

doi:10.3969/j.issn.1005-3697.2022.11.010

❖ 临床研究 ❖

膝前交叉韧带重建术后患者的步态周期特征研究

刘曦慧, 洪桥梅, 周文琪, 罗小兵

(四川省骨科医院运动医学科, 四川 成都 610000)

【摘要】目的: 研究膝前交叉韧带 (ACL) 重建术后患者的步态周期特征。**方法:** 选取 36 例单侧膝前交叉韧带断裂的患者, 均行自体腘绳肌肌腱重建术治疗, 并选取 12 名健康者为对照组; 采用 Tekscan 裸足步态分析系统分析步态数据, 比较患者患侧与健侧差异及组间差异。**结果:** 术前观察组患侧步行周期、蹬离期时间长于健侧和对照组, 步长、步速、晃动面积、晃动距离、位移速度及身体重心前后、左右移动距离低于健侧和对照组, 步宽、步角高于健侧和对照组, 跟骨着地、脚掌着地及支撑中期时间短于健侧和对照组 ($P < 0.05$); 术后 3、6 个月, 观察组患侧步行周期、蹬离期时间短于术前, 但长于健侧和对照组 ($P < 0.05$), 步长、步速、晃动面积、晃动距离、位移速度及身体重心前后、左右移动距离高于术前, 但低于健侧和对照组 ($P < 0.05$), 步宽、步角低于术前, 但高于健侧和对照组 ($P < 0.05$), 跟骨着地、脚掌着地及支撑中期时间长于术前, 但短于健侧和对照组 ($P < 0.05$)。**结论:** ACL 重建术可改善膝前交叉韧带断裂后步态, 并运用步态分析数据进行功能量化评价, 可了解 ACL 断裂及重建术后步态参数变化, 为评定术后疗效和制定治疗方案提供依据。

【关键词】 膝关节; 前交叉韧带重建; 运动学参数; 足底压力参数; 平衡参数

【中图分类号】 R686.5 **【文献标志码】** A

Gait cycle characteristics of patients after anterior cruciate ligament reconstruction

LIU Xi-hui, HONG Qiao-mei, ZHOU Wen-qi, LUO Xiao-bing

(Department of Sports Medicine, Sichuan Orthopaedic Hospital, Chengdu 610000, Sichuan, China)

【Abstract】 Objective: To study the gait cycle characteristics of patients after anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction. **Methods:** 36 patients with unilateral ACL rupture who underwent autologous hamstring tendon reconstruction were selected as the observation group. 12 healthy individuals were selected as the control group. Tekscan gait analysis system was used to analyze the gait data and the differences between the affected side and unaffected side of patients and between groups were compared. **Results:** Before operation, the gait cycle and departure stage on affected side of the observation group were longer than those on the unaffected side and the control group. The step length, walking speed, swaying area, swaying distance, displacement velocity, back-and-forth and left-to-right distances of the center of body weight were smaller than those on the unaffected side and the control group. The step width and step angle were larger than those on the unaffected side and the control group. The time of initial contact phase, forefoot contact phase and foot flat phase were shorter than those on the unaffected side and the control group ($P < 0.05$). The gait cycle and departure stage on affected side of the observation group were shortened at 3 and 6 months after operation, but longer than those on the unaffected side and the control group ($P < 0.05$). The step length, walking speed, swaying area, swaying distance, displacement velocity, back-and-forth and left-to-right distances of the center of body weight were increased, but smaller than those on the unaffected side and the control group ($P < 0.05$). The step width and step angle were decreased, but larger than those on the unaffected side and the control group ($P < 0.05$). The time of initial contact phase, forefoot contact phase and foot flat phase were prolonged, but shorter than those in the unaffected side and the control group ($P < 0.05$). **Conclusion:** ACL reconstruction can improve gait after ACL rupture. Using gait data analysis for functional quantitative evaluation can help to understand the changes in gait parameters after ACL rupture and reconstruction, thereby providing a basis for postoperative curative effect evaluation and development of treatment plan.

【Key words】 Knee joint; Anterior cruciate ligament reconstruction; Kinematic parameter; Plantar pressure parameter; Balance parameter

前交叉韧带 (anterior cruciate ligament, ACL) 是 维持膝关节稳定性的重要结构^[1]。ACL 断裂后会

基金项目: 四川省科技计划项目 (2020ZHYZ0005)

作者简介: 刘曦慧 (1990 -), 女, 硕士, 住院医师。E-mail: Liuxihui2018@163.com

通讯作者: 罗小兵。E-mail: 2393692151@qq.com

引起膝关节不稳,远期可能会继发膝关节退变^[2]。据资料^[3]显示,在美国,平均每年发生 20 万例 ACL 损伤,65% 接受了 ACL 重建治疗。现役运动员 ACL 损伤发病率为 0.43%。若不及时治疗,可引起半月板及软骨的继发损伤,从而影响关节活动^[4]。相关研究^[5]显示,为避免膝关节疼痛,ACL 断裂患者会改变髌关节和膝关节的屈曲角度来减弱股四头肌收缩,从而减轻膝关节疼痛。大量研究^[6-7]表明,ACL 断裂后,下肢动力学和运动学会出现规律性改变,其中关节力矩的改变会引起关节周围肌肉活动方式的改变,并会导致股四头肌肌力和膝关节功能的下降,致使平衡能力下降。基于此,本研究分析 ACL 重建术后患者的步态周期特征。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取 2019 年 1 月至 2020 年 1 月四川省骨科医院收治的 36 例单侧膝前交叉韧带断裂的患者为研究对象,设为观察组,均采用自体腘绳肌肌腱进行前交叉韧带重建术治疗,并选取同期于本院进行体检的 12 名健康志愿者作为对照组。纳入标准:(1)均符合《实用骨科学》^[8]中 ACL 断裂的诊断标准,进行自体腘绳肌肌腱重建术后的患者;(2)无膝关节其他韧带损伤并进行手术治疗者;(3)术后 MRI 示前交叉韧带重建有效在位患者;(4)知情同意。排除标准:(1)进行膝前交叉韧带二次断裂的翻修患者;(2)合并骨盆、髌、踝部损伤影响步态者;(3)合并骨性关节炎病史患者;(4)有膝关节其他疾病者。本研究经四川省骨科医院伦理委员会批准。两组患者一般资料比较差异无统计学意义($P > 0.05$)。见表 1。

表 1 两组一般资料比较 [$\bar{x} \pm s, n(\%)$]

组别	性别		年龄(岁)	身高(cm)	体重(kg)
	男	女			
观察组($n=36$)	24(66.67)	12(33.33)	29.33 ± 7.89	169.67 ± 8.61	64.33 ± 11.58
对照组($n=12$)	9(75.00)	3(25.00)	29.45 ± 7.83	169.08 ± 6.63	64.25 ± 11.33
χ^2/t 值	0.291		0.030	0.216	0.021
P 值	0.590		0.976	0.830	0.984

1.2 方法

采用美国 Tekscan 裸足步态分析及足底压力测试系统进行测试。测试人员录入受试者基本信息,然后向受试者介绍测试流程,受试者脱鞋脱袜后以自身步行习惯进行几次来回步行,同时根据患者步

行习惯调整受试者的测试起点及止点,以保证受试者来回步行过程中,3 块测力板可以分别采集到术侧及健侧完整步态周期数据。测试开始请受试者目视前方,上肢自然摆动,保持习惯步行状态进行来回 3 次,共 6 次步行采集。观察指标为步态周期中的双下肢步行周期、步长、步速、步宽、步角、支撑相中的跟骨着地时间、脚掌着地时间、支撑中期时间、蹬离期时间。采用单脚闭眼站立测定平衡能力:患者自然站立于测力板上,当听到开始口令后抬起任意 1 只脚,同时开启足底压力测试系统计时,当支撑脚移动或抬起脚着地时停止计时,测试两次,记录两组晃动面积、晃动距离、位移速度、身体重心前后移动距离、身体重心左右移动距离。

1.3 统计学分析

采用 SPSS19.0 统计软件进行数据分析。计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示,组间比较行独立样本 t 检验,组内比较行配对样本 t 检验;计数资料以 [$n(\%)$] 表示,组间采用 χ^2 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组手术前后步态周期数据比较

术前观察组患侧步行周期长于健侧和对照组,步长、步速低于健侧和对照组,步宽、步角高于健侧和对照组($P < 0.05$);观察组健侧和对照组比较差异无统计学意义($P > 0.05$)。术后 3、6 个月,观察组患侧步行周期短于术前,但长于健侧和对照组($P < 0.05$);步长、步速高于术前,且低于健侧和对照组($P < 0.05$);步宽、步角低于术前,但高于健侧和对照组($P < 0.05$)。术后 12 个月,观察组患侧步行周期、步长、步速、步宽及步角与健侧和对照组比较,差异无统计学意义($P > 0.05$)。见表 2。

2.2 两组手术前后足底压力参数比较

术前观察组跟骨着地时间、脚掌着地时间及支撑中期时间短于健侧和对照组,蹬离期时间长于健侧和对照组($P < 0.05$);观察组健侧和对照组比较差异无统计学意义($P > 0.05$)。术后 3、6 个月,观察组患侧跟骨着地时间、脚掌着地时间及支撑中期时间长于术前,但短于健侧和对照组($P < 0.05$);蹬离期时间短于术前,但长于健侧和对照组($P < 0.05$)。术后 12 个月,观察组跟骨着地时间、脚掌着地时间、支撑中期时间及蹬离期时间与健侧和对照组比较,差异无统计学意义($P > 0.05$)。见表 3。

表 2 两组手术前后步态周期数据比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	步行周期 (s)	步长 (cm)	步速 (cm/s)	步宽 (cm)	步角 (°)
观察组 (n = 36)					
术前					
患侧	0.91 ± 0.21 ^{#Δ}	33.41 ± 5.22 ^{#Δ}	33.46 ± 8.19 ^{#Δ}	22.70 ± 3.21 ^{#Δ}	14.34 ± 4.77 ^{#Δ}
健侧	0.55 ± 0.06	55.65 ± 9.39	62.29 ± 12.90	15.38 ± 1.32	7.90 ± 2.80
术后 3 个月					
患侧	0.75 ± 0.14 ^{*#Δ}	45.71 ± 7.02 ^{*#Δ}	50.77 ± 9.46 ^{*#Δ}	20.42 ± 2.95 ^{*#Δ}	11.75 ± 2.54 ^{*#Δ}
健侧	0.57 ± 0.09	57.67 ± 9.42	62.43 ± 12.92	15.44 ± 1.35	7.85 ± 2.82
术后 6 个月					
患侧	0.62 ± 0.10 ^{*#Δ}	50.39 ± 8.44 ^{*#Δ}	58.52 ± 10.09 ^{*#Δ}	18.39 ± 2.24 ^{*#Δ}	9.83 ± 3.77 ^{*#Δ}
健侧	0.56 ± 0.08	57.75 ± 9.46	63.50 ± 12.95	14.50 ± 1.38	7.80 ± 2.77
术后 12 个月					
患侧	0.58 ± 0.07 [*]	56.71 ± 9.33 [*]	60.99 ± 12.43 [*]	16.05 ± 2.86 [*]	7.12 ± 2.88 [*]
健侧	0.56 ± 0.05	57.66 ± 9.40	62.57 ± 12.96	14.62 ± 1.21	7.55 ± 2.69
对照组 (n = 12)	0.55 ± 0.05	58.88 ± 9.88	63.05 ± 13.37	14.34 ± 1.14	6.89 ± 2.80

* P < 0.05, 患侧术后与术前比较; #P < 0.05, 患侧与健侧比较; ΔP < 0.05, 患侧与对照组比较。

2.3 两组手术前后平衡参数比较

术前观察组晃动面积、晃动距离、位移速度、身体重心前后移动距离及身体重心左右移动距离低于健侧和对照组 (P < 0.05); 观察组健侧和对照组比较差异无统计学意义 (P > 0.05)。术后 3、6 个月, 观察组患侧晃动面积、晃动距离、位移速度、身体重心前后移动距离及身体重心左右移动距离高于术前, 但低于健侧和对照组 (P < 0.05)。术后 12 个月, 观察组晃动面积、晃动距离、位移速度、身体重心前后移动距离及身体重心左右移动距离与健侧和对照组比较差异无统计学意义 (P > 0.05)。见表 4。

表 3 两组手术前后足底压力参数比较 ($\bar{x} \pm s, s$)

组别	跟着地时间	脚掌着地时间	支撑中期时间	蹬离期时间
观察组 (n = 36)				
术前				
患侧	0.33 ± 0.10 ^{#Δ}	0.12 ± 0.08 ^{#Δ}	0.23 ± 0.03 ^{#Δ}	0.43 ± 0.10 ^{#Δ}
健侧	0.53 ± 0.14	0.26 ± 0.16	0.53 ± 0.10	0.26 ± 0.09
术后 3 个月				
患侧	0.40 ± 0.12 ^{*#Δ}	0.17 ± 0.10 ^{*#Δ}	0.33 ± 0.07 ^{*#Δ}	0.30 ± 0.05 ^{*#Δ}
健侧	0.53 ± 0.15	0.26 ± 0.17	0.54 ± 0.09	0.25 ± 0.05
术后 6 个月				
患侧	0.48 ± 0.16 ^{*#Δ}	0.23 ± 0.12 ^{*#Δ}	0.40 ± 0.08 ^{*#Δ}	0.28 ± 0.06 ^{*#Δ}
健侧	0.53 ± 0.18	0.25 ± 0.17	0.56 ± 0.11	0.25 ± 0.04
术后 12 个月				
患侧	0.52 ± 0.17 [*]	0.25 ± 0.16 [*]	0.56 ± 0.08 [*]	0.24 ± 0.04 [*]
健侧	0.54 ± 0.16	0.26 ± 0.18	0.57 ± 0.11	0.24 ± 0.02
对照组 (n = 12)	0.54 ± 0.15	0.27 ± 0.18	0.57 ± 0.12	0.25 ± 0.05

* P < 0.05, 患侧术后与术前比较; #P < 0.05, 患侧与健侧比较; ΔP < 0.05, 患侧与对照组比较。

表 4 两组手术前后平衡参数比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	晃动面积 (cm ²)	晃动距离 (cm)	位移速度 (cm/s)	身体重心前后移动距离 (cm)	身体重心左右移动距离 (cm)
观察组 (n = 36)					
术前					
患侧	15.83 ± 2.19 ^{#Δ}	13.28 ± 2.33 ^{#Δ}	0.18 ± 0.07 ^{#Δ}	2.23 ± 0.11 ^{#Δ}	2.75 ± 0.14 ^{#Δ}
健侧	29.53 ± 5.20	38.15 ± 7.19	0.60 ± 0.17	6.98 ± 1.69	6.84 ± 1.37
术后 3 个月					
患侧	23.56 ± 3.33 ^{*#Δ}	25.72 ± 4.26 ^{*#Δ}	0.37 ± 0.12 ^{*#Δ}	4.02 ± 0.21 ^{*#Δ}	4.61 ± 0.27 ^{*#Δ}
健侧	29.73 ± 5.35	38.23 ± 7.22	0.61 ± 0.16	7.34 ± 1.72	6.90 ± 1.39
术后 6 个月					
患侧	27.43 ± 4.57 ^{*#Δ}	31.52 ± 5.80 ^{*#Δ}	0.50 ± 0.14 ^{*#Δ}	6.49 ± 1.48 ^{*#Δ}	6.14 ± 0.40 ^{*#Δ}
健侧	29.88 ± 5.46	38.44 ± 7.39	0.61 ± 0.17	7.45 ± 1.86	7.18 ± 1.42
术后 12 个月					
患侧	29.70 ± 5.45 [*]	38.84 ± 7.36 [*]	0.59 ± 0.17 [*]	7.36 ± 1.53 [*]	7.33 ± 1.53 [*]
健侧	30.41 ± 5.55	39.24 ± 7.48	0.60 ± 0.16	7.46 ± 1.58	7.40 ± 1.59
对照组 (n = 12)	30.56 ± 5.61	39.39 ± 7.60	0.61 ± 0.18	7.38 ± 1.56	7.84 ± 1.63

* P < 0.05, 患侧术后与术前比较; #P < 0.05, 患侧与健侧比较; ΔP < 0.05, 患侧与对照组比较。

3 讨论

随着竞技运动的发展, ACL 损伤呈逐年增长趋

势, ACL 损伤后, 膝关节结构破坏, 致使其功能异常, 并改变关节负荷量, 增加关节面和半月板间压力, 从而影响患者生活质量和运动能力^[9]。临床常

采用关节镜下重建术进行治疗,具有较好的效果,但术后仍存在不同程度疼痛、肿胀及活动受限等,可影响步态,因此本研究分析 ACL 重建术后步态周期特征,以期术后康复治疗提供思路。

ACL 损伤后,抗股四头肌收缩和对胫骨前移位的限制减弱,膝关节不稳定。股四头肌收缩,会刺激膝关节周围韧带和其他肌腱末端的机械感受器,引起代偿性收缩,稳定膝关节,因此,为维持 ACL 损伤后膝关节的稳定性和功能,机体会通过调整临近关节、膝周的软组织和本体感受器进行补偿,而这些补偿会导致步态改变^[10-11]。本研究结果显示,术前观察组患侧步行周期长于健侧和对照组,步长、步速低于健侧和对照组,步宽、步角高于健侧和对照组,提示 ACL 断裂可对步态产生影响,且观察组患侧术后 3、6、12 个月的患侧步行周期短于术前,步长、步速高于术前,步宽、步角低于术前,与黄浩然等^[12]研究结果一致,说明 ACL 重建术可改善膝关节稳定性,且术后 12 个月的步行周期、步长、步速、步宽、步角与健侧和对照组无差异,提示 ACL 重建术后 12 个月可恢复步态参数,因此本研究认为,步态参数可评估 ACL 重建后膝关节稳定性,在术后康复过程中应监测患者步态,并对异常步态做出纠正,以降低躯体运动时的不对称,增加步态的稳定性和安全性。

足底压力分布反映了身体的结构、功能和姿势控制,对 ACL 重建患者进行足底压力测试,可进一步了解运动机能恢复程度。黄红拾等^[13]对单侧前交叉韧带损伤的患者进行足底压力测试,发现足跟着地阶段和全足着地阶段较健侧缩短,使得双侧步态的对称性大大降低。李玉周等^[14]为了探究前交叉韧带损伤后步行时的时空间参数和足底压力分布,对单侧前交叉韧带损伤患者及正常人进行足底压力测试,发现 ACL 损伤后前足接触地面时间与正常人相比缩短,且足底压力的分布也有变化。而本研究结果显示,术前观察组跟骨着地时间、脚掌着地时间及支撑中期时间短于健侧和对照组,蹬离期时间长于健侧和对照组,说明 ACL 损伤对胫骨前向运动的限制作用消失,患膝为减少足跟着地和支撑期时间,会避免伸展引起的膝关节疼痛,并通过韧带、膝关节等机械感受器引起代偿性变化,从而防止胫骨向前运动。同时通过调整患侧膝关节屈曲角度来减少肌肉收缩,并通过对患侧的代偿反应降低地面对关节反作用力,致使上述指标异常^[15]。观察组患侧术后 3、6、12 个月的跟骨着地时间、脚掌着地时间及支撑中期时间长于术前,蹬离期时间短于术前,提示 ACL 重建可改善足底压力参数,由于 ACL 重建了膝关节的正常解剖结构,且术后给予对应性功能

训练,使膝关节功能得到恢复,代偿功能也得到了缓解,且术后 12 个月观察组跟骨着地时间、脚掌着地时间、支撑中期时间及蹬离期时间与健侧和对照组比较无差异,提示 ACL 重建术后 12 个月可恢复足底压力参数。因此本研究认为,从步行功能的角度去客观地评估 ACL 重建患者病情、手术和康复治疗的疗效会更加精确合理,使手术治疗更加完美,并指导术后康复促进患者步行功能恢复。

平衡能力是机体所处一定姿势并维持该种姿势的能力,由于 ACL 含有本体感受器,重建的 ACL 本体感受器减少,感觉输入环节受损,因而平衡控制能力减弱。本研究显示,术前观察组晃动面积、晃动距离、位移速度、身体重心前后移动距离及身体重心左右移动距离低于健侧和对照组,考虑为患者患侧单足闭眼站立因知道关节有伤稳定性不足,需调动更多神经肌肉控制有关,且观察组患侧术后 3、6、12 个月的晃动面积、晃动距离、位移速度、身体重心前后移动距离及身体重心左右移动距离高于术前,提示 ACL 重建可改善平衡控制能力,且平衡参数可评估 ACL 重建术疗效,而术后 12 个月观察组晃动面积、晃动距离、位移速度、身体重心前后移动距离及身体重心左右移动距离与健侧和对照组比较无差异,提示 ACL 重建术后 12 个月可恢复平衡能力,因此术后可增加功能性动态平衡训练,改善神经肌肉控制,提高动力链稳定结构间的相互作用,以改善平衡能力。

综上,ACL 重建术对损伤后步态具有良好的改善作用,并运用步态分析的运动学数据可了解 ACL 损伤及重建术后的步态参数变化,从而对异常步态做出评估,为评定术后疗效、制定康复治疗方案提供依据。

参考文献

- [1] Filbay SR, Grindem H. Evidence-based recommendations for the management of anterior cruciate ligament (ACL) rupture [J]. *Best Practice & Research. Clinical Rheumatology*, 2019, 33 (1): 33 - 47.
- [2] Burland JP, Toonstra JL, Howard JS, *et al.* Psychosocial barriers after anterior cruciate ligament reconstruction: a clinical review of factors influencing postoperative success [J]. *Sports Health*, 2019, 11 (6): 528 - 534.
- [3] Gokeler A, Neuhaus D, Benjaminse A, *et al.* Principles of motor learning to support neuroplasticity after ACL injury: implications for optimizing performance and reducing risk of second ACL injury [J]. *Sports Medicine*, 2019, 49 (6): 853 - 865.
- [4] 黄文汉. 前交叉韧带及半月板损伤膝关节在体运动学研究 [D]. 广州: 南方医科大学, 2016: 1 - 78.
- [5] Toth MJ, Tourville TW, Voigt TB, *et al.* Utility of neuromuscular electrical stimulation to preserve quadriceps muscle fiber size and

