

髌股疼痛综合征患者单腿落地时下肢运动的生物力学特征分析

陈亚东¹ 白春宏² 周怡¹ 闻剑飞¹ 彭朋³ 何瑞波³

¹合肥师范学院体育科学学院,合肥 230061; ²武警特色医学中心骨科,天津 300162; ³武警后勤学院卫生勤务系,天津 300309

通信作者:何瑞波,Email:13916072@qq.com

【摘要】 目的 系统分析髌股疼痛综合征(PFPS)患者在单腿落地动作中的运动生物力学特征,揭示其异常的下肢运动模式及动态姿势控制机制,为制定个体化康复训练方案和预防前交叉韧带损伤提供理论依据。**方法** 采用病例对照研究,共纳入 40 名受试者,其中实验组为 20 例符合诊断标准的女性 PFPS 患者,对照组为 20 名年龄和性别相匹配的健康志愿者。受试者从 30 cm 高跳箱上执行单腿落地动作,使用 Simi Motion 动作捕捉系统和 Kistler 三维测力平台分别采集下肢运动学和动力学参数并获取动态稳定性指数。逐步多元线性回归分析探讨影响动态姿势稳定性的运动学参数。**结果** 与对照组比较,实验组单腿落地时髌关节屈曲角度减小($P<0.05$),髌关节内旋受限并表现为外旋($P<0.05$),膝关节屈曲、内翻角度减少($P<0.05$),踝关节外旋受限并表现为内旋($P<0.05$),髌关节外展和踝关节跖屈角度增加($P<0.05$),地面反作用力峰值降低($P<0.05$)。与对照组比较,实验组前后向和内外侧的动态姿势稳定性指数均升高($P<0.05$)。经线性回归分析,对照组中,膝关节屈曲角度对前后向稳定性指数有负向影响($P<0.05$),膝关节内旋角度对内外侧稳定性指数有正向影响($P<0.05$);实验组中,踝关节跖屈角度对内外侧稳定性指数有正向影响($P<0.05$)。**结论** 健康人群在单腿落地时主要运用膝关节和髌关节的协调运动来维持稳定性,而 PFPS 患者因膝关节和髌关节屈曲角度不足,会转而采用以踝关节为主导的代偿策略,进而导致其单腿落地时膝关节承受较大的冲击力,常表现为前后向(矢状面)和内外侧(冠状面)稳定性显著下降。

【关键词】 髌股疼痛综合征; 单腿落地; 运动生物力学; 动态姿势稳定性; 动作捕捉系统

基金项目:安徽省质量工程重点研究项目(2021xsxxkc250);天津市重点实验室开放基金(SY-04-20223-004);武警后勤学院基础研究项目(WHJ202502)和(WHJ202503)

DOI:10.3760/cma.j.cn421666-20250728-00636

The biomechanics of single-leg landing with patellofemoral pain syndrome

Chen Yadong¹, Bai Chunhong², Zhou Yi¹, Wen Jianfei¹, Peng Peng³, He Ruibo³

¹College of Sport Science, Hefei Normal University, Hefei 230061, China; ²Department of Orthopaedics, Characteristic Medical Center of the Chinese People's Armed Police Force, Tianjin 300162, China; ³Health Service, Logistics University of the Chinese People's Armed Police Force, Tianjin 300309, China

Corresponding author: He Ruibo, Email: 13916072@qq.com

【Abstract】 Objective To systematically analyze the biomechanics of single-leg landing in cases of patellofemoral pain syndrome (PFPS), so as to identify abnormal lower limb movement patterns and dynamic postural control mechanisms, and provide a theoretical basis for developing individualized rehabilitation programs and preventing anterior cruciate ligament injuries. **Methods** This case-control study included 20 women with PFPS (the experiment group) and 20 age- and sex-matched healthy controls (the control group). All performed single-leg landings off a 30cm high box. Their lower limb kinematics and kinetics were captured using a Simi Motion motion capture system and a Kistler 3D ground force plate. Dynamic stability indices were calculated, and stepwise multiple linear regression was used to identify kinematic predictors of dynamic postural stability. **Results** Compared with the control group, the experiment group, on average, showed significantly smaller hip flexion angles and hip internal rotation angles, with a shift toward hip external rotation. Their knee flexion was significantly less, with smaller knee varus angles and ankle external rotation angles with a shift toward internal rotation and greater peak ground reaction force, but a significant increase in hip abduction and ankle plantarflexion angles. On average, the dynamic postural stability indices in the anterior-posterior and medial-lateral directions of the experimental group increased significantly more than among the controls. Among the control group, knee flexion angle was a negative predictor of the anteroposterior stability in-

dex, while knee internal rotation angle had a positive relationship with the mediolateral stability index. In the experimental group, ankle plantarflexion angle was a positive predictor of the mediolateral stability index. **Conclusions** Healthy individuals primarily rely on coordinated movements of the knee and hip joints to maintain stability during single-leg landing. In contrast, those with PFPS tend to exhibit insufficient knee and hip flexion, causing them to adopt ankle-dominant compensation. Consequently, they experience greater impact forces on the knee during single-leg landing, along with significantly reduced stability in both the anteroposterior (sagittal plane) and mediolateral (frontal plane) directions.

【Key words】 Patellofemoral pain syndrome; Single-leg landing; Biomechanics; Postural stability; Motion capture

Funding: Key Quality Engineering Research Project of Anhui Province (2021xsxxkc250); Open Fund of Tianjin Key Laboratory (SY-04-20223-004); Basic Research Project of Logistics University of the Chinese People's Armed Police Force (WHJ202502) and (WHJ202503)

DOI:10.3760/cma.j.cn421666-20250728-00636

髌股疼痛综合征 (patellofemoral pain syndrome, PFPS) 是一种以膝关节前侧持续性疼痛为特征的疾病。女性罹患 PFPS 的风险是男性的两倍,这与女性特有的解剖学特征密切相关^[1]。研究表明,采用单腿下蹲和落地动作等动态任务评估下肢运动模式及平衡能力,能够有效预测膝关节潜在损伤风险^[2]。与健康对照组相比,PFPS 患者在完成双腿落地时表现出明显不稳定的动作模式^[3]。这类患者常通过增加髌关节屈曲来缓解膝痛,但会伴随胫骨内旋力矩增大以及压力中心前移等异常生物力学特征^[3]。在临床常用的动态姿势稳定性评估方法中^[4,5],动态姿势稳定性指数能有效反映从动态落地过渡到静态姿势过程中的平衡维持能力^[6]。

相较于双腿落地,单腿落地动作在日常生活中更为常见,既往研究主要关注该运动模式中膝关节的生物力学表现^[7]。女性 PFPS 患者可能因解剖结构差异而表现出整个下肢运动模式的改变,在落地时不仅存在膝关节异常,其踝关节和髌关节的运动学特征同样值得深入探究^[8,9]。此外,目前关于 PFPS 患者与健康人群在落地时动态姿势稳定性差异的系统研究仍显不足。因此,本研究采用病例对照研究,通过三维运动分析技术,比较女性 PFPS 患者与健康女性在单腿落地任务中下肢主要关节(髌、膝、踝)的运动学和动力学特征差异,并运用回归分析揭示影响动态姿势稳定性的关键运动学参数,为 PFPS 患者制定科学的落地策略和康复训练方案提供循证依据。

对象与方法

一、研究对象

纳入标准:①年龄 18~30 岁;②单侧(右膝)受累;③膝前或髌后的隐匿性疼痛超过 3 个月,且与直接创伤无关;④最近 1 周内疼痛最严重时的疼痛视觉模拟评分超过 3 分(0 代表无痛,10 代表最大疼痛);⑤在跑步、跳跃、久坐、上下楼梯、抗阻伸膝和单腿下蹲等动作中,受试者至少在 2 个动作上出现过膝前或髌后疼痛;⑥单腿半蹲试验、髌骨研磨试验、伸膝抗阻试验均为阳性;⑦所有受试者均签署知情同意书。

排除标准:①膝关节外伤史;②其他可能引起膝关节前侧疼痛的病变,如髌胫束摩擦综合征、关节肿瘤、结核、神经损伤、肌腱炎、骨关节炎、外伤性损伤(膝关节韧带损伤、半月板损伤、髌骨脱位、骨折)等。

本研究经中国人民武装警察部队后勤学院伦理委员会审核批准(LU-PAP-2024-07-09)。样本量计算采用 PASS 15.0 版统计学软件,设定 $\alpha = 0.05$ (双侧检验)、 $\beta = 0.2$ (检验效能 80%),预计效应量 $d = 0.8$,计算得出每组至少需 20 例。本研究共纳入受试者 40 例,所有受试者均完成全部测试流程,无脱落或数据缺失,故实际样本量满足统计检验需求。选取 2023 年 5 月至 2024 年 5 月于天津武警特色医学中心骨科门诊确诊、且符合上述标准的女性 PFPS 患者 20 例,将其设为实验组;另选取与实验组年龄和性别相匹配的健康志愿者 20 例,设为对照组。2 组患者基线资料组间比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$),详见表 1。

表 1 2 组患者基线资料比较($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	平均年龄(岁)	平均身高(m)	平均体重(kg)	平均体质指数(kg/m ²)
实验组	20	23.5±4.6	1.68±0.04	56.5±5.3	20.1±1.7
对照组	20	22.9±3.8	1.66±0.04	54.3±3.8	19.6±1.4

二、研究方法

(一) 单腿落地实验

参照王海妹等^[10]的研究进行单腿落地实验。受试者立于 30 cm 高跳箱上双手叉腰,左腿支撑,伸出右腿,身体重心逐渐向前移动,当身体重心投影离开跳箱时,身体自然下落,右腿落地稳定保持 5 s,重复测量 3 次。采取以下措施减小实验误差:①预适应——正式测试前完成 3 次标准化的落地动作练习,以熟悉测试流程并减少学习效应的影响;②装备标准化——为避免不同鞋具对落地力学特征的干扰,实验全程要求受试者统一穿着实验室提供的标准化缓冲运动鞋;③动作执行规范控制——在测试过程中,受试者需保持左腿膝关节伸直,直至身体重心投影完全移出木箱;同时,允许右腿在触地后自然屈膝缓冲,以模拟真实落地场景。

(二) 数据采集与分析

在单腿落地过程中,使用 Simi Motion 动作捕捉系统(Simi Reality Motion Systems, 德国)(自带 8 个摄像头)采集下肢关节运动学数据,采样频率为 100 Hz^[11]。采用系统自带的下肢模型,将 16 个 Marker 球准确粘贴在人体下肢各环节的标志点上,具体位置为左右髂前上棘、左右髂后上棘、左右膝关节外侧髁、左右外踝、左右跟骨、左右第二趾骨头、左腿大小腿上 1/3 处、右腿大小腿下 1/3 处^[10]。利用 Kistler 三维测力平台(9287B, Kistler 公司, 瑞士)采集下肢关节动力学数据,采样频率为 1 kHz^[10]。经数模转换器对数据进行同步测量和分析。

运动学与动力学数据采用巴特沃斯(Butterworth)四阶低通滤波器进行滤波,截止频率为 10 Hz。动作捕捉系统配套软件 Simi Motion 对数据进行编辑和分析。将脚触地时刻定义为测力平台采集的垂直地面反作用力 $F \geq 20$ N,在达到地面反作用力峰值时获取下肢运动学和动力学参数。运动学参数包括髌、膝

和踝关节各个方向的角度;动力学参数包括地面反作用力峰值(为地面反作用力曲线的最大值)和下肢刚度(为垂直地面反作用力峰值与腿部位移量的比值)^[11]。

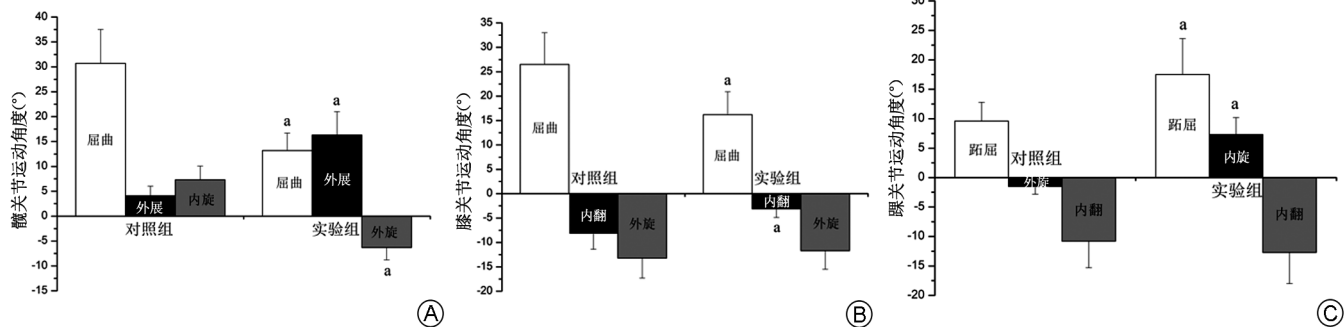
参照 Vonstad 等^[12]的研究,对地面反作用力三个分量(前后向、内外侧和垂直向)分别进行分析,计算前后分量和内外分量的力值在 0 值附近波动值的均方根,得到前后向稳定性指数和内外侧稳定性指数;计算垂直分量力值在受试者体重值附近波动值的均方根,得到垂直向稳定性指数;结合三个分量的稳定性指数计算整体动态稳定性指数。动态稳定性指数越低,说明动态姿势稳定性越高。

三、统计学分析

采用 SPSS 25.0 版统计学软件对本研究所得数据进行分析。计量数据以 $(\bar{x} \pm s)$ 表示。首先使用 Shapiro-Wilk 法进行正态性检验,对满足正态分布的变量,采用独立样本 t 检验比较两组间运动学和动力学参数差异。使用逐步多元线性回归模型分析影响动态姿势稳定性的运动学变量,模型拟合优度用校正决定系数(R^2)表示。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

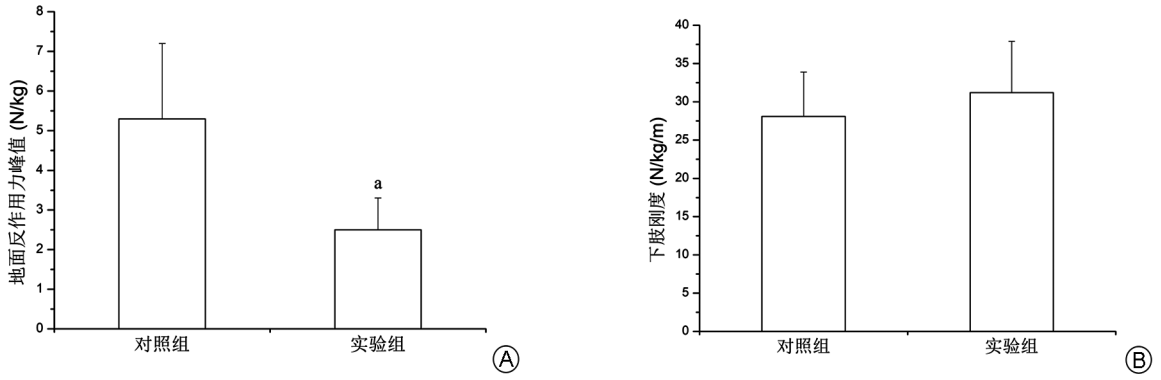
结 果

一、2 组受试者单腿落地时下肢运动学参数比较除膝关节外旋和踝关节内翻角度外,2 组受试者单腿落地动作中下肢运动学其他参数均存在统计学差异。与对照组比较,实验组表现出以下特征:髌关节屈曲峰值角度显著减小($P < 0.05$),且髌关节呈现内旋活动度减小伴外旋姿态($P < 0.05$);膝关节屈曲峰值角度和动态内翻角度均显著减少($P < 0.05$);踝关节外旋活动度显著降低并表现为内旋姿态($P < 0.05$);此外,髌关节外展和踝关节跖屈角度均显著增加($P < 0.05$),详见图 1。



注: A 为髌关节; B 为膝关节; C 为踝关节; 与对照组比较, $a P < 0.05$

图 1 2 组受试者单腿落地时下肢运动学参数比较



注:A 为地面反作用力峰值;B 为下肢刚度;与对照组比较,^a $P < 0.05$

图 2 2 组受试者单腿落地时下肢动力学参数比较

二、2 组受试者单腿落地时下肢动力学参数比较

与对照组比较,实验组受试者单腿落地动作时的地面反作用力峰值显著降低($P < 0.05$),但 2 组间的下肢刚度无统计学差异($P > 0.05$),详见图 2。

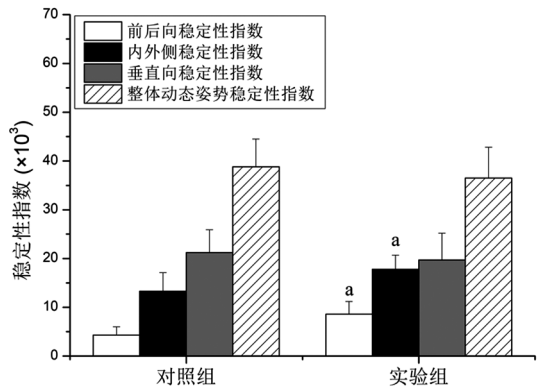
三、2 组受试者单腿落地时动态姿势稳定性比较

实验组前后向和内外侧单腿落地动态姿势的稳定性指数显著大于对照组($P < 0.05$),而其垂直向稳定性指数和整体动态姿势稳定性指数与对照组比较,差异无统计学意义($P > 0.05$),详见图 3。

四、动态姿势稳定性影响因素分析

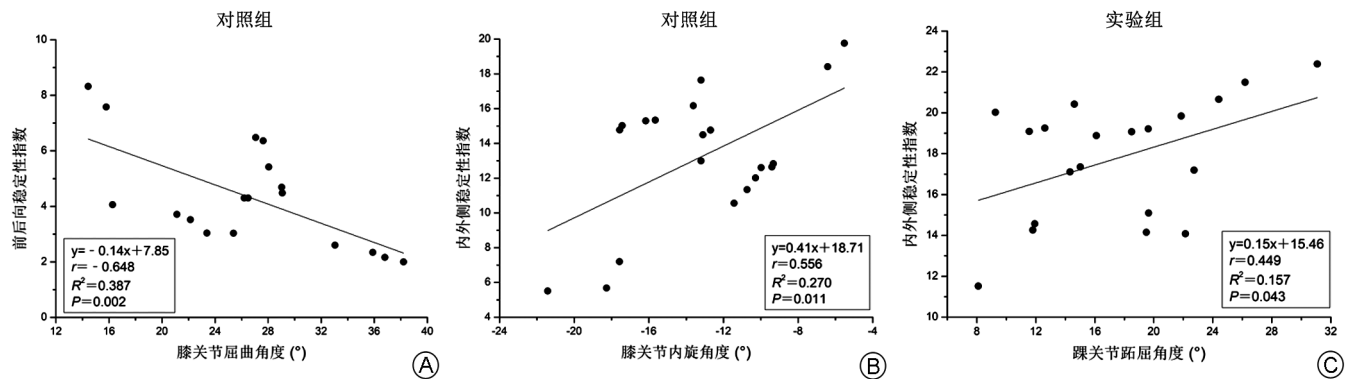
线性回归分析表明,影响动态姿势稳定性的生物力学因素在两组之间存在差异。对照组中,膝关节屈曲角度可负向预测前后向稳定性指数,而膝关节内旋角度可正向预测内外侧稳定性指数($P < 0.05$);而实验组中,仅踝关节跖屈角度可正向预测内外侧稳定性

指数($P < 0.05$),详见图 4。



注:与对照组比较,^a $P < 0.05$

图 3 2 组受试者单腿落地时动态姿势稳定性比较



注:A 为对照组前后向稳定性指数回归分析;B 为对照组内外侧稳定性指数回归分析;C 为实验组内外侧稳定性指数回归分析;y 代表因变量(即纵坐标),R² 代表校正决定系数(即自变量能够解释因变量变异的百分比),P 代表显著性水平(用于判断回归关系的统计学显著性)

图 4 动态姿势稳定性影响因素分析

讨 论

本研究结果显示,在单腿落地过程中,与健康志愿者相比,PFPS 的女性患者表现出髌关节屈曲角度减小,内旋活动度减小并表现为外旋,而外展角度增大的特征。这一发现与现有研究部分呼应,但也提示了更复杂的代偿机制。一方面,Bazett-jones 等^[15]人指出,在双腿落地时髌关节屈曲不足可使膝关节额状面承受更大负荷,这与本研究中观察到的风险模式一致。从运动控制策略看,髌屈曲不足者倾向于通过激活膝关节伸肌而非髌关节伸肌缓冲地面冲击力,表明在落地过程中有效利用髌关节屈曲动作需要充分激活髌伸肌群^[16]。此外,既往研究表明^[13],PFPS 女性患者在膝关节屈曲时,由于膝外翻和髌关节内收内旋模式会导致膝关节过度负荷;同时因髌外展肌群力量薄弱,其髌关节外展功能明显减弱。然而,本研究中观察到的髌关节外展角度增大与文献中报道中的髌外展肌力薄弱似乎矛盾。我们认为,从运动控制角度分析,髌外展角度增大并非肌力增强的表现,而是患者因髌外展肌力较弱或激活延迟,在单腿落地时为代偿骨盆稳定性不足所采取的不稳定策略,通常表现为骨盆向支撑腿侧的过度倾斜^[14]。这种代偿虽然短期可能维持姿态,但长期可能加剧动态不稳定与关节负荷异常。

Pollard 等^[16]的研究表明,在落地过程中,膝关节屈曲角度较小的女性较对照组表现出更为明显的膝外翻现象,提示其可能通过膝外翻代偿机制缓冲地面冲击力,这与本研究中实验组观察到的落地时膝关节屈曲不足模式类似。更为重要的是,PFPS 患者在落地时的膝外翻模式可能会损害其维持膝关节对位的能力,这是由于髌股关节内部压力增加所致,使应力负荷集中在更小的接触面积上,从而加剧髌股关节压力^[17]。

为有效缓冲落地时产生的地面反作用力,踝关节须从跖屈转换为背屈,背屈角度增加有助于提高落地稳定性^[18,19]。在本研究中,实验组受试者采用的是一种不稳定且受限的落地策略,其单腿落地时的跖屈角度增加,外旋活动度减小并表现为内旋。研究还显示^[20],女性 PFPS 患者落地时矢状面关节活动度显著受限,提示患者冲击吸收控制能力受损。本研究中,实验组地面反作用力峰值低于对照组,且下肢刚度无统计学差异,这可能源于 PFPS 患者采用了异常代偿策略(如膝外翻模式),而非正常的冲击吸收控制机制,导致膝关节在落地时承受更大的应力负荷。

在动态姿势稳定性方面,实验组前后向稳定性指数高于对照组。研究表明^[21],PFPS 引起的股四头肌和腘绳肌肌力减弱会导致患者落地过程中,于地面反作用力峰值阶段出现压力中心前移现象。Kim 等^[22]

证实,PFPS 患者存在严重的前后向稳定性缺陷,从而诱发膝关节伸肌疲劳并进一步加剧这种不稳定性。此外,实验组内外侧稳定性指数高于对照组,这可能与膝外翻和疼痛所致膝关节运动控制能力下降有关^[17]。

本研究采用了逐步多元回归分析法来确定影响动态姿势稳定性的关键运动学因素,结果发现,在对照组中,膝关节屈曲角度对前后向稳定性指数有负向预测作用,而膝关节内旋角度则对内外侧稳定性指数有正向预测作用。从生物力学角度分析,落地时最大膝关节屈曲角度不足会增加下肢冲击负荷,这是一种不良的落地策略^[24]。既往研究证实,增强膝关节屈伸肌群力量以及改善本体感觉功能,可显著提升落地初期的膝关节屈曲角度^[25]。另有研究表明,经过 4 周的增强式训练和核心稳定性训练后,受试者膝关节屈曲角度增加而内旋角度减小,有助于降低膝关节负荷^[26]。结合研究结果推测,康复训练中采用“增加膝关节屈曲角度-减少内旋幅度”的双重策略,可有效提升落地时的动态稳定性。在实验组中,踝关节跖屈是内外侧稳定性指数的正向预测因子。Delahunt 等^[27]发现,踝背屈活动度受限会导致落地时踝关节跖屈角度增加,地面反作用力升高,膝关节外翻以及膝关节屈曲角度减小。进一步的研究证实,在单腿疲劳状态下完成落地动作时,受试者会表现出踝关节跖屈角度和膝关节屈曲角度增加的特征性运动模式,这是机体为应对疲劳引起的平衡功能下降和肌力减弱而采取的代偿策略^[18]。本研究中实验组在达到地面反作用力峰值时表现出踝关节过度跖屈和膝关节屈曲角度不足,这可能是由于患者膝关节运动控制功能障碍,在落地过程中转而采用踝关节为主导的代偿性策略。

综上所述,与对照组相比,PFPS 患者在落地过程中膝关节承受的冲击负荷显著增加;此外,对照组在落地策略中主要运用膝关节和髌关节的协调运动,而 PFPS 患者则因膝关节和髌关节屈曲角度不足,转而采用以踝关节为主导的代偿策略。PFPS 患者采用这种不稳定的落地模式会导致下肢关节运动失衡,进而增加膝关节压力。基于上述发现,建议采取以下针对性康复措施:①强化髌部肌群——重点加强髌关节伸肌群(如臀大肌)以改善落地缓冲功能的同时,须同等重视髌关节外展与外旋肌群(如臀中肌、深层旋转肌)的强化。研究表明^[28],针对性的髌外展与外旋肌力训练能够有效改善骨盆在动态任务中的稳定性,并显著减少膝关节外翻角度和力矩,从近端降低髌股关节应力。②调整落地策略——通过增强踝背屈肌力量,并优先激活膝关节和髌关节屈肌群,以重建由近端(髌、膝)发力的正确动力链顺序。研究表明^[29],在落地动作中,髌、膝关节在矢状面充分的屈曲是有效吸收冲击力

的首要环节;当近端功能不足时,身体会代偿性地过度依赖踝关节跖屈来维持平衡,这是一种低效且增加损伤风险的策略。因此,通过训练强化髌、膝屈肌群的离心控制能力,可以促使落地时冲击力更有效地在近端被吸收,从而减少踝关节的代偿性过度活动,纠正“踝关节主导”的模式。③本体感觉训练——通过在不稳定平面上的单腿平衡训练、动态姿势扰动训练等,矫正异常关节位置觉,优化动态姿势控制能力。以往研究证实^[23],此类针对性的神经肌肉控制干预不仅能有效缓解 PFPS 患者的疼痛,还能显著改善其姿势稳定性,表现为压力中心位移增加。这避免了因力线异常和姿势控制不足导致的局部压力累积。此外,本研究揭示的异常生物力学模式对预防髌股关节疼痛综合征的发病同样具有重要启示。鉴于运动损伤是其主要诱因之一,在高风险人群如军事人员和运动员中推行前瞻性预防策略至关重要。建议将下肢生物力学动作筛查如单腿下蹲和落地评估纳入常规体检或训前评估,早期识别并纠正错误动作模式。在此基础上,实施以强化髌关节稳定肌群、优化神经肌肉控制能力为核心的适应性训练,并重点进行正确落地与下蹲动作模式的专项教育,从源头上纠正错误的动力链传导,建立稳定的下肢力学环境,从而有效降低髌股关节疼痛综合征的发病率。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

参 考 文 献

[1] van Leeuwen GJ, de Schepper E, Bindels P, et al. Patellofemoral pain in general practice: the incidence and management [J]. *Fam Pract*, 2023, 40(4): 589-595. DOI: 10.1093/fampra/cmadv087.

[2] Nunes GS, Rodrigues DZ, Hörbe L, et al. Is postural control affected in people with patellofemoral pain and should it be part of rehabilitation? A systematic review with meta-analysis [J]. *Sports Med Open*, 2022, 8(1): e144. DOI: 10.1186/s40798-40022-00538-4.

[3] Nunes GS, Barton CJ, Serrão FV. Impaired knee muscle capacity is correlated with impaired sagittal kinematics during jump landing in women with patellofemoral pain [J]. *J Strength Cond Res*, 2022, 36(5): 1264-1270. DOI: 10.1519/JSC.0000000000003616.

[4] Clarke F, Koutedakis Y, Wilson M, et al. Bilateral differences in dancers' dynamic postural stability during jump landings [J]. *J Dance Med Sci*, 2020, 24(4): 183-189. DOI: 10.12678/1089-1313X.24.4.183.

[5] Castor C, Santos T, Souza TR, et al. Effect of sleep deprivation on postural control and dynamic stability in healthy young adults [J]. *Neurosci Lett*, 2023, 797: e137055. DOI: 10.1016/j.neulet.2023.137055.

[6] Malmir K, Olyaei GR, Talebian S, et al. Effects of peroneal muscles fatigue on dynamic stability following lateral hop landing: time to stabilization versus dynamic postural stability index [J]. *J Sport Rehabil*, 2019, 28(1): 17-23. DOI: 10.1123/jsr.2017-0095.

[7] Sinsurin K, Vachalathiti R, Srisanghoriboon S, et al. Knee joint coordination during single-leg landing in different directions [J]. *Sports Bio-*

mech, 2020, 19(5): 652-664. DOI: 10.1080/14763141.2018.1510024.

[8] 董友清,魏子轩,吴海鸥,等.不同类型女性髌股关节疼痛综合征患者的下肢生物力学特征[J].*中国组织工程研究*, 2025, 29(21): 4458-4468. DOI: 10.12307/2025.822.

[9] Xie P, István B, Liang M. The relationship between patellofemoral pain syndrome and hip biomechanics: a systematic review with meta-analysis [J]. *Healthcare (Basel)*, 2022, 11(1): e99. DOI: 10.3390/healthcare11010099.

[10] 王海妹,谢地,马旭,等.踝关节贴扎在优势侧落地动作中对膝关节生物力学特性的影响[J].*医用生物力学*, 2020, 35(6): 679-684. DOI: 10.16156/j.1004-7220.2020.06.005.

[11] 杨海英,付常喜,何瑞波,等.超重肥胖对儿童跑步时膝关节生物力学的影响[J].*中国学校卫生*, 2022, 43(4): 570-573. DOI: 10.16835/j.cnki.1000-9817.2022.04.021.

[12] Vonstad EK, Bach K, Vereijken B, et al. Performance of machine learning models in estimation of ground reaction forces during balance exergaming [J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2022, 19(1): e18. DOI: 10.1186/s12984-12022-00998-5.

[13] Holden S, Matthews M, Rathleff MS, et al. How do hip exercises improve pain in individuals with patellofemoral pain? Secondary mediation analysis of strength and psychological factors as mechanisms [J]. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2021, 51(12): 602-610. DOI: 10.2519/jospt.2021.10674.

[14] Foch E, Brindle RA, Milner CE. Weak associations between hip adduction angle and hip abductor muscle activity during running [J]. *J Biomech*, 2020, 110: e109965. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2020.109965.

[15] Bazett-Jones DM, Neal BS, Legg C, et al. Kinematic and kinetic gait characteristics in people with patellofemoral pain: a systematic review and meta-analysis [J]. *Sports Med*, 2023, 53(2): 519-547. DOI: 10.1007/s40279-40022-01781-1.

[16] Pollard CD, Sigward SM, Powers CM. Limited hip and knee flexion during landing is associated with increased frontal plane knee motion and moments [J]. *Clin Biomech (Bristol)*, 2010, 25(2): 142-146. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2009.10.005.

[17] Herrington L. Knee valgus angle during single leg squat and landing in patellofemoral pain patients and controls [J]. *Knee*, 2014, 21(2): 514-517. DOI: 10.1016/j.knee.2013.11.011.

[18] Brazen DM, Todd MK, Ambegaonkar JP, et al. The effect of fatigue on landing biomechanics in single-leg drop landings [J]. *Clin J Sport Med*, 2010, 20(4): 286-292. DOI: 10.1097/JSM.0b013e3181e8f7de.

[19] Kim K, Jeon K. Comparisons of knee and ankle joint angles and ground reaction force according to functional differences during single-leg drop landing [J]. *J Phys Ther Sci*, 2016, 28(4): 1150-1154. DOI: 10.1589/jpts.28.1150.

[20] Nunes GS, Barton CJ, Viadanna Serrão F. Females with patellofemoral pain have impaired impact absorption during a single-legged drop vertical jump [J]. *Gait Posture*, 2019, 68: 346-351. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2018.12.013.

[21] Batista NP, de Oliveira Silva D, Mochizuki L, et al. Clinic- and laboratory-based measures of postural control in patellofemoral pain: a systematic review with meta-analysis and evidence gap map [J]. *Gait Posture*, 2024, 109: 189-200. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2024.02.002.

[22] Kim S, Roh Y, Glaviano NR, et al. Quadriceps neuromuscular function during and after exercise-induced fatigue in patients with patellofemo-

- ral pain[J]. J Athl Train, 2023, 58(6): 554-562. DOI: 10.4085/1062-6050-0348.22.
- [23] Brosseau L, Casimiro L, Welch V, et al. WITHDRAWN: Therapeutic ultrasound for treating patellofemoral pain syndrome[J]. Cochrane Database Syst Rev, 2013, (2): CD003375. DOI: 10.1002/14651858.CD003375.pub2.
- [24] Xu D, Zhou H, Wang M, et al. Contribution of ankle motion pattern during landing to reduce the knee-related injury risk[J]. Comput Biol Med, 2024, 180: e108965. DOI: 10.1016/j.combiomed.2024.108965.
- [25] Ramachandran AK, Pedley JS, Moeskops S, et al. Influence of neuromuscular training interventions on jump-landing biomechanics and implications for ACL injuries in youth females: a systematic review and meta-analysis[J]. Sports Med, 2025, 55(5): 1265-1292. DOI: 10.1007/s40279-40025-02190-w.
- [26] Wang D, Valtonen AM, Thiel T, et al. Effects of exercise-based ACL injury prevention interventions on knee motion in athletes: a systematic review and bayesian network meta-analysis[J]. J Orthop Sports Phys Ther, 2025, 55(2): 123-136. DOI: 10.2519/jospt.2024.12720.
- [27] Delahunt E, Farrell G, Boylan A, et al. Mechanisms of acute ankle syndesmosis ligament injuries in professional male rugby union players: a systematic visual video analysis[J]. Br J Sports Med, 2021, 55(12): 691-696. DOI: 10.1136/bjsports-2020-102281.
- [28] Atkins LT, Reid J, Zink D. The effects of increased forward trunk lean during stair ascent on hip adduction and internal rotation in asymptomatic females[J]. Gait Posture, 2022, 97: 147-151. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2022.08.001.
- [29] Nakajima T, Yoshioka S, Fukashiro S. Functional roles of stepping-leg joint torques in body deceleration during the post-trip landing phase in gait[J]. Gait Posture, 2025, 119: 252-259. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2025.03.010.

(修回日期: 2025-10-14)

(本文编辑: 邓春初)

《中华物理医学与康复杂志》第八届编辑委员会组成名单

总 编 辑: 黄晓琳

副 总 编 辑: 窦祖林 顾 新 郭铁成 何成奇 李 玲 刘宏亮 吴 毅 燕铁斌 岳寿伟 周谋望

编 辑 委 员: (含总编辑、副总编辑)(按姓氏拼音顺序排序)

教丽娟 白定群 白玉龙 毕 胜 陈 红 陈丽霞 陈青山 陈文华 窦祖林 杜 青
 范建中 冯晓东 冯 珍 高晓平 顾 新 顾旭东 郭钢花 郭 琪 郭铁成 何成奇
 何晓红 胡昔权 黄东锋 黄国志 黄晓琳 黄 真 贾子善 姜志梅 金 俏 李海峰
 李红玲 李建华 李 丽 李 玲 李晓捷 李雪萍 梁 英 廖维靖 刘宏亮 刘 楠
 刘遂心 刘忠良 卢红建 鲁雅琴 陆 敏 陆 晓 罗 军 马 超 牟 翔 倪朝民
 倪国新 潘 钰 单春雷 邵 明 宋为群 孙强三 唐 强 王宝兰 王冰水 王楚怀
 王 刚 王宁华 王 强 王 彤 王玉龙 吴 华 吴 霜 吴 毅 武继祥 肖 农
 谢 青 谢 荣 谢欲晓 许光旭 许 涛 闫金玉 燕铁斌 杨建荣 杨卫新 叶超群
 尹 勇 于慧秋 余 茜 虞乐华 袁 华 岳寿伟 恽晓平 张长杰 张 芳 张桂青
 张 皓 张继荣 张锦明 张盘德 张巧俊 张志强 郑光新 周谋望 朱 宁 朱珊珊

中国香港编委: Leonard Sheung Wai Li(中国香港)

外 籍 编 委: Akira Miyamoto(日本) Hao Liu(美国) Hong Wu(美国)

Li-Qun Zhang(美国) Nathan R. Qi(美国) Sheng Quan Xie(新西兰)

Sheila Purves(加拿大) Sheng Li(美国) Wenchun Qu(美国)