

# 电子生物反馈技术结合渐进抗阻训练在前交叉韧带重建术后股内侧肌肌力训练中的应用

李克军, 蒋拥军, 何梦凡

(深圳平乐骨伤科医院, 广东 深圳 518010)

**摘要** 目的: 观察电子生物反馈技术结合渐进抗阻训练对前交叉韧带 (anterior cruciate ligament, ACL) 重建术后股内侧肌肌力的影响。方法: 选取 60 例因 ACL 损伤接受关节镜下自体腘绳肌腱单骨道重建术治疗的患者, 随机分为电子反馈组和抗阻训练组, 每组 30 例。术后 2 组患者均接受 8 周常规康复治疗, 然后开始进行渐进抗阻训练。开始训练前测定 2 组患者重复完成 10 次膝关节  $30^{\circ} \sim 0^{\circ}$  伸屈动作所能承受的最大负荷量 (repetition maximum, RM), 即 10RM, 作为抗阻训练的基数。抗阻训练组单纯进行渐进抗阻训练, 电子反馈组应用电子生物反馈技术进行渐进抗阻训练, 每次训练 3 组, 隔天 1 次, 共训练 4 周。测定 2 组患者肌力训练前和训练 4 周后患侧股内侧肌 10RM 和股内侧肌静态表面肌电活动波幅, 并进行组间比较。结果: 肌力训练前 2 组患者的股内侧肌 10RM 和静态表面肌电活动波幅比较, 组间差异均无统计学意义 ( $t=0.851, P=0.124; t=0.845, P=0.513$ )。训练 4 周后 2 组患者的股内侧肌 10RM 均增大 [ $(15.26 \pm 3.75) \text{ kg}, (26.68 \pm 4.13) \text{ kg}, t=2.695, P=0.024; (14.75 \pm 4.67) \text{ kg}, (27.26 \pm 3.54) \text{ kg}, t=2.564, P=0.032$ ], 2 组患者的股内侧肌 10RM 比较, 差异无统计学意义 ( $t=0.814, P=0.077$ )。训练 4 周后 2 组患者的股内侧肌静态表面肌电活动波幅均增大 [ $(1.46 \pm 0.42) \mu\text{V}, (4.91 \pm 2.17) \mu\text{V}, t=2.813, P=0.011; (1.39 \pm 0.57) \mu\text{V}, (2.15 \pm 1.47) \mu\text{V}, t=2.143, P=0.042$ ], 电子反馈组的股内侧肌静态表面肌电活动波幅高于抗阻训练组 ( $t=0.530, P=0.012$ )。结论: 与单纯渐进抗阻训练相比, 在前交叉韧带重建术后应用电子生物反馈技术结合渐进抗阻训练, 能更好地增强股内侧肌肌力。

**关键词** 前交叉韧带重建; 生物反馈; 抗阻训练; 肌力; 股内侧肌; 临床试验

## Application of electronic biofeedback technique and progressive resistance training to vastus medialis muscle strength training after surgery of anterior cruciate ligament reconstruction

LI Kejun, JIANG Yongjun, He Mengfan

Shenzhen Pingle Orthopedic Hospital, Shenzhen 518010, Guangdong, China

**ABSTRACT Objective:** To observe the effect of electronic biofeedback technique combined with progressive resistance training on vastus medialis muscle strength after surgery of anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction. **Methods:** Sixty patients who received arthroscopic ACL reconstruction with autogenous hamstring tendon through single bone tunnel were selected and randomly divided into electronic biofeedback group and resistance training group, 30 cases in each group. After the surgery, the patients in both of the 2 groups were treated with 8-week routine rehabilitation and subsequent progressive resistance training. The maximal workload were measured when repeated flexion-extension ( $30^{\circ}$  to  $0^{\circ}$ ) of knee were performed for 10 times, and was used as basic data of resistance training. The progressive resistance training were performed in patients in resistance training group while progressive resistance training were performed under the guidance of electronic biofeedback technique in patients in electronic biofeedback group on alternate days for totally 4 weeks. The repetition maximum (10RM) and wave amplitude of static superficial myoelectrical activity of vastus medialis muscle (VMO) in the affected side were measured and compared between the 2 groups before the muscle strength training and after 4-week muscle strength training respectively. **Results:** There was no statistical difference in 10RM and wave amplitude of static superficial myoelectrical activity of VMO between the 2 groups before the muscle strength training ( $t=0.851, P=0.124; t=0.845, P=0.513$ ). The 10RM of VMO increased in both of the 2 groups after 4-week muscle training ( $15.26 \pm 3.75$  vs  $26.68 \pm 4.13 \text{ kg}, t=2.695, P=0.024; 14.75 \pm 4.67$  vs  $27.26 \pm 3.54 \text{ kg}, t=2.564, P=0.032$ ). There was no statistical difference in the 10RM of VMO between the 2 groups ( $t=0.814, P=0.077$ ). The wave amplitude of static superficial myoelectrical activity of VMO increased in both of the 2 groups after 4-week muscle strength training ( $1.46 \pm 0.42$  vs  $4.91 \pm 2.17 \mu\text{V}, t=2.813, P=0.011; 1.39 \pm 0.57$  vs  $2.15 \pm 1.47 \mu\text{V}, t=2.143, P=0.042$ ). The wave amplitude of static superficial myoelectrical activity of VMO were higher in electronic biofeedback group compared to resistance training group ( $t=0.530, P=$

0.012). **Conclusion:** Progressive resistance training under the guidance of electronic biofeedback technique can better enhance the muscle strength of VMO after ACL reconstruction.

**Key words** anterior cruciate ligament reconstruction; biofeedback; resistance training; muscle strength; vastus medialis; clinical trial

前交叉韧带(anterior cruciate ligament, ACL)是膝关节重要的前向稳定结构,在我国现役运动员中 ACL 断裂的发病率为 0.43%<sup>[1-2]</sup>。关节镜下重建是改善 ACL 断裂后膝关节不稳的根本解决方法<sup>[3]</sup>,而术后患肢肌力的恢复是康复治疗的主要目标之一。渐进抗阻训练是肌力训练的常用方法,近年来我们在临床中进一步将电子生物反馈技术与渐进抗阻训练相结合,用于 ACL 重建术后下肢肌力训练,本研究对该技术的临床疗效进行了系统观察,现总结报告如下。

## 1 临床资料

**1.1 一般资料** 纳入研究的患者共 60 例,均为 2015 年 1—12 月因单侧 ACL 损伤接受关节镜下自体腘绳肌腱单骨道重建术<sup>[4-5]</sup>治疗的患者。采用随机数字表将纳入研究的患者随机分为电子反馈组和抗阻训练组,每组 30 例。2 组患者基线资料比较,差异无统计学意义,有可比性(表 1)。试验方案经过医院伦理委员会审核通过。

表 1 2 组 ACL 重建术后患者基线资料比较

组别	例数	性别(例)		年龄 ( $\bar{x} \pm s$ , 岁)
		男	女	
电子反馈组	30	15	15	23 ± 11
抗阻训练组	30	15	15	25 ± 10
检验统计量		$\chi^2 = 0.000$		$t = 1.285$
P 值		1.000		0.204

**1.2 诊断标准** 采用《中医骨伤科常见病诊疗指南》中膝关节前交叉韧带损伤的诊断标准<sup>[6]</sup>。

**1.3 纳入标准** ①符合上述诊断标准;②年龄 18 ~ 35 岁;③单侧 ACL 损伤;④采用关节镜下自体腘绳肌腱单骨道重建术治疗;⑤术后未发生感染;⑥同意参与本研究,签署知情同意书。

**1.4 排除标准** ①合并侧副韧带和(或)半月板损伤者;②合并后交叉韧带损伤者;③合并膝关节退行性变者。

## 2 方法

**2.1 肌力训练方法** 术后 2 组患者均接受 8 周常规康复治疗,然后开始进行渐进抗阻训练。开始训练前测定 2 组患者重复完成 10 次膝关节 30° ~ 0° 伸屈开

链动作所能承受的最大负荷量(repetition maximum, RM),即 10RM,并以此作为抗阻训练的基数。训练时患者坐在可升降起立床上,将弹力带的一端绑在患侧踝部,另一端固定在起立床下支撑杆上,使患侧膝关节完成 30° ~ 0° 伸屈开链动作,每次达到伸膝最大角度维持 10 s,然后缓慢放松,每组 10 次,共进行 3 组。第 1 组训练时按 10RM 的 1/2 选取相应弹力的弹力带(JOINFIT 公司生产),第 2 组训练时按 10RM 的 3/4 选取弹力带,第 3 组训练时按 10RM 选取弹力带。每次训练 3 组,隔天 1 次,共训练 4 周,每周训练前均重新测定 1 次 10RM,作为本周抗阻训练的基数。

抗阻训练组单纯进行渐进抗阻训练,电子反馈组应用电子生物反馈技术进行渐进抗阻训练。训练时在患肢小腿外侧固定电子传感器,通过蓝牙设备与电脑连接,设置训练角度范围为 30° ~ 0°,选取飞机捕获训练模块进行渐进抗阻训练。电子生物反馈设备为章和电气公司生产的 Biomaster-01 虚拟情景互动评估与训练系统。

**2.2 疗效评定方法** 测定 2 组患者肌力训练前和训练 4 周后的股内侧肌 10RM,并应用 MyoMove-DOW/EOW-14006 表面肌电图仪测定患侧股内侧肌静态表面肌电活动波幅。

**2.3 数据统计分析方法** 采用 SPSS 16.0 软件进行数据统计分析。2 组性别的组间比较采用  $\chi^2$  检验,年龄、训练前后股内侧肌 10RM 及股内侧肌静态表面肌电活动波幅的组间比较均采用两独立样本  $t$  检验,2 组训练前后股内侧肌 10RM、肌静态表面肌电活动波幅的组内比较均采用配对  $t$  检验,检验水准  $\alpha = 0.05$ 。

## 3 结果

肌力训练前 2 组患者的股内侧肌 10RM 和静态表面肌电活动波幅比较,组间差异均无统计学意义。训练 4 周后 2 组患者的股内侧肌 10RM 均增大,2 组患者的股内侧肌 10RM 比较,差异无统计学意义。训练 4 周后 2 组患者的股内侧肌静态表面肌电活动波幅均增大,电子反馈组的股内侧肌静态表面肌电活动波幅高于抗阻训练组。见表 2、表 3。

表 2 2 组 ACL 重建术后患者肌力训练前后股内侧肌 10RM  $\bar{x} \pm s$ , kg

组别	例数	训练前	训练 4 周后	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
电子反馈组	30	15.26 ± 3.75	26.68 ± 4.13	2.695	0.024
抗阻训练组	30	14.75 ± 4.67	27.26 ± 3.54	2.564	0.032
<i>t</i> 值		0.851	0.814		
<i>P</i> 值		0.124	0.077		

表 3 2 组 ACL 重建术后患者肌力训练前后股内侧肌静态表面肌电活动波幅  $\bar{x} \pm s$ ,  $\mu V$

组别	例数	训练前	训练 4 周后	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
电子反馈组	30	1.46 ± 0.42	4.91 ± 2.17	2.813	0.011
抗阻训练组	30	1.39 ± 0.57	2.15 ± 1.47	2.143	0.042
<i>t</i> 值		0.845	0.530		
<i>P</i> 值		0.513	0.012		

## 4 讨论

患肢肌力下降,股四头肌萎缩是 ACL 重建术后常见的并发症,严重影响患者的活动能力<sup>[7-8]</sup>。有效的股四头肌肌力训练是 ACL 重建术后康复方案中不可或缺的一环<sup>[9-10]</sup>。ACL 重建术后患者下肢肌力下降主要以膝关节伸膝肌力降低为主<sup>[11]</sup>,而膝关节屈伸肌力不平衡会导致关节面内负荷分布不均衡,最终导致膝关节发生退行性改变。因此,ACL 重建术后伸膝肌力的恢复是恢复膝关节稳定的重要因素。股内侧肌是伸膝装置中最主要的动力来源,主要维持终末伸膝,即膝关节 30° ~ 0° 的伸直<sup>[12]</sup>,这也是我们在研究中选择这个角度进行肌力训练的原因。

抗阻运动训练可以提高肌力和肌耐力,改善器官功能和生存质量<sup>[13]</sup>。肌力练习主要采用超负荷训练原则,即肌肉在经过一段时间训练后,适应了原有的训练力量,然后再在原有的训练量上按一定的比例增加训练量,直到肌力又达到一个新的平衡,从而提高训练者的肌力<sup>[14]</sup>。渐进抗阻训练就是根据这一原则发展出的一种肌力训练方法,维持和增强肌力效果明显,由于牵拉锻炼是在无痛范围内进行,因此对肌肉造成的运动伤害也较小<sup>[15]</sup>。本研究中经过 4 周训练后,2 组患者的股内侧肌 10RM 均增高,说明渐进抗阻训练可有效提高肌力。其增强肌力的机制可能包括 2 个方面的因素:①肌肉肥大引起肌力增加;②神经调节功能改善<sup>[16]</sup>。

我们将电子生物反馈技术应用到抗阻训练中,与渐进抗阻训练相结合,通过视听信号将刺激传递给大脑,大脑下达指令到达膝关节进行伸膝动作实现神经调节的正反馈,通过神经体液调节机制更准确地主动达到规定的伸膝角度,促进神经肌肉功能恢复,以更好地募集肌肉生物电,从而最大程度地增强肌力。

徒手肌力测定和动态表面肌电信号在很大程度上会受到测试者的主观认同及主动参与状态的影响,不能客观、准确地反映肌力改善情况。静态表面肌电信号收集能很大程度上避免人为因素对测定结果的干扰,更好地评估肌力改善情况。

本研究的结果提示,与单纯渐进抗阻训练相比,在前交叉韧带重建术后应用电子生物反馈技术结合渐进抗阻训练,能更好地增强股内侧肌肌力。

## 5 参考文献

- [1] 敖英芳,于长隆,田得祥. 关节镜观察前十字韧带断裂继发膝关节软骨损伤的临床研究[J]. 中华骨科杂志, 2001, 21(5): 290 - 293.
- [2] Benjaminse A, Otten E. ACL injury prevention, more effective with a different way of motor learning? [J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2011, 19(4): 622 - 627.
- [3] 葛杰,周谋望,敖英芳,等. 关节镜下膝前交叉韧带重建术后的康复[J]. 中国康复医学杂志, 2003, 18(12): 743 - 746.
- [4] 赵双利,王世轩,李洪涛. 前交叉韧带重建术中股骨隧道定位方法的发展趋势[J]. 中医正骨, 2015, 27(1): 63 - 65.
- [5] De Luca CJ. Physiology and mathematics of myoelectric signals [J]. IEEE Trans Biomed Eng, 1979, 26(6): 313 - 325.
- [6] 中华中医药学会. 膝关节交叉韧带损伤[J]. 风湿病与关节炎, 2013, 2(5): 78 - 80.
- [7] Snyder - Mackler L, De Luca PF, Williams PR, et al. Reflex inhibition of the quadriceps femoris muscle after injury or reconstruction of the anterior cruciate ligament [J]. J Bone Joint Surg Am, 1994, 76(4): 555 - 560.
- [8] 冼祖新,杨延砚,周谋望. 关节镜下前交叉韧带重建术后股四头肌肌力训练方式的选择——开链还是闭链? [J]. 中国康复医学杂志, 2012, 27(12): 1174 - 1177.

(下转第 19 页)

收类的代表药物,在临床治疗中常作为一线用药。临床研究证实阿仑膦酸钠具有良好的增加骨密度及降低骨折风险的功效<sup>[11-12]</sup>。实验研究也证明阿仑膦酸钠可减少破骨细胞的形成、促进其凋亡,增加成骨细胞活性,促进骨折断端骨痂形成,并能改善骨折端的力学强度<sup>[13-15]</sup>。阿仑膦酸钠维 D3 片是阿仑膦酸钠与维生素 D3 的复合制剂,一方面可通过维生素促进钙吸收并保持正常骨骼的合成,另一方面又可通过阿仑膦酸钠的作用抑制破骨细胞的活性,降低骨质流失<sup>[16]</sup>。强骨饮是浙江省新华医院的经验方,在防治骨质疏松症方面有独特疗效,主要由具有补肾强骨、活血通络、补益气血等功效的中药组成,具有增加骨密度、缓解骨质疏松性骨痛的作用,有利于骨折的愈合<sup>[17-18]</sup>。

本研究结果表明,对于原发性骨质疏松性髋部骨折患者,术后应用强骨饮颗粒联合阿仑膦酸钠维 D3 片口服进行抗骨质疏松治疗,较单纯口服阿仑膦酸钠维 D3 片能更好地增加骨密度、缓解疼痛,更有利于骨折愈合,且安全可靠。

## 5 参考文献

- [1] 孙国丽,倪力刚,史晓林.运动疗法联合强骨饮口服在股骨转子间骨折术后康复中的应用[J].中医正骨,2012,24(10):29-32.
- [2] 吴连国,刘康,黄俊俊,等.强骨饮对股骨颈骨折患者人工股骨头置换术后假体周围骨密度的影响[J].中医正骨,2014,26(4):15-18.
- [3] 徐伟锋,叶健,吴连国.强骨饮对骨质疏松性股骨颈骨折患者全髋关节置换术后血清骨代谢生化指标和骨密度的影响[J].中医正骨,2015,27(2):12-16.
- [4] 何伟涛,毛应德龙,孙金谔,等.强骨饮对骨吸收参数 TRACP5b 及 Crosslaps 的影响[J].中医正骨,2009,21(12):1-3.
- [5] 史晓林.自拟强骨饮治疗骨质疏松症的 32 例临床报告[J].中国中医骨伤科杂志,2006,14(2):57-58.
- [6] 中华医学会骨质疏松和骨矿盐疾病分会.原发性骨质疏松症诊治指南(2011 年)[J].中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志,2011,4(1):2-17.
- [7] Tascioglu F, Colak O, Armagan O, et al. The treatment of osteoporosis in patients with rheumatoid arthritis receiving glucocorticoids: a comparison of alendronate and intranasal salmon calcitonin[J]. Rheumatol Int, 2005, 26(1):21-29.
- [8] 邱贵兴.老年骨质疏松性骨折的治疗策略[J].中华老年骨科与康复电子杂志,2015,1(1):1-5.
- [9] 李春雯.益气温经法对绝经后骨质疏松性髋部骨折患者骨转换指标的影响[J].中医正骨,2014,26(12):7-9.
- [10] 邱贵兴,裴福兴,胡慎明,等.中国骨质疏松性骨折诊疗指南(骨质疏松性骨折诊断及治疗原则)[J].中华骨与关节外科杂志,2015,5(5):371-374.
- [11] 赵洪.阿仑膦酸钠对骨质疏松症治疗作用的临床观察[J].齐齐哈尔医学院学报,2014,35(22):3343.
- [12] 龚建程,陈圣华,徐卫国,等.仙灵骨葆联合阿仑膦酸钠治疗肾阳亏虚型骨质疏松症的临床研究[J].中医正骨,2012,24(5):7-9.
- [13] 张钢.阿仑膦酸钠对大鼠股骨骨质疏松性骨折愈合过程的影响[D].重庆:重庆医科大学,2014.
- [14] 陈明,郑琼,方真华,等.阿仑膦酸钠对骨髓生成破骨细胞及骨吸收作用的影响[J].中国矫形外科杂志,2008,16(4):282-284.
- [15] 吴宗键,王继芳,卢世璧,等.阿仑膦酸钠对破骨细胞凋亡的影响[J].中国骨质疏松杂志,2002,8(1):58-60.
- [16] 顾联斌.福美加与福善美治疗骨质疏松症的疗效对比观察[J].中国实用医药,2015,8(8):154.
- [17] 吴连国,王定,朱彦昭,等.强骨饮治疗原发性骨质疏松症的临床研究[J].中国中医药科技,2009,16(3):167-168.
- [18] 史晓林,刘康,李胜利.自拟强骨饮治疗骨质疏松性骨痛的 44 例临床报告[J].中国中医骨伤科杂志,2007,15(2):9-10.
- [12] 童小锋.终末伸膝锻炼与膝关节的早期康复[J].临床医学,2003,23(6):63-64.
- [13] 许纲.心力衰竭患者的骨骼肌肌病与抗阻运动锻炼[J].中国康复医学杂志,2010,25(7):716-720.
- [14] 李爽,阿拉木斯,王蕾,等.渐进抗阻练习对大学生肌肉力量的影响[J].吉林体育学院学报,2012,28(4):13-15.
- [15] 陈香仙. Thera-Band 训练系统对运动员慢性腰背痛的康复效果[J].中国康复理论与实践,2008,14(6):574-576.
- [16] 蔡广,胡翔.渐进抗阻训练对偏瘫后肌力恢复的有效性[J].中国临床康复,2004,8(1):16-17.

(2016-03-14 收稿 2016-04-08 修回)

(2016-02-18 收稿 2016-03-25 修回)

(上接第 15 页)

- [9] 蒋拥军,李克军,王雪冰.平衡促进训练对膝关节前交叉韧带损伤重建术后患膝本体感觉的影响[J].中国康复医学杂志,2011,26(3):251-253.
- [10] 刘丽娟,敖丽娟.前交叉韧带重建术后的生物力学研究现状[J].中国康复医学杂志,2015,30(6):619-622.
- [11] Tsai LC, Mclean S, Colletti PM, et al. Greater muscle co-contraction results in increased tibiofemoral compressive forces in females who have undergone anterior cruciate ligament reconstruction[J]. J Orthop Res, 2012, 30(12):2007-2014.