

·临床研究·

# 不同严重程度的双侧膝骨关节炎患者步态及足底压力分析

林星瑾, 欧建林, 谢文浩, 陈卓铭, 欧阳辉\*

暨南大学附属第一医院, 广东 广州 510630

\* 通信作者: 欧阳辉, E-mail: jnhyoyh@163.com

收稿日期: 2022-12-17; 接受日期: 2023-03-03

基金项目: 国家重点研发计划项目(2020YFC2005700); 广州市基础研究计划市校(院)联合资助项目(202201020082)

DOI: 10.3724/SP.J.1329.2023.05007

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



**摘要 目的:**通过分析不同严重程度的双侧膝骨关节炎(OA)患者步态特征及足底不同分区的压力点峰值的差异,为OA的诊治及康复提供依据。**方法:**选取2020年8月—2021年2月暨南大学附属第一医院骨关节外科、风湿免疫科、康复医学科及脊柱创伤外科收治的双侧OA患者64例,根据影像学的K-L分级标准,将符合标准的50例分为轻度组和中重度组,其中I、II级患者纳入轻度组,共26例,III、IV级患者为中重度组,共24例。使用步态与平衡功能训练评估系统及康复智能鞋分别检测出2组患者的步态分析时空参数及足底压力点峰值分区。其中步态分析时空参数包括步伐时间、步幅时间、步幅长度、单支撑相时间、双支撑相时间、站立相时间、摆动相时间、单支撑相百分比、双支撑相百分比、步速、步频、步宽和步向角;足底压力点峰值分区包括足趾区、跖骨区、中足内侧区、中足外侧区、足跟内侧区及足跟外侧区。**结果:**中重度组步幅长度、步速、步频、单支撑相时间、单支撑相百分比、摆动相时间均小于轻度组( $P<0.05$ ),而步幅时间、步宽、双支撑相时间、双支撑相百分比均大于轻度组( $P<0.05$ )。在足底压力点峰值中,与轻度组比较,中重度组跖骨区2压力点峰值减小( $P<0.05$ )。**结论:**不同严重程度OA患者的步态及足底压力特征具有差异,随着OA严重程度增加,患者步态呈现步行速度减慢、步幅减小、站立时间延长、单足撑地时间缩短及足压向外偏移的特点。临床上可通过评估OA患者的步态来快速判断疾病严重程度及分析患者生物力学的变化特征,为康复治疗提供理论依据。

**关键词** 膝骨关节炎;步态分析;足底压力;生物力学;康复评估

骨关节炎(osteoarthritis, OA)是一种全关节的疾病,包括关节软骨、软骨下骨、滑膜、关节周围组织等结构的病理性改变<sup>[1-2]</sup>。目前我国40岁以上人群OA发病率已达46.3%,且呈不断上升趋势<sup>[3]</sup>,其中膝骨关节炎(knee osteoarthritis, KOA)发病率最高,其次是髌部、手部。下肢生物力学异常是KOA发生发展的因素之一,患者常常表现为膝内翻、力线内移及足压呈多峰曲线等特征性的下肢生物力学改变<sup>[4-6]</sup>,这与患者膝关节骨性结构排列不齐、步态异常、下肢肌力不平衡等因素相关<sup>[5,7-8]</sup>。但目前KOA

的生物力学变化情况尚不完全清楚。对KOA的生物力学研究有助于人们早期识别、预防和制定康复计划。目前评估KOA患者下肢生物力学的技术在临床上应用越来越多,包括影像分析技术、步态分析技术、等速技术和有限元分析技术等<sup>[7,9-11]</sup>。其中,步态分析技术是一种主要利用测力平台等设备采集和计算患者下肢运动学、动力学等信息的方法<sup>[12-14]</sup>。而足底压力分析属于广义的步态分析中的一部分,通过测量足底不同分区的足底压力来评估患者下肢受力点,将二者结合,可综合、动态评估

引用格式: 林星瑾, 欧建林, 谢文浩, 等. 不同严重程度的双侧膝骨关节炎患者步态及足底压力分析[J]. 康复学报, 2023, 33(5): 436-441, 448.

LIN X J, OU J L, XIE W H, et al. Analysis of gait and foot pressure in patients with bilateral knee osteoarthritis of different severity [J]. Rehabil Med, 2023, 33(5): 436-441, 448.

DOI: 10.3724/SP.J.1329.2023.05007

KOA患者下肢生物力学动态改变,补充传统步态分析技术的不足<sup>[4-5]</sup>。在临床上治疗轻度KOA可采取非手术的综合治疗手段来控制疾病进展及改善症状,但治疗中重度KOA患者则往往需要手术介入<sup>[15]</sup>。不同阶段的KOA患者康复训练内容不同,了解不同严重程度KOA患者的步态变化有利于康复训练方案的制定<sup>[16]</sup>。目前对不同严重程度的KOA患者的步态特征改变研究较少。因而本研究采用步态与平衡功能训练评估系统及新型智能康复鞋这2项技术,比较不同严重程度KOA患者的步态特征及足底不同分区的足底压力点峰值差异,以期从力学角度为KOA的早期临床诊断及康复干预提供参考。

## 1 临床资料

### 1.1 病例选择标准

**1.1.1 诊断标准** 参照2018年的国内《骨关节炎诊疗指南(2018年版)》<sup>[17]</sup>,①近1个月内反复膝痛;②X线片示关节间隙变窄、软骨下骨硬化和/或囊性变、关节边缘有骨赘形成;③年龄>50岁;④晨僵≤30 min;⑤有骨摩擦音(感)。满足①+(②、③、④、⑤)条中任意2条者,可诊断KOA。

**1.1.2 纳入标准** ①根据膝关节X线检查符合K-L分级(Kellgren-Lawrence classification) I~IV级的膝骨关节炎患者;②患者签署知情同意书。

**1.1.3 排除标准** ①有类风湿性关节炎等影响下

肢的风湿性疾病患者;②膝关节合并有扭挫伤或其他原因导致的外伤者;③已行髌、膝关节置换术,下肢截肢技术及下肢骨折手术等患者;④身体畸形对正常步态产生影响者;⑤脑卒中后遗症(下肢功能障碍、腰椎间盘突出、糖尿病足、动脉硬化性闭塞症等)导致下肢感觉、运动及血运障碍对正常步态产生影响者;⑥有精神疾病、严重心脑血管疾病等其他原因不能配合的患者;⑦本研究开始前7 d内接受过糖皮质激素全身或局部治疗、免疫抑制剂治疗、止痛药或其他影响KOA病情治疗的患者。

**1.1.4 中止和脱落标准** ①发生严重不良事件需要终止研究的患者;②试验过程中出现不适,不能继续进行试验的病例;③因各种原因退出试验,不能完成试验的病例。

### 1.2 一般资料

本研究共选取2020年8月—2021年2月暨南大学附属第一医院骨关节外科、风湿免疫科、康复医学科及脊柱创伤外科就诊的双侧膝骨性关节炎患者64例。将全部患者行K-L分级,选取达到K-L分级标准的50例,其中I、II级患者纳入轻度组26例,III、IV级患者纳入中重度组24例。2组在性别、年龄、身体质量指数(body mass index, BMI)及受教育年限方面比较,差异均无统计学意义( $P>0.05$ )。见表1。本研究已通过了暨南大学附属第一医院伦理委员会审批(审批号:KY-2020-099)。

表1 2组一般资料比较( $\bar{x}\pm s$ )

Table 1 Comparison of general data between two groups ( $\bar{x}\pm s$ )

组别	例数	性别		年龄/岁	BMI/(kg/m <sup>2</sup> )	受教育年限/年
		男	女			
轻度组	26	10	16	60.81±7.60	25.07±2.49	9.61±5.02
中重度组	24	9	15	64.79±6.77	25.18±3.57	8.29±4.59

## 2 方法

### 2.1 步态分析测量方法

使用安徽埃力智能科技有限公司的步态与平衡功能训练评估系统检测2组患者的步态时空参数。该步态与平衡功能训练评估系统主要由测力板、信号采集处理装置、训练评估软件及附件组成,在测试前先进行校准。2组患者均穿戴同一款鞋子,测试开始前先在设备上行走以适应设备地面。测试时,患者统一自设备一侧向另一侧自然行走,患者足底的测力板记录下患者步态参数,每个患者至少重复测量3次,取3次完整走完的数据求平均

值,得出该患者的最终测试结果。

### 2.2 足底压力测试方法

足底压力测试使用中山优感科技有限公司的康复智能鞋进行检测<sup>[18-19]</sup>。该设备为一款新型的便携式穿戴设备,其鞋底设有压力传感器阵列,根据人的足底压力分布特征组成8个区域。其中足趾区1个,跖骨区3个,中足区2个,足跟区2个,见图1<sup>[18]</sup>。在规定的测试场地内标出起点和终点线,两线间距离为20 m。患者穿戴统一的袜子,使用适合自己尺码的康复智能鞋,在规定区域内沿直线由起点向终点行走。每次测试前先让患者练习适应设备,测试

开始后以自然步态行走,每个患者行走至少3次,康复智能鞋记录下每次行走的足底压力数据,取其

中3次求平均值。

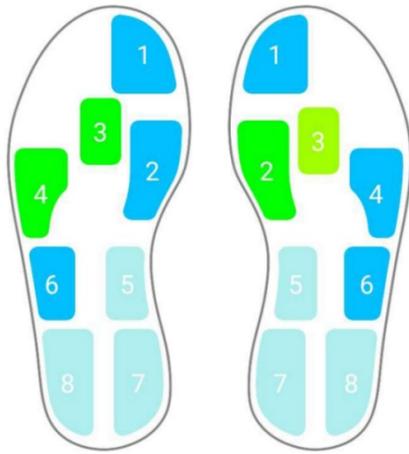


图1 智能康复鞋压力分布点

Figure 1 Smart rehabilitation shoe pressure distribution points



### 2.3 观察指标

**2.3.1 步态分析时空参数** ① 时间参数:包括步伐时间、步幅时间、单支撑相时间、双支撑相时间、站立相时间、摆动相时间、单支撑相百分比、双支撑相百分比、步速和步频,共10项。② 空间参数:包括步幅长度、步宽和步向角,共3项。

**2.3.2 足底压力峰值** 足底压力峰值是表示足底负荷最常用的变量之一,其计算公式如下所示:

$$F_{lr} = \max_{n \in [1, N]} P_r(n) |_{L/R}$$

其中,  $n=1, 2, \dots, N$ , 为足底压力信号长度;  $r=1, 2, \dots, 8$ , 分别表示足底8个区域;  $Pr(n)$  为足底某个区域的足底压力值;  $L/R$  代表左/右足。

康复智能鞋(厂家:中山优感科技有限公司;执行标准:QB/T 2955-2017)8个足底压力峰值区域:足趾区,采用Toe 1(T1)表示;跖骨区包括Metatarsa 2(M2)、Metatarsa 3(M3)、Metatarsa 4(M4);中足区包括中足内侧区和中足外侧区,采用Mid Foot 5(MF5)和Mid Foot 6(MF6)表示;足跟区包括足跟内侧区和足跟外侧区,采用Medial Heel 7(MH7)和Lateral Heel 8(LH8)表示。

### 2.4 统计学方法

使用SPSS 25.0软件处理试验数据。计量资料符合正态分布以 $(\bar{x} \pm s)$ 表示,组间比较采用独立样本  $t$  检验;计量资料不符合正态分布,则采用Wilcoxon符号秩检验,数据以 $[M(P_{25}, P_{75})]$ 表示。计数资料采用 $\chi^2$ 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 3 结果

### 3.1 步态分析时空参数

2组步态时空参数对比中,中重度组的步幅长度、步速、步频、单支撑相时间、单支撑相百分比、摆动相时间均低于轻度组,差异具有统计学意义( $P < 0.05$ ),而步幅时间、步宽、双支撑相时间、双支撑相百分比均高于轻度组,差异具有统计学意义( $P < 0.05$ )。其余指标差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。见表2~3。

### 3.2 足底压力峰值

2组患者组间足底不同区域压力峰值比较中,中重度组与轻度组对比,M2跖骨区压力点峰值小于轻度组,差异具有统计学意义( $P < 0.05$ ),其余差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。见表4。

表2 2组步态时间参数比较( $\bar{x}\pm s$ )Table 2 Comparison of temporal parameters of gait between two groups ( $\bar{x}\pm s$ )

组别	例数	步伐时间/s	站立相时间/s	步频/(步/min)	步幅时间/s	单支撑相时间/s
轻度组	26	0.64±0.07	0.79±0.08	71.87±6.04	1.24±0.11	0.49±0.06
中重度组	24	0.65±0.10	0.86±0.14	66.84±9.08	1.35±0.21	0.45±0.07
<i>t</i> 值		-0.40	-2.00	2.28	-2.70	2.44
<i>P</i> 值		0.72	0.06	0.03	0.01	0.02

双支撑相时间/s	摆动相时间/s	单支撑相百分比/%	双支撑相百分比/%	步速/(cm/s)
0.18±0.04	0.48±0.05	37.21±1.59	33.33±4.73	76.46±9.62
0.21±0.06	0.42±0.06	34.23±3.73	36.19±3.97	68.53±13.03
-2.10	3.55	3.55	-2.30	2.41
0.04	0.00	0.00	0.03	0.02

表3 2组步态空间参数比较( $\bar{x}\pm s$ )Table 3 Comparison of spatial parameters of gait between two groups ( $\bar{x}\pm s$ )

组别	例数	步幅长度/cm	步宽/cm	步向角/°
轻度组	26	92.42±12.11	7.74±3.96	9.90±5.04
中重度组	24	85.06±12.16	12.20±6.15	12.62±8.32
<i>t</i> 值		2.10	-3.00	-1.40
<i>P</i> 值		0.04	0.00	0.18

表4 2组足底压力峰值比较( $\bar{x}\pm s$ )Table 4 Comparison of peak plantar pressure between two groups ( $\bar{x}\pm s$ )

组别	例数	T1足趾区	M2跖骨区	M3跖骨区	M4跖骨区
轻度组	26	51.40±32.65	137.15±29.67	141.66±46.92	83.32±25.95
中重度组	24	55.91±36.74	108.78±60.60	140.49±60.91	78.80±33.98
<i>t</i> 值		-1.00	4.72	0.17	1.18
<i>P</i> 值		0.31	0.00	0.87	0.24

MF5中足内侧区	MF6中足外侧区	MH7足跟内侧区	LH8足跟外侧区
10.36±7.18	32.47±19.55	136.48±39.61	116.83±49.61
9.26±6.49	37.04±27.87	129.98±25.12	113.35±49.28
1.27	-1.50	1.52	0.55
0.21	0.14	0.13	0.58

## 4 讨论

步态一般根据脚步模式或生物力学特性来定义。对步态的描述通常包括3个方面:①步态周期的划分;②步态周期的时间和距离;③步态周期内的某些事件,如初次触地<sup>[4,20-21]</sup>。时空参数受下肢肌肉力矩、下肢受力情况、髌膝踝运动链等综合因素的影响,反映了患者的步行运动能力。与正常人相比,KOA患者的步态发生了特征性改变,往往表现出步态周期更长,步速、步频更短的特征。2020年1项研究发现,双膝KOA患者比无膝关节疼痛的老年人步频、步幅更短,而单足支撑期、一步时间、步行周期延长<sup>[22]</sup>。张昊华等<sup>[23]</sup>研究显示,与健膝相

比,左膝疼痛的KOA患者呈现左足足跟着地缓冲阶段时间更长、全足支撑阶段更短的步态特点,患者用延长患侧的足跟着地缓冲期后用健侧较长的支撑期以在步行中保持平衡;而右膝疼痛的患者,右足足全足支撑阶段更长,足蹬伸阶段时间更短,患者用延长健侧的足蹬伸以弥补右膝疼痛造成的身体不平衡。左右膝痛患者所呈现出不一致的步态特征,可能与左膝患者和右膝患者疾病分期不同有关,也可能与患者原本的行走姿势差异有关;双膝关节疼痛患者左右足则无以上差异,但全足支撑发生在足跟缓冲阶段前面,患者用全足支撑的方式来减轻步行时膝关节疼痛。目前大多数研究主要关注KOA患者与正常人间或患侧与健侧间的区别。

本研究则以影像学分级为依据,比较不同严重程度的以右膝痛为主的双膝KOA患者步态变化,发现随着疾病的进展,中重度KOA患者与轻度患者相比较,具有行走速度更慢、步幅更小、步宽更宽、单足支撑时间更短而双足支撑时间更长的特点,而这些步态的变化符合膝关节“不均匀沉降理论”。该理论认为膝关节的胫骨内侧骨质硬度更易下降,加上胫骨外侧有腓骨协助支撑,因此胫骨内侧受力更多。不均匀沉降使膝关节屈曲时内侧半月板更易损伤,使内侧间室被破坏、下肢力线内移和膝内翻。同时,力线的改变使维持髌骨稳定性的股四头肌肌力下降,造成髌股关节失稳,进一步使力线内移,加重内翻畸形<sup>[5,21]</sup>。这使得中重度患者行走时膝关节磨损特别是内侧磨损更加严重,患者疼痛、关节活动受限,行走时步行周期延长,重心向健侧偏移,通过减慢行走速度、减小步幅、增大步宽、增加双足站立时间及缩短单足撑地时间来增加下肢稳定性及减轻步行时疼痛<sup>[7]</sup>。

另一方面,KOA患者下肢力线的异常也引起足底压力的改变。足底压力是一种地面反作用力,可用于评估人的重心变化、足弓异常及下肢力线异常等改变,反映了患者的平衡能力。对于KOA患者,足底压力分布偏向外侧分布<sup>[24]</sup>。王欣等<sup>[25]</sup>在采用Lor An足底压力测试仪测量单侧KOA的双足足底压力研究中显示,随着KOA的进展,患侧动态足压逐渐向外侧分布,患侧T1和T2-5压力占比降低。张昊华等<sup>[23]</sup>研究采用footscan®SCSI高频平板测量双膝疼痛患者左右足的足底各区域受力时间,发现在M1、M5和HL等处的足底压力值差异有统计学意义,但左、右足内外翻程度差别较小,最严重的主要发生在支撑期,以外翻多见。本研究则采用自主研发的智能康复鞋采集双膝KOA患者足底压力变化特征,结果显示中重度组患者M2跖骨区压力点峰值低于轻度组,提示随着KOA严重程度加重,足底压力同样有偏向外侧分布的趋势,与张昊华等<sup>[23]</sup>研究结果一致。提示康复智能鞋可用于KOA的足底压力评估。另外,与传统高频平板不同<sup>[26]</sup>,可穿戴式鞋具设备模拟了患者日常行走环境,且监测的行走距离更长,能更好地反映患者的自然步态,以使治疗师对患者日常行走方式有更好的了解<sup>[18-19]</sup>。本研究具有一定局限性,部分观点与以往观点相同,与其他研究不同的原因可能与样本量较小、单中心、检测方法不同等相关。其次,本研究只纳入右侧症状较重的双膝KOA患者,对左侧较重及双侧症

状相当的双膝KOA患者未纳入研究,也未纳入单侧KOA患者,且对不同严重程度的分组不够细致,所以在以后的研究中应增加样本量,纳入多中心研究,对KOA患者进行更细致的分组。

不同严重程度的KOA患者步态及足底压力特征具有差异,临床可通过评估患者步态来快速判断患者KOA严重程度及分析患者生物力学的变化特征,为临床干预措施的确定及康复治疗计划的个性化制定提供理论依据。

## 参考文献

- [1] HUNTER D J, BIERMA-ZEINSTRAS S. Osteoarthritis [J]. *Lancet*, 2019, 393(10182): 1745-1759.
- [2] SHARMA L. Osteoarthritis of the knee [J]. *N Engl J Med*, 2021, 384(1): 51-59.
- [3] 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. Joint Surgery Branch of the Chinese Orthopaedic Association, Sub-specialty Group of Osteoarthritis, Chinese Association of Orthopaedic Surgeons, National Clinical Research Center for Geriatric Disorders (Xiangya Hospital), et al. Chinese guideline for diagnosis and treatment of osteoarthritis (2021 edition) [J]. *Chin J Orthop*, 2021, 41(18): 1291-1314.
- [4] 付海燕,杨海韵. 膝骨性关节炎患者与正常青年人步态的对照[J]. *中国组织工程研究与临床康复*, 2011, 15(22): 4115-4118. FU H Y, YANG H Y. Gait comparison between normal young people and knee osteoarthritis patients [J]. *J Clin Rehabil Tissue Eng Res*, 2011, 15(22): 4115-4118.
- [5] LO G H, HARVEY W F, MCALINDON T E. Associations of varus thrust and alignment with pain in knee osteoarthritis [J]. *Arthritis Rheum*, 2012, 64(7): 2252-2259.
- [6] TANG X, WANG S F, ZHAN S Y, et al. The prevalence of symptomatic knee osteoarthritis in China: results from the China health and retirement longitudinal study [J]. *Arthritis Rheumatol*, 2016, 68(3): 648-653.
- [7] 陈果,王宏,汪学良,等. 基于步态分析的膝骨关节炎病理步态机理及诊疗评估探讨[J]. *云南中医学院学报*, 2022, 45(4): 96-98, 102. CHEN G, WANG H, WANG X L, et al. Evaluation of pathological gait mechanism and diagnosis and treatment of knee osteoarthritis based on gait analysis [J]. *J Yunnan Univ Tradit Chin Med*, 2022, 45(4): 96-98, 102.
- [8] ABRAMOFF B, CALDERA F E. Osteoarthritis: pathology, diagnosis, and treatment options [J]. *Med Clin North Am*, 2020, 104(2): 293-311.
- [9] 傅树威. X线在膝骨关节炎诊断中的应用研究[J]. *中国实用医药*, 2022, 17(17): 89-91. FU S W. Application of X-ray in the diagnosis of knee osteoarthritis

- tis [J]. *Chin Pract Med*, 2022, 17(17): 89-91.
- [10] 张秋艳,高宁,王国军,等. 等速技术在膝骨关节炎康复中的应用研究进展[J]. *按摩与康复医学*, 2022(8): 52-56.  
ZHANG Q Y, GAO N, WANG G J, et al. Research progress of isokinetic technique in rehabilitation of knee osteoarthritis [J]. *Chin Manip Rehabil Med*, 2022, 13(8): 52-56.
- [11] 张吉超,董跃福,牟志芳,等. 骨关节炎患者在不同步态角度下膝关节内部生物力学变化的有限元分析[J]. *中国组织工程研究*, 2022, 26(9): 1357-1361.  
ZHANG J C, DONG Y F, MU Z F, et al. Finite element analysis of biomechanical changes in the osteoarthritis knee joint in different gait flexion angles [J]. *Chin J Tissue Eng Res*, 2022, 26(9): 1357-1361.
- [12] SETHI D, BHARTI S, PRAKASH C. A comprehensive survey on gait analysis: history, parameters, approaches, pose estimation, and future work [J]. *Artif Intell Med*, 2022, 129: 102314.
- [13] BROSTRÖM E W, ESBJÖRNSSON A C, VON HEIDEKEN J, et al. Gait deviations in individuals with inflammatory joint diseases and osteoarthritis and the usage of three-dimensional gait analysis [J]. *Best Pract Res Clin Rheumatol*, 2012, 26(3): 409-422.
- [14] 张峻霞,高昆,谢兵. 步态分析研究综述[J]. *包装工程*, 2022, 43(10): 41-53.  
ZHANG J X, GAO K, XIE B. Review of gait analysis [J]. *Packag Eng*, 2022, 43(10): 41-53.
- [15] GÜNTHER K P, STÜRMER T, SAUERLAND S, et al. Prevalence of generalised osteoarthritis in patients with advanced hip and knee osteoarthritis: the Ulm Osteoarthritis Study [J]. *Ann Rheum Dis*, 1998, 57(12): 717-723.
- [16] GAY C, CHABAUD A, GUILLEY E, et al. Educating patients about the benefits of physical activity and exercise for their hip and knee osteoarthritis. Systematic literature review [J]. *Ann Phys Rehabil Med*, 2016, 59(3): 174-183.
- [17] 中华医学会骨科学分会关节外科学组. 骨关节炎诊疗指南(2018年版)[J]. *中华骨科杂志*, 2018, 38(12): 705-715.  
Osteoporosis Group of Chinese Orthopaedic Association. Guidelines for diagnosis and treatment of osteoarthritis (2018 edition) [J]. *Chin J Orthop*, 2018, 38(12): 705-715.
- [18] SONG Z, OU J L, SHU L, et al. Fall risk assessment for the elderly based on weak foot features of wearable plantar pressure [J]. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, 2022, 30: 1060-1070.
- [19] WANG D R, OUYANG J, ZHOU P R, et al. A novel low-cost wireless footwear system for monitoring diabetic foot patients [J]. *IEEE Trans Biomed Circuits Syst*, 2021, 15(1): 43-54.
- [20] MIRELMAN A, SHEMA S, MAIDAN I, et al. Gait [J]. *Handb Clin Neurol*, 2018, 159: 119-134.
- [21] CHESTER V L, BIDEN E N, TINGLEY M. Gait analysis [J]. *Biomed Instrum Technol*, 2005, 39(1): 64-74.
- [22] HUANG P, WANG Y, CHEN B, et al. Three-dimensional motion analysis of patients with knee osteoarthritis [J]. *Chinese Gen Pract*, 2020, 23(17): 2169-2176.
- [23] 张昊华,闫松华,刘志成. footscan® SCSi 高频平板测试不同膝骨关节炎患者自然行走步态的生物力学比较[J]. *中国组织工程研究与临床康复*, 2010, 14(43): 8019-8023.  
ZHANG H H, YAN S H, LIU Z C. Comparison in gait biomechanics of naturally walking patients with different knee osteoarthritis using footscan® SCSi high frequency plate system [J]. *J Clin Rehabil Tissue Eng Res*, 2010, 14(43): 8019-8023.
- [24] 王欢,王锁良,李峰. 膝骨关节炎患者与相匹配的正常人群动静平衡功能障碍的对比研究[J]. *西安交通大学学报(医学版)*, 2018, 39(3): 414-418, 429.  
WANG H, WANG S L, LI F. Static and dynamic balance impairments in individuals with symptomatic knee osteoarthritis: a comparison with matched controls [J]. *J Xi'an Jiaotong Univ Med Sci*, 2018, 39(3): 414-418, 429.
- [25] 王欣,罗文,黄文泽,等. 单侧膝骨关节炎临床分期与双足足底压力的相关性[J]. *中国组织工程研究*, 2021, 25(27): 4312-4317.  
WANG X, LUO W, HUANG W Z, et al. Correlation between clinical stage of unilateral knee osteoarthritis and double plantar pressure [J]. *Chin J Tissue Eng Res*, 2021, 25(27): 4312-4317.
- [26] XU C, WEN X X, HUANG L Y, et al. Reliability of the footscan® platform system in healthy subjects: a comparison of without top-layer and with top-layer protocols [J]. *Biomed Res Int*, 2017, 2017: 2708712.

(下转第 448 页)