

文章编号: 1004-7220(2024)04-0663-07

全膝关节置换术对膝骨关节炎患者本体感觉的影响

张 权^{1#}, 石静楠^{1,2#}, 张 宽¹, 张昊华³, 闫松华¹

(1. 首都医科大学 生物医学工程学院, 北京 100069; 2. 国家知识产权局专利局专利审查协作河南中心, 郑州 450046;
3. 首都医科大学附属北京积水潭医院 矫形骨科, 北京 100035)

摘要:目的 探究膝骨关节炎(knee osteoarthritis, KOA)患者进行全膝关节置换术前后本体感觉的变化。方法 选择34名KOA患者作为实验组,术后根据手术方式分为后交叉韧带保留型全膝关节置换术(CR-TKA)组和后稳固型全膝关节置换术(PS-TKA)组,并对患者进行3个月术后随访,同时纳入20名健康受试者作为对照组。采用Biodex System III多关节等速测试系统、自行设计的施力装置、无线表面肌电测试系统采集健康受试者以及患者手术前后的本体感觉(位置觉、运动觉和力觉)数据,并对数据进行处理和分析。结果 与健康受试者相比,KOA患者患侧和对侧膝关节30°、45°和60°位置觉、运动觉、半腱肌力觉显著变差($P < 0.05$);术后3个月,CR-TKA组患者患侧股二头肌力觉和对侧半腱肌力觉与健康受试者均存在显著差异($P < 0.05$);对CR-TKA组和PS-TKA组患者患侧和对侧的位置觉、运动觉、力觉术后3个月与术前的差值做组间比较,均无统计学差异($P > 0.05$)。结论 KOA患者膝关节本体感觉较健康受试者明显减退。术后3个月,CR-TKA和PS-TKA两组患者本体感觉未见明显改善。不同手术方式对本体感觉的影响没有差异。研究结果可以为医生的临床诊疗提供一定数据支持,以及为后续的康复方案确定一个方向。

关键词: 膝骨关节炎; 全膝关节置换术; 位置觉; 运动觉; 力觉

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2024.04.014

Effects of Total Knee Arthroplasty on Proprioception in Patients with Knee Osteoarthritis

ZHANG Quan^{1#}, SHI Jingnan^{1,2#}, ZHANG Kuan¹, ZHANG Haohua³, YAN Songhua¹

(1. School of Biomedical Engineering, Capital Medical University, Beijing 100069, China; 2. Patent Examination Cooperation (Henan) Center of the Patent Office, Zhengzhou 450046, China; 3. Department of Orthopedics, Beijing Jishuitan Hospital, Capital Medical University, Beijing 100035, China)

Abstract: Objective To explore proprioceptive changes in patients with knee osteoarthritis (KOA) before and after total knee arthroplasty (TKA). **Methods** Thirty-four KOA patients were selected as the experimental group and divided into posterior-cruciate-retaining TKA (CR-TKA) and posterior-stabilized TKA (PS-TKA) groups according to the surgical method and followed up for three months after the surgery. Twenty healthy individuals were included as the control group. The proprioception (position sense, kinesthesia, and force sense) of healthy individuals and KOA patients before and after surgery was assessed using the Biodex system III isokinetic training system, self-designed force sense test equipment, and surface electromyography test system, and the data were

收稿日期: 2024-01-08; 修回日期: 2024-04-04

基金项目: 北京市自然科学基金项目(7222300)

通信作者: 闫松华, 副教授, E-mail: yansh74@ccmu.edu.cn

#为共同第一作者

processed and analyzed. **Results** Compared with healthy individuals, KOA patients had significantly worse position sense at 30°, 45°, and 60°, kinesthesia, and semitendinosus force sense in the affected and unaffected knees ($P < 0.05$). Three months after surgery, there were significant differences in the force sense of the affected biceps femoris and contralateral semitendinosus forces in the CR-TKA group compared with healthy individuals ($P < 0.05$). There were no statistically significant differences in deviation for preoperative and 3-month preoperative position sense, kinesthetic sense, and force sense on the affected and contralateral knee joints between the CR-TKA and PS-TKA groups ($P > 0.05$). **Conclusions** Knee proprioception in KOA patients was significantly impaired compared with that in healthy individuals. No significant improvement in proprioception was found three months after TKA in the CR-TKA and PS-TKA groups. There was no difference in proprioception among the different surgical methods. The results can provide data support for clinical diagnosis and treatment, as well as determine a direction for subsequent rehabilitation programs.

Key words: knee osteoarthritis (KOA); total knee replacement (TKA); position sense; kinesthesia; force sense

膝骨关节炎(knee osteoarthritis, KOA)是导致老年人膝关节疼痛及功能障碍的主要慢性疾病^[1]。随着我国人口老龄化的加剧, KOA 患者数量呈现逐年上涨的趋势^[2-3]。与其他症状性关节炎(髌骨关节炎、手骨关节炎)相比, KOA 最常见, 患病率为 8.1%^[4]。KOA 患者临床表现主要有关节疼痛、僵硬肿胀和活动受限, 重度 KOA 还可能会导致慢性残疾, 从而降低患者的生活质量^[5]。人工全膝关节置换术(total knee arthroplasty, TKA)是治疗末期 KOA 患者的首选方法^[6-7]。TKA 分为后交叉韧带保留-全膝关节置换术(posterior cruciate ligament retaining-TKA, CR-TKA)与后稳定型-全膝关节置换术(posteriorly stabilized-TKA, PS-TKA)。CR-TKA 可以避免股骨髁间截骨, 减小术中骨折和后期假体周围骨折的风险; 另外, CR-TKA 保留了后交叉韧带可以缓冲应力, 提供膝关节的稳定性^[8-9]。但由于后交叉韧带平衡困难, 后交叉韧带保留情况下植入物稳定性更差, 导致翻修率更高^[10]。PS-TKA 切除了后交叉韧带, 较容易进行伸屈间隙平衡, 但术中骨折风险明显高于 CR-TKA^[11-12]。

本体感觉对于膝关节功能有重要影响, 是身体运动系统的重要方面^[13-15]。本体感觉分为关节位置觉和关节运动觉, 分别是运动的静态感和动态感。有学者增加了第 3 个关键方面, 即力觉, 表示力学感受器接收信息输入并调节肌肉张力的反应, 从而控制人体稳定^[16-20]。关节的位置觉和运动觉反映本体感觉传入活动信息的能力, 而力觉反映传出活动信息的能力^[21]。目前, 位置觉的测量主要通过受试者主动再现之前确定的目标角度, 以实际角

度与目标角度之差作为测量结果; 运动觉的测量主要通过设备的辅助下, 以受试者膝关节能够从静止感觉到运动的最小角度作为测量结果; 而关节力觉没有统一的测量方法。Zavieh 等^[22]以受试者最大自主等长收缩力的 50% 作为目标力, 受试者在不同起始位置产生的与目标力相同值的力, 以两者之差作为结局指标评估力觉。Beard 等^[23]结合关节对外力的感知和肌肉收缩潜伏期反映膝关节力觉, 但是该研究施力的气动装置存在一定的局限性, 不能根据受试者情况改变力的大小, 适应人群单一; 另外, 气动装置本身容易受环境因素影响, 造成测试误差, 故很难在临床中广泛使用。Hadamus 等^[14]认为, 力觉测量可以使用各种测量计和肌电图, 但测试和再测试的可靠性和研究条件重复性低。

有研究显示, 行 TKA 会导致本体感觉机械感受器减少, 从而造成本体感觉减弱^[24]; 另有研究认为, TKA 术后患者的本体感觉虽然比健康受试者差, 但术后的本体感觉与术前无显著差异。TKA 手术前后膝关节本体感觉是改进还是恶化或者不变, 目前没有一致的结论。此外, 不同膝关节置换方式对本体感觉的影响也没有确定的结论^[25]。本文对 KOA 患者接受 CR-TKA 和 PS-TKA 手术前后的本体感觉(位置觉、运动觉、力觉)进行测试和分析, 全面探究 CR-TKA、PS-TKA 对 KOA 患者膝关节本体感觉的影响。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

选取在北京积水潭医院矫形外科就诊的 34 名

符合TKA手术指征的KOA患者作为实验组。纳入标准:①符合KOA临床表现,患者膝关节疼痛、肿胀,可见伴有不同程度屈曲挛缩,内翻畸形;②符合KOA的X线影像学表现,关节间隙明显变窄,甚至消失,或伴有骨赘形成,硬化骨及囊性变等病理改变;③检查证实膝关节均符合手术适应症,患者均强烈要求手术。排除标准:①不符合KOA诊断标准者;②患者有严重心肺脑疾病等,不能够耐受手术者;③精神疾病患者;④患有足部畸形、糖尿病足、神经系统病变的患者。根据手术方式不同,实验组分为CR-TKA组和PS-TKA组。采集患者术后3个月的数据,CR-TKA组13人,PS-TKA组7人。

选择20名膝关节无明显疾患且自愿参加实验的中老年健康受试者作为对照组。纳入标准:①不具有既往膝关节损伤病史;②无神经系统疾病史或周围神经损伤;③无视觉或前庭障碍。排除标准:①患者有严重心肺脑疾病等;②精神疾病患者;③患有影响下肢功能的疾病,如足部畸形、糖尿病足、神经系统疾病的患者;④资料不全影响判断者。

受试者基本情况见表1。本研究所有受试者实验前均签署实验知情同意书,实验经首都医科大学伦理委员会的批准(伦理批件号码:2021SY093)。

表1 受试者基本情况

Tab. 1 Basic information of subjects

| 参数 | KOA患者 (n=34) | 健康受试者 (n=20) |
|---------------------------|-----------------|-----------------|
| 男/女 | 6/28 | 10/10 |
| 年龄/岁 | 65.85±6.96* | 56.30±5.43 |
| 身高/cm | 159.82±7.38 | 164.15±7.98 |
| 体质量/kg | 67.82±11.18 | 70.80±5.81 |
| BMI/(kg·m ⁻²) | 26.70±4.16 | 26.13±2.04 |

注: BMI为身体质量指数; * $P < 0.001$ 。

1.2 实验设备

(1) Biodex System III多关节等速测试系统(Delsys公司,美国);进行位置觉和运动觉测试。

(2) 力觉测试设备:基于文献中测试力觉的各个方法的特点,设计和制作一种施力装置,并结合无线表面肌电测试系统(采样频率为2 kHz, Delsys公司,美国)进行力觉测试。自行设计的施力装置由升降台装置可自由调节高度(30~70 cm),控制台可以控制以10 N为间隔的50~200 N范围击打力。借助此装置完成力觉测试中对受试者胫骨近端后

侧的击打任务。

1.3 测试方法

(1) 位置觉测试:受试者的膝关节置于90°屈曲位置作为起始位置,戴上眼罩及耳罩,去除视觉及听觉,被动地摆放至30°、45°和60°(指小腿与水平方向的夹角)并停留15 s。受试者握住手持开关,以自主用力方式移动膝关节到30°、45°及60°屈曲位,记录主动复位角度与目标角度的差值。重复3次取平均值,测试时要求受试者每次动作均在1 min内完成^[26]。

(2) 运动觉测试:受试者坐在椅子上,屏蔽视觉、听觉的影响,膝关节处于90°屈曲位。受试者膝关节以0.5°/s角速度被动缓慢做屈伸运动,直到受试者能感觉到关节活动,记录受试者能感知到运动时膝关节的位置,记录此角度与初始角度之差,重复3次取平均值。

(3) 力觉测试:将肌电传感器放置在股四头肌(股直肌、股外侧肌、股内侧肌)、腓绳肌(股二头肌、半腱肌)、腓肠肌肌腹隆起处,施力装置的摆锤上放置1个无线表面电极当做加速度传感器;同时使用表面肌电系统的同步器,实现人体上的肌电传感器信号与摆锤上的加速度信号的同步。

首先指示受试者呈站立位,背对摆锤装置,并使其一侧腿正对摆锤,使摆锤自由下落时刚好能够施加于胫骨近端后侧击打力。选取100 N击打力^[23],将摆锤调至对应力所在的高度,告知受试者以自然放松的姿势站立,释放摆锤。皮肤上的表面肌电传感器和摆锤上的加速度传感器分别记录受力后膝关节肌肉开始收缩的时间点和摆锤下落击打到受试者瞬间加速度突变的时间点,两个时间点的差即为肌肉受外力时的反射回应时间,用以反映膝关节的力觉。每个受试者的双侧膝关节重复3次取平均值。

1.4 统计学方法

采用SPSS 26.0进行数据处理。选用Shapiro-Wilk法进行正态性检验。将术前KOA患者组与健康对照组比较,若两个独立样本符合正态分布,则使用独立样本 t 检验;至少1组不符合正态分布,则使用Mann-Whitney U检验。两组患者(CR-TKA和PS-TKA)术前和术后3个月的数据比较,使用配对 t 检验(差值符合正态分布)或Wilcoxon符号秩检验(差值

不符合正态分布)。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 研究结果

将健康对照组根据年龄分为两组 (> 60 岁和 < 60 岁), 比较其位置觉、运动觉和力觉特征。结果显示, 两组各参数均无统计学差异 ($P > 0.05$), 说明对于中老年而言, 年龄对于本体感觉的影响不显著。

2.1 位置觉

CR-TKA 患者术前患侧 45° 位置觉与对侧 60°

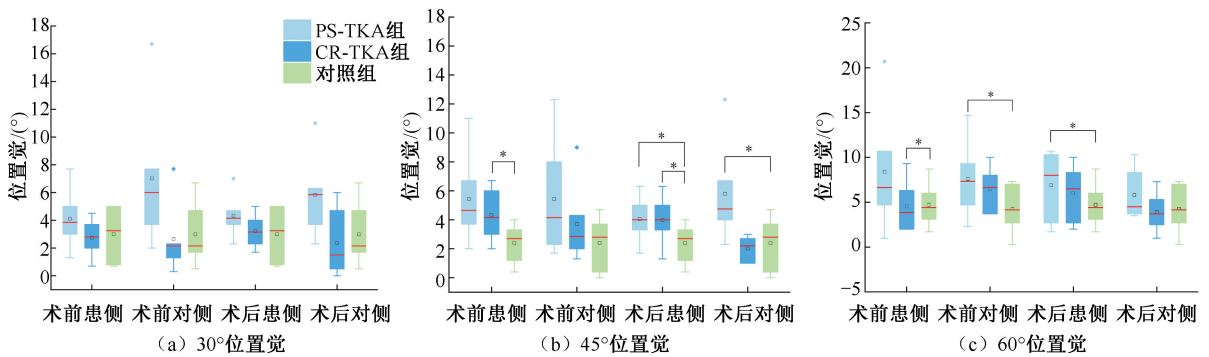


图1 PS-TKA组、CR-TKA组和对照组位置觉比较 ($^*P < 0.05$)

Fig. 1 Comparison of position sense between PS-TKA group, CR-TKA group and control group (a) 30° position sense, (b) 45° position sense, (c) 60° position sense

2.2 运动觉

对于 CR-TKA 患者, 术后 3 个月, 其对侧运动觉显著好于患侧 ($P < 0.05$)。对于 PS-TKA 患者, 术前对侧运动觉较健康受试者显著变差 ($P < 0.05$), 但术前患侧和术后 3 个月患侧、对侧的运动觉较健康受试者均无统计学差异 ($P > 0.05$)。将两组术后 3 个月的患侧和对侧的运动觉与术前的差值做组间比较, 均无统计学差异 ($P > 0.05$), 见图 2。

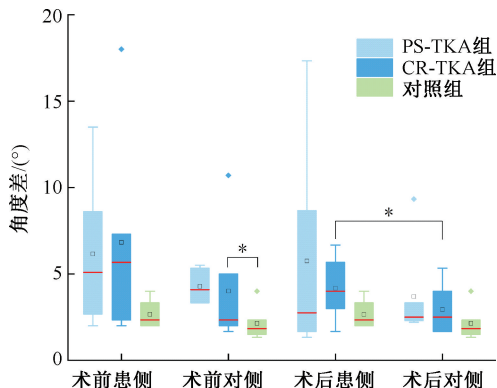


图2 PS-TKA组、CR-TKA组和对照组运动觉比较

Fig. 2 Comparison of kinesthesia between PS-TKA group, CR-TKA group and control group

位置觉较健康受试者差 ($P < 0.05$); 术后 3 个月患侧 45° 位置觉显著差于健康受试者 ($P < 0.05$)。PS-TKA 患者术前对侧的 60° 位置觉较健康受试者显著变差 ($P < 0.05$); 术后 3 个月患侧的 45° 、 60° 位置觉和对侧的 45° 位置觉均较健康受试者显著变差 ($P < 0.05$)。将 CR-TKA 组和 PS-TKA 组术后 3 个月的患侧与对侧位置觉 30° 、 45° 和 60° 与术前差值做组间比较, 结果发现均无统计学差异 ($P > 0.05$), 见图 1。

2.3 力觉

CR-TKA 患者在术前时, 患侧的半腱肌力觉较对侧好, 但明显比健康受试者差 ($P < 0.05$), 患侧股二头肌、对侧的半腱肌力觉明显弱于健康受试者 ($P < 0.05$)。术后 3 个月, 患者患侧股二头肌力觉和对侧半腱肌力觉明显弱于健康受试者 ($P < 0.05$)。PS-TKA 患者在术后 3 个月, 对侧半腱肌力觉显著弱于健康受试者 ($P < 0.05$)。将两组术后 3 个月的患侧和对侧股二头肌和半腱肌的力觉与术前的差值做组间比较, 均无统计学差异 (见图 3)。

3 讨论

本文对接受 CR-TKA 和 PS-TKA 手术的 KOA 患者进行了术前和术后 3 个月位置觉、运动觉和力觉三方面的测试, 全面分析患者术前术后本体感觉的变化规律; 并比较了患者患侧和对侧以及患者与健康受试者的本体感觉。研究结果可以为医生的临床诊疗提供一定的数据支持, 以及为后续的康复方案确定一个方向。

本研究选取的 34 名 KOA 患者, 男女比例为

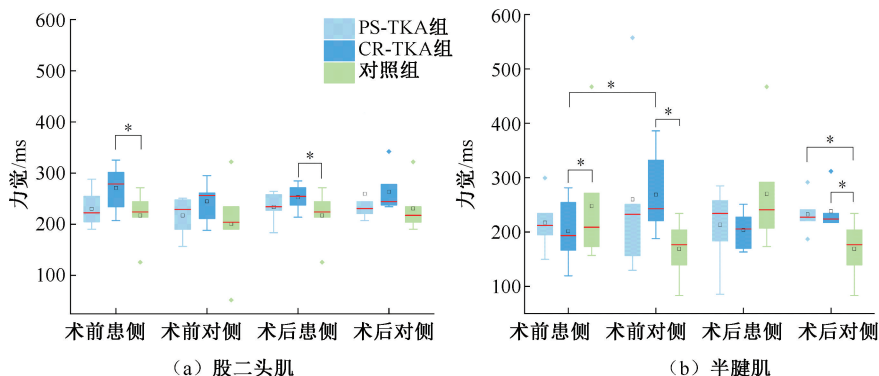


图3 PS-TKA组、CR-TKA组和对照组不同肌肉力觉比较(* $P < 0.05$)

Fig. 3 Comparison of force sense of different muscles between PS-TKA group, CR-TKA group and control group (a) Biceps femoris, (b) Semitendinosus

1 : 4.67,提示女性患者比男性患者更易患KOA。另外,健康受试者与患者年龄存在统计学差异。一般而言,本体感觉随着年龄的增长会减退。多数研究将青年人与中老年人的本体感觉比较,均发现结果存在统计学差异^[13,27-28]。但是,目前有较少研究对中老年人群不同年龄阶段之间本体感觉进行比较,而本研究将健康对照组分为大于60岁和小于60岁两组,结果显示,年龄对于本体感觉没有影响。

本文发现,KOA患者患侧的位置觉与运动觉比健康受试者差,但差异不显著;对侧位置觉和运动觉较健康受试者明显变差,而患侧与对侧无明显差异。本文推测,单侧KOA患者患侧膝关节严重内翻导致下肢力线发生改变,造成日常活动中步态的异常,而异常步态会使对侧膝关节内外侧受力也产生不均,最终累及对侧膝关节本体感觉受损^[29]。

本文结果显示,KOA患者在击打力为100 N时患侧半腱肌的反射潜伏期比健康受试者长,其余肌肉均无明显差异。以往两项研究中使用力觉测试方法反映本体感觉,其结果相互矛盾^[23,30]。为了验证击打力的大小是否会影响力觉测试结果,本文选取击打力为50、100、150 N时膝关节周围6块肌肉的力觉进行分析。结果发现,力的大小会影响股直肌、股外侧肌、股内侧肌和腓肠肌的结果,但不会影响股二头肌和半腱肌的结果。击打力为50 N时,肌电信号较弱,容易受到干扰;击打力为150 N时,KOA患者和健康受试者力觉无差异。最终,本文选取股二头肌和半腱肌在100 N击打力下收缩潜伏时长作为最终力觉指标。本文发现,力觉差异明显的

是半腱肌,而本研究与相关的两项研究^[23,30]在受试者年龄和疾病类型方面不同,故无法进行完全对照。

在TKA中,保留后交叉韧带是否会赋予更多的本体感觉输入仍然是一个问题。有研究认为,与PS-TKA相比,CR-TKA患者会更接近健康人的运动学状态,其中重要原因是CR-TKA患者有较好的本体感觉^[31]。但本文结果显示,术后3个月CR-TKA组和PS-TKA患者的位置觉、运动觉和力觉较术前均无明显改善。CR-TKA组和PS-TKA组进行组间比较,发现两组本体感觉在术前也均无差异,术后3个月两组患侧的本体感觉均无差异。本文认为,在TKA患者韧带中的力学感受器数量非常少,KOA患者的后交叉韧带在术前可能已经存在退变,故是否保留后交叉韧带对膝关节的本体感觉短期无明显影响^[32]。

以往研究更多的是关注手术前后术侧腿的恢复情况,却很少注意对侧腿的恢复情况。本文发现,术后3个月患者对侧本体感觉明显改善。以往研究和本研究均证实术前患者对侧腿的本体感觉已经出现明显减退,在TKA术后患者患侧疼痛减轻,下肢力线得以矫正,对侧腿的负荷减轻,这可能有助于患者本体感觉的恢复。

术后随访到的人数较少,结果可能存在一定误差,这是本研究的一个局限。对于随访时间,本文重点分析KOA患者手术后短时间内(术后3个月)本体感觉的变化特征。有研究显示,患者在术后3个月时开始本体感觉的恢复训练,可以激活肌梭、

高尔基腱器官和膝关节中很多的本体感受器^[33-35]。3个月的随访研究可以排除进行系统康复训练对于手术效果的影响,而主要观察手术本身对患者的疗效。当然,延长随访时间可以对患者手术后的功能恢复进行更全面评估。后续的研究将扩大随访人数,同时关注更长时间(半年、1年、2年)患者本体感觉的恢复情况。

4 结论

KOA患者本体感觉特征均比健康受试者差;术后3个月,CR-TKA组和PS-TKA组患者本体感觉较术前没有明显改善;术后3个月,不同手术方式对本体感觉的影响没有差异。

利益冲突声明:无。

作者贡献声明:张权负责实验数据分析、论文撰写;石静楠负责数据采集、实验数据分析和论文撰写;张宽负责提出研究思路、实验设计;张昊华负责临床测试指导、协助实验实施;闫松华负责提出研究思路、实验设计、论文审阅与修改。

参考文献:

- [1] 沈培鑫,宋祺鹏,毛德伟. PNF训练对膝关节老年患者行走功能的影响[J]. 医用生物力学, 2021, 36(S1): 363-364.
- [2] SARZI-PUTTINI P, CIMMINO MA, SCARPA R, *et al.* Osteoarthritis: An overview of the disease and its treatment strategies [J]. *Semin Arthritis Rheum*, 2005, 35(1): 1-10.
- [3] JONES CA, BEAUPRE LA, JOHNSTON DWC, *et al.* Total joint arthroplasties: Current concepts of patient outcomes after surgery [J]. *Rheum Dis Clin N Am*, 2007, 33(1): 71-86.
- [4] KOLASINSKI SL, NEOGI T, HOCHBERG MC, *et al.* 2019 American College of Rheumatology/Arthritis Foundation Guideline for the management of osteoarthritis of the hand, hip, and knee [J]. *Arthrit Care Res*, 2020, 72(2): 149-162.
- [5] 徐祥钧,王超,张吉超,等. 轻度与重度骨关节炎膝关节的生物力学行为比较[J]. 医用生物力学, 2023, 38(4): 749-755.
XU XJ, WANG C, ZHANG JC, *et al.* Comparison of biomechanical behavior between mild and severe knee osteoarthritis [J]. *J Med Biomech*, 2023, 38(4): 749-755.
- [6] SATKU K. Unicompartmental knee arthroplasty: Is it a step in the right direction? Surgical options for osteoarthritis of the knee [J]. *Singap Med J*, 2003, 44(11): 554-556.
- [7] BOURNE RB, CHESWORTH BM, DAVIS AM, *et al.* Patient satisfaction after total knee arthroplasty: Who is satisfied and who is not? [J]. *Clin Orthop Relat R*, 2010, 468(1): 57-63.
- [8] RAJGOPAL A, KUMAR S, AGGARWAL K. Evaluating long term outcomes and survivorship of cruciate retaining and sacrificing knee replacements done for degenerative arthritis in patients under 55 years [J]. *Indian J Orthop*, 2021, 55(5): 1180-1185.
- [9] ANNAR, MURALI SM, RAMANATHAN AT, *et al.* Cruciate retaining total knee arthroplasty has a better 10 year survival than posterior stabilized total knee arthroplasty: A systematic review and meta-analysis [J]. *J Exp Orthop*, 2023, 10(1): 19.
- [10] SHARKEY PF, LICHSTEIN PM, SHEN C, *et al.* Why are total knee arthroplasties failing today—Has anything changed after 10 years? [J]. *J Arthroplasty*, 2014, 29(9): 1774-1778.
- [11] PURUDAPPA PP, RAMANAN SP, TRIPATHY SK, *et al.* Intra-operative fractures in primary total knee arthroplasty—A systematic review [J]. *Knee Surg Relat Res*, 2020, 32(1): 40.
- [12] ALDEN KJ, DUNCAN WH, TROUSDALE RT, *et al.* Intraoperative fracture during primary total knee arthroplasty [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2010, 468(1): 90-95.
- [13] PAI YC, RYMER WZ, CHANG RW, *et al.* Effect of age and osteoarthritis on knee proprioception [J]. *Arthritis Rheum*, 1997, 40(12): 2260-2265.
- [14] HADAMUS A, BIALOSZEWSKI D. Objective assessment of knee proprioception and sensorimotor function in patients with primary gonarthrosis before and after knee replacement [J]. *Ortop Traumatol Rehabil*, 2017, 19(5): 403-414.
- [15] 石静楠,薛雅月,张宽,等. 膝关节炎患者本体感觉特征[J]. 医用生物力学, 2022, 37(2): 355-360.
SHI JN, XU YY, ZHANG K, *et al.* Characteristics of proprioception in patients with knee osteoarthritis [J]. *J Med Biomech*, 2022, 37(2): 355-360.
- [16] BRAGONZONI L, ROVINI E, BARONE G, *et al.* How proprioception changes before and after total knee arthroplasty: A systematic review [J]. *Gait Posture*, 2019(72): 1-11.
- [17] SWANIK CB, LEPHART SM, RUBASH HE. Proprioception, kinesthesia, and balance after total knee arthroplasty with cruciate-retaining and posterior stabilized prostheses [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2004, 86(2): 328-334.
- [18] MIHALKO WM, CREEK AT, MARY MN, *et al.*

- Mechanoreceptors found in a posterior cruciate ligament from a well-functioning total knee arthroplasty retrieval [J]. *J Arthroplasty*, 2011, 26(3): 504. e9-504 e12.
- [19] ZHANG K, MIHALKO WM. Posterior cruciate mechanoreceptors in osteoarthritic and cruciate-retaining TKA retrievals: A pilot study [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2012, 470(7): 1855-1859.
- [20] RIEMANN BL, LEPHART SM. The sensorimotor system, part II: The role of proprioception in motor control and functional joint stability [J]. *J Athl Train*, 2002, 37(1): 80-84.
- [21] COLLIER MB, MCAULEY JP, SZUSZCZEWICZ ES, *et al.* Proprioceptive deficits are comparable before unicondylar and total knee arthroplasties, but greater in the more symptomatic knee of the patient [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2004(423): 138-143.
- [22] ZAVIEH MK, AMIRSHAKERI B, REZASOLTANI A, *et al.* Measurement of force sense reproduction in the knee joint: Application of a new dynamometric device [J]. *J Phys Ther Sci*, 2016, 28(8): 2311-2315.
- [23] BEARD DJ, KYBERD PJ, FERGUSSON CM, *et al.* Proprioception after rupture of the anterior cruciate ligament. An objective indication of the need for surgery? [J]. *J Bone Joint Surg Br*, 1993, 75(2): 311-315.
- [24] DI LAURA FRATTURA G, ZAFFAGNINI S, FILARDO G, *et al.* Total knee arthroplasty in patients with knee osteoarthritis: Effects on proprioception. A systematic review and best evidence synthesis [J]. *J Arthroplasty*, 2019, 34(11): 2815-2822.
- [25] 陈能, 吕燃, 马少云, 等. 膝关节炎患者全膝关节置换术后本体感觉的研究进展[J]. *风湿病与关节炎*, 2019, 8(5): 63-67.
- [26] 皮衍玲, 王雪强, 刘慧, 等. 全膝关节置换术对本体感觉的影响 [J]. *中国康复*, 2011, 26(2): 106-108.
- [27] RIBEIRO F, OLIVEIRA J. Aging effects on joint proprioception: The role of physical activity in proprioception preservation [J]. *Eur Rev Aging Phys A*, 2007, 4(2): 71-76.
- [28] LORD SR. Proprioception: Effect of aging [M]//BINDER MD, HIROKAWA N, WINDHORST U. *Encyclopedia of neuroscience*. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2009: 3303-3305.
- [29] SHARMA L, PAI YC, HOLTKAMP K, *et al.* Is knee joint proprioception worse in the arthritic knee versus the unaffected knee in unilateral knee osteoarthritis? [J]. *Arthritis Rheum*, 1997, 40(8): 1518-1525.
- [30] JENNINGS AG, SEEDHOM BB. Proprioception in the knee and reflex hamstring contraction latency [J]. *J Bone Joint Surg Br*, 1994, 76(3): 491-494.
- [31] ANDRIACCHI TP, GALANTE JO, FERMIER RW. The influence of total knee-replacement design on walking and stair-climbing [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1982, 64(9): 1328-1335.
- [32] VANDEKERCKHOVE PJ, PARYS R, TAMPERE T, *et al.* Does cruciate retention primary total knee arthroplasty affect proprioception, strength and clinical outcome? [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2015, 23(6): 1644-1652.
- [33] OZDEN F, UYSAL I, TUMTURK I, *et al.* Investigation of reaction time, proprioception, and shaped pathway walking performance in older patients with total knee arthroplasty [J]. *J Am Med Dir Assoc*, 2024, 25(1): 112-117.
- [34] SCHULZ M, KROHNE B, RODER W, *et al.* Randomized, prospective, monocentric study to compare the outcome of continuous passive motion and controlled active motion after total knee arthroplasty [J]. *Technol Health Care*, 2018, 26(3): 499-506.
- [35] EYMIR M, ERDURAN M, ÜNVER B. Active heel-slide exercise therapy facilitates the functional and proprioceptive enhancement following total knee arthroplasty compared to continuous passive motion [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2020, 29(10): 3352-3360.