

等速向心和离心肌力训练对前交叉韧带重建术后 膝关节屈伸肌群肌力影响的对比研究

蒋拥军, 李克军, 邵开超, 黄若彬, 何梦凡, 汪伟

(深圳平乐骨伤科医院/深圳市坪山区中医院, 广东 深圳 518010)

摘要 **目的:**比较等速向心和离心肌力训练对前交叉韧带(anterior cruciate ligament, ACL)重建术后膝关节屈伸肌群肌力的影响。**方法:**选择 80 例近期因 ACL 断裂接受过 ACL 重建术,且术后接受过 3 个月相同的常规康复训练的患者,随机分为 2 组,每组 40 例。采用 TUR ISOFORCE 等速肌力评估训练系统进行等速肌力训练,向心训练组进行等速向心肌力训练,离心训练组进行等速离心肌力训练;2 组患者均隔日训练 1 次,每周训练 3 次,共训练 8 周。详细记录试验过程中出现的不良事件,采用 TUR ISOFORCE 等速肌力评估训练系统测定患者的膝关节屈伸肌群峰力矩(peak torque, PT),并利用系统自动计算膝关节屈伸肌群峰力矩与体质量比值(peak torque/body weight, PT/BW)和膝关节屈伸肌群峰力矩比值(flexor/extensor, F/E)。**结果:**①膝关节屈伸肌群 PT。2 组男性患者治疗前和治疗结束后的膝关节伸肌群 PT 比较,组间差异均无统计学意义[(85.45 ± 10.45) N · m, (88.12 ± 9.96) N · m, $t=0.866$, $P=0.392$; (118.37 ± 12.45) N · m, (123.78 ± 13.39) N · m, $t=1.389$, $P=0.172$];治疗结束后 2 组男性患者的膝关节伸肌群 PT 均较治疗前增大($t=13.496$, $P=0.000$; $t=12.207$, $P=0.000$)。2 组男性患者治疗前和治疗结束后的膝关节屈肌群 PT 比较,组间差异均无统计学意义[(48.93 ± 8.47) N · m, (50.23 ± 9.17) N · m, $t=0.489$, $P=0.628$; (78.56 ± 10.25) N · m, (83.69 ± 11.36) N · m, $t=1.575$, $P=0.123$];治疗结束后 2 组男性患者的膝关节屈肌群 PT 均较治疗前增大($t=11.616$, $P=0.000$; $t=14.325$, $P=0.000$)。2 组女性患者治疗前和治疗结束后的膝关节伸肌群 PT 比较,组间差异均无统计学意义[(48.16 ± 7.43) N · m, (46.72 ± 8.16) N · m, $t=0.551$, $P=0.585$; (65.38 ± 9.96) N · m, (66.07 ± 10.33) N · m, $t=0.204$, $P=0.840$];治疗结束后 2 组女性患者的膝关节伸肌群 PT 均较治疗前增大($t=17.556$, $P=0.000$; $t=10.907$, $P=0.000$)。2 组女性患者治疗前和治疗结束后的膝关节屈肌群 PT 比较,组间差异均无统计学意义[(26.93 ± 5.47) N · m, (25.26 ± 6.17) N · m, $t=0.855$, $P=0.399$; (41.84 ± 6.25) N · m, (42.19 ± 8.06) N · m, $t=0.144$, $P=0.886$];治疗结束后 2 组女性患者的膝关节屈肌群 PT 均较治疗前增大($t=18.816$, $P=0.000$; $t=13.585$, $P=0.000$)。②膝关节屈伸肌群 PT/BW。2 组男性患者治疗前和治疗结束后的膝关节伸肌群 PT/BW 比较,组间差异均无统计学意义[(137.44 ± 18.28) (N · m) · kg⁻¹, (136.57 ± 19.74) (N · m) · kg⁻¹, $t=0.152$, $P=0.880$; (189.08 ± 20.49) (N · m) · kg⁻¹, (191.45 ± 21.23) (N · m) · kg⁻¹, $t=0.377$, $P=0.708$];治疗结束后 2 组男性患者的膝关节伸肌群 PT/BW 均较治疗前增大($t=17.146$, $P=0.000$; $t=14.571$, $P=0.000$)。2 组男性患者治疗前和治疗结束后的膝关节屈肌群 PT/BW 比较,组间差异均无统计学意义[(77.36 ± 10.12) (N · m) · kg⁻¹, (78.59 ± 11.09) (N · m) · kg⁻¹, $t=0.385$, $P=0.702$; (124.01 ± 15.20) (N · m) · kg⁻¹, (127.11 ± 14.17) (N · m) · kg⁻¹, $t=0.698$, $P=0.489$];治疗结束后 2 组男性患者的膝关节屈肌群 PT/BW 均较治疗前增大($t=21.154$, $P=0.000$; $t=23.171$, $P=0.000$)。2 组女性患者治疗前和治疗结束后的膝关节伸肌群 PT/BW 比较,组间差异均无统计学意义[(94.04 ± 11.26) (N · m) · kg⁻¹, (92.75 ± 12.44) (N · m) · kg⁻¹, $t=0.325$, $P=0.747$; (127.74 ± 16.42) (N · m) · kg⁻¹, (131.06 ± 18.03) (N · m) · kg⁻¹, $t=0.575$, $P=0.569$];治疗结束后 2 组女性患者的膝关节伸肌群 PT/BW 均较治疗前增大($t=18.460$, $P=0.000$; $t=11.971$, $P=0.000$)。2 组女性患者治疗前和治疗结束后的膝关节屈肌群 PT/BW 比较,组间差异均无统计学意义[(50.91 ± 4.17) (N · m) · kg⁻¹, (49.89 ± 4.92) (N · m) · kg⁻¹, $t=0.667$, $P=0.509$; (80.01 ± 10.67) (N · m) · kg⁻¹, (82.36 ± 11.04) (N · m) · kg⁻¹, $t=0.648$, $P=0.522$];治疗结束后 2 组女性患者的膝关节屈肌群 PT/BW 均较治疗前增大($t=19.954$, $P=0.000$; $t=21.125$, $P=0.000$)。③膝关节 F/E。2 组男性患者治疗前的 F/E 比较,差异无统计学意义[(57.16 ± 4.13)%, (56.98 ± 3.98)%, $t=0.147$, $P=0.884$];治疗结束后,2 组男性患者的 F/E 均较治疗前增大($t=21.716$, $P=0.000$; $t=13.527$, $P=0.000$),向心训练组男性患者的 F/E 低于离心训练组男性患者[(65.56 ± 4.58)%, (68.21 ± 4.01)%, $t=2.033$, $P=0.048$]。2 组女性患者治疗前和治疗结束后的 F/E 比较,组间差异均无统计学意义[(55.96 ± 3.93)%, (54.08 ± 4.56)%, $t=1.317$, $P=0.197$; (63.06 ± 4.19)%, (63.80 ± 5.01)%, $t=0.477$, $P=0.636$];治疗结束后 2 组女性患者的 F/E 均较治疗前增大($t=22.116$, $P=0.000$; $t=16.271$, $P=0.000$)。④不良事件。2 组患者试验过程中均未发

基金项目:深圳市坪山区卫生系统科研项目(201845)

通讯作者:蒋拥军 E-mail:2450687893@qq.com

生严重不良事件。**结论:**等速向心肌力训练和等速离心肌力训练均能有效增强 ACL 重建术后膝关节屈伸肌群肌力,而且安全性较高,2 种训练模式提升肌力的效果无明显差异。与等速向心肌力训练相比,等速离心肌力训练在改善男性患者膝关节屈伸肌群肌力比值方面具有一定优势,可能更有利于促进膝关节稳定性的恢复。

关键词 前交叉韧带重建术;肌力训练;等速肌力评定;向心收缩;离心收缩;临床试验

A comparative study of the effects of centripetal versus centrifugal isokinetic muscle strength training on knee flexor/extensor muscle strength after anterior cruciate ligament reconstruction

JIANG Yongjun, LI Kejun, SHAO Kaichao, HUANG Ruobin, HE Mengfan, WANG Wei

Shenzhen Pingle Orthopedic Hospital (Shenzhen Pingshan District Hospital of Traditional Chinese medicine), Shenzhen 518010, Guangdong, China

ABSTRACT **Objective:** To compare the effects of centripetal versus centrifugal isokinetic muscle strength training on knee flexor/extensor muscle strength after anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction (ACLR). **Methods:** Eighty patients who underwent ACLR for ACL rupture and received the same conventional rehabilitation training for 3 months after the surgery were selected and randomly divided into centripetal training group and centrifugal training group, 40 cases in each group. The knee isokinetic muscle strength training was conducted via TUR ISOFORCE isokinetic muscle strength assessment training system. The patients in centripetal training group were instructed to perform isokinetic centripetal strength training, while the ones in centrifugal training group were instructed to perform isokinetic centrifugal strength training. All patients in the 2 groups were trained 1 time every other day, 3 times a week for consecutive 8 weeks. The adverse events occurred during the test were recorded in detail. The peak torque (PT) of knee flexor/extensor muscles was measured by using the TUR ISOFORCE isokinetic muscle strength assessment training system, meanwhile, the ratios of knee flexor/extensor muscle PT to body weight (PT/BW) and knee flexor muscle PT to knee extensor muscle PT (F/E) were calculated and recorded automatically by the TUR ISOFORCE isokinetic muscle strength assessment training system. **Results:** ① There was no statistical difference in PTs of knee extensor muscles of the male patients between the 2 groups before the treatment and after the end of the treatment (85.45 ± 10.45 vs 88.12 ± 9.96 N/m, $t = 0.866$, $P = 0.392$; 118.37 ± 12.45 vs 123.78 ± 13.39 N/m, $t = 1.389$, $P = 0.172$). The PTs of knee extensor muscles of the male patients increased after the end of the treatment compared to pretreatment in the 2 groups ($t = 13.496$, $P = 0.000$; $t = 12.207$, $P = 0.000$). There was no statistical difference in PTs of knee flexor muscles of the male patients between the 2 groups before the treatment and after the end of the treatment (48.93 ± 8.47 vs 50.23 ± 9.17 N/m, $t = 0.489$, $P = 0.628$; 78.56 ± 10.25 vs 83.69 ± 11.36 N/m, $t = 1.575$, $P = 0.123$). The PTs of knee flexor muscles of the male patients increased after the end of the treatment compared to pretreatment in the 2 groups ($t = 11.616$, $P = 0.000$; $t = 14.325$, $P = 0.000$). There was no statistical difference in PTs of knee extensor muscles of the female patients between the 2 groups before the treatment and after the end of the treatment (48.16 ± 7.43 vs 46.72 ± 8.16 N/m, $t = 0.551$, $P = 0.585$; 65.38 ± 9.96 vs 66.07 ± 10.33 N/m, $t = 0.204$, $P = 0.840$). The PTs of knee extensor muscles of the female patients increased after the end of the treatment compared to pretreatment in the 2 groups ($t = 17.556$, $P = 0.000$; $t = 10.907$, $P = 0.000$). There was no statistical difference in PTs of knee flexor muscles of the female patients between the 2 groups before the treatment and after the end of the treatment (26.93 ± 5.47 vs 25.26 ± 6.17 N/m, $t = 0.855$, $P = 0.399$; 41.84 ± 6.25 vs 42.19 ± 8.06 N/m, $t = 0.144$, $P = 0.886$). The PTs of knee flexor muscles of the female patients increased after the end of the treatment compared to pretreatment in the 2 groups ($t = 18.816$, $P = 0.000$; $t = 13.585$, $P = 0.000$). ② There was no statistical difference in PT/BW of knee extensor muscles of the male patients between the 2 groups before the treatment and after the end of the treatment (137.44 ± 18.28 vs 136.57 ± 19.74 N · m/kg, $t = 0.152$, $P = 0.880$; 189.08 ± 20.49 vs 191.45 ± 21.23 N · m/kg, $t = 0.377$, $P = 0.708$). The PT/BW of knee extensor muscles of the male patients increased after the end of the treatment compared to pretreatment in the 2 groups ($t = 17.146$, $P = 0.000$; $t = 14.571$, $P = 0.000$). There was no statistical difference in PT/BW of knee flexor muscles of the male patients between the 2 groups before the treatment and after the end of the treatment (77.36 ± 10.12 vs 78.59 ± 11.09 N · m/kg, $t = 0.385$, $P = 0.702$; 124.01 ± 15.20 vs 127.11 ± 14.17 N · m/kg, $t = 0.698$, $P = 0.489$). The PT/BW of knee flexor muscles of the male patients increased after the end of the treatment compared to pretreatment in the 2 groups ($t = 21.154$, $P = 0.000$; $t = 23.171$, $P = 0.000$). There was no statistical difference in PT/BW of knee extensor muscles of the female patients between the 2 groups before the treatment and after the end of the treatment (94.04 ± 11.26 vs 92.75 ± 12.44 N · m/kg, $t = 0.325$, $P = 0.747$; 127.74 ± 16.42 vs 131.06 ± 18.03 N · m/kg, $t = 0.575$, $P = 0.569$). The PT/BW of knee exten-

sor muscles of the female patients increased after the end of the treatment compared to pretreatment in the 2 groups ($t = 18.460, P = 0.000$; $t = 11.971, P = 0.000$). There was no statistical difference in PT/BW of knee flexor muscles of the female patients between the 2 groups before the treatment and after the end of the treatment (50.91 ± 4.17 vs 49.89 ± 4.92 N · m/kg, $t = 0.667, P = 0.509$; 80.01 ± 10.67 vs 82.36 ± 11.04 N · m/kg, $t = 0.648, P = 0.522$). The PT/BW of knee flexor muscles of the female patients increased after the end of the treatment compared to pretreatment in the 2 groups ($t = 19.954, P = 0.000$; $t = 21.125, P = 0.000$). ③ There was no statistical difference in F/E of the male patients between the 2 groups before the treatment (57.16 ± 4.13 vs $56.98 \pm 3.98\%$, $t = 0.147, P = 0.884$). The F/E of the male patients increased after the end of the treatment compared to pretreatment in the 2 groups ($t = 21.716, P = 0.000$; $t = 13.527, P = 0.000$), and it was smaller in centripetal training group compared with that of centrifugal training group (65.56 ± 4.58 vs $68.21 \pm 4.01\%$, $t = 2.033, P = 0.048$). There was no statistical difference in F/E of the female patients between the 2 groups before the treatment and after the end of the treatment (55.96 ± 3.93 vs $54.08 \pm 4.56\%$, $t = 1.317, P = 0.197$; 63.06 ± 4.19 vs $63.80 \pm 5.01\%$, $t = 0.477, P = 0.636$). The F/E of the female patients increased after the end of the treatment compared to pretreatment in the 2 groups ($t = 22.116, P = 0.000$; $t = 16.271, P = 0.000$). ④ No serious adverse events occurred in the 2 groups during the test. **Conclusion:** Both isokinetic centripetal muscle strength training and isokinetic centrifugal muscle strength training can effectively enhance the knee flexor/extensor muscle strength after ACLR with high safety, and there is no significant difference between the two training modes in muscle strength improvement effects. The isokinetic centrifugal muscle strength training has certain advantage in improving F/E of knee flexor/extensor muscles of male patients compared to isokinetic centripetal muscle strength training and it may be more conducive to the recovery of knee stability.

Keywords anterior cruciate ligament reconstruction; strength training; isokinetic muscle strength test; concentric contraction; eccentric contraction; clinical trial

前交叉韧带 (anterior cruciate ligament, ACL) 断裂是临床常见的膝关节损伤, 此类损伤采用膝关节镜下重建术治疗已达成共识^[1]。但 ACL 重建术后常伴有患肢肌肉快速萎缩、肌力下降, 从而影响膝关节功能恢复。膝关节周围肌群的肌力训练是 ACL 重建术后康复的重要环节。等速肌力测试与训练在增强肌力方面的作用已得到广泛认同^[2-5]。等速肌力训练包括向心和离心 2 种训练模式, 而目前有关这 2 种训练模式对于 ACL 重建术后膝关节周围肌群肌力改善效果的比较研究较少。为此, 本研究比较了等速向心肌力训练和等速离心肌力训练对 ACL 重建术后膝关节屈伸肌群肌力的影响, 现总结报告如下。

1 临床资料

1.1 一般资料 选取 2019 年 1 月至 2021 年 4 月在深圳平乐骨伤科医院 (深圳市坪山区中医院) 接受 ACL 重建术后继续在门诊进行康复治疗的患者进行研究。试验方案经医院医学伦理委员会审查通过。

1.2 纳入标准 ①因 ACL 断裂在深圳平乐骨伤科医院 (深圳市坪山区中医院) 接受关节镜下 ACL 重建术治疗的患者, 手术由同一组医生完成, 且均采用自体肌腱单骨道移植; ②自 ACL 重建术后第 1 天开始接受过 3 个月相同的常规康复治疗, 治疗方法均包括支具保护、中频脉冲电疗、渐进式肌力训练、关节活动度训练、本体感觉训练、平衡功能训练等; ③年龄

18 ~ 60 岁; ④首次发病, 受伤至手术时间 < 3 个月; ⑤ 3 个月 < ACL 重建术至入组时间 < 6 个月; ⑥ 120° < 膝关节主动屈曲活动度 < 150° , 膝关节主动伸直不受限; ⑦同意参与本研究, 签署知情同意书。

1.3 排除标准 ①膝关节多发韧带损伤者; ②合并下肢骨折、神经损伤者; ③ACL 重建术后发生感染者; ④近期曾服用营养肌肉药物或接受试验方案以外的其他康复治疗者; ⑤妊娠或哺乳期妇女; ⑥合并心、脑、肺、肝、肾等的原发性疾病者; ⑦精神病患者。

2 方法

2.1 病例分组 采用随机数字表将符合要求的患者随机分为向心训练组和离心训练组。

2.2 康复治疗 等速肌力训练开始前先进行功率自行车 (无阻力) 训练 5 min, 并指导患者拉伸股四头肌和腘绳肌各 3 次, 每次 15 s。2 组患者均采用 TUR ISOFORCE 等速肌力评估训练系统 (德国 TUR 公司), 选用连续运动模式, 向心训练组进行向心 - 向心训练, 离心训练组进行离心 - 离心训练; 2 组等速训练角速度谱均为 $45^\circ \cdot s^{-1}$ 、 $65^\circ \cdot s^{-1}$ 、 $85^\circ \cdot s^{-1}$ 、 $105^\circ \cdot s^{-1}$ 、 $105^\circ \cdot s^{-1}$ 、 $85^\circ \cdot s^{-1}$ 、 $65^\circ \cdot s^{-1}$ 、 $45^\circ \cdot s^{-1}$; 在每个角速度下各训练 1 组 (膝关节屈伸 10 次), 每组训练结束后休息 1 min, 然后开始下一个角速度训练; 全速度谱完整训练 1 次为 1 个训练单位, 每个训练单位间休息 3 min, 每次训练共进行 2 个

训练单位。训练过程中指导患者以无代偿方式尽可能用最大力量和最快速度伸展和屈曲膝关节。训练结束后指导患者拉伸股四头肌和腘绳肌各 3 次,每次 15 s。2 组患者均隔日训练 1 次,每周训练 3 次,共训练 8 周。

2.3 疗效及安全性评价 疗效及安全性均由同一名治疗师观察评估,疗效评价者不清楚患者的具体分组情况。采用 TUR ISOFORCE 等速肌力评估训练系统测定患者的膝关节屈伸肌群峰力矩 (peak torque, PT), 并利用系统自动计算膝关节屈伸肌群峰力矩与体质量比值 (peak torque/body weight, PT/BW) 和膝关节屈伸肌群峰力矩比值 (flexor/extensor, F/E); 测试时角速度谱为 $50(^{\circ}) \cdot s^{-1}$ 、 $70(^{\circ}) \cdot s^{-1}$ 、 $90(^{\circ}) \cdot s^{-1}$; 统一采用膝关节屈伸肌群向心-向心交互收缩的连续运动评估模式,在每个角速度下各训练 1 组(膝关节屈伸 10 次),每组训练结束后休息 1 min,然后开始下一个角速度训练。详细记录试验过程中出现的不良事件。

2.4 数据统计 采用 SPSS20.0 软件进行数据统计分析。2 组患者性别、患膝侧别的组间比较均采用 χ^2 检验,年龄、体质量、受伤至手术时间、手术至入组时

间的组间比较均采用 t 检验,膝关节屈伸肌群 PT、PT/BW、F/E 的组间和组内比较均采用 t 检验。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

3 结果

3.1 分组结果 共纳入 80 例患者,每组各 40 例。2 组患者的基线资料比较,差异无统计学意义,有可比性(表 1)。

3.2 疗效及安全性评价结果

3.2.1 膝关节屈伸肌群 PT 2 组男性患者治疗前和治疗结束后的膝关节伸肌群 PT 比较,组间差异均无统计学意义;治疗结束后 2 组男性患者的膝关节伸肌群 PT 均较治疗前增大(表 2)。2 组男性患者治疗前和治疗结束后的膝关节屈肌群 PT 比较,组间差异均无统计学意义;治疗结束后 2 组男性患者的膝关节屈肌群 PT 均较治疗前增大(表 3)。2 组女性患者治疗前和治疗结束后的膝关节伸肌群 PT 比较,组间差异均无统计学意义;治疗结束后 2 组女性患者的膝关节伸肌群 PT 均较治疗前增大(表 4)。2 组女性患者治疗前和治疗结束后的膝关节屈肌群 PT 比较,组间差异均无统计学意义;治疗结束后 2 组女性患者的膝关节屈肌群 PT 均较治疗前增大(表 5)。

表 1 2 组前交叉韧带重建术后患者的基线资料

组别	样本量/ 例	性别/例		年龄/ ($\bar{x} \pm s$, 岁)	患膝侧别/例		体质量/($\bar{x} \pm s$, kg)		受伤至手术时 间/($\bar{x} \pm s$, d)	手术至入组时 间/($\bar{x} \pm s$, d)
		男	女		左膝	右膝	男	女		
向心训练组	40	23	17	28.45 ± 6.43	25	15	62.33 ± 10.34	51.23 ± 5.62	20.34 ± 4.51	127.89 ± 21.97
离心训练组	40	21	19	29.56 ± 5.92	23	17	64.47 ± 9.87	50.39 ± 5.12	19.45 ± 5.15	124.55 ± 29.47
检验统计量		$\chi^2=0.202$		$t=0.803$	$\chi^2=0.208$		$t=0.947$	$t=0.699$	$t=0.822$	$t=0.575$
P 值		0.653		0.424	0.648		0.347	0.487	0.4134	0.567

表 2 2 组男性前交叉韧带重建术后患者康复治疗前后的膝关节伸肌群峰力矩

组别	样本量/例	膝关节伸肌群峰力矩/($\bar{x} \pm s$, N · m)		t 值	P 值
		治疗前	治疗结束后		
向心训练组	23	85.45 ± 10.45	118.37 ± 12.45	13.496	0.000
离心训练组	21	88.12 ± 9.96	123.78 ± 13.39	12.207	0.000
t 值		0.866	1.389		
P 值		0.392	0.172		

表 3 2 组男性前交叉韧带重建术后患者康复治疗前后的膝关节屈肌群峰力矩

组别	样本量/例	膝关节屈肌群峰力矩/($\bar{x} \pm s$, N · m)		t 值	P 值
		治疗前	治疗结束后		
向心训练组	23	48.93 ± 8.47	78.56 ± 10.25	11.616	0.000
离心训练组	21	50.23 ± 9.17	83.69 ± 11.36	14.325	0.000
t 值		0.489	1.575		
P 值		0.628	0.123		

3.2.2 膝关节屈伸肌群 PT/BW 2 组男性患者治疗前和治疗结束后的膝关节伸肌群 PT/BW 比较,组间差异均无统计学意义;治疗结束后 2 组男性患者的膝关节伸肌群 PT/BW 均较治疗前增大(表 6)。2 组男性患者治疗前和治疗结束后的膝关节屈肌群 PT/BW 比较,组间差异均无统计学意义;治疗结束后 2 组男性患者的膝关节屈肌群 PT/BW 均较治疗前增大(表 7)。2 组女性患者治疗前和治疗结束后的膝关节伸肌群 PT/BW 比较,组间差异均无统计学意义;治疗结束后 2 组女性患者的膝关节伸肌群 PT/BW 均较治疗前增大(表 8)。2 组女性患者治疗前和治疗结束后

的膝关节屈肌群 PT/BW 比较,组间差异均无统计学意义;治疗结束后 2 组女性患者的膝关节屈肌群 PT/BW 均较治疗前增大(表 9)。

3.2.3 膝关节 F/E 2 组男性患者治疗前的 F/E 比较,差异无统计学意义;治疗结束后,2 组男性患者的 F/E 均较治疗前增大,向心训练组男性患者的 F/E 低于离心训练组男性患者(表 10)。2 组女性患者治疗前和治疗结束后的 F/E 比较,组间差异均无统计学意义;治疗结束后 2 组女性患者的 F/E 均较治疗前增大(表 11)。

表 4 2 组女性前交叉韧带重建术后患者康复治疗前后的膝关节伸肌群峰力矩

组别	样本量/例	膝关节伸肌群峰力矩/ $(\bar{x} \pm s, N \cdot m)$		<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
		治疗前	治疗结束后		
向心训练组	17	48.16 ± 7.43	65.38 ± 9.96	17.556	0.000
离心训练组	19	46.72 ± 8.16	66.07 ± 10.33	10.907	0.000
<i>t</i> 值		0.551	0.204		
<i>P</i> 值		0.585	0.840		

表 5 2 组女性前交叉韧带重建术后患者康复治疗前后的膝关节屈肌群峰力矩

组别	样本量/例	膝关节屈肌群峰力矩/ $(\bar{x} \pm s, N \cdot m)$		<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
		治疗前	治疗结束后		
向心训练组	17	26.93 ± 5.47	41.84 ± 6.25	18.816	0.000
离心训练组	19	25.26 ± 6.17	42.19 ± 8.06	13.585	0.000
<i>t</i> 值		0.855	0.144		
<i>P</i> 值		0.399	0.886		

表 6 2 组男性前交叉韧带重建术后患者康复治疗前后的膝关节伸肌群峰力矩与体质量比值

组别	样本量/例	膝关节伸肌群峰力矩与体质量比值/ $[\bar{x} \pm s, (N \cdot m) \cdot kg^{-1}]$		<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
		治疗前	治疗结束后		
向心训练组	23	137.44 ± 18.28	189.08 ± 20.49	17.146	0.000
离心训练组	21	136.57 ± 19.74	191.45 ± 21.23	14.571	0.000
<i>t</i> 值		0.152	0.377		
<i>P</i> 值		0.880	0.708		

表 7 2 组男性前交叉韧带重建术后患者康复治疗前后的膝关节屈肌群峰力矩与体质量比值

组别	样本量/例	膝关节屈肌群峰力矩与体质量比值/ $[\bar{x} \pm s, (N \cdot m) \cdot kg^{-1}]$		<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
		治疗前	治疗结束后		
向心训练组	23	77.36 ± 10.12	124.01 ± 15.20	21.154	0.000
离心训练组	21	78.59 ± 11.09	127.11 ± 14.17	23.171	0.000
<i>t</i> 值		0.385	0.698		
<i>P</i> 值		0.702	0.489		

表 8 2 组女性前交叉韧带重建术后患者康复治疗前后的膝关节伸肌群峰力矩与体质量比值

组别	样本量/例	膝关节伸肌群峰力矩与体质量比值/ $[\bar{x} \pm s, (N \cdot m) \cdot kg^{-1}]$		<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
		治疗前	治疗结束后		
向心训练组	17	94.04 ± 11.26	127.74 ± 16.42	18.460	0.000
离心训练组	19	92.75 ± 12.44	131.06 ± 18.03	11.971	0.000
<i>t</i> 值		0.325	0.575		
<i>P</i> 值		0.747	0.569		

表 9 2 组女性前交叉韧带重建术后患者康复治疗前后的膝关节屈肌群峰力矩与体质量比值

组别	样本量/例	膝关节屈肌群峰力矩与体质量比值/ $(\bar{x} \pm s, (N \cdot m) \cdot kg^{-1})$		<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
		治疗前	治疗结束后		
向心训练组	17	50.91 ± 4.17	80.01 ± 10.67	19.954	0.000
离心训练组	19	49.89 ± 4.92	82.36 ± 11.04	21.125	0.000
<i>t</i> 值		0.667	0.648		
<i>P</i> 值		0.509	0.522		

表 10 2 组男性前交叉韧带重建术后患者康复治疗前后的膝关节屈伸肌群峰力矩比值

组别	样本量/例	膝关节屈伸肌群峰力矩比值/ $(\bar{x} \pm s, \%)$		<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
		治疗前	治疗结束后		
向心训练组	23	57.16 ± 4.13	65.56 ± 4.58	21.716	0.000
离心训练组	21	56.98 ± 3.98	68.21 ± 4.01	13.527	0.000
<i>t</i> 值		0.147	2.033		
<i>P</i> 值		0.884	0.048		

表 11 2 组女性前交叉韧带重建术后患者康复治疗前后的膝关节屈伸肌群峰力矩比值

组别	样本量/例	膝关节屈伸肌群峰力矩比值/ $(\bar{x} \pm s, \%)$		<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
		治疗前	治疗结束后		
向心训练组	17	55.96 ± 3.93	63.06 ± 4.19	22.116	0.000
离心训练组	19	54.08 ± 4.56	63.80 ± 5.01	16.271	0.000
<i>t</i> 值		1.317	0.477		
<i>P</i> 值		0.197	0.636		

3.2.4 不良事件 2 组患者试验过程中均未发生严重不良事件。

4 讨论

膝关节周围肌群肌力恢复是 ACL 重建术后康复的一项重要内容,对于患者恢复运动能力和预防 ACL 二次损伤都有重要意义^[6-8]。ACL 重建术后早期的常规肌力训练是为了预防下肢肌肉进一步萎缩,后期高负荷的抗阻训练才是增强肌力的有效方法。等速肌力训练具有高效、安全、对疼痛和疲劳的良好适应性以及在高速运动时关节压力下降和有利于关节营养等优点^[9]。等速肌力训练应用于 ACL 重建术后肌力训练模式的选择目前仍存在争议。向心肌力训练模式在单一的高强度训练中,ACL 或移植物无法维持适宜的张力范围,术后早期容易造成二次损伤^[10-11]。Baroni 等^[12]的研究显示,离心性收缩同样能有效改善肌力,提高神经肌肉控制能力。曹峰锐^[13]的研究表明,提高腘绳肌离心收缩峰力矩与股四头肌向心收缩峰力矩的比值,对于预防比赛中腘绳肌发生运动性拉伤以及 ACL 损伤具有重要意义。章闻捷等^[14]的研究显示,针对腘绳肌进行等速离心肌力训练能改善 ACL 重建术后屈膝肌力,改善膝关节功能。相比向心肌力训练,离心肌力训练可获得更大的肌力^[15],但也存在一定损伤风险^[16]。

膝关节屈伸肌群 PT 是膝关节屈伸运动过程中最大力矩的输出值,代表着膝关节屈伸肌群的最大肌力。PT/BW 考虑了个体差异对 PT 的影响,代表单位体质量的峰力矩。F/E 为膝关节屈肌群与伸肌群峰力矩的比值,以往的文献中多采用腘绳肌与股四头肌肌力比值(hamstring/quadriceps, H/Q)表示,但这种表述方式与等速肌力测试系统的实际测定结果并不完全相符,因此我们认为采用 F/E 指代该指标更为准确;该指标是评价膝关节屈伸肌群肌力平衡的重要指标,对判断膝关节稳定性具有重要意义^[17-18];以往的研究显示,不同人群的 H/Q 一般在 50% ~ 60%^[19]。

本研究的结果显示,等速向心肌力训练和等速离心肌力训练均能有效改善 ACL 重建术后膝关节屈伸肌群肌力,2 种训练模式对于改善上述指标并无明显差异。等速离心肌力训练在改善男性患者 F/E 方面,相比等速向心肌力训练具有一定优势,但在女性患者中并未显示出优势。这可能与肌肉疲劳度的性别差异^[20]或样本量有关,具体原因还有待深入研究。本次研究中无患者出现严重不良事件,说明等速肌力训练对于 ACL 重建术后患者肌力恢复是一种较为安全的训练方式。本研究将 2 组中的男女患者分开进行统计分析,一方面是基于不同性别患者的峰力矩差异较大,另一方面等速肌力训练后的肌肉疲劳可能存在

一定的性别差异。

本研究的结果提示,等速向心力训练和等速离心肌力训练均能有效增强 ACL 重建术后患者的膝关节屈伸肌群肌力,而且安全性较高,2 种训练模式提升肌力的效果无明显差异;与等速向心力训练相比,等速离心肌力训练在改善男性患者膝关节屈伸肌群肌力比值方面具有一定优势,可能更有利于促进膝关节稳定性的恢复。本研究存在训练模式单一、样本量小、未与健侧数据对比、随访时间短等问题,以后还需针对这些问题进一步完善试验方案,不断探索和优化 ACL 重建术后的等速肌力训练方案。

参考文献

- [1] 余家阔. 膝关节损伤的关节镜手术治疗[J]. 中医正骨, 2013, 25(9): 3-9.
- [2] 严文, 黄文柱, 王志军, 等. 不同角速度膝关节骨性关节炎患者膝屈伸肌群等速肌力研究[J]. 广东医学, 2017, 38(12): 1852-1855.
- [3] 侯来永, 徐瑞泽, 唐学章, 等. 推拿结合等速肌力训练治疗膝关节骨性关节炎临床疗效研究[J]. 中国康复医学杂志, 2019, 34(5): 551-555.
- [4] 杜建平, 任薇, 夏能能, 等. 等速肌力训练对改善膝骨关节炎肌肉功能的 Meta 分析[J]. 中国康复, 2020, 35(11): 594-599.
- [5] 张明宇, 张亮, 郑江, 等. 前交叉韧带重建术后运动员等速肌力训练的研究[J]. 实用骨科杂志, 2016, 22(12): 1080-1082.
- [6] SCHILATY N D, BATES N A, SANDERS T L, et al. Incidence of second anterior cruciate ligament tears (1990-2000) and associated factors in a specific geographic locale[J]. Am J Sports Med, 2017, 45(7): 1567-1573.
- [7] BURIGO R L, SCOZ R D, ALVES B, et al. Concentric and eccentric isokinetic hamstring injury risk among 582 professional elite soccer players: a 10-years retrospective cohort study[J]. BMJ Open Sport Exerc Med, 2020, 6(1): e000868.
- [8] DAUTY M, EDOUARD P, MENU P, et al. Isokinetic quadriceps symmetry helps in the decision to return to running after anterior cruciate ligament reconstruction[J]. Ann Phys Rehabil Med, 2021, 65(4): 101543.
- [9] 俞晓杰, 吴毅, 白玉龙, 等. 等速向心和离心肌力训练治疗膝关节骨性关节炎患者的有效性研究[J]. 中国康复医学杂志, 2007, 22(11): 985-988.
- [10] SKVORTSOV D, KAURKIN S, NAKHPASHEV A A, et al. Gait analysis and knee kinematics in patients with anterior cruciate ligament rupture: before and after reconstruction[J]. Applied Sciences, 2020, 10(10): 3378.
- [11] KINIKLI G I, YÜKSEL I, BALTACI G, et al. The effect of progressive eccentric and concentric training on functional performance after autogenous hamstring anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled study[J]. Acta Orthop Traumatol Turc, 2014, 48(3): 283-289.
- [12] BARONI B M, RODRIGUES R, FRANKE R A, et al. Time course of neuromuscular adaptations to knee extensor eccentric training[J]. Int J Sports Med, 2013, 34(10): 904-911.
- [13] 曹峰锐. “腘绳肌离心收缩力矩/股四头肌向心收缩力矩”在预防腘绳肌运动性拉伤和膝关节前交叉韧带损伤方面的应用[J]. 中国体育科技, 2017, 53(2): 43-52.
- [14] 章闻捷, 叶祥明, 张大威, 等. 腘绳肌等速离心训练对前交叉韧带重建术后膝关节功能的影响[J]. 中国运动医学杂志, 2017, 36(9): 805-809.
- [15] 许智勇, 殷鑫, 黄强年, 等. 离心运动的特征和急性反应[J]. 中国组织工程研究, 2018, 22(16): 2607-2612.
- [16] ENGEL T, SCHRAPLAU A, WOCHATZ M, et al. Feasibility of an eccentric isokinetic protocol to induce trunk muscle damage: a pilot study[J]. Sports Med Int Open, 2022, 6(1): E9-E17.
- [17] GAO Z, CHENG L, ZHOU J, et al. Study of isokinetic strength training's rehabilitating effects on elite athletes after knee joint ACL reconstruction surgery[J]. International Journal of Experimental and Computational Biomechanics, 2018, 4(2/3): 209.
- [18] O'DONNELL S R, EITAN D N, ROPER J L. A comparison of quadriceps-to-hamstrings ratios during isokinetic testing, cutting, and drop landings in male soccer players[J]. Int J Exerc Sci, 2020, 13(4): 157-166.
- [19] THOMPSON X D, BRUCE A, HART J M. Force velocity modulation differences during isokinetic and isometric extension between ACL reconstructed and healthy knees: 1339[J]. Medicine and Science in Sports and Exercise, 2021, 53(8S): 440-441.
- [20] 苏雄兵. 屈伸肌峰力矩比值测试和等速运动训练在膝关节损伤后康复中的应用[J]. 中医正骨, 2010, 22(2): 19-21.

(收稿日期: 2021-12-20 本文编辑: 李晓乐)