 to April 2023 were selected as the study subjects. The patients were randomly divided into 0% ($n=36$), 5% ($n=36$), and 15% body weight (BW) groups ($n=36$), using a digital randomization method. The three-dimensional ground reaction force, frontal lower limb joint angle, sagittal lower limb joint angle, and knee joint dynamics parameters of the three groups of patients were determined during weight-bearing jogging. **Results** As the weight increased, the ground reaction forces in the three-dimensional direction gradually increased. The ground reaction forces in the 5% and 15% BW groups were both greater than the 0% BW group ($P<0.05$). The differences between the 0%, 5%, and 15% BW groups with respect to the knee joint adduction, ankle joint inversion, and ankle joint eversion angle peaks were statistically different ($P<0.05$). The knee joint adduction angle peak value was significantly decreased in the 5% and 15% BW groups compared to the 0% BW group while the ankle joint inversion and eversion angle peak values were significantly increased. There was no statistically significant difference in the lower limb joint peak values on coronal plane images among the three groups ($P>0.05$). The differences in peak ankle dorsiflexion and ankle plantar flexion angles among the 0%, 5%, and 15% BW groups were significantly different ($P<0.05$). The peak ankle dorsiflexion angle was significantly increased in the 15% BW group, while the peak ankle plantar flexion angle was significantly decreased. There was no statistically significant difference in the lower limb joint peak angle in the sagittal plane among the three groups ($P>0.05$). The difference in EKAM and EKFM peak values among the three groups was statistically significant ($P<0.05$). The EKAM and EKFM peak values were significantly increased in the 15% BW group. **Conclusions** Different degrees of weight-bearing impact the changes in lower limb dynamic parameters in elderly patients with knee osteoarthritis.

【Keywords】 Knee osteoarthritis; Old age; Load-bearing capacity; Lower limb dynamics

膝关节炎是临床上常见的慢性骨关节疾病,其发病率高,病程长,对患者日常生活造成严重影响,患病人群主要集中于中老年人^[1-2]。研究显示,我国 75 岁以上老年人群膝关节炎发病率可达 80% 以上^[3]。膝关节炎发病机制复杂,年龄、肥胖、性别、遗传和机械应力增加等是导致膝关节炎发生的重要影响因素^[4]。从生物力学的角度上,膝关节炎发展与膝关节内外侧受力不均有关,病情越重,膝关节内侧受力越大,外侧受力越小^[5]。肥胖、长期负重等会加重患者下肢受力不平衡,但其对老年膝关节炎患者下肢生物力学特征的影响尚不明确。因此,本研究对膝关节炎患者慢跑支撑时的地面反作用力及关节角度变化进行研究,进一步分析不同负重程度对患者下

肢生物力学特征的影响,以期对膝关节炎预防及治疗提供理论基础,为膝关节炎患者日常生活中合理负重提供指导,减缓病情发展。

1 资料与方法

1.1 一般资料

将 2020 年 1 月至 2023 年 4 月三六三医院收治的 108 例膝关节炎患者作为研究对象,分析其病例资料,其中男性 50 例,女性 58 例,患者年龄 62~79 岁,平均年龄 (69.7 ± 6.6) 岁,平均体质指数(BMI)为 (23.94 ± 3.11) kg/m²。按数字随机法将患者分为负重 0% 自身体重(BW)组(36 例)、负重 5% BW 组(36 例)和负重 15% BW 组(36 例)。3 组患者一般资料无显著性差异($P > 0.05$),具有可比性(表 1)。

表 1 3 组患者一般资料比较

组别	性别/例(%)		年龄/岁	BMI/kg·m ⁻²	优势侧/例(%)	
	男	女			右侧	左侧
负重0%BW组	16 (44.44)	20 (55.56)	70.10 ± 6.76	23.68 ± 3.05	35 (97.22)	1 (2.78)
负重5%BW组	19 (52.78)	17 (47.22)	68.39 ± 6.25	23.72 ± 3.14	36 (100.00)	0 (0.00)
负重15%BW组	15 (41.67)	21 (58.33)	69.86 ± 6.64	24.21 ± 3.23	34 (94.44)	2 (5.56)
F/χ^2 值	0.968		1.456	0.938	2.057	
P 值	0.616		0.148	0.350	0.358	

纳入标准:①符合膝关节炎诊断标准(X线检查提示病变关节的关节间隙变窄,软骨下骨硬化及囊肿,关节边缘骨质增生)^[6];②年龄>60岁;③无下肢外伤史;④患者及家属知情并已签署同意书。排除标准:①膝关节疼痛严重;②合并精神障碍不能完成测试;③有下肢手术史。

1.2 方法

1.2.1 测试方法

3 组测试者分别负重 0% BW、5% BW 和 15% BW。将 30 个反光标记粘贴到测试者下肢相应的标志点,标记被系统识别后开始数据采集。受试者赤足,以个人习惯的速度和姿势进行慢跑测试,每个数据采集 3 次,取平均值。

1.2.2 观察指标

采用红外动作捕捉系统对慢跑模式下肢关节角度进行光学追踪,记录 3 组患者慢跑支撑期下肢髋、膝、踝关节角度、膝关节内收力矩(EKAM)、膝关节屈曲力矩(EKFM),并使用三维测力台(OPTIMA-BMS)采集受试者慢跑支撑期的地面反作用力数据。

1.2.3 样本量估算

根据公式 $\frac{(r+1)(Z_{1-\beta}+Z_{1-\alpha})^2\sigma^2}{r(\mu_A-\mu_B-dN_1)^2}$ 进行样本量估算^[7],

其中分配比 $r=1$,检验效能 $1-\beta=0.80$,置信水平 $1-\alpha=0.95$ 。计算结果为 $n=30$,考虑到 20% 的样本丢失率后,最终确定每组样本数量为 $n=36$ 。

1.3 统计学分析

利用 SPSS 23.0 统计软件进行数据统计分析,服从正态分布的计量资料以平均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,组间比较采用单因素方差分析;计数资料使用百分数(%)表示,组间计数比较采用 χ^2 检验。 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 三维方向地面反作用力峰值

随着患者负重增加,三维方向上的地面反作用力逐渐增大,且负重 5% BW 组和负重 15% BW 组各项指标均高于负重 0% BW 组,差异具有统计学意义($P < 0.05$)(下页表 2)。

2.2 额状面下肢关节角度峰值

负重 0% BW 组患者与负重 5% BW 组和负重

表 2 3 组患者地面反作用力峰值比较 /N·Kg⁻¹

组别	前后方向	内外方向	垂直方向
负重0%BW组	1.52 ± 0.83	0.58 ± 0.35	17.65 ± 1.47
负重5%BW组	1.79 ± 0.90*	0.72 ± 0.34*	18.87 ± 1.62*
负重15%BW组	1.95 ± 1.08*	0.91 ± 0.37*	21.03 ± 1.96*
F值	2.421	5.094	10.549
P值	0.017	<0.001	<0.001

注：*表示与负重0%BW组相比， $P < 0.05$

15% BW 组膝关节内收角度峰值、踝关节内翻角度峰值和踝关节外翻角度峰值差异具有统计学意义 ($P < 0.05$)，其中负重 5% BW 组和负重 15% BW 组膝关节内收角度峰值显著降低，踝关节内翻角度

峰值和踝关节外翻角度峰值显著升高 (表 3)。3 组其他冠状面下肢关节角度峰值差异无统计学意义 ($P > 0.05$) (表 3)。

2.3 矢状面下肢关节角度峰值

负重 0% BW 组与负重 5% BW 组和负重 15% BW 组踝关节背屈角度峰值和踝关节跖屈角度峰值差异具有统计学意义 ($P < 0.05$)，其中负重 5% BW 组和负重 15% BW 组踝关节背屈角度峰值显著升高，踝关节跖屈角度峰值显著降低 (表 4)。3 组其他矢状面下肢关节角度峰值差异无统计学意义 ($P > 0.05$) (表 4)。

表 3 3 组患者额状面下肢关节角度峰值比较 /°

组别	髋关节内收角度峰值	髋关节外展角度峰值	膝关节内收角度峰值	膝关节外展角度峰值	踝关节内翻角度峰值	踝关节外翻角度峰值
负重0%BW组	11.83 ± 3.66	2.76 ± 1.52	3.55 ± 2.04	-2.02 ± 2.13	4.85 ± 1.51	0.94 ± 1.85
负重5%BW组	11.51 ± 3.43	2.66 ± 1.45	2.97 ± 2.02*	-1.81 ± 2.14	6.53 ± 1.40*	1.36 ± 2.01*
负重15%BW组	11.22 ± 3.19	2.37 ± 1.30	2.08 ± 2.11*	-1.65 ± 2.20	7.29 ± 1.32*	1.93 ± 2.08*
F值	0.733	1.137	2.921	0.705	7.094	2.074
P值	0.466	0.260	0.005	0.484	<0.001	0.042

注：*表示与负重0% BW组相比， $P < 0.05$

表 4 3 组患者矢状面下肢关节角度峰值比较 /°

组别	髋关节屈曲角度峰值	髋关节伸展角度峰值	膝关节屈曲角度峰值	膝关节伸展角度峰值	踝关节背屈角度峰值	踝关节跖屈角度峰值
负重0%BW组	25.10 ± 8.24	-7.28 ± 3.93	31.23 ± 5.37	10.87 ± 3.65	21.66 ± 3.50	-19.54 ± 6.60
负重5%BW组	25.76 ± 8.67	-8.09 ± 3.70	30.15 ± 4.52	11.23 ± 4.13	22.18 ± 3.81*	-17.76 ± 6.04*
负重15%BW组	26.56 ± 5.96	-8.81 ± 4.12	29.07 ± 3.74	12.14 ± 3.53	23.70 ± 4.42*	-15.43 ± 5.68*
F值	0.837	1.567	1.925	1.458	2.110	2.752
P值	0.405	0.122	0.059	0.149	0.039	0.008

注：*表示与负重0% BW组相比， $P < 0.05$

2.4 膝关节动力学参数峰值

3 组 EKAM 和 EKFM 峰值差异具有统计学意义 ($P < 0.05$)，其中负重 15%BW 组 EKAM 和 EKFM 峰值显著升高 (表 5)。

表 5 3 组膝关节动力学参数峰值比较 /Nm·Kg⁻¹

组别	EKAM峰值	EKFM峰值
负重0%BW组	0.32 ± 0.07	0.21 ± 0.04
负重5%BW组	0.34 ± 0.06	0.22 ± 0.05
负重15%BW组	0.37 ± 0.08	0.26 ± 0.06
F值	3.094	3.211
P值	0.006	0.004

3 讨论

膝骨关节炎发生发展与患者年龄、体质量、生活工作环境等密切相关。该疾病临床表现主要为下肢疼痛、关节活动度下降、平衡能力下降等，最终

造成患者行动受限^[8]，尤其老年膝骨关节炎患者常因疼痛及行走活动障碍而致残，严重影响患者正常生活，给患者及其家庭带来极大的心理负担和经济压力。有研究报道，膝骨关节炎发展与患者下肢动力学特征显著相关，尤其与下肢关节受力关联较大^[9]。关节外翻或内翻会影响关节面上的负荷分布，承载面积减小，剩余接合面的负荷相应增加^[10]。负重运动是人类日常生活中最常见的行为，如老年人购物、农民进行劳动行为等都会涉及到负重运动现象。然而，在人体负重运动过程中身体重心发生变化，为了使身体保持平衡及稳定，必然会导致部分关节过度使用，增加相应组织损伤^[11-12]。肥胖个体生物力学改变常见，肥胖不仅增强了站立时下肢关节的负荷，而且还增加了行走时排列不对称的影响，对膝关节内的关节造成额外的压力^[13-15]。这也从侧

面说明负重对膝骨关节炎的发展具有一定影响作用,可能对患者下肢生物力学特征产生不良影响。但目前关于不同程度负重对老年膝骨关节炎患者下肢生物力学特征影响的研究鲜有报道。因此,本研究通过对患者慢跑支撑时的地面反作用力及关节角度变化进行研究,进一步分析不同负重程度对患者下肢生物力学特征的影响。

地面反作用力是反映机体在支撑期对下肢动作控制情况的矢量,一般分为垂直方向、前后方向和内外方向^[16]。本研究结果显示,随着负重的增加,3组患者三维方向上的地面反作用力均逐渐增大,且在三维方向上负重 15%BW 组明显高于负重 0%BW 组,说明负重增加会影响身体重心位置,导致骨盆和躯干发生异常运动,进而影响髌股关节应力。此外,较大的地面反作用力说明机体在运动过程中身体在额状面内出现过度的左右偏移,增加肌肉在此平面内的制动和平衡做功,增加不必要的能量消耗,加速肌肉疲劳,增加运动损伤风险,可能导致老年人外伤发生率升高。

本研究结果还显示,负重 15%BW 组较负重 0%BW 组膝关节内收角度峰值显著降低,踝关节内翻、外翻、背屈角度峰值显著升高,踝关节跖屈角度峰值显著降低。负重 15%BW 组膝关节内收角度峰值降低可能是由于膝关节外侧应力加大。负重增加会加重膝关节对位不良,导致膝骨关节炎患者在日常活动中更易出现膝关节内外侧的力矩不平衡,产生内外侧关节间隙的压力失衡,增加相应区域软骨磨损,并加速其病情恶化^[17-18]。黄萍等^[19]研究发现,在运动过程中,膝骨关节炎患者存在较大的膝外展力矩。踝关节在额状面过度活动可能会引起下肢生物力学异常^[20-21]。本研究中,负重 15%BW 组患者垂直方向的地面反作用力增大,结合膝关节和踝关节额状面过度活动增加的变化进行分析,认为负重增加不利于患者支撑期的动作控制,会影响患者下肢运动链的生物力学;在矢状面内,负重 15%BW 组踝关节跖屈角度峰值降低,表明患者运动过程中蹬伸阶段不充分;负重 15%BW 组踝关节背屈角度升高,则表明缓冲阶段延长,这可能是由于疼痛程度增加,影响患者跑步动作质量,跑步速度下降造成的。

EKAM 和 EKFM 峰值变化能反映膝关节在某一瞬间的载荷大小。有研究表明,EKAM 和 EKFM 变化与膝骨关节炎患者疼痛症状及该疾病发生发

展有着密切联系,在未来 EKAM 可能将成为评估膝骨关节炎病情的“金指标”^[22]。本研究中,3组 EKAM 和 EKFM 峰值差异具有统计学意义,负重 15%BW 组 EKAM 和 EKFM 峰值显著升高。

本研究也存在一定的局限性,如 3 组在其他多个指标上没有显著性差异,可能由于膝骨关节炎发病机制复杂和样本量较小造成,未来需进行多中心、大样本量研究进一步验证,以发现潜在的显著性差异。此外,本研究并没有对关节动力学和关节肌动力学变化进行分析,未来还需完善测试指标和评估内容,进行深入分析。

综上所述,不同程度负重对老年膝骨关节炎患者下肢生物力学特征具有一定的影响作用,老年患者在进行康复时,应避免大负荷的负重训练。

参考文献

- [1] Abramoff B, Caldera FE. Osteoarthritis: pathology, diagnosis, and treatment options[J]. Med Clin North Am, 2020, 104(2): 293-311.
- [2] Jiang Y. Osteoarthritis year in review 2021: biology[J]. Osteoarthritis Cartilage, 2022, 30(2): 207-215.
- [3] 赵晓明,张银刚,李艳艳. 膝骨关节炎的阶梯化治疗研究进展[J]. 现代中西医结合杂志, 2021, 30(30): 3410-3415.
- [4] Katz JN, Arant KR, Loeser RF. Diagnosis and treatment of hip and knee osteoarthritis: a review[J]. JAMA, 2021, 325(6): 568-578.
- [5] Zhang W, Wan C, Zhang T, et al. Comprehensive application of high tibial osteotomy, chronic distraction tissue regeneration, and computer-assisted external fixation in the treatment of severe knee osteoarthritis: a case report[J]. Medicine (Baltimore), 2020, 99(4): e18636.
- [6] 鞠晓聪,王冰,王峰,等. 高龄膝骨关节炎患者人工单髁关节置换疗效分析[J]. 中国骨伤, 2022, 35(7): 637-643.
- [7] 潘岳松,金奥铭,王梦星. 临床研究样本量的估计方法和常见错误[J]. 中国卒中杂志, 2022, 17(1): 31-35.
- [8] 金明花,马佳宁,胡冰,等. 膝骨关节炎软骨下骨髓病变磁共振成像与临床表现的相关性分析[J]. 安徽医药, 2022, 26(3): 492-495.
- [9] 张旻,李正言,陈博,等. 基于“筋骨失衡”理论探讨膝骨关节炎患者步行时下肢生物力学变化特征[J]. 中华中医药杂志, 2022, 37(8): 4483-4487.
- [10] 黄萍,卢玄,戚威臣,等. 腰椎小关节紊乱症运动和动力学特征[J]. 国际骨科学杂志, 2022, 43(6): 385-391.
- [11] 徐盛嘉,赵寒治. 士兵负重单脚落地时膝关节生物力学特征以及与等速肌力的关系[J]. 医用生物力学, 2022, 37(4): 754-758.
- [12] Li N, Cornelissen D, Silverman S, et al. An updated systematic review of cost-effectiveness analyses of drugs for osteoporosis[J]. Pharmacoeconomics, 2021, 39(2): 181-209.
- [13] Al Khatib F, Gouissem A, Mbarki R, et al. Biomechanical characteristics of the knee joint during gait in obese versus normal subjects[J]. Int J Environ Res Public Health, 2022, 19(2): 989.
- [14] Messier SP, Beavers DP, Queen K, et al. Effect of diet and exercise on knee pain in patients with osteoarthritis and overweight or obesity: a

- randomized clinical trial[J]. JAMA, 2022, 328(22): 2242-2251.
- [15] 庞博, 纪仲秋, 张子华, 等. 基于 Any Body 仿真不同身体质量指数青年八段锦动作的下肢生物力学特征 [J]. 医用生物力学, 2021, 36(3): 415-422.
- [16] 傅升星, 侯美金, 李镇辉, 等. 电针对膝骨性关节炎患者登梯垂直地面反作用力及冲量对称性的影响 [J]. 医用生物力学, 2020, 35(4): 335-341.
- [17] Ohmi T, Aizawa J, Hirohata K, et al. Biomechanical characteristics of the lower extremities during running in male long-distance runners with a history of medial tibial stress syndrome: a case control study[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2023, 24(1): 103.
- [18] Ravalli S, Castrogiovanni P, Musumeci G. Exercise as medicine to be prescribed in osteoarthritis[J]. World J Orthop, 2019, 10(7): 262-267.
- [19] 黄萍, 王怡, 陈博, 等. 膝关节关节炎患者的三维运动解析 [J]. 中国全科医学, 2020, 23(17): 2169-2176.
- [20] Halvorson RT, Castillo FT, Ahamed F, et al. Point-of-care motion capture and biomechanical assessment improve clinical utility of dynamic balance testing for lower extremity osteoarthritis[J]. PLOS Digit Health, 2022, 1(7): e0000068.
- [21] AminiAghdam S, Karamanidis K, Rode C. Uneven running: how does trunk-leaning affect the lower-limb joint mechanics and energetics?[J]. Eur J Sport Sci, 2022, 22(8): 1188-1195.
- [22] Kwon SB, Ro DH, Song MK, et al. Identifying key gait features associated with the radiological grade of knee osteoarthritis[J]. Osteoarthritis Cartilage, 2019, 27(12): 1755-1760.
- (收稿日期: 2024-01-23)
(本文编辑: 卢千语)

《国际骨科学杂志》第八届编辑委员会名单

顾问

戴尅戎 顾玉东 邱贵兴 徐建光 王 岩 曾炳芳 杨庆铭 侯春林 裴国献
裴福兴 陈启明 郑诚功

主编

张长青

常务副主编 (以姓氏拼音为序)

邓廉夫 姜保国 唐佩福 王坤正 袁 文 张伟滨 张英泽

副主编 (以姓氏拼音为序)

柴益民 郭 卫 姜建元 马信龙 邱 勇 曲铁兵 王满宜 王秋根 王以朋
翁习生 严世贵 杨惠林 赵德伟 朱振安

常务编委 (以姓氏拼音为序)

毕郑刚 蔡郑东 曹 力 陈 亮 陈世益 陈晓东 范存义 范卫民 郝定均
侯铁胜 胡懿邵 蒋电明 蒋 青 孔 荣 李 明 廖威明 刘 璠 刘 强
刘忠军 罗从风 牛晓辉 沈慧勇 田晓滨 王 蕾 王栓科 王义生 王 臻
卫小春 吴海山 夏 春 许建中 徐永清 阎作勤 杨述华 姚振均 查振刚
张先龙 赵劲民 郑秋坚 周东生

编委 (以姓氏拼音为序)

陈博昌 丁 任 丁真奇 范顺武 冯建民 付中国 顾立强 官 众 郭晓山
郝永强 黄富国 霍洪军 纪 方 李建民 梁 裕 廖 琦 林伟龙 刘祖德
吕维加 梅 炯 潘志军 尚 剑 孙月华 汤亭亭 汤 欣 童培建 王 钢
王 友 王 跃 王志坚 吴景明 吴克俭 肖建如 肖涟波 徐向阳 徐又佳
杨 军 杨铁毅 尹宗生 禹宝庆 俞光荣 于秀淳 张保中 张开刚 张 堃
张世民 张亚东 赵 杰 赵金忠 赵 黎 赵 群 周 方 周一新 周 跃
朱仕文

秘书

杨庆诚