

文章编号: 1004-7220(2023)02-0310-07

内侧开放楔形胫骨高位截骨术治疗膝关节内侧单间室骨关节炎后的足底压力分析

王朝阳^{1,2}, 卿忠², 支力强², 咎强³, 单嫻¹, 尚磊⁴, 马建兵², 徐超^{2,4}

(1. 陕西中医药大学第一临床医学院, 陕西 咸阳 712000; 2. 西安市红会医院 膝关节病区, 西安 710000; 3. 陕西中医药大学附属医院 骨关节科, 陕西 咸阳 712000; 4. 空军军医大学 军事预防医学系, 军队卫生统计学教研室, 西安 710032)

摘要:目的 分析内侧单间室膝关节骨性关节炎(knee osteoarthritis, KOA)患者接受内侧开放楔形胫骨高位截骨术(medial opening wedge high tibial osteotomy, MOWHTO)治疗后的足底压力分布情况, 为患者的手术治疗和康复提供生物力学参考。方法 选取31例行单侧MOWHTO治疗后的内侧单间室KOA患者作为实验组, 同时以35例同年龄健康人群作为对照组, 使用Pedomedic 40[®]足底压力测试系统进行动态足底压力的测试。通过比较步行状态下实验组(术侧及未术侧)与对照组不同足底分区的峰值压强(p_{\max})、压力时间积分(force-time integral, FTI)和接触面积(contact area, CA), 评估内侧单间室KOA患者MOWHTO术后的足底压力变化。结果 与未术侧和对照组相比, 术侧第1跖骨区(MH1)CA和FTI偏高($P < 0.05$), 第4跖骨区(MH4)CA偏小($P < 0.001$), 第5跖骨区(MH5) p_{\max} 和FTI偏小($P < 0.05$), 中足部外侧区(MF-L)CA偏小($P < 0.001$), 后足部内侧区(RF-M)CA偏大($P < 0.05$)。未术侧与对照组相比, MH1、MH2的 p_{\max} 偏小($P < 0.05$), MH5的CA、FTI偏大($P < 0.05$), MF-L的 p_{\max} 偏大($P < 0.001$), 后足部外侧区(RF-L)的FTI偏大($P < 0.05$)。结论 内侧单间室KOA患者在MOWHTO术后和健康人相比存在足底压力残余异常。临床中需要有针对性地强化康复治疗来恢复患者正常的足底压力分布。

关键词: 膝关节骨性关节炎; 内侧开放楔形胫骨高位截骨术; 足底压力; 康复

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2023.02.016

Plantar Pressure Analysis after Medial Opening Wedge High Tibial Osteotomy Treatment of Medial Single Compartmental Knee Osteoarthritis

WANG Zhaoyang^{1,2}, QING Zhong², ZHI Liqiang², ZAN Qiang³, SHAN Hua¹, SHANG Lei⁴, MA Jianbing², XU Chao^{2,4}

(1. The First Clinical Medical College, Shaanxi University of Chinese Medicine, Xianyang 712000, Shaanxi, China; 2. Department of Joint Surgery, Xi'an Honghui Hospital, Xi'an 710000, China; 3. Department of Osteoarthritis, Affiliated Hospital of Shaanxi University of Chinese Medicine, Xianyang 712000, Shaanxi, China; 4. Department of Health Statistics, Faculty of Preventive Medicine, the Air Force Military Medical University, Xi'an 710032, China)

Abstract: Objective To analyze the plantar pressure distribution of knee osteoarthritis (KOA) patients after

收稿日期: 2022-06-06; 修回日期: 2022-07-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(82173627)

通信作者: 徐超, 主治医师, E-mail: 383697196@qq.com

medial opening wedge high tibial osteotomy (MOWHTO), so as to provide biomechanical references for the surgical treatment and rehabilitation of patients. **Methods** A total of 31 patients with medial single compartmental KOA after unilateral MOWHTO treatment were selected as the experimental group, and 35 healthy subjects at the same age were selected as the control group. The Pedomedic 40[®] pressure measuring system was used to test dynamic plantar pressure. By comparing the maximum pressure (p_{\max}), force-time integral (FTI) and contact area (CA) of different plantar zones between the experimental group (operative side and unoperated side) and the control group during walking, the changes of plantar pressure in patients with medial single compartmental KOA after MOWHTO were evaluated. **Results** Compared with the unoperated side and the control group, the CA and FTI of the 1st metatarsal head (MH1) were higher ($P<0.05$), the CA of the 4th metatarsal head (MH4) was smaller ($P<0.001$), the p_{\max} and FTI of the 5th metatarsal head (MH5) were smaller ($P<0.05$), the CA of the lateral middle foot (MF-L) was smaller ($P<0.001$), and the CA of the medial rear foot (RF-M) was larger ($P<0.05$). Compared with the control group, the p_{\max} of MH1 and MH2 was smaller ($P<0.05$), the CA and FTI of MH5 were larger ($P<0.05$), the p_{\max} of MF-L was larger ($P<0.001$), and the FTI of lateral rear foot (RF-L) was larger ($P<0.05$). **Conclusions** Compared with healthy people, patients with medial single compartmental KOA have abnormal plantar pressure residual after MOWHTO. In clinical practice, targeted intensive rehabilitation therapy is necessary to restore the normal plantar distributions of patients.

Key words: medial opening wedge high tibial osteotomy (MOWHTO); knee osteoarthritis (KOA); plantar pressure; rehabilitation

膝关节骨性关节炎(knee osteoarthritis, KOA)是一种以疼痛、晨僵和膝关节功能受限为主要临床表现的退行性疾病,是膝关节组织破坏与修复动态失衡而引起的病变^[1-2]。KOA作用于膝关节可单独或合并影响所有3个间室,导致7种不同疾病类型^[3]。Stoddart等^[4]研究发现,接受手术治疗的KOA患者中,单间室KOA预估患病率约为50%,单纯胫股内侧间室KOA患病率占27%,而接受全膝关节置换术(total knee arthroplasty, TKA)治疗的比例大于88%,与前两者形成了鲜明对比。对许多患者来说,TKA可能无谓地牺牲了健康软骨、韧带和骨骼^[5]。因此,针对性选择合适的治疗方法就显得尤为重要。

自膝关节周围截骨术被提出以来,其在手术操作、内植物设计及截骨导板辅助矫形等方面已取得长足进步^[6-7]。目前,膝关节周围截骨术分为胫骨高位截骨术(high tibial osteotomy, HTO)、股骨远端截骨术和腓骨近端截骨术^[8]。相较于TKA和单髁关节置换术,HTO的优势在于其保留的膝关节更能满足患者的运动和舒适度需求^[9]。研究发现,接受HTO治疗KOA患者能取得满意的临床评分和影像学结果^[10-11]。但也有研究表明,HTO术后KOA病人存在残余步态偏差,严重影响患者术后生活质量^[9,12-13]。

以往,治疗效果的评价主要依赖体格检查、影像学指标及各类患者自评量表,主要评估膝关节形态学、稳定性、骨性对位对线和功能自我评价,且患者自评量表存在一定主观性,难以全面、客观、动态地反映膝关节功能恢复情况。足底压力分析解决了上述问题,可客观、量化地提供下肢在行走过程中各个足底区域与地面接触及负载的详细信息,有助于评估患者术后的恢复情况,更好地理解内侧单间室KOA患者在HTO术后的步态特点,从而更加科学谨慎地选择手术方式及制定术后康复方案^[14-17]。

研究发现,接受TKA及非手术治疗的KOA患者仍残留足底压力分布异常,需强化康复治疗恢复正常步态^[18-19]。然而,有关HTO治疗KOA患者后的足底压力分布研究还鲜有报道。本文选择内侧开放楔形胫骨高位截骨术(medial opening wedge high tibial osteotomy, MOWHTO)后患者作为研究对象,研究内侧单间室KOA患者在MOWHTO术后足底压力的特点,为术后病人的康复治疗提供生物力学依据。

1 研究对象与方法

1.1 临床资料

设定实验组(MOW组)和对照组。本研究经西

安市红会医院医学伦理委员会批准,共纳入2019年6月~2020年11月于西安市红会医院膝关节病区经单侧MOWHTO治疗的内侧单间室KOA患者31例(女22例,男9例),随访时间为(12.67±1.32)月。MOW组患者均无下肢创伤史、结缔组织病和其他骨关节异常,除MOWHTO外无其他手术史。采集患者术前和末次随访时的下肢全长X线片(见图1),并测量术侧关节承重线(weight bearing line, WBL)比率(下肢负重力线到胫骨平台内侧缘的垂直距离与胫骨平台宽度的比值);入组患者均在术前及末次随访时完成膝关节协会评分(knee society score, KSS)量表的测评。从周围社区、病人家属中选取35名同年龄健康对照,纳入条件为无骨骼或关节疾病,无下肢手术史。两组间的人类学指标无显著差异(见表1)。在开展研究前,参与者均签署书面知情同意书。

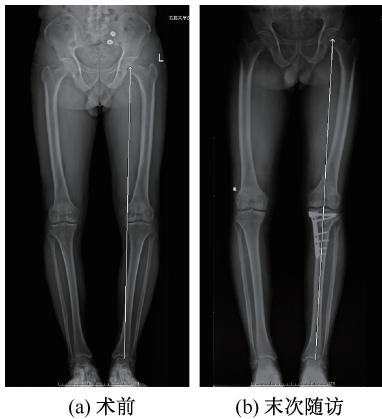


图1 MOWHTO手术前后下肢负重位全长X线片
Fig. 1 Full-length weight-bearing knee radiograph before and after MOWHTO (a) Before operation, (b) Final follow-up

表1 两组受试者基本信息

Tab. 1 Basic information of the subjects in two groups

| 参数 | MOW组 | 对照组 | P |
|-----------------------------|------------|------------|-------|
| 年龄/岁 | 61.41±3.26 | 62.95±2.71 | >0.05 |
| 身高/cm | 157.4±6.9 | 161.1±7.7 | >0.05 |
| 体重/kg | 63.98±8.15 | 62.44±3.69 | >0.05 |
| 体质量指数/(kg·m ⁻²) | 24.7±2.1 | 23.9±3.7 | >0.05 |
| 性别(男/女) | 9/22 | 11/24 | |
| 术侧(右/左) | 12/19 | | |
| 随访时间/月 | 12.67±1.32 | | |

1.2 足底压力测试方法

足底压力测试时,所有受试者被要求赤脚并以

舒适的步速进行测试。足底压力数据使用未采取覆盖物伪装^[20]的Pedomec 40[®]足底压力平板(Medi公司,德国,面积44 cm×62 cm,含1 600个传感器,采样频率400 Hz)进行采集[见图2(a)]。在采集动态数据之前,所有受试者均沿测量平台完成15 min的热身训练,以适应在平板上行走的感觉,避免刻意调整步态。正式测试后,选取5次有代表性和可靠性的数据进行记录[见图2(b)]。使用配套的Freestep[®]软件(Sensor Medica公司,意大利)对数据进行分析,软件自动将足底面积划分为拇趾区(T1)、第2~5趾区(T2~5)、第1跖骨区(MH1)、第2跖骨区(MH2)、第3跖骨区(MH3)、第4跖骨区(MH4)、第5跖骨区(MH5)、中足部内侧区(MF-M)、中足部外侧区(MF-L)、后足部内侧区(RF-M)及后足部外侧区(RF-L)等11个区域[见图2(c)]。在前期的预实验中,本课题组专门针对设备的可重复性及可靠性进行研究。结果表明,Pedomec 40[®]平板各项主要测量参数的组内相关系数均在0.85以上,而变异系数在20%以下,达到了开展足底压力测试所需的可重复性和可靠性水平。



图2 足底压力测试 (a) 足底压力测试平板 (b) 足底压力测试过程 (c) 足底区域划分

图2 足底压力测试

Fig. 2 Plantar pressure test (a) Pressure platform, (b) Process of plantar pressure test, (c) Plantar region division

1.3 观察指标

本研究主要观察指标为各足底分区触地面积(contact area, CA)、峰值压强(maximum pressure, p_{max})及压力时间积分(force-time integral, FTI)。MOW组中,每个参数的记录值是5次代表性试验的平均值;对照组中,记录值则是双足的平均值。次要观察指标为MOW组的KSS评分和WBL比率。

1.4 统计学方法

使用G*power软件3.1.9.7对研究所需样本量进行先验分析,依据先前类似研究^[19],将效应量

设置为 0.77,显著标准设置为 0.05,统计功效设置为 0.8,经计算得到每组样本量应不少于 28 例。结合西安市红会医院膝关节病区每年 MOWHTO 的手术量,本研究最终纳入实验组 31 例,健康对照 35 例。

本研究使用 SPSS19.0 软件进行统计分析。通过使用单样本 Kolmogorov-Smirnov 检验,所有定量数据呈正态分布,采用均值±标准差表示。患者术侧与未术侧在 CA、FTI 和 p_{max} 上的差异以及患者术前与末次随访时在 KSS 评分和 WBL 比率上的差异均采用配对 t 检验进行分析;而患者双侧肢体与对照组之间相应指标的差异则采用两独立样本 t 检验进行分析。采用 Bonferroni 校正检验进行组内两两比较。 $P<0.05$ 表示差异具有统计学意义。

2 结果

MOW 组所有患者在术后至末次随访期间未出现骨折延迟愈合、骨不连、合页骨折和感染等并发症。

MOW 组 WBL 比率在术前为(19.71±15.29)%,末次随访时为(60.14±5.66)%,两者相比存在明显差异($P<0.001$),提示术后下肢力线显著外移;末次随访时 KSS 评分为 89.1±6.5,较术前(57.6±8.9)

取得了显著改善($P<0.001$)。

与对照组相比,MOW 组术侧在 MF-M 区 p_{max} 较高,在 MH4、MH5 和 RF-L 区偏低;MOW 组未术侧与对照组相比,MF-L 区显示出较高的 p_{max} ,而在 MH1、MH2 和 MH4 区偏低,其他的分区两组之间无显著差异;术侧与未术侧比较时,术侧在 MH1 区 p_{max} 高于未术侧,而在 MH5、MF-L 区域小于未术侧,两组在其他区域 p_{max} 的比较差异无统计学意义(见表 2、图 3)。

表 2 实验组和对照组 11 个足底分区峰值压强比较

Tab.2 Comparison of maximum pressure in 11 plantar zones for experimental group and control group 单位:g·cm⁻²

| 足底分区 | MOW 组 | | 对照组 |
|------|------------------|------------------|------------------|
| | 术侧 | 未术侧 | |
| T1 | 1 284.45±468.63 | 1 098.29±372.26 | 1 133.42±204.91 |
| T2~5 | 798.58±210.97 | 703.16±244.00 | 818.56±238.26 |
| MH1 | 1 264.26±202.10 | 975.16±308.28* | 1 184.74±271.46# |
| MH2 | 1 506.68±410.78 | 1 465.06±285.58* | 1 626.69±217.62 |
| MH3 | 1 582.19±392.35 | 1 543.23±258.08 | 1 624.84±189.97 |
| MH4 | 1 210.35±292.06* | 1 253.45±213.87* | 1 382.68±196.45 |
| MH5 | 938.74±160.38* | 1 144.39±227.84 | 1 120.48±241.45# |
| MF-M | 685.81±304.30* | 653.29±456.69 | 508.19±301.17 |
| MF-L | 595.16±274.69 | 993.10±375.07* | 665.69±301.07# |
| RF-M | 1 064.77±379.33 | 1 099.13±443.17 | 1 130.60±332.59 |
| RF-L | 1 083.19±469.13* | 1 170.52±354.31 | 1 300.59±333.50 |

注:*为使用两独立样本 t 检验比较患者双下肢与对照组 p_{max} , $P<0.05$;#为使用配对 t 检验比较术侧与未术侧 p_{max} , $P<0.05$ 。

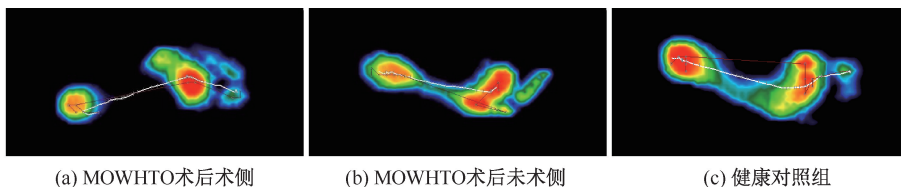


图 3 各组受试者足底不同区域峰值压强分布

Fig.3 Distribution of the maximum pressure in different plantar areas of subjects in each group

(a) Operative side of the patient after MOWHTO, (b) Unoperated side of the patient after MOWHTO, (c) Healthy control group

MOW 组术侧 MH1、MF-M 区 FTI 大于对照组,而对照组 MH5 区 FTI 大于术侧;MOW 组未术侧 MH4、MH5 和 RF-L 区 FTI 大于对照组。术侧 FTI 在 MH1、MF-M 区大于未术侧,而在 MH4、MH5 和 RF-L 区小于未术侧。各组间其他区域 FTI 的比较差异无统计学意义(见表 3)。

与对照组相比,MOW 组术侧 MH1、RF-M 区的 CA 明显增加,而 MH4、MF-L 区的 CA 减少;MOW

组未术侧 MH5 区的 CA 值增大,而 RF-M 区的 CA 减少。术侧 CA 在 MH1、RF-M 区大于未术侧,而在 MH4、MH5、MF-L 和 RF-L 区小于未术侧(见表 4)。

3 讨论

疼痛是导致 KOA 患者寻求治疗的首要原因,也是导致患者不愿进行肌肉锻炼活动进而引起膝关节活动受限的主要原因^[21]。当内侧单间室 KOA 患

表 3 实验组和对照组 11 个足底分区 FTI 比较

Tab. 3 Comparison of FTI in 11 plantar zones for experimental group and control group

| 足底分区 | MOW 组 | | 对照组 |
|------|--------------|--------------|--------------------------|
| | 术侧 | 未术侧 | |
| T1 | 73.53±33.24 | 56.02±38.17 | 62.92±14.03 |
| T2~5 | 21.74±15.31 | 21.74±13.63 | 22.11±15.59 |
| MH1 | 65.86±31.05* | 37.86±23.44 | 48.56±23.29 [#] |
| MH2 | 75.15±30.06 | 76.88±23.80 | 81.48±23.86 |
| MH3 | 82.86±31.95 | 79.96±43.47 | 86.52±19.29 |
| MH4 | 66.92±15.98 | 95.87±54.43* | 71.15±23.68 [#] |
| MH5 | 29.96±16.76* | 63.70±37.94* | 44.48±24.52 [#] |
| MF-M | 13.96±9.27* | 7.54±5.39 | 9.39±7.32 [#] |
| MF-L | 29.21±15.37 | 31.32±19.83 | 25.96±19.90 |
| RF-M | 81.69±55.70 | 78.81±44.17 | 76.18±28.01 |
| RF-L | 62.14±41.09 | 97.13±49.58* | 71.99±30.88 [#] |

注：* 为使用两独立样本 *t* 检验比较患者双下肢与对照组 p_{max} , $P < 0.05$; [#] 为使用配对 *t* 检验比较术侧与未术侧 p_{max} , $P < 0.05$ 。

表 4 实验组和对照组 11 个足底分区接触面积比较

Tab. 4 Comparison of contact area in 11 plantar zones for experimental group and control group

| 足底分区 | MOW 组 | | 对照组 |
|------|-------------|------------|-------------------------|
| | 术侧 | 未术侧 | |
| T1 | 7.64±1.99 | 7.45±2.09 | 7.53±1.27 |
| T2~5 | 3.09±1.42 | 3.64±1.85 | 3.51±1.36 |
| MH1 | 8.26±1.96* | 6.32±2.71 | 5.53±2.06 [#] |
| MH2 | 6.93±1.99 | 6.64±1.52 | 6.71±1.31 |
| MH3 | 6.67±1.44 | 6.51±1.55 | 7.04±1.17 |
| MH4 | 5.03±1.40* | 6.41±1.61 | 7.01±1.13 [#] |
| MH5 | 4.48±1.82 | 7.13±2.81* | 5.24±1.51 [#] |
| MF-M | 2.54±1.76 | 1.93±1.52 | 2.04±1.38 |
| MF-L | 2.96±1.42* | 6.03±2.08 | 5.31±3.02 [#] |
| RF-M | 12.03±2.41* | 8.83±1.72* | 10.32±2.75 [#] |
| RF-L | 8.81±2.11 | 10.35±2.41 | 9.63±2.07 [#] |

注：* 为使用两独立样本 *t* 检验比较患者双下肢与对照组 p_{max} , $P < 0.05$; [#] 为使用配对 *t* 检验比较术侧与未术侧 p_{max} , $P < 0.05$ 。

者行走时,为躲避疼痛,其主动增加了躯干冠状面的摆动幅度,使膝关节内收力矩(external knee adduction moment, EKAM)减小,从而缓解了膝关节疼痛^[12,22]。同时,病情较重一侧下肢的单腿站立时间明显减少、双腿站立时间明显增加,最终地面反作用力(ground reaction force, GRF)作用在较重侧膝关节的时间显著减少^[9],此外患者通过增加足外旋程度即脚趾外倾角(toe-out angle)横向外移足部压力中心(centre of pressure, COP),从而减少膝关节处的 GRF 杠杆力臂及 EKAM,起到缓解膝痛的作用^[21-22]。有关 KOA 患者的足底压力特征已有报

道。Kamenaga 等^[18]发现,未接受手术治疗的 KOA 患者相较于健康人在 RF-M 的 p_{max} 显著降低,而 MH5 和 RF-L 的 p_{max} 明显升高;且前足内侧(MH1、MH2)、外侧(MH3、MH4、MH5) p_{max} 的比值和 RF-M 与 RF-L 的 Max-P 比值均低于对照组,提示患侧足负载存在外移倾向。Palanisami 等^[19]在一项前瞻性研究中也发现了类似的发现。

作为 KOA 阶梯化治疗方式之一, MOWHTO 关键在于下肢力线调整及病变关节内压力的重新分布^[23]。本文结果显示, MOWHTO 治疗后的患者取得了满意的临床结果, WBL 比率^[24]和 KSS 评分^[25]显著改善,这与以往的结果^[10-11]相符。同时,已有研究从步态参数和生物力学角度评估了 MOWHTO 治疗 KOA 患者的临床结果。结果表明,与术前相比,接受 MOWHTO 方法治疗的 KOA 患者的步速、步频、步长和单双脚站立时间等步态参数更接近正常对照^[10,21];术侧 EKAM^[12,21]及膝关节内收角冲量(knee adduction angular impulse, KAAI)^[12]等生物力学指标较术前更加接近正常对照。然而,也有研究发现,尽管患者术后的各种量表评分和主观感受都取得了满意的结果,但仍可以发现残存的步态异常。许永康等^[13]对 MOWHTO 术后病人进行膝关节运动能力的调查问卷,结果显示尽管患者取得了良好的临床结果,但膝关节低冲击运动能力(上下楼梯、快速蹲起)仍不能恢复至术前水平。Whatling 等^[12]也在一项前瞻性研究中发现,在 MOWHTO 术后 KOA 患者膝关节矢状面活动度明显小于健康对照。

足底压力测量系统作为步态分析的有力补充,可提供被检测者站立及行进过程中各个足部区域的详细负载信息,能够获取更具说服力的动态数据对 MOWHTO 术后的改变进行分析^[14-17]。本文发现, MOW 组两侧与对照组相比均存在足底压力的残余异常。MOW 组术侧与对照组在 p_{max} 指标上的差异主要存在于 MH4、MH5、MF-M 和 RF-L。通过进一步的数据分析发现,术侧 p_{max} 的足底内侧(MH1、MH2、MF-M 和 RF-M)与外侧(MH3、MH4、MH5、MF-L 和 RF-L)比值与对照组相比,术侧的足底压力分布较对照组偏向足内侧,并且 p_{max} 的足底前侧(MH1、MH2、MH3、MH4 和 MH5)与后侧(RF-M、RF-L)比值提示术侧足底压力分布与对照组相

比偏向足前侧,并且 MOW 组术侧与对照组在 CA 指标上的差异也呈现为术侧足底承重部位较对照组偏向内侧。本文还观察到在 MH1 和 MF-M 区域 MOW 组术侧 FTI 明显大于对照组,而在 MH5 区域则小于对照组,提示 MOW 组术侧较对照组压力分布偏向内侧。FTI 作为足底各区压力在时间积累效应的物理量,能够反映对应区域接触时间和足底压力的变化。因此,FTI 较高的足底区域存在更高的足痛、胼胝和局部损伤风险,应成为临床中重点监测保护的区域。上述结论提示,术后术侧下肢力线得到明显矫正,然而这种矫正使得术侧足底压力分布较常人偏向内侧,同时术侧膝关节矢状面上仍存在一些会导致足部后侧压力分布小于常人的因素。针对 MOW 组未术侧与对照组在 p_{max} 、CA 及 FTI 的差异,本文推测原因如下:① 所谓的未术侧下肢并非正常健康,这可能是因为一部分患者的未术侧膝关节亦有磨损;② 针对术后术侧的步态异常,中枢神经系统会对未术侧进行某种程度的调整,从而保证行进过程中整体步态的平衡。

尽管调整下肢力线并重新分布关节内压力是所有手术医生采取 MOWHTO 进行治疗的出发点,但该术式带来的改变并非都很理想。在术后可能会出现以下改变:① 过度矫正会增加膝关节软骨横向的应力,导致外侧室的快速退化;② 手术医生应注意改变胫骨平台后倾角所造成的对膝周韧带的强烈影响。已有证据表明,后倾角过度增大及减小和交叉韧带损伤的风险增加有关^[26]。但有计划地改变后倾角可用于帮助掩盖由交叉韧带或侧副韧带损伤引起的不稳定性;③ 由于髌韧带止点在水平截骨线的远端,导致髌骨被拉向关节线,容易造成髌骨低位^[23];④ 由于膝关节周围软组织的张力、骨的结构和铰链轴线角度(hinge axis angle)的改变,导致胫骨近端发生外旋^[27-28]。上述“非计划”改变均会对足底压力分布造成影响导致残余异常的发生。

本研究存在如下的局限性:① 由于本研究纳入患者的临床结果均令人满意,故无法分析患者临床结果和足底压力参数之间的关系,下一步可纳入临床结果更差的患者,这有助于探索临床结果和足底压力数据之间的关系;② 样本量较少,可能导致结果代表性的降低;③ 过短的随访时间致使治疗的长期结果仍然未知,故需更长的随访来确定其长期变

化;④ 选择具有代表性的试验以及手动校正足印具有一定主观性。

4 结论

本研究对 31 名 KOA 患者在 MOWHTO 治疗后平均 12 个月的足底压力进行分析,发现在术侧和未术侧均存在足底压力的残余异常。这些异常提示 MOWHTO 术后患者还需要针对性地强化康复治疗来恢复正常的足底压力分布。此外,还需要更长的随访时间来评估这些残存的足底压力异常对患者术后下肢肌肉骨骼的可能影响。未来研究还应尝试探索导致足底压力残余异常的因素,并进一步阐明临床结果与足底压力分布之间的关系。

参考文献:

- [1] FERNANDES L, HAGEN KB, BIJLSMA JW, et al. EULAR recommendations for the non-pharmacological core management of hip and knee osteoarthritis [J]. Ann Rheum Dis, 2013, 72(7): 1125-1135.
- [2] HUNTER D J, BIERMA-ZEINSTRAS S. Osteoarthritis [J]. Lancet, 2019, 393(10182): 1745-1759.
- [3] GARNER A, VAN ARKEL RJ, COBB J. Classification of combined partial knee arthroplasty [J]. Bone Joint J, 2019, 101-B(8): 922-928.
- [4] STODDART JC, DANDRIDGE O, GARNER A, et al. The compartmental distribution of knee osteoarthritis-A systematic review and meta-analysis [J]. Osteoarthritis Cartilage, 2021, 29(4): 445-455.
- [5] RIDDLE DL, PERERA RA, JIRANEK WA, et al. Using surgical appropriateness criteria to examine outcomes of total knee arthroplasty in a United States sample [J]. Arthritis Care Res, 2015, 67(3): 349-357.
- [6] JACKSON JP, WAUGH W. Tibial osteotomy for osteoarthritis of the knee [J]. Proc R Soc Med, 1960, 53(10): 888.
- [7] COVENTRY MB. Osteotomy of the upper portion of the tibia for degenerative arthritis of the knee. A preliminary report [J]. J Bone Joint Surg Am, 1965, 47: 984-990.
- [8] 中国医院协会临床新技术应用专业委员会,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. 中国膝关节周围截骨下肢力线矫正术治疗膝关节骨关节炎临床指南 [J]. 中华骨科杂志, 2021, 41(23): 1655-1672.
- [9] MORIN V, PAILHÉ R, DUVAL BR, et al. Gait analysis following medial opening-wedge high tibial osteotomy [J]. Knee Surg Sport Tr A, 2018, 26(6): 1838-1844.

- [10] BROUWER RW, HUIZINGA MR, DUIVENVOORDEN T, *et al.* Osteotomy for treating knee osteoarthritis [J]. *Cochrane Db Syst Rev*, 2014, 2014(12): Cd004019.
- [11] HUANG Y, TAN Y, TIAN X, *et al.* Three-dimensional surgical planning and clinical evaluation of the efficacy of distal tibial tuberosity high tibial osteotomy in obese patients with varus knee osteoarthritis [J]. *Comput Meth Prog Bio*, 2022, 213: 106502.
- [12] WHATLING GM, BIGGS PR, ELSON DW, *et al.* High tibial osteotomy results in improved frontal plane knee moments, gait patterns and patient-reported outcomes [J]. *Knee Surg Sport Tr A*, 2020, 28(9): 2872-2882.
- [13] 许康永, 童也, 赵鹏, 等. 两种截骨术式治疗膝关节内侧间室骨关节炎的疗效比较 [J]. *中国修复重建外科杂志*, 2021, 35(11): 1440-1448.
- [14] 魏伟, 张扬, 徐超, 等. 中央型腰椎管狭窄症患者间歇性跛行症状出现前后的足底压力分析 [J]. *医用生物力学*, 2020, 35(3): 338-346.
- WEI W, ZHANG Y, XU C, *et al.* Analysis of plantar pressure before and after occurrence of neurogenic intermittent claudication in patients with central lumbar spinal stenosis [J]. *J Med Biomech*, 2020, 35(3): 338-346.
- [15] 朱婷, 王雅, 林金鹏, 等. 三踝骨折术后患者不同步行状态时的足底压力特征 [J]. *医用生物力学*, 2021, 36(4): 625-632.
- ZHU T, WANG Y, LIN JP, *et al.* Plantar pressure features under different walking conditions in patients after trimalleolar fracture surgery [J]. *J Med Biomech*, 2021, 36(4): 625-632.
- [16] 王少君, 苏丽娜, 李静先, 等. 老年男性和年轻男性行走时足底动力学特征差异 [J]. *医用生物力学*, 2021, 36(2): 304-308.
- WANG SJ, SU LN, LI JX, *et al.* Comparison of the characteristics of plantar kinetics in older and young male adults during walking [J]. *J Med Biomech*, 2021, 36(2): 304-308.
- [17] 赵敬, 李新伟, 何秉泽, 等. 基于运动学参数和足底压力测量的髌离断截肢者步态分析 [J]. *医用生物力学*, 2022, 37(1): 79-84.
- ZHAO J, LI XW, HE BZ, *et al.* Gait analysis of hip disarticulation amputees based on kinematic parameters and plantar pressure measurement [J]. *J Med Biomech*, 2022, 37(1): 79-84.
- [18] KAMENAGA T, NAKANO N, TAKAYAMA K, *et al.* Comparison of plantar pressure distribution during walking and lower limb alignment between modified kinematically and mechanically aligned total knee arthroplasty [J]. *J Biomech*, 2021, 120: 110379.
- [19] PALANISAMI DR, RAJASEKARAN RB, REDDY PK, *et al.* Foot loading pattern and hind foot alignment are corrected in varus knees following total knee arthroplasty: A pedobarographic analysis [J]. *Knee Surg Sport Tr A*, 2020, 28(6): 1861-1867.
- [20] XU C, WEN XX, HUANG LY, *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 Inter*, 2017, doi: 10.1155/2017/2708712.
- [21] LEE SH, LEE OS, TEO SH, *et al.* Change in gait after high tibial osteotomy: A systematic review and meta-analysis [J]. *Gait Posture*, 2017, 57: 57-68.
- [22] HUNT MA, BIRMINGHAM TB, BRYANT D, *et al.* Lateral trunk lean explains variation in dynamic knee joint load in patients with medial compartment knee osteoarthritis [J]. *Osteoarthr Cartilage*, 2008, 16(5): 591-599.
- [23] AMIS AA. Biomechanics of high tibial osteotomy [J]. *Knee Surg Sport Tr A*, 2013, 21(1): 197-205.
- [24] HE A, MAO Y, ZHOU Y, *et al.* Preoperative planning by osteotomy master software helps to improve the accuracy of target limb alignment in high tibial osteotomy [J]. *J Orthop Surg Res*, 2020, 15(1): 504.
- [25] POLAT G, BALCI H, ÇAKMAK MF, *et al.* Long-term results and comparison of the three different high tibial osteotomy and fixation techniques in medial compartment arthrosis [J]. *J Orthop Surg Res*, 2017, 12(1): 44.
- [26] HASHEMI J, CHANDRASHEKAR N, GILL B, *et al.* The geometry of the tibial plateau and its influence on the biomechanics of the tibiofemoral joint [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2008, 90(12): 2724-2734.
- [27] LEE BH, HA CW, MOON SW, *et al.* Three-dimensional relationships between secondary changes and selective osteotomy parameters for biplane medial open-wedge high tibial osteotomy [J]. *Knee*, 2017, 24(2): 362-371.
- [28] KIM JI, KIM BH, HAN HS, *et al.* Rotational changes in the tibia after high tibial valgus osteotomy: A comparative study of lateral closing versus medial opening wedge osteotomy [J]. *Am J Sport Med*, 2020, 48(14): 3549-3556.