

# 前交叉韧带重建术后患者膝本体感觉与姿势控制的相关性

刘晓磊<sup>a</sup>, 张鸿悦<sup>a</sup>, 章耀华<sup>a</sup>, 李强<sup>a</sup>, 李佳<sup>a</sup>, 汪杰<sup>b</sup>, 董明<sup>a</sup>, 杨华清<sup>a</sup>

**【摘要】** 目的:探讨前交叉韧带重建术后患者本体感觉及姿势控制的相关性。方法:选取 32 例符合纳入排除标准的前交叉韧带重建患者和 10 例健康对照组,观察组行常规康复治疗,观察组患者术后 16 周与健康对照组使用多关节等速测试及训练系统进行角度再现测试评估膝关节本体感觉,平衡测试仪进行单腿支撑动态平衡测试来评估姿势控制能力。动态平衡指标为总体、前后及左右稳定指数。结果:干预 16 周后,观察组患侧及健侧膝 15°、45°、75°再现差值,总体、前后、左右稳定指数均大于对照组(均 $P<0.05$ ),观察组患侧膝 15°、45°、75°再现差值,总体、前后、左右稳定指数均大于观察组健侧(均 $P<0.05$ )。15°、45°再现差值与总体、前后、左右稳定指数均呈正相关(均 $P<0.05$ );75°再现差值与总体稳定指数呈正相关( $P<0.01$ )。结论:单侧前交叉韧带重建术后双下肢本体感觉及姿势控制能力均下降,本体感觉和姿势控制能力有关。建议临床上应加强损伤侧及健侧本体感觉及姿势控制训练。

**【关键词】** 前交叉韧带重建术后;本体感觉;姿势控制

**【中图分类号】** R49;R681 **【DOI】** 10.3870/zgkf.2021.03.010

**Correlation between proprioception and postural control in patients with ACL reconstruction** Liu Xiaolei, Zhang Hongyue, Zhang Yaohua, et al. Department of Orthopedic Rehabilitation Medicine, Beijing Rehabilitation Hospital, Capital Medical University, Beijing 100144, China

**【Abstract】 Objective:** To investigate the correlation between proprioception and postural control in patients with anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction. **Methods:** Thirty-two patients with ACL reconstruction were included in experimental group, and 10 healthy subjects served as control group. Joint position sense test in isokinetic testing and training system was used to evaluate the proprioception of the knee. Single-leg stance dynamic balance assessment in balance test instrument was used to evaluate the postural control ability. Overall stability index, anterior-posterior stability index and medial-lateral stability index were used as postural stability indices. **Results:** The overall stability index, anterior-posterior stability index, medial-lateral stability index and joint position sense at 15°, 45°, 75° of the injured and healthy knees in the experimental group were significantly higher than those in the control group (all  $P<0.05$ ). The overall stability index, anterior-posterior stability index, medial-lateral stability index and joint position sense at 15°, 45°, 75° of the injured knees in the experimental group were significantly higher than those in the healthy side (all  $P<0.05$ ). There was a positive correlation between joint position sense at 15°, 45° and overall stability index, anterior-posterior stability index, medial-lateral stability index (all  $P<0.05$ ). There was a positive correlation between the joint position sense at 75° and the overall stability index ( $P<0.01$ ). **Conclusion:** The proprioception and postural control ability of injured side and healthy side decreased in patients with ACL reconstruction. There was a positive correlation between proprioception and postural control ability. It is suggested to strengthen the training of proprioception and posture control in both nonoperated and operated knees.

**【Key words】** anterior cruciate ligament reconstruction; proprioception; postural control

前交叉韧带(anterior cruciate ligament, ACL)是保持膝关节机械稳定的重要结构之一,并通过其中的本体感受器向中枢传递静态的关节位置、动态的关节运动及加减速度的信息,在中枢神经系统的各个层次

即脊髓水平、脑干和更高的皮质中心以及皮质下的大脑核和小脑进行处理,并与其他浅感觉、视觉和前庭信息相结合,最终形成协调骨骼肌激活模式的最终运动指令<sup>[1]</sup>。因此,ACL在膝关节运动控制中起重要作用<sup>[2-3]</sup>,ACL损伤可减少神经反馈信息传入,从而影响膝关节的运动控制,即使重建ACL的解剖结构,仍遗留本体感觉及姿势控制能力下降<sup>[4]</sup>。姿势控制能力不足的ACL重建患者,其继发损伤的危险性增加<sup>[5]</sup>。

收稿日期:2020-06-09

作者单位:首都医科大学附属北京康复医院 a. 骨科康复中心, b. 康复诊疗中心,北京 100144

作者简介:刘晓磊(1980-),女,副主任医师,主要从事骨关节功能康复方面的研究。

通讯作者:杨华清, yhq402@126.com

以提高姿势控制能力为目标的治疗策略正在成为康复治疗热点<sup>[6-8]</sup>。因此,探讨影响姿势控制的因素可能是 ACL 重建术后康复治疗的关键,本研究旨在观察单侧 ACL 重建术后双侧膝关节本体感觉与姿势控制情况,探讨本体感觉与姿势控制的相关性。

## 1 资料与方法

1.1 一般资料 选取 2016 年 9 月~2019 年 9 月首都医科大学附属北京康复医院门诊住院收治的符合纳入标准的 ACL 重建术后 32 例患者为观察组和 10 例健康志愿者双侧膝共 20 例为对照组。观察组纳入标准:单侧膝 ACL 断裂,经关节镜行 ACL 重建术后 16 周;年龄 25~50 岁,男女不限;移植物均选用患侧膝关节半腱肌和股薄肌肌腱,合并半月板损伤者,行半月板修补或成形术;签署知情同意书;能配合康复评估。对照组纳入标准:与观察组患者年龄、性别、身高、体重相匹配;无膝关节疼痛及疾病;签署知情同意书。排除标准:合并后交叉韧带及侧副韧带损伤、关节脱位及其他部位骨折;既往膝关节外伤(如骨折、韧带损伤等)和骨关节炎病史;合并耳源性眩晕及颈源性眩晕者;合并心理精神疾病者;合并神经系统疾病,有严重平衡功能障碍者;合并其他脏器疾病不能耐受者。2 组一般资料比较差异无统计学意义。本研究经首都医科大学附属北京康复医院伦理委员会批准。见表 1。

表 1 2 组患者一般资料比较

| 组别         | n  | 年龄<br>(岁, $\bar{x}\pm s$ ) | 体重指数<br>( $\text{kg}/\text{m}^2$ , $\bar{x}\pm s$ ) | 受伤至手术<br>时间(d, $\bar{x}\pm s$ ) | 性别(例) |   |
|------------|----|----------------------------|---|---------------------------------|-------|---|
|            |    |                            |   |                                 | 男     | 女 |
| 观察组        | 32 | 34.12±4.86                 | 24.71±2.97  | 11.32±5.66                      | 23    | 9 |
| 对照组        | 10 | 35.20±4.39                 | 25.32±3.12  | —                               | 7     | 3 |
| $t/\chi^2$ |    | -0.578                     | -0.504  |                                 | 0.013 |   |
| P          |    | 0.568                      | 0.619   |                                 | 1.000 |   |

1.2 方法 观察组所有患者均行常规康复治疗,每天 1 次,每次 30min,每周 5d;具体内容:第 1 周:冷敷,踝泵,支具锁定在完全伸直位,肌肉等长收缩训练;2~4 周:部分负重至全负重训练,本体感觉、关节活动度、肌力训练,蹬踏训练;5~12 周:继续高阶本体感觉,柔韧性训练,肌力耐力训练,功率自行车训练,平衡训练;12~16 周之后:灵活性训练,单腿支撑平衡训练,8 字跑,折返跑及慢跑训练。于术后第 16 周进行本体感觉测试和姿势稳定评估。观察组患者康复训练由同一康复治疗师完成。

1.3 评定标准 2 组康复评定由同一康复治疗师完成。①本体感觉测试:应用 Biodex Syste4 型多关节等速测试及训练系统采用角度再现法测试关节位置觉,选取等速测试系统中本体感觉测试程序,消除视觉反馈,选取屈膝 15°、45°、75°共 3 个目标角度,当受试者

感觉主动屈膝至目标角度时按下开关记录实际膝关节位置(角速度 30°/s),每个目标角度重复测量 3 次,组间休息 1min。实际关节位置与预定目标位置差值的平均值,为关节位置觉。②姿势稳定测试:单腿姿势稳定应用 Biodex 平衡测试仪,测试单腿支撑的姿势稳定能力。平台可以向任意方向相对水平面倾斜 20°,稳定水平 4 级。患者赤足单腿站立、对侧髌膝关节分别屈曲 45°、90°,双手放在骨盆上,先测健侧,每侧下肢重复测试 3 次,每次 20s,取平均值,输出数据包括:总体、前后及左右稳定指数。其数值越高表明稳定越差。总体、前后、左右稳定指数的组内相关系数(intraclass correlation coefficient, ICC)分别是 0.89、0.80、0.85<sup>[6]</sup>。1.4 统计学方法 采用 SPSS 22.0 版统计学软件进行数据分析,计量资料以  $\bar{x}\pm s$  表示。计数资料比较采用 Fisher 精确检验,观察组患侧、健侧及健康对照组之间比较分别采用单因素方差分析,两变量间有无直线相关关系采用 Pearson 相关分析,  $P<0.05$  表示差异有统计学意义。

## 2 结果

2.1 3 组本体感觉比较 干预 16 周后,观察组患侧及健侧膝关节 15°、45°、75°再现差值均大于对照组(均  $P<0.05$ ),观察组患侧膝关节 15°、45°、75°再现差值均大于观察组健侧(均  $P<0.05$ )。见表 2。

表 2 3 组膝关节 3 种角度本体感觉比较 °,  $\bar{x}\pm s$

| 组别    | n  | 15°                     | 45°                     | 75°                     |
|-------|----|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 观察组患侧 | 32 | 4.82±1.36 <sup>ab</sup> | 4.89±1.89 <sup>ab</sup> | 4.40±1.87 <sup>ab</sup> |
| 观察组健侧 | 32 | 2.42±0.89 <sup>a</sup>  | 2.93±1.53 <sup>a</sup>  | 2.58±1.09 <sup>a</sup>  |
| 对照组   | 20 | 2.04±0.56               | 2.46±0.83               | 2.06±0.49               |

与对照组比较, <sup>a</sup>  $P<0.05$ ; 与观察组健侧比较, <sup>b</sup>  $P<0.05$

2.2 3 组姿势控制比较 干预 16 周后,观察组患侧及健侧总体稳定指数、前后稳定指数、左右稳定指数均大于对照组(均  $P<0.05$ ),观察组患侧总体稳定指数、前后稳定指数、左右稳定指数均大于观察组健侧(均  $P<0.05$ )。见表 3。

表 3 3 组姿势控制比较  $\bar{x}\pm s$

| 组别    | n  | 总体稳定指数                  | 前后稳定指数                  | 左右稳定指数                  |
|-------|----|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 观察组患侧 | 32 | 1.28±0.41 <sup>ab</sup> | 1.30±0.41 <sup>ab</sup> | 0.74±0.31 <sup>ab</sup> |
| 观察组健侧 | 32 | 0.72±0.15 <sup>a</sup>  | 0.90±0.29 <sup>a</sup>  | 0.53±0.17 <sup>a</sup>  |
| 对照组   | 20 | 0.35±0.15               | 0.40±0.14               | 0.32±0.11               |

与对照组比较, <sup>a</sup>  $P<0.05$ ; 与观察组健侧比较, <sup>b</sup>  $P<0.05$

2.3 膝本体感觉与姿势控制的相关性分析 ACL 重建术后 16 周患者膝关节本体感觉与姿势控制相关性分析结果显示:15°、45°再现差值与总体、前后、左右稳定指数均呈正相关(均  $P<0.05$ );75°再现差值与总体

稳定指数呈正相关( $P < 0.01$ ),与前后、左右稳定指数无明显相关性。见表4。

表4 本体感觉与姿势控制相关性

| 组别                 | 总体稳定指数   |          | 前后稳定指数   |          | 左右稳定指数   |          |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                    | <i>r</i> | <i>P</i> | <i>r</i> | <i>P</i> | <i>r</i> | <i>P</i> |
| 观察组患侧              |          |          |          |          |          |          |
| 15°( <i>n</i> =32) | 0.408    | 0.006    | 0.324    | 0.023    | 0.416    | 0.005    |
| 45°( <i>n</i> =32) | 0.369    | 0.022    | 0.313    | 0.037    | 0.357    | 0.031    |
| 75°( <i>n</i> =32) | 0.268    | 0.063    | 0.124    | 0.489    | 0.137    | 0.423    |
| 观察组健侧              |          |          |          |          |          |          |
| 15°( <i>n</i> =32) | 0.387    | 0.016    | 0.348    | 0.025    | 0.367    | 0.032    |
| 45°( <i>n</i> =32) | 0.347    | 0.028    | 0.301    | 0.045    | 0.334    | 0.041    |
| 75°( <i>n</i> =32) | 0.270    | 0.053    | 0.139    | 0.378    | 0.136    | 0.415    |
| 总体(患+健)            |          |          |          |          |          |          |
| 15°( <i>n</i> =64) | 0.510    | 0.000    | 0.404    | 0.007    | 0.601    | 0.000    |
| 45°( <i>n</i> =64) | 0.483    | 0.001    | 0.329    | 0.029    | 0.444    | 0.003    |
| 75°( <i>n</i> =64) | 0.394    | 0.008    | 0.146    | 0.345    | 0.148    | 0.337    |

### 3 讨论

ACL中存在的本体感受器,对有效的感觉运动控制至关重要,对运动敏捷性、关节稳定性起着重要作用<sup>[1]</sup>。Zhang等<sup>[9]</sup>通过对9只猴建立单侧ACL损伤模型,用体感诱发电位和运动神经传导速度检测ACL神经功能的变化,用氯化金染色观察并测量ACL本体感受器的形态和数量的变化,结果显示在损伤侧和对侧膝关节,随着损伤后时间延长,双侧ACL中本体感受器总数减少,变异的本体感受器数目增加,潜伏期延长,振幅降低,损伤侧较对侧变化明显,表明维持膝关节本体感觉的传入神经功能随着时间推移而降低,本体感觉逐渐下降,且双侧不对称。临床研究显示ACL损伤膝关节本体感觉下降,其中损伤侧的本体感觉下降较未损伤侧明显<sup>[10]</sup>。Donnell等<sup>[11]</sup>进行Meta分析证实以提高本体感觉为目的的康复训练可降低膝关节损伤。

姿势控制是保持姿势稳定,包括按预定轨迹运动以及受到外部干扰后调整姿势,并在运动中提供高效的 身体对线<sup>[12]</sup>。其起源于上世纪30年代,近年来逐渐受到重视。稳定的姿势控制是人体维持平衡的前提,在维持关节动态稳定、预防下肢损伤中起重要作用<sup>[13]</sup>。Staples等<sup>[14]</sup>研究发现:与性别和年龄匹配的健康对照组相比,ACL重建术后患者动态姿势稳定性下降,术后2年,姿势控制能力依然没有恢复正常<sup>[15]</sup>,Negahban等<sup>[16]</sup>对12篇研究进行综述发现单侧ACL损伤后双侧姿势控制能力均下降,其中损伤侧较未损伤侧明显,本研究结果与其相符。ACL单侧损伤后双侧姿势控制能力下降机制尚不清楚,可能与以下原因有关:①ACL损伤后双侧本体感觉下降<sup>[17]</sup>,导致双侧保护性肌肉反应下降<sup>[18-19]</sup>;②ACL损伤重建术后双

下肢肌肉力量下降和运动模式改变<sup>[20]</sup>;③可能与中枢运动控制有关<sup>[16]</sup>。ACL损伤后,双侧感觉传入信息不对称,中枢运动系统通过减少健侧下肢的感觉信息的传入,来缩小两侧信息传入的差距,以便于中枢运动控制系统对双侧下肢运动的控制,使运动更协调;④ACL损伤后出现的小脑系统抑制<sup>[20]</sup>,小脑在感觉运动整合和精确运动控制中起着关键作用,这可能是姿势控制障碍潜在机制。

研究显示ACL重建术后本体感觉与姿势控制之间变化趋势相似<sup>[21]</sup>,本体感觉促进训练可以提高本体感觉及姿势控制能力<sup>[22]</sup>,这些研究间接阐明本体感觉可能与姿势控制存在正相关,但该研究受双腿支撑的评估指标限制。本研究应用Biodex平衡测试仪,测试单腿支撑的姿势稳定能力。单腿支撑下的平衡测试可更准确反应每一侧膝关节姿势控制能力<sup>[5,7,20]</sup>。其输出指标稳定指数代表重心摇摆程度,数值越小,重心稳定的能力越好,姿势控制能力越好。本研究结果表明ACL重建16周患者膝关节本体感觉下降,姿势控制下降,15°、45°本体感觉与姿势控制之间呈正相关,尤其是15°为中度相关,可能与姿势稳定测试的膝关节体位有关。相关系数 $r=0.510$ , $r^2=0.260$ 表明本体感觉的大小只可以解释姿势控制能力改善原因的26%,可能与ACL重建后影响其姿势控制的多种复杂因素有关,如心理因素、环境因素、生理因素<sup>[23]</sup>。本体感觉只是各种生理因素的一个组成部分,这可能是本体感觉和姿势稳定相关程度低的原因。

年龄、性别和活动水平等混杂变量以及其他的参数可能和姿势稳定有关,本研究没有涉及,如核心稳定能力。核心稳定下降会导致整个下肢运动链中不受控制的关节移位增加<sup>[24]</sup>,这些不受控制的关节移位可导致下肢运动策略的改变,导致平衡功能下降<sup>[25]</sup>。在健康受试者,躯干耐力越好,其单腿支撑越好,姿势控制越稳定<sup>[26]</sup>。基于此,核心稳定性下降也可能是ACL重建术后姿势控制的影响因素之一,尚待进一步的研究。

综上所述,单侧ACL重建术后16周,双膝本体感觉及姿势控制能力均下降,本体感觉和姿势控制能力呈正相关。因此,对于单侧ACL损伤重建术后患者,建议临床上应加强损伤侧及健侧本体感觉及姿势控制训练。本研究不足之处:本研究样本量小,观察时间短。尚需前瞻性、大样本高质量临床研究及纵向姿势控制的动态观察。影响姿势控制的复杂因素及机制尚需进一步研究。

### 【参考文献】

[1] Rőjjezon U, Clark NC, Treleaven J. Proprioception in musculoskeletal

- rehabilitation. Part 1: basic science and principles of assessment and clinical interventions [J]. *Man Ther*, 2015, 20(3): 368-377.
- [2] Bonfim TR, Paccola CAJ, Barela JA. Proprioceptive and behavior impairments in individuals with anterior cruciate ligament reconstructed knees [J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2003, 84(8): 1217-1223.
- [3] 陈瑶, 何成奇. 前交叉韧带与本体感觉研究进展[J]. *中国康复*, 2014, 29(4): 296-299.
- [4] Lee SJ, Ren Y, Kang SH, et al. Pivoting neuromuscular control and proprioception in females and males [J]. *Eur J Appl Physiol*, 2015, 115(4): 775-784.
- [5] Paterno MV, Schmitt LC, Ford KR, et al. Biomechanical measures during landing and postural stability predict second anterior cruciate ligament injury after anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport [J]. *Am J Sports Med*, 2010, 38(10): 1968-1978.
- [6] Cinar MO, Baltaci G, Bayramlar K, et al. Core stability, knee muscle strength, and anterior translation are correlated with postural stability in anterior cruciate ligament-reconstructed patients [J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2015, 94(4): 280-287.
- [7] 彭晓静, 董心, 钟连超, 等. 不同训练方式对膝关节炎患者姿势稳定性研究探讨[J]. *中国康复*, 2020, 35(5): 269-272.
- [8] Lehmann T, Paschen L, Baumeister J. Single-leg assessment of postural stability after anterior cruciate ligament injury: a systematic review and meta-analysis [J]. *Sports Med Open*, 2017, 3(1): 32-44.
- [9] Zhang L, Qi J, Zeng Y. Proprioceptive changes in bilateral knee joints following unilateral anterior cruciate ligament injury in cynomolgus monkeys [J]. *Med Sci Monit*, 2018, 24(6): 105-113.
- [10] Relph N, Herrington L, Tyson S. The effects of ACL injury on knee proprioception: a meta-analysis [J]. *Physiotherapy*, 2014, 100(3): 187-195.
- [11] Laurel AD, Kristina K, Jamie EC, et al. Effectiveness of Knee Injury and Anterior Cruciate Ligament Tear Prevention Programs: A Meta-Analysis [J]. *PLoS One*, 2015, 10(12): 1-17.
- [12] Mouel CL, Brette R. Mobility as the purpose of postural control [J]. *Front Comput Neurosci*, 2017, 11(67): 1-11.
- [13] 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.
- [14] Staples JR, Schafer KA. Decreased Postural Control in Patients Undergoing Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Compared to Healthy Controls [J]. *J Sport Rehabil*, 2019, 11(4): 1-6.
- [15] Hyuck L, Seung BH. Impaired neuromuscular control up to postoperative 1 year in operated and nonoperated knees after anterior cruciate ligament reconstruction [J]. *Medicine*, 2019, 98(15), 15124-15130.
- [16] Negahban H, Mazaheri M, Kingma I, et al. A systematic review of postural control during single-leg stance in patients with untreated anterior cruciate ligament injury [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2014, 22(7): 1491-1504.
- [17] Arockiaraj J, Korula RJ, Oommen AT, et al. Proprioceptive changes in the contralateral knee joint following anterior cruciate injury [J]. *Bone Joint J*, 2013, 95(2): 188-191.
- [18] Wrzesień ZI, Truszczynska BA, et al. Lower extremity muscle strength, postural stability and functional movement screen in female basketball players after ACL reconstruction. Preliminary report [J]. *Acta Bioeng Biomech*, 2019, 21(2): 71-81.
- [19] Trulsson A, Roos E, Ageberg E, et al. Relationships between postural orientation and self reported function, hop performance and muscle power in subjects with anterior cruciate ligament injury [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2010, 11(1): 143-152.
- [20] Bartels T, Brehme K, Pyschik M, et al. Postural stability and regulation before and after anterior cruciate ligament reconstruction: A two years longitudinal study [J]. *Phys Ther Sport*, 2019, 38(4): 49-58.
- [21] Furlanetto TS, Peyré-Tartaruga LA, do Pinho AS, et al. Proprioception, body balance and functionality in individuals with ACL reconstruction [J]. *Acta Ortop Bras*, 2016, 24(2): 67-72.
- [22] 刘晓磊, 章耀华, 郭恒冰, 等. 本体觉促进训练对前交叉韧带重建术后患者膝关节功能和姿势控制的效果[J]. *中国康复理论与实践*, 2019, 25(4): 472-476.
- [23] Langford JL, Webster KE, Feller JA. A prospective longitudinal study to assess psychological changes following anterior cruciate ligament reconstruction surgery [J]. *Br J Sports Med*, 2009, 43(5): 377-381.
- [24] Wilkerson GB, Giles JL, Seibel DK. Prediction of core and lower extremity strains and sprains in collegiate football players: a preliminary study [J]. *J Athl Train*, 2012, 47(3): 264-272.
- [25] Willson JD, Dougherty CP, Ireland ML, et al. Core stability and its relationship to lower extremity function and injury [J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2005, 13(5): 316-325.
- [26] Barati A, Safarcherati A, Aghayari A, et al. Evaluation of relationship between trunk muscle endurance and static balance in male students [J]. *Asian J Sports Med*, 2013, 4(4): 289-294.

本刊办刊方向:

立足现实 关注前沿 贴近读者 追求卓越