

# 针对半月板损伤患者的运动学步态分析

李鹏, 郭丽, 李鹏翠, 卫小春

(山西医科大学第二医院骨科 骨与软组织损伤修复山西省重点实验室, 山西 太原 030000)

**【摘要】** 目的: 探讨应用 Codamotion 2CX1 三维动态关节运动捕捉系统分析不同程度半月板损伤患者运动学特征。方法: 2020 年 12 月至 2022 年 6 月收治的半月板损伤患者及招募的正常人共 135 例, 男 82 例, 女 53 例; 年龄 14~29 岁; 病程 1~3 个月。结合临床症状及 MRI 检查明确半月板损伤诊断, 根据 Stoller 分级标准将半月板损伤分为 4 级: 0 级(正常)37 例, I 级 30 例, II 级 33 例, III 级 35 例。采用 Codamotion 2CX1 三维动态关节运动捕捉系统对各组受试者进行行走测试, 采集步行及运动学量化指标, 包括膝关节屈伸、内外旋、内外翻, 并对其进行运动学进行分析。结果: 在膝关节屈曲/伸直分布中, 4 组患者膝关节最大屈曲、最小伸直及膝关节屈伸范围比较, 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ); 在膝关节内旋/外旋分布中, 4 组患者膝关节内旋及膝关节旋转范围比较, 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ); 在膝关节内翻/外翻分布中, 4 组患者膝关节外翻及膝关节翻转变范围比较, 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ); 临床分期进展与膝关节伸直、外旋、内外翻及翻转变活动范围呈正相关 ( $P < 0.05$ ); 与膝关节屈曲、内旋及屈伸、旋转活动范围呈负相关 ( $P < 0.05$ ); 膝关节内旋、外旋角度可以作为半月板损伤临床分期的独立影响因素 ( $P = 0.006, 0.019 < 0.05$ )。结论: 半月板损伤患者膝关节运动发生了明显变化, 且不同临床分期下, 变化有一定差异, 步态分析为半月板损伤的运动学分析提供了一个可靠的依据, 有助于更好了解关节的运动学指标, 同时提供了一个较为可靠的辅助诊疗方案, 为后续医学研究提供了新方向。

**【关键词】** 半月板损伤; 三维步态分析; 运动学; 三自由度

中图分类号: R684.7 R318 R459.9

DOI: 10.12200/j.issn.1003-0034.20221165

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Kinematic gait analysis for patients with meniscus injury

LI Peng, GUO Li, LI Peng-cui, WEI Xiao-chun (Shanxi Key Laboratory of Bone and Soft Tissue Injury Repair, Department of Orthopaedics, Second Hospital of Shanxi Medical University, Taiyuan 030000, Shanxi, China)

**ABSTRACT Objective** To investigate application of the Codamotion 2CX1 three-dimensional dynamic joint motion capture system to analyze the kinematic characteristics of patients with different degrees of meniscus injury. **Methods** From December 2020 to June 2022, 135 patients with meniscus injury and recruited normal people were collected, including 82 males and 53 females, aged 14 to 29 years old, with disease duration of 1 to 3 months. Combined with clinical symptoms and MRI examination, the diagnosis of meniscus injury was confirmed, and the patients were divided into stages, including 37 cases of grade 0 (normal), 30 cases of grade I, 33 cases of grade II, 35 cases of grade III according to Stoller grading standard. Subjects in each group were tested walking by using Codamotion 2CX1 three-dimensional dynamic joint motion capture system. Quantitative indexes of walking and kinematics were collected, including knee flexion and extension, internal and external rotation and internal and external turning, and their kinematics were analyzed. **Results** In the distribution of knee flexion/extension, there were significant differences in maximum knee flexion, minimum knee extension and knee flexion and extension range among 4 groups ( $P < 0.05$ ). In the distribution of internal/external rotation of knee joint, there were significant differences in the range of internal rotation and rotation of knee joint among 4 groups ( $P < 0.05$ ). In the distribution of internal/external turning of knee joint, there were significant differences in the range of internal and external turning of knee joint among 4 groups ( $P < 0.05$ ). The clinical stage progression was positively correlated with the range of motion of knee extension, external rotation, internal and external turning and turning range ( $P < 0.05$ ). It was negatively correlated with knee flexion, internal rotation, flexion extension and rotation range ( $P < 0.05$ ). The internal and external rotation angles of knee joint could be used as independent factors influencing the clinical stage of meniscus injury ( $P = 0.006, 0.019 < 0.05$ ). **Conclusion** The knee movement of patients with meniscus injury has obvious changes, and the changes are different under different clinical stages. Gait analysis provides a reliable basis

基金项目: 国家自然科学基金区域联合重点资助项目(编号: U21A20353); 国家自然科学基金面上项目(编号: 82172503)

Fund project: Regional Joint Key Funding Project of National Natural Science Foundation of China (No. U21A20353)

通讯作者: 卫小春 E-mail: sdeygsys@163.com

Corresponding author: WEI Xiao-chun E-mail: sdeygsys@163.com

for the kinematic analysis of meniscus injury, helps to better understand the kinematic indexes of joints, and provides a reliable auxiliary diagnosis and treatment plan, which provides a new direction for the follow-up medical research.

**KEYWORDS** Meniscus injury; Three-dimensional gait analysis; Kinematics; Three degrees of freedom

半月板(meniscus)是膝关节的重要组成结构,由纤维软骨构成,位于膝关节的胫骨髁凹陷及股骨内外髁之间,通过衬垫作用增加关节的稳定性和起到缓冲震荡作用,并且增加运动范围内的稳定性<sup>[1]</sup>。半月板损伤(meniscus injury)是青少年人群中常见的膝关节运动系统性疾病<sup>[2]</sup>。人群中若受到导致膝扭曲的外力时,就会导致半月板损伤。半月板损伤的患病率 12%~14%,每 10 万人中约 61 例。急性创伤相关的撕裂在活跃的年轻人和从事体育活动的人中更为普遍<sup>[3]</sup>。半月板的撕裂或不稳定常会引起机械性症状、疼痛和肿胀<sup>[4]</sup>。临床上主要表现为患膝关节疼痛、肿胀、活动受限,严重时甚至丢失膝关节的正常功能,导致关节软骨磨损,严重影响患者的平时生活,甚至失去正常的生活保障,从而加剧膝骨关节炎(kneeosteoarthritis, KOA)的发生与发展。

步态分析现在已经成为一种可行的评估工具,不仅用于体育科学或基础生物力学研究,而且已经扩展为临床诊断、监测功能恢复和肌肉骨骼康复中非常有价值的工具<sup>[5-7]</sup>。常用于评估下肢病变,包括膝关节慢性和急性病变。其中针对双下肢的步态分析研究也已更多的投入临床实验研究中,正常人双下肢膝关节运动度步态的相似性也得到了证实<sup>[8]</sup>。

半月板损伤患者膝关节疼痛、活动受限,行走时外观发生明显改变,并且往往由于运动导致损伤,预示着半月板损伤是一种与步态和运动学密切相关的一种疾病。在患者病情、膝关节功能、治疗效果以及康复锻炼的评价当中,这些运动学指标的测定及评价起着不可替代的作用。而如今,步态分析仪的使用,能够更加客观的评定人体运动时的指标,成为了现如今医学研究的新的热点。本研究采用步态分析仪器,回顾性分析 2020 年 12 月至 2022 年 6 月山西医科大学第二医院骨运动医学科收治半月板损伤患者及招募的正常人捕捉不同程度半月板损伤患者的步态数据,并对其进行分析,为临床工作中半月板损伤的诊疗提供步态数据支持。

## 1 资料与方法

### 1.1 病例选择

诊断标准:(1)存在急性运动损伤病史或长期登山、下肢负重病史。(2)常伴有关节的肿胀、疼痛及活动受限。(3)麦氏试验、研磨试验等检查阳性。(4)核磁共振存在半月板信号的改变。纳入标准:(1)满足《中华医学会半月板损伤临床诊疗指南》诊断标准。(2)年龄 14~29 岁,病程 1~3 个月,膝关节疼痛视觉

模拟评分(visual analogue scales, VAS)  $\geq 2.0$  分。(3)从未进行过双下肢手术者。(4)除外半月板损伤外,不患有其他运动系统或神经系统性疾病。(5)除口服止痛药物治疗外,未接受其他治疗措施。(6)自愿配合完成整项检查。排除标准:(1)年龄  $\geq 30$  岁。(2)合并韧带损伤或其他下肢疾病患者。(3)有对侧膝关节手术史。(4)半月板损伤严重,无法配合进行步态分析患者。(5)伴有神经、骨骼肌肉等其他疾病患者。

### 1.2 一般资料与分组

回顾性分析 2020 年 12 月至 2022 年 6 月山西医科大学第二医院骨运动医学科收治半月板损伤患者及招募的正常人共 135 例,男 82 例,女 53 例;年龄 14~29 岁;病程 1~3 个月。所有病例符合医院审查规定,纳入患者均通过 MRI 及关节镜检查进行确诊,结合临床症状及影像学 Stoller 分级<sup>[9]</sup>进行临床分期,0 级(正常)37 例,Ⅰ级 30 例,Ⅱ级 33 例,Ⅲ级 35 例,且除外其他下肢疾病。4 组人员的年龄、身高、体重等基线资料差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。3 组患者中病程及受伤原因差异无统计学意义( $P > 0.05$ ),具有可比性,见表 1。参与试验的患者及志愿者为自愿参加,均对试验过程完全知情同意,在充分了解试验方案的前提下签署“知情同意书”。该临床研究的实施符合山西医科大学第二医院对研究的相关伦理要求([2020]伦审字号,2020-08-60)。

### 1.3 试验方法

应用 Codamotion 三维动态关节运动捕捉系统采集相关运动学步态数据(膝关节屈曲/伸直、内旋/外旋、内翻/外翻)。三维动态关节运动捕捉系统(型号: Codamotion 2CX1, 生产厂家: Charnwood dynamics limited)。嘱咐受试者进行深呼吸,保持平静放松状态,双手自然下垂,双眼目视前方,保证双足充分接触在测试板上,对受试者进行骨骼体表标志的的标定,受试者赤足,充分暴露双下肢和腰部并佩戴相关检查套件。体表骨骼标志点标定,双侧的髌前上嵴、股骨内外侧髁、内外踝标定,从而确定骨盆及双下肢的三维空间位置。按先前方式在测试板上行走,保持匀速,确保走路时足底完全接触测试板,系统自动采集髋、膝、踝关节行走时在每个活动周期内的内/外翻、内/外旋、屈曲/伸展角灯 3 个自由度的数据,并进行记录保存。通过 Codamotion 软件对数据进行提取、筛选以及导出,从而确定每个自由度的最大、最小值,并且以两者的差值作为该自由度的活动范围。

表 1 半月板损伤患者及招募的正常人 135 例一般资料比较

Tab.1 Comparison of general data among 135 people of meniscal injuries and recruited normal subjects

Stoller 分级	例数	性别/例		年龄 ( $\bar{x}\pm s$ )/岁	身高 ( $\bar{x}\pm s$ )/m	体重 ( $\bar{x}\pm s$ )/kg	病程 ( $\bar{x}\pm s$ )/月	受伤原因/例		
		男	女					运动时急性损伤	长期慢性损伤	其他因素
0 级(正常)	37	17	20	25.43±2.32	1.74±0.87	68.32±6.23				
I 级	30	19	11	24.57±2.03	1.73±0.98	67.48±5.16	2.34±0.56	26	4	0
II 级	33	21	12	24.14±3.28	1.74±0.23	65.67±4.97	2.24±0.34	27	3	3
III 级	35	25	10	24.23±2.84	1.74±1.06	67.34±5.35	2.35±0.36	31	2	2
检验值		$\chi^2=5.273$		$F=1.554$	$F=1.298$	$F=1.835$	$F=1.262$	$\chi^2=3.702$		
P 值		0.153		0.204	0.2407	0.169	0.254	0.448		

其中每个受试者重复采集 3 次完整步态,步态指标数据采用 3 次记录的平均值。

#### 1.4 观察项目与方法

膝关节屈伸、内外旋、内外翻:膝关节由内侧股关节、外侧股关节、股关节、和近端胫腓关节构成。关节周围韧带为膝关节提供全方位的被动稳定性。在日常活动中,膝盖承受了人体的绝大部分体重,并支撑完成大范围的屈伸、内外旋、内外翻转动作。膝关节是一个滑车关节,它主要的运动是滚动、滑移以及旋转。膝关节可以向 6 个方向自主活动,转动的动作包括屈伸、内外旋和内外翻。通过压缩或牵引膝关节,可以在前后位、内外侧及肢体纵轴方向上产生平移运动。

#### 1.5 统计学处理

采用 SPSS 22.0 软件进行统计分析。年龄、病程、膝关节屈伸、旋转、翻转角度等正态分布定量资料以均数±标准差( $\bar{x}\pm s$ )表示,多组间比较采用单因素方差分析(one-way ANOVA),若方差齐,两两比较采用等方差假设下的 LSD-t 检验;若方差不齐,两两比较采用不等方差假设项下的 Tamhane's T2 检验;定性资料以例数表示,假设检验定性资料比较行 $\chi^2$ 检验。临床分期与关节活动度的相关性采用 Spearman 秩相关分析,采用有序结果变量多重 Logistic 回归分析半月板临床分期的影响因素。以  $P<0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 半月板损伤临床分期与膝关节屈曲/伸直角度的相关性

在膝关节屈曲/伸直的分布中,4 组患者的膝关节最大屈曲、最小伸直及膝关节屈伸范围比较见表 2,差异有统计学意义( $P<0.05$ );Spearman 等级资料相关分析显示,临床分期进展与膝关节屈曲呈负相关( $r=-0.800, P<0.05$ ),与膝关节伸直呈正相关( $r=0.857, P<0.05$ ),与膝屈伸范围呈负相关( $r=-0.903, P<0.05$ )。

### 2.2 半月板损伤临床分期与膝关节内旋/外旋角度的相关性

在膝关节内旋/外旋的分布中,4 组患者的膝关节内旋及膝关节旋转范围比较见表 3,差异有统计学意义( $P<0.05$ );Spearman 等级资料相关分析显示,临床分期进展与膝关节内旋呈负相关( $r=-0.962, P<0.05$ ),与膝关节外旋呈正相关( $r=0.531, P<0.05$ ),与膝旋转范围呈负相关( $r=-0.892, P<0.05$ )。

### 2.3 半月板损伤临床分期与膝关节内翻/外翻角度的相关性

在膝关节内翻/外翻的分布中,4 组患者的膝关节外翻及膝关节翻转范围比较见表 4,差异有统计学意义( $P<0.05$ );Spearman 等级资料相关分析显示,临床分期进展与膝关节外翻呈正相关( $r=0.913, P<0.05$ ),与膝关节内翻呈正相关( $r=0.447, P<0.05$ ),与膝翻转范围呈正相关( $r=0.809, P<0.05$ )。

### 2.4 有序结果变量多重 Logistic 回归分析

采用有序结果变量多重 Logistic 回归分析将半月板损伤临床分期作为因变量,将膝关节屈曲/伸直、内旋/外旋、内翻/外翻角度作为协变量,结果显示膝关节内旋、外旋角度为半月板损伤临床分期的独立影响因素( $P=0.006, 0.019<0.05$ )。

## 3 讨论

### 3.1 半月板损伤概况

半月板损伤是一种常见的青少年运动系统性疾病,伴由不同程度的关节活动减弱,包括关节稳定性下降、活动范围减少、关节周围疼痛伴肿胀明显,导致出现不同程度的步行能力及平衡功能的下降,进展到后期常常会发展为膝骨关节炎(knee osteoarthritis, KOA),为患者后期的生活造成影响,降低生活质量。控制这一疾病的发展,预防并减轻后期残疾的发生是当前医学研究的重要课题。但目前针对半月板损伤的研究并不透彻,仍旧缺乏一些简单有效的诊疗方法<sup>[10-12]</sup>。近年来随着生物力学及转化医学的发展与进步,针对运动系统疾病的步态特征

表 2 半月板损伤患者及招募的正常人 135 例膝关节屈伸角度比较 ( $\bar{x}\pm s$ )

Tab.2 Comparison of flexion and extension angles of knee among 135 people of meniscal injuries and recruited normal subjects ( $\bar{x}\pm s$ )

Stoller 分级	例数	膝关节屈曲	膝关节伸直	膝关节屈伸范围
0 级 (正常)	37	70.07±1.52 <sup>cd</sup>	1.20±1.33 <sup>cd</sup>	68.87±1.72 <sup>cd</sup>
I 级组	30	68.64±0.98 <sup>cd</sup>	2.30±0.86 <sup>cd</sup>	66.35±1.08 <sup>cd</sup>
II 级组	33	61.05±2.10 <sup>ab</sup>	3.70±0.71 <sup>abd</sup>	57.35±1.91 <sup>ab</sup>
III 级组	35	60.11±5.13 <sup>ab</sup>	6.21±1.92 <sup>abc</sup>	53.91±4.92 <sup>ab</sup>
F 值		42.063	35.848	70.018
P 值		<0.05	<0.05	<0.05

注:与正常组比较,<sup>a</sup> $P<0.05$ ;与 I 级组比较,<sup>b</sup> $P<0.05$ ;与 II 级组比较,<sup>c</sup> $P<0.05$ ;与 III 级组比较,<sup>d</sup> $P<0.05$ ,下同

表 3 半月板损伤患者及招募的正常人 135 例膝关节旋转角度比较 ( $\bar{x}\pm s$ )

Tab.3 Comparison of rotation angles of knee among 135 people of meniscal injuries and recruited normal subjects ( $\bar{x}\pm s$ )

Stoller 分级	例数	膝关节内旋	膝关节外旋	膝关节旋转范围
0 级 (正常)	37	3.06±0.13 <sup>cd</sup>	31.27±1.19	28.20±1.21 <sup>bcd</sup>
I 级组	30	3.91±0.30 <sup>cd</sup>	30.36±0.86	26.45±1.24 <sup>acd</sup>
II 级组	33	7.37±0.70 <sup>abd</sup>	29.34±0.71	21.96±2.52 <sup>abd</sup>
III 级组	35	13.11±2.45 <sup>abc</sup>	29.07±5.23	15.68±4.02 <sup>abc</sup>
F 值		107.063	1.264	70.018
P 值		<0.05	0.253	<0.05

及步行数据的研究正备受重视。半月板损伤常常会导致膝关节不稳,引起胫股关节、髌股关节面应力分布发生异常,进而导致骨和软骨的退化,加重 KOA 的进展。另有研究证实,半月板损伤的发生发展及严重程度除了与患者的年龄、性别、损伤因素等有关外,还与其先天解剖结构的改变有关,其往往导致下肢力学的改变<sup>[13-17]</sup>。因此,拟应用一种生物力学的评估手段,应用到半月板损伤的诊疗中,为半月板损伤的预防、诊断及治疗提供一种新型的辅助手段,为其提供一个新的思路。

### 3.2 Codamotion 三维动态关节运动捕捉系统

Codamotion 系统是世界上最先进的三维运动捕捉系统,它以主动红外捕捉的方式,来获取被捕捉物体各环节的动作,提供便捷、高效、精确的三维数据采集,可更有效地采集到试验研究中所需要用到的数据,这比起传统的数据采集精确度更高、速度更快,可不断变换数据采集策略进行研究,被广泛应用于步态生物力学、临床步态、神经行为等各个生物医学

表 4 半月板损伤患者及招募的正常人 135 例膝关节翻转角度比较 ( $\bar{x}\pm s$ )

Tab.4 Comparison of turning angles of knee among 135 people of meniscal injuries and recruited normal subjects ( $\bar{x}\pm s$ )

Stoller 分级	例数	膝关节外翻	膝关节内翻	膝关节翻转范围
0 级 (正常)	37	4.25±0.15 <sup>bcd</sup>	6.66±0.36	10.92±0.35 <sup>cd</sup>
I 级组	30	5.23±0.53 <sup>acd</sup>	5.83±0.56	11.17±0.58 <sup>cd</sup>
II 级组	33	7.61±0.76 <sup>ab</sup>	6.18±0.51	13.79±0.89 <sup>ab</sup>
III 级组	35	9.08±1.83 <sup>ab</sup>	5.78±1.63	14.69±1.73 <sup>ab</sup>
F 值		62.543	2.545	52.755
P 值		<0.05	0.061	<0.05

领域。单个采集点动态采集频率最高达 5 800 Hz,分辨率高达 0.05 mm,完全可以适用于人体各种运动动作的分析中。并且试验所提取各部分运动特征数据是为后期数据分析,确定不同个体的独特性,个体识别做准备。这套系统锁采集的数据为三维坐标模型数据,能输出然后利用数据分析软件 SPSS Statistics 对系统所采样到的数据进行分析拟合,并根据分析结果得出结论,判断该项数据所反映的关节及部位是否具有稳定性和特定性,最终确定所提取数据和分析方法的有效性。如今 Codamotion 三维动态关节运动捕捉分析系统能够对人体行走时的肢体和关节活动进行运动学和动力学观察分析,提供一系列生物力学指标和曲线,能够客观定量地评定人体步行和各关节功能,已经成为当前相关研究的热门。而本研究采用先进的 Codamotion 三维动态关节运动捕捉分析系统检测不同程度半月板损伤患者行走时运动学指标,客观准确地解析其生物力学的改变,为预防和治疗策略拓展新思路。

### 3.3 不同程度半月板损伤的运动学参数分析

膝关节作为人体下肢运动活动的关键部位,是人体较大而复杂的关节,在承受几乎全部体重的同时还要承担腿部的各种运动,也因此膝关节的伤害普遍会发生在各种运动中。其中,膝关节完成一次运动,往往需要肌肉、骨骼以及韧带等多个部位的共同协调与配合。而任何一处的异常会造成膝关节运动无法顺利完成,日积月累会造成膝关节内的慢性损伤,如弹响,脂肪垫病变,半月板损伤等,甚至后期导致膝骨关节炎的发生。正常膝关节伸直时,半月板向前移动,被髌推向前,半月板髌骨韧带向前牵拉;屈曲时,半月板向后移动,被髌推向后,内侧副韧带向后牵拉,腘肌与半膜肌向后牵拉<sup>[18]</sup>。本研究结果提示,半月板损伤不同程度下,膝关节屈曲、伸直、屈伸范围、内旋、旋转范围、外翻及翻转范围均发生改变,

而其中 I 级半月板损伤患者较正常人比较并太大差异。在半月板损伤的进展中,膝关节伸直、外旋、内外翻及翻转活动范围呈正相关,相反,屈曲、内旋及屈伸、旋转活动范围呈现负相关,其中膝关节内旋、外旋角度可以作为半月板损伤临床分期的独立影响因素。针对关节活动度结果,推测主要有以下原因:(1)因为人体负重时,更多应力集中于膝关节,当出现半月板损伤时,患者往往因疼痛、肿胀等因素,导致患者往往步行时会有意减少或避免这类压迫以缓解疼痛,通过健侧或其他关节活动来代偿,进而维持关节稳定性。(2)则是随着损伤程度的加重,患肢活动相对更为受限,而 I 级半月板损伤患者常常不伴有明显的临床症状,相比正常人行走步态并无明显差异。

综上所述,临床分期进展与膝关节伸直、外旋、内外翻及翻转活动范围呈正相关;与膝关节屈曲、内旋及屈伸、旋转活动范围呈现负相关,其中膝关节内旋、外旋角度可以作为半月板损伤临床分期的独立影响因素;从一定程度上可以提示膝关节运动学参数可作为半月板损伤进程的辅助检查来指导或判断半月板损伤的治疗。

由于此次研究样本量较少,未纳入盘状半月板损伤患者,且该方法作用体表,可能会存在操作误差,存在标记点偏差等问题,并不能作为普遍性的结论应用,但其为后续医学医学研究提供了新方向。未来,医工结合应用,将会使得医疗工作者能够更加全面的掌握半月板损伤患者的病情,采取更新的诊断及治疗方法,更快地促进半月板损伤患者全面康复。

#### 参考文献

- [1] KENNEDY M I, STRAUSS M, LAPRADE R F. Injury of the Meniscus root[J]. Clin Sports Med, 2020, 39(1): 57-68.
- [2] GEE S M, POSNER M. Meniscus anatomy and basic science [J]. Sports Med Arthrosc Rev, 2021, 29(3): e18-e23.
- [3] LUVSANNYAM E, JAIN M S, LEITAO A R, et al. Meniscus tear: pathology, incidence, and management [J]. Cureus, 2022, 14(5): e25121.
- [4] KOCHER M S, LOGAN C A, KRAMER D E. Discoid lateral Meniscus in children: diagnosis, management, and outcomes [J]. J Am Acad Orthop Surg, 2017, 25(11): 736-743.
- [5] KLÖPFER -KRÄMER I, BRAND A, WACKERLE H, et al. Gait analysis-Available platforms for outcome assessment [J]. Injury, 2020, 51(Suppl 2): S90-S96.
- [6] 刘日许, 陈艺, 陈玉书, 等. 步态分析在膝关节疾病中的应用 [J]. 中华关节外科杂志(电子版), 2018, 12(6): 806-813. LIU R X, CHEN Y, CHEN Y S, et al. Gait analysis in knee diseases [J]. Chin J Jt Surg Electron Ed, 2018, 12(6): 806-813. Chinese.
- [7] JARCHI D, POPE J, LEE T K M, et al. A review on accelerometry-based gait analysis and emerging clinical applications [J]. IEEE Rev Biomed Eng, 2018, 11: 177-194.
- [8] FERNÁNDEZ -GONZÁLEZ P, KOUTSOU A, CUESTA -GÓMEZ A, et al. Reliability of kinovea® software and agreement with a three-dimensional motion system for gait analysis in healthy subjects [J]. Sensors, 2020, 20(11): 3154.
- [9] GEBHARDT M C, ROSENTHAL R K. Bilateral lateral discoid meniscus in identical twins [J]. J Bone Joint Surg Am, 1979, 61(7): 1110-1111.
- [10] 金昕, 石仕元, 赖震, 等. 半月板损伤的诊治进展 [J]. 浙江中西医结合杂志, 2016, 26(9): 870-873. JIN X, SHI S Y, LAI Z, et al. Progress in diagnosis and treatment of meniscus injury [J]. Zhejiang J Integr Tradit Chin West Med, 2016, 26(9): 870-873. Chinese.
- [11] KRYCH A J, HEVESI M, LELAND D P, et al. Meniscal root injuries [J]. J Am Acad Orthop Surg, 2020, 28(12): 491-499.
- [12] BABU J, SHALVOY R M, BEHRENS S B. Diagnosis and management of meniscal injury [J]. R I Med J, 2016, 99(10): 27-30.
- [13] 史俊龙, 鹿战, 雷宏伟, 等. 下肢力线在盘状半月板损伤应用的研究进展 [J]. 中国骨伤, 2020, 33(4): 383-387. SHI J L, LU Z, LEI H W, et al. Research progress on the application of lower limb alignment in discoid meniscus injury [J]. China J Orthop Traumatol, 2020, 33(4): 383-387. Chinese.
- [14] 林泽枫, 张余, 马立敏, 等. 外侧盘状半月板损伤患者膝关节在体运动学参数研究 [J]. 中国骨科临床与基础研究杂志, 2014, 6(5): 291-296. LIN Z F, ZHANG Y, MA L M, et al. In vivo study on kinematic parameters of knee joints of the patients with lateral discoid meniscus injury [J]. Chin Orthop J Clin Basic Res, 2014, 6(5): 291-296. Chinese.
- [15] SAAVEDRA M, SEPULVEDA M, JESUS TUCA M, et al. Discoid meniscus; current concepts [J]. EFORT Open Rev, 2020, 5(7): 371-379.
- [16] KIM J H, AHN J H, KIM J H, et al. Discoid lateral meniscus: importance, diagnosis, and treatment [J]. J Exp Orthop, 2020, 7(1): 81.
- [17] JIN G R, XIN T, WENG Z, et al. Symptomatic complete discoid medial Meniscus completely coalesced with the anterior cruciate ligament: a case report and literature review [J]. Orthop Surg, 2022, 14(9): 2391-2395.
- [18] RAJENDRAN K. Mechanism of locking at the knee joint [J]. J Anat, 1985, 143: 189-194.

(收稿日期: 2023-04-13 本文编辑: 王玉蔓)