

文章编号: 1004-7220(2023)06-1139-07

视觉因素对前交叉韧带重建患者足底压力中心的影响

裴文斌^{1a}, 张皓^{1a}, 王珊珊², 吴熙芃^{1a}, 薛志东^{1b}, 李伟²

(1. 滨州医学院 a 康复医学院, b 医学人工智能研究院, 山东 烟台 264003; 2. 滨州医学院附属医院 康复医学科, 山东 滨州 256603)

摘要:目的 分析患者前交叉韧带重建(anterior cruciate ligament reconstruction, ACLR)术后早期与术后1年在视觉因素影响下足底压力中心面积(center of pressure area, COPA)和压力中心速度(center of pressure speed, COPS)等参数的变化。方法 纳入 ACLR 患者 17 例,于术后早期和术后1年测试足底 COPA 和 COPS 等数据;匹配 17 例健康受试者作为对照组。进行睁、闭眼不同视觉状态站立平衡测试,对各测量状态进行相关性分析。结果 双足站立测试时,短期组 COPA 和 COPS 在睁眼和闭眼对比均有统计学差异($P < 0.05$);长期组 COPS 睁眼和闭眼对比有统计学差异($P < 0.001$)。健侧站立时,各组间差异具有统计学意义($P < 0.05$),伤侧站立时各组间差异无统计学意义($P > 0.05$)。健侧站立睁眼条件下,长期组 COPA 高于短期组和对照组,对照组 COPS 低于短期组和长期组($P < 0.01$)。健侧站立闭眼条件下,对照组 COPA 低于短期组和长期组,对照组 COPS 低于长期组($P < 0.01$)。双足睁眼与双足闭眼之间、双足睁眼与伤侧睁眼之间、健侧睁眼和伤侧睁眼之间、健侧闭眼和伤侧闭眼之间在 COPA 和 COPS 上均呈正相关。结论 通过对 ACLR 患者站立位压力中心相关数据的分析,发现视觉对姿势稳定控制有重要影响。术后1年患者双足和单足站立时对比正常人稳定性波动较大,提示在临床上要加强术后长期训练以巩固康复效果,并对开展长期评估和制定精准训练计划具有一定的指导作用,以防止术后长时间功能退化和降低再次损伤的风险。

关键词: 前交叉韧带重建术; 压力中心面积; 压力中心速度; 本体感觉; 平衡

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2023.06.013

Effects of Visual Factors on Plantar Center of Pressure in Patients with Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

PEI Wenbin^{1a}, ZHANG Hao^{1a}, WANG Shanshan², WU Xipeng^{1a}, XUE Zhidong^{1b}, LI Wei²

(1a. School of Rehabilitation Medicine, 1b. Institute of Medical Artificial Intelligence, Binzhou Medical University, Yantai 264003, Shandong, China; 2. Department of Rehabilitation Medicine, Binzhou Medical University Hospital, Binzhou 256603, Shandong, China)

Abstract: Objective To analyze the changes in parameters such as center of pressure area (COPA) and center of pressure speed (COPS) under the influence of visual factors in patients at early stage after anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR) and 1 year after the surgery. **Methods** A total of 17 patients with ACLR were included and tested for data such as COPA and COPS in early postoperative period and 1 year after the surgery, and 17 healthy subjects were matched as control group. The standing balance test with different visual states of open and closed eyes was performed and correlation analysis was conducted for each measurement state. **Results** During the double-foot standing test, there were significantly difference in COPA and COPS between the

收稿日期: 2023-03-20; 修回日期: 2023-04-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(82171521)

通信作者: 李伟, 主任医师, E-mail: yishengliwei@163.com

eyes-open and eyes-closed states in short-term group ($P < 0.05$). There were statistically differences in COPS between the eyes-open and eyes-closed states in long-term group ($P < 0.001$). The difference between the groups was statistically significant during standing on the healthy side ($P < 0.05$), and the difference between the groups was not statistically significant during standing on the injured side ($P < 0.05$). During standing on the healthy side with eyes open, COPA was higher in long-term group than that in the short-term and control groups, and COPS was lower in control group than that in short-term and long-term groups ($P < 0.01$). During standing on the healthy side with eyes closed, COPA was lower in control group than that in short-term and long-term groups, and COPS was lower in control group than that in long-term group ($P < 0.01$). Positive correlations in COPA and COPS were found between eyes-open and eyes-closed states during double-foot standing, between injured side and double-foot standing with eyes open, between healthy side and injured side during standing with eyes open, and between healthy side and injured side during standing with eyes closed. **Conclusions** The analysis on COP-related data for patients with ACLR in standing position indicates that the vision has an important influence on postural stability control. The patients at 1 year after ACLR surgery show greater fluctuation in stability during double-foot and single feet standing compared with normal people. In clinical practice, it is suggested that long-term postoperative training should be strengthened to consolidate the rehabilitation effect, which also has a certain guiding role in carrying out long-term assessments and developing precise training plans, so as to prevent prolonged functional deterioration and reduce the risk of reinjury after surgery.

Key words: anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR); center of pressure area (COPA); center of pressure speed (COPS); proprioception; balance

随着交通和体育事业的发展,交通意外和运动引起的膝关节损伤逐年增加。在膝关节损伤中,前交叉韧带(anterior cruciate ligament, ACL)是最常见的损伤,其中超过70%是因为控制不良引起的非接触性损伤,如运动时急停、改变方向等^[1]。ACL是提供膝关节前后向和旋转稳定性的重要结构,如果断裂将会限制膝关节活动性和整体运动能力^[2]。前交叉韧带重建(anterior cruciate ligament reconstruction, ACLR)是目前治疗ACL断裂常见且理想方法之一,且重建率逐年增加^[3-4]。重建可使膝关节重获稳定性,降低膝内其他结构的损伤发生率和ACL再次损伤率。

成功的ACLR需要康复治疗以帮助患者恢复积极的生活方式。ACL损伤诊疗指南的高等级强烈推荐指出重建术后应尽早开始规范化康复治疗^[5]。ACL内本体感受器损伤进而影响本体感觉,本体感觉作为平衡功能中躯体感觉输入的重要组成部分,是术后康复中需要关注的重点^[6]。足底压力中心(center of pressure, COP)是反映站立时产生的地面反作用力的位置^[7],人体重心改变会引起足底压力相应的改变。将预设时间内采集的所有COP点进行量化处理,得到的COP轨迹长度、COP面积(COP

area, COPA)和COP速度(COP speed, COPS)等参数可反映人体平衡功能和姿势控制能力^[8]。同时,视觉作为平衡功能的重要输入部分,当去除视觉输入时,站立姿势的稳定性将显著下降,进而对足底COP相关数据也产生影响^[9]。

目前,临床上广泛通过分析足底COP相关数据来评估平衡功能^[10-11]。ACLR术后通过康复训练,患者平衡功能得到改善,但是缺乏对此人群平衡能力的长期随访。本文分析ACLR术后患者早期与术后1年在视觉因素影响下足底COP相关参数变化以及各参数潜在相关性。

1 对象与方法

1.1 研究对象

选择2021年1月~2021年8月于滨州医学院附属医院行ACLR并于康复科康复的患者17例,其中男14例,女3例,手术年龄平均(30.8±10.1)岁,术后早期身体质量指数(body mass index, BMI)为(25.7±3.9) kg/m²,术后1年为(26.0±3.9) kg/m²。术后早期作为早期组,术后1年作为长期组。另根据基线资料匹配17例健康受试者作为对照组,年龄(28.0±4.14)岁, BMI为(23.9±4.2) kg/m²。一般资

料比较表明,差异无统计学意义($P>0.05$)。

所有受试者均对试验过程完全知情同意并签署知情同意书,本研究经滨州医学院附属医院伦理委员会批准。纳入标准:① 年龄 19~50 岁;② 非接触性 ACL 损伤;③ 膝关节磁共振可见单侧 ACL 完全断裂,可合并半月板损伤;④ 后交叉韧带及内外侧副韧带均无损伤;⑤ 首次接受 ACLR 手术;⑥ 移植物选择同侧或对侧股四头肌肌腱。排除标准:① 合并有骨折、膝关节镜检查和部分撕裂者;② 合并神经损伤;③ 认知功能障碍,精神状态异常者;④ 伴有严重心、肺疾病及肝肾功能不全者;⑤ 视觉、前庭功能障碍或有相关病史;⑥ 踝关节功能障碍或有相关手术史;⑦ 术后不能遵医嘱康复训练者。

1.2 测试方案

1.2.1 实验仪器 患者术后 1 月内进行首次足底 COP 评估,均于医院康复科接受相同训练项目,每次 1 h,每天干预 1 次,每周 5 次,共 4 周。每项训练由同一物理治疗师进行。术后 1 年再次进行足底 COP 评估。所有受试者均使用 Fourier Intelligence 平衡功能训练评估系统(上海傅利叶智能科技有限公司)进行站立位姿势稳定性评估。评估系统由压力测试板和计算机系统两部分组成。压力测试板中间部分安装压力感应器,接受来自双足的垂直压力变化,分析 COP 变化,反映 COP 位置和移动;计算机系统运行 PelmaMotus 软件,分析测力板传入数据,记录测试过程 COP 位置的变化(见图 1)。

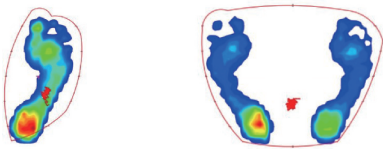


图 1 足底 COP 测试界面图
Fig. 1 Diagram of plantar COP test interface

1.2.2 评价指标 每次使用前首先矫正压力测试板,矫正后双足站立于压力测试板固定位置,双臂下垂,眼睛平视前方,保持平稳,测试板采集帧率为 100 帧/s。评价指标如下:① COPA。COPA 为采集的每帧 COP 包络图形的面积,反映人体压力中心移动的极限范围,当移动范围较小时,此数值越小;② COPS。COPS 为 COP 移动轨迹长度与测试时间的比值,反映人体微小姿势控制机能。测试时间固

定,当 COP 移动轨迹较短时,此数值越小。

1.3 统计学处理

使用 IBM 22.0 软件进行统计学分析,资料均符合正态分布用均值±标准差表示。双足站立测试时,短期组、长期组和对照组组内 COPA 和 COPS 睁眼与闭眼对比采用配对样本 t 检验;健侧站立测试时,相同视觉状态下短期组、长期组和对照组组间 COPA 和 COPS 比较采用单因素方差分析, LSD 检验进行事后两两比较;患足站立测试时,相同视觉状态下短期组和长期组 COPA 和 COPS 的比较采用配对样本 t 检验;各测量状态之间的相关性使用 Pearson 相关系数(r)分析。检验水准 $\alpha = 0.05$, $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

2 结果

2.1 视觉因素对 COPA、COPS 的影响

在双足站立 COPA 测试中,短期组睁眼为 $(6.192 \pm 3.111) \text{ cm}^2$,闭眼为 $(7.700 \pm 4.087) \text{ cm}^2$,组内比较可知,双足睁眼 COPA 小于闭眼,差异具统计学意义($t = -2.690$, $P = 0.016$)。在双足站立 COPS 测试中,短期组睁眼为 $(4.475 \pm 1.695) \text{ cm/s}$,闭眼为 $(5.701 \pm 2.455) \text{ cm/s}$,组内比较可知,双足睁眼 COPS 小于闭眼,差异具统计学意义($t = -3.765$, $P = 0.002$);长期组睁眼为 $(4.172 \pm 1.573) \text{ cm/s}$,闭眼为 $(5.075 \pm 1.992) \text{ cm/s}$,组内比较可知,双足睁眼 COPS 小于闭眼,差异具统计学意义($t = -4.436$, $P < 0.001$)。视觉因素对对照组 COPA 和 COPS 无显著影响($P > 0.05$),见图 2。

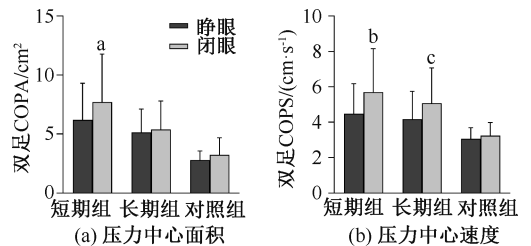


图 2 各组内 COPA 和 COPS 在不同视觉因素下比较

Fig. 2 Comparison of COPA and COPS within groups for different visual factors (a) COPA, (b) COPS

注:与睁眼比较, a、b、c 分别表示 $P = 0.016$, $P = 0.002$, $P < 0.001$ 。

2.2 单足站立时组间 COPA 测试结果与比较

睁眼或闭眼条件下健侧站立时各组间 COPA

差异具有统计学意义($P < 0.001$)。健侧站立睁眼条件下,长期组 COPA 高于短期组($P = 0.003$)和对照组($P < 0.001$);健侧站立闭眼条件下,对照组 COPA 低于短期组($P < 0.001$)和长期组($P = 0.003$);伤侧站立时,睁眼或闭眼条件下,短期组和长期组之间 COPA 差异均无统计学意义($P > 0.05$),见表 1。

表 1 单足站立测试不同组别 COPA 比较

Tab. 1 Comparison of COPA between the groups in single foot standing test 单位:cm²

分组	健侧+睁眼	健侧+闭眼	患侧+睁眼	患侧+闭眼
短期组	4.85±1.54	23.35±13.24 ^b	5.86±3.93	23.55±15.84
长期组	6.92±2.58 ^{ab}	19.58±6.55 ^c	6.05±2.53	20.71±7.29
对照组	3.72±1.31	9.70±5.50	—	—
<i>F/t</i>	12.48	10.205	-0.177	0.682
<i>P</i>	<0.001	<0.001	0.862	0.505

注:^a表示与短期组比较, $P = 0.003$;^b表示与对照组比较, $P < 0.001$;^c表示与对照组比较, $P = 0.003$ 。

2.3 单足站立时组间 COPS 测试结果与比较

睁眼($P < 0.001$)或闭眼($P = 0.016$)条件下健侧站立时各组间 COPS 差异具有统计学意义。健侧站立睁眼条件下,对照组 COPS 低于短期组($P = 0.003$)和长期组($P < 0.001$);健侧站立闭眼条件下,对照组 COPS 低于长期组($P = 0.005$);伤侧站立时,睁眼或闭眼条件下,短期组和长期组之间 COPS 差异均无统计学意义($P > 0.05$),见表 2。

表 2 单足站立测试中不同组别 COPS 比较

Tab. 2 Comparison of COPS between the groups in single foot standing test 单位:cm/s

分组	健侧+睁眼	健侧+闭眼	患足+睁眼	患足+闭眼
短期组	6.52±2.16	10.89±3.88	7.49±2.33	11.16±4.44
长期组	7.07±2.21	12.46±5.85	6.64±1.72	10.53±2.77
对照组	4.55±0.68 ^{ab}	7.92±3.33 ^c	—	—
<i>F/t</i>	8.952	4.496	1.372	0.519
<i>P</i>	<0.001	0.016	0.189	0.611

注:^a表示与短期组比较, $P = 0.003$;^b表示与长期组比较, $P < 0.001$;^c表示与长期组比较, $P = 0.005$ 。

2.4 各测量状态的相关性分析

双、单足支撑和视觉因素等条件对测试结果存在影响,为排除个体差异,同时指导临床康复计划,分别将 COPA 和 COPS 各测量状态进行相关性分析。结果显示,双足睁眼与双足闭眼之间 COPA ($r = 0.707$, $P < 0.001$)和 COPS ($r = 0.879$, $P < 0.001$)具有正相关性,说明双足站立时睁眼测试结果可能

会对闭眼测试结果有影响;双足睁眼与伤侧睁眼之间 COPA ($r = 0.374$, $P = 0.030$)和 COPS ($r = 0.598$, $P < 0.001$)具有正相关性,说明睁眼站立时双足测试结果可能会对伤侧测试结果有影响;健侧睁眼和伤侧睁眼之间 COPA ($r = 0.383$, $P = 0.025$)和 COPS ($r = 0.644$, $P < 0.001$)具有正相关性,健侧闭眼和伤侧闭眼之间 COPA ($r = 0.358$, $P = 0.038$)和 COPS ($r = 0.627$, $P < 0.001$)具有正相关性,说明无论睁眼或闭眼条件下,健侧测试结果可能会对伤侧测试结果有影响。

3 讨论

随着近些年 ACLR 手术成熟和术后康复的普及,许多研究证明术后及时康复在短期内改善步态、平衡和肌力等方面具有积极的效果^[12-13]。但是,术后长期平衡能力的改变缺乏远期随访。组织学研究也认为,膝关节功能并不随术后时间推移而增强^[14]。双足和单足站立平衡测试记录足底 COP 相关参数在评估姿势稳定和平衡能力的可靠性已得到验证^[15-16]。本文通过测量 COPA 和 COPS 等定量参数,对 ACLR 术后患者早期与术后 1 年的足底 COP 变化进行评估分析。

Okuda 等^[17]研究了视觉对姿势平衡的影响,结果与本实验得到的相关性结果一致。本文发现,双足站立测试时睁眼和闭眼两种状态表现出高度正相关性,即睁眼测试结果与闭眼测试结果成正比,提示相同姿势下睁眼稳定性会优于闭眼,在单足站立时视觉的作用会增加^[18]。对比单足站立,双足站立时与地面接触面积增大,重心降低,机体平衡能力表现更为稳定,降低了视觉因素对平衡能力的影响,故本研究中对对照组视觉因素对 COPA 和 COPS 测试结果引起的差异无统计学意义。而在术后早期测试中,睁眼和闭眼双足站立测试结果有统计学差异,睁眼稳定性优于闭眼,说明可能由于损伤或手术对伤侧膝关节局部结构造成影响,导致下肢整体力线改变,影响站立时机体稳定性。

本文发现,ACLR 后 1 年以上患者与对照组健康人相比,无论是在睁眼还是闭眼条件下,COPA 和 COPS 的表现都会不理想,COP 移动速度更快或是移动范围组成面积更大,均说明 ACLR 术后患者长期平衡功能的减退造成姿势控制能力有所欠缺,这

与 Felix 等^[19]的研究结果相似,1 年后姿势控制发生适应性改变,功能恢复不完全。本文预测,随着时间推移,伤侧在测试中的表现会明显提升,但是也有研究显示,术后并没有达到一个理想的结果^[20]。Li 等^[21]研究发现,损伤后本体感觉都严重下降,大多数患者本体感觉功能可在 1 年内恢复,但也有伤侧没有改善,而健侧表现更差的特例存在,这在本研究健侧站立 COPA 结果中也有体现,短期组表现优于长期组,可能是对于健侧功能的长期忽视而造成。Di Stasi 等^[22]选取 42 例 ACLR 术后长期患者进行测试,发现膝关节功能性较差的人群表现出了与重建早期较为相似的步态策略,这可能与损伤或重建后本体感觉受损、传入信息减退有关,同时这也是导致 ACL 后续损伤的重要因素之一。ACL 损伤多发生在青中年和运动员人群^[23]。行重建术后在没有不适感觉的情况下他们会尽早返回学习和工作中,追求整体效率而忽视了伤侧的细微改变。Dewig 等^[24]分析了 ACLR 术后 1 年以上患者上、下斜坡时的步态参数,发现在下坡时重建侧对比健侧显示出较小的膝关节伸展力矩和屈曲位移,与健康对照组相比则更不对称。重建手术不代表使膝关节恢复到受伤之前的状态。Reijman 等^[25]研究发现,ACLR 患者由于发生新的创伤而进行半月板手术,表明重建手术并不能降低半月板损伤的风险。由此可见,不仅要关注术后短期的功能康复训练,长期有效的康复计划也十分必要^[26]。在降低损伤发生率的同时,更要做好长期的随访和评估。

值得关注的是,本文发现,日常有规律运动计划但非专业运动员的 ACLR 患者,对功能恢复表现出更高的积极性,同时对预期预后情况存在焦虑情绪。运动员作为接受 ACLR 群体中的重要组成部分,已得到广泛的关注^[27]。重建后功能恢复程度直接影响竞技状态与运动生涯。Feyzioglu 等^[28]对 ACLR 后精英运动员和非运动员相同康复方案后功能结果进行调查,结果发现在早期康复时期,相同的康复方案显著改善了两组人群的疼痛、功能和抑郁。同时,该研究注意到损伤和重建对精英运动员有很大的心理影响,在康复过程中产生负面影响,从而影响恢复期。对运动员而言,完成各项技术动作都需要身体各部及情绪心理的协调控制,这样才

能使运动员在竞技中发挥出理想水平,做到动作的高效性和观赏性。在日后的临床康复中,应该加强对运动员人群的心理评估和干预,心理状况直接影响恢复效率。

平衡的建立需要视觉、前庭和体感系统等诸多因素的整合。视觉反馈在自主运动过程中对体感和视觉信息起着重要作用,可以改善身体的对称性和功能性运动,不断纠正身体不对称性,使得机体寻求准确的重心转移。视觉因素训练在患者整个康复过程中应用广泛,并显示出对机体功能恢复高度的有效性^[10,29]。

通过分析本文得到多组相关性,视觉因素与站立的潜在相关性为 ACLR 后患者康复提供了新思路。Gokeler 等^[30]将虚拟现实环境浸入 ACLR 患者的生物力学评估场景,双侧表现接近,表明逼真的虚拟现实场景充分刺激视觉输入,分散有意识的运动控制。同时,康复医师与治疗师在评估和制定康复计划时并不能只关注重建侧。围手术期及术后早期健侧单足站立的稳定性训练,术后恢复双足站立时视觉输入的训练等受场地空间限制较小的方案可能对平衡功能恢复有积极的效果。

本研究主要局限性如下:① 所有评估仅在静态下完成,这与受试者对环境和测试的适应能力以及自身平衡功能有一定关系,根据本文研究结果,进一步研究动态活动中的 COP 的变化很有意义,如测试时增加膝关节屈伸任务或目标指向性任务;② 压力分布测试板站立位置固定,是为避免不同测试者因站立位置不同而引起的主观差异,对于同一受试者更有利于前后对比,但是不同身高的受试者之间对比时,自然放松站立时双足间距不同,进而可能对结果产生影响。预计通过增加样本量会减小个体差异对整体的影响,这也是本课题组下一步的工作内容。

4 结论

ACLR 术后视觉因素对 COP 有重要影响,这是在以后康复训练过程中的需要关注的创新点,结合视觉刺激输入突破传统的训练模式。随着时间推移伤侧站立整体表现并没有逐渐改善。患者术后 1 年后双足和单足站立时对比正常人稳定性波动较大,提示在临床上需要重视术后长期康复训练,开

展定期评估和制定精准训练计划等方式进行干预,以防止术后长时间功能退化和降低再次损伤发生的风险。

参考文献:

- [1] JEONG J, CHOI DH, SHIN CS. Core strength training can alter neuromuscular and biomechanical risk factors for anterior cruciate ligament injury [J]. *Am J Sports Med*, 2021, 49(1): 183-192.
- [2] MUSAHL V, KARLSSON J. Anterior cruciate ligament tear [J]. *N Engl J Med*, 2019, 380(24): 2341-2348.
- [3] ALAZZAWI S, SUKEIK M, IBRAHIM M, *et al.* Surgical treatment of anterior cruciate ligament injury in adults [J]. *Br J Hosp Med*, 2016, 77(4): 227-231.
- [4] ROWE PL, TAFLAN S, HAHNE AJ. Does the addition of whole-body vibration training improve postural stability and lower limb strength during rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction: A systematic review with meta-analysis [J]. *Clin J Sport Med*, 2022, 32(6): 627-634.
- [5] 白伦浩, 陈疾忤, 陈坚, 等. 前交叉韧带损伤临床诊疗循证指南(2022版) [J]. *中华创伤杂志*, 2022, 38(6): 492-503.
- [6] FORMENTO E, MINASSIAN K, WAGNER F, *et al.* Electrical spinal cord stimulation must preserve proprioception to enable locomotion in humans with spinal cord injury [J]. *Nat Neurosci*, 2018, 21(12): 1728-1741.
- [7] SUGIMOTO D, HOWELL DR, MICHELI LJ, *et al.* Single-leg postural stability deficits following anterior cruciate ligament reconstruction in pediatric and adolescent athletes [J]. *J Pediatr Orthop B*, 2016, 25(4): 338-342.
- [8] KODAMA K, YASUDA K, KUZNETSOV NA, *et al.* Balance training with a vibrotactile biofeedback system affects the dynamical structure of the center of pressure trajectories in chronic stroke patients [J]. *Front Hum Neurosci*, 2019, 13: 84.
- [9] LEE Y, CURUK E, ARUIN AS. Effect of light finger touch, a cognitive task, and vision on standing balance in stroke [J]. *J Mot Behav*, 2021, 53(2): 157-165.
- [10] HYUN SJ, LEE J, LEE BH. The effects of sit-to-stand training combined with real-time visual feedback on strength, balance, gait ability, and quality of life in patients with stroke: A randomized controlled trial [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2021, 18(22): 12229.
- [11] 杨倩倩, 孟宪中, 颜雯婷, 等. 慢性非特异性腰痛患者足底压力特征分析和平衡研究 [J]. *医用生物力学*, 2023, 38(1): 176-181.
- YANG QQ, MENG XZ, GU WT, *et al.* Analysis on characteristics of plantar pressure and balance in patients with chronic nonspecific low back pain [J]. *J Med Biomech*, 2023, 38(1): 176-181.
- [12] 刘姣, 孟庆华, 周鲁星, 等. 不稳定支撑面训练对慢性卒中患者平衡和步态的影响 [J]. *医用生物力学*, 2022, 37(6): 1145-1150.
- LIU J, MENG QH, ZHOU LX, *et al.* Effects of unstable support surface training on balance and gait in patients with chronic stroke [J]. *J Med Biomech*, 2022, 37(6): 1145-1150.
- [13] GLATTKE KE, TUMMALA SV, CHHABRA A. Anterior cruciate ligament reconstruction recovery and rehabilitation: A systematic review [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2022, 104(8): 739-754.
- [14] MAYR HO, STOEHR A, HERBERGER KT, *et al.* Histomorphological alterations of human anterior cruciate ligament grafts during mid-term and long-term remodeling [J]. *Orthop Surg*, 2021, 13(1): 314-320.
- [15] KOUVELIOTI V, KELLIS E, KOFOTOLIS N, *et al.* Reliability of single-leg and double-leg balance tests in subjects with anterior cruciate ligament reconstruction and controls [J]. *Res Sports Med*, 2015, 23(2): 151-166.
- [16] 贾品茹, 成慧, 张静, 等. 青少年特发性脊柱侧弯矢状位平衡与足底压力的相关性 [J]. *医用生物力学*, 2022, 37(5): 846-850.
- JIA PR, CHENG H, ZHANG J, *et al.* Correlation between sagittal balance and plantar pressure in adolescent idiopathic scoliosis [J]. *J Med Biomech*, 2022, 37(5): 846-850.
- [17] OKUDA K, ABE N, KATAYAMA Y, *et al.* Effect of vision on postural sway in anterior cruciate ligament injured knees [J]. *J Orthop Sci*, 2005, 10(3): 277-283.
- [18] HAZIME FA, ALLARD P, IDE MR, *et al.* Postural control under visual and proprioceptive perturbations during double and single limb stances: Insights for balance training [J]. *J Bodyw Mov Ther*, 2012, 16(2): 224-229.
- [19] FELIX E, ALONSO AC, BRECH GC, *et al.* Is 12 months enough to reach function after athletes' ACL reconstruction: A prospective longitudinal study [J]. *Clinics*, 2022, 77: 100092.
- [20] LEVY BA. Is early reconstruction necessary for all anterior cruciate ligament tears? [J]. *N Engl J Med*, 2010, 363(4): 386-388.
- [21] LI W, LI Z, QIE S, *et al.* Biomechanical evaluation of preoperative rehabilitation in patients of anterior cruciate ligament injury [J]. *Orthop Surg*, 2020, 12(2): 421-428.
- [22] DI STASI SL, LOGERSTEDT D, GARDINIER ES, *et al.* Gait patterns differ between ACL-reconstructed athletes who pass return-to-sport criteria and those who fail [J]. *Am J Sports Med*, 2013, 41(6): 1310-1318.

- [23] NOGARO MC, ABRAM S, ALVAND A, *et al.* Paediatric and adolescent anterior cruciate ligament reconstruction surgery [J]. *Bone Joint J*, 2020, 102B(2): 239-245.
- [24] DEWIG DR, JOHNSTON CD, PIETROSIMONE B, *et al.* Long-term gait biomechanics in level, uphill, and downhill conditions following anterior cruciate ligament reconstruction [J]. *Clin Biomech*, 2021, 84: 105345.
- [25] REIJMAN M, EGGERDING V, VAN ES E, *et al.* Early surgical reconstruction versus rehabilitation with elective delayed reconstruction for patients with anterior cruciate ligament rupture: Compare randomised controlled trial [J]. *Br Med J*, 2021, 372: n375.
- [26] VAN MELICK N, VAN CINGEL RE, BROOIJMANS F, *et al.* Evidence-based clinical practice update: Practice guidelines for anterior cruciate ligament rehabilitation based on a systematic review and multidisciplinary consensus [J]. *Br J Sports Med*, 2016, 50(24): 1506-1515.
- [27] HENDERSON FJ, KONISHI Y, SHIMA N, *et al.* Effects of 8-week exhausting deep knee flexion flywheel training on persistent quadriceps weakness in well-trained athletes following anterior cruciate ligament reconstruction [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2022, 19(20): 13209.
- [28] FEYZIOGLU O, OZTURK O, SIRMEN B, *et al.* Does an accelerated program give equivalent results in both elite athletes and nonathletes? [J]. *J Sport Rehabil*, 2020, 29(5): 572-577.
- [29] MIKO SC, SIMON JE, MONFORT SM, *et al.* Postural stability during visual-based cognitive and motor dual-tasks after ACLR [J]. *J Sci Med Sport*, 2021, 24(2): 146-151.
- [30] GOKELER A, BISSCHOP M, MYER GD, *et al.* Immersive virtual reality improves movement patterns in patients after ACL reconstruction: Implications for enhanced criteria-based return-to-sport rehabilitation [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2016, 24(7): 2280-2286.

(上接第 1138 页)

- [14] YAO Z, WANG S, ZHANG Y, *et al.* Clinical significance of a novel knee joint stability assessment system for evaluating anterior cruciate ligament deficient knees [J]. *Orthop Surg*, 2016, 8(1): 75-80.
- [15] 田斐. 马拉松长跑对男性跑者膝关节生物力学特征影响的研究[D]. 上海: 上海体育学院, 2021.
- [16] GROOD ES, SUNTAY WJ. A joint coordinate system for the clinical description of three-dimensional motions: Application to the knee [J]. *J Biomech Eng*, 1983, 105(2): 136-144.
- [17] WANG JH, ZHAO JZ, HE YH, *et al.* A new treatment strategy for severe arthrofibrosis of the knee. A review of twenty-two cases [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2006, 88(6): 1245-1250.
- [18] KLEIN W, SHAH N, GASSEN A, *et al.* Arthroscopic management of postoperative arthrofibrosis of the knee joint: Indication, technique, and results [J]. *Arthroscopy*, 1994, 10(6): 591-597.
- [19] BODENDORFER BM, KEELING LE, MICHAELSON EM, *et al.* Predictors of knee arthrofibrosis and outcomes after arthroscopic lysis of adhesions following ligamentous reconstruction: A retrospective case-control study with over two years' average follow-up [J]. *J Knee Surg*, 2019, 32(6): 536-543.
- [20] STIEFEL EC, MCINTYRE L. Arthroscopic lysis of adhesions for treatment of post-traumatic arthrofibrosis of the knee joint [J]. *Arthrosc Tech*, 2017, 6(4): e939-e944.
- [21] LINDANGER L, STRAND T, MLSTER AO, *et al.* Predictors of osteoarthritis development at a median 25 years after anterior cruciate ligament reconstruction using a patellar tendon autograft [J]. *Am J Sport Med*, 2022, 50(5): 1195-1204.
- [22] 姜鑫, 蔡斌, 王留根, 等. 程序化麻醉下手法松解术治疗膝关节粘连 20 例临床报告 [J]. *中国康复*, 2018, 33(5): 482-484.