

肌电生物反馈疗法对前交叉韧带重建术后康复效果的研究

郭杨博¹ 郭秋菱¹ 窦俊杰² 刘义豪¹

1. 中北大学体育学院, 山西 太原 030051

2. 镇江市中西医结合医院康复治疗中心, 江苏 镇江 212034

[摘要]目的: 探讨肌电生物反馈疗法在膝关节前交叉韧带(ACL)损伤重建术后康复中的应用效果。方法: 选取镇江市中西医结合医院2011年2月—2022年5月期间收治的前交叉韧带(ACL)损伤并且完成前交叉韧带重建术的患者30例, 采用随机数字表法将受试者分为对照组($n=15$, 常规术后康复训练)和实验组($n=15$, 肌电生物反馈疗法联合常规术后康复训练)。对比两组患者在8周不同方式干预前后膝关节的疼痛程度、膝关节的功能、膝关节的活动度以及患者对治疗效果的满意程度。结果: (1) 8周的干预之后, 实验对照两组的膝关节疼痛度较干预前均显著下降($P<0.05$), 膝关节的功能评分以及膝关节的活动度较干预前均显著上升(P 均 <0.05)。 (2) 经过8周的干预之后, 实验组的膝关节功能评分以及膝关节的活动度均高于对照组(P 均 <0.05), 实验组膝关节疼痛度也显著下降($P<0.05$)。结论: 肌电生物反馈疗法能够有效改善前交叉韧带重建术后患者的膝关节疼痛度、功能及活动度, 提高患者对治疗效果的满意度, 是安全、可行的康复辅助手段, 值得在临床康复中进一步推广应用。

[关键词]前交叉韧带重建; 膝关节康复; 肌电生物反馈

DOI: 10.33142/jscs.v5i6.18101

中图分类号: R687

文献标识码: A

Study on the Rehabilitation Effect of Electromyographic Biofeedback Therapy on Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Surgery

GUO Yangbo¹, GUO Qiuling¹, DOU Junjie², LIU Yihao¹

1. College of Physical Education, North University of China, Taiyuan, Shanxi, 030051, China

2. Rehabilitation Treatment Center of Zhenjiang Integrated Traditional Chinese and Western Medicine Hospital, Zhenjiang, Jiangsu, 212034, China

Abstract: Objective: to explore the application effect of electromyographic biofeedback therapy in postoperative rehabilitation of anterior cruciate ligament (ACL) injury reconstruction in the knee joint. Method: 30 patients with anterior cruciate ligament (ACL) injuries and completed anterior cruciate ligament reconstruction surgery admitted to Zhenjiang Integrated Traditional Chinese and Western Medicine Hospital from February 2011 to May 2022 were selected. The subjects were randomly divided into a control group ($n=15$, conventional postoperative rehabilitation training) and an experimental group ($n=15$, electromyographic biofeedback therapy combined with conventional postoperative rehabilitation training) using a random number table method. Compare the degree of knee joint pain, knee joint function, knee joint range of motion, and patient satisfaction with treatment outcomes between two groups of patients before and after 8 weeks of different interventions. Result: (1) After 8 weeks of intervention, the knee joint pain in both experimental control groups decreased significantly compared to before intervention ($P<0.05$), and the knee joint function score and knee joint range of motion increased significantly compared to before intervention ($P<0.05$). (2) After 8 weeks of intervention, the knee joint function score and knee joint range of motion in the experimental group were higher than those in the control group ($P<0.05$), and the knee joint pain in the experimental group also significantly decreased ($P<0.05$). Conclusion: electromyography biofeedback therapy can effectively improve knee joint pain, function, and range of motion in patients after anterior cruciate ligament reconstruction surgery, increase patient satisfaction with the treatment effect, and is a safe and feasible rehabilitation auxiliary method. It is worth further promoting and applying in clinical rehabilitation.

Keywords: anterior cruciate ligament reconstruction; knee joint rehabilitation; electromyographic biofeedback

交叉韧带(anterior cruciate ligament, ACL)是膝关节内比较重要的韧带, 它起始于股骨外侧髁的内后侧, 止于胫骨髁间嵴前部。其核心作用是限制胫骨向前移位, 同时控制膝关节的旋转。从解剖与功能角度分为前内束和后外束, 前内束主要“把守”前后稳定, 后外束则侧重旋转稳定^[1]。前交叉韧带损伤是一种常见的膝关节损伤, 占到膝

关节损伤的50%^[2]。前交叉韧带损伤会导致膝关节的不稳定以及神经肌肉控制缺陷, 从而严重影响患者的运动能力^[3]。目前前交叉韧带重建术(Anterior Cruciate Ligament Reconstruction, ACLR)是治疗ACL损伤常用的方法, 可显著提升患膝关节的稳定性, 恢复膝关节的功能并助力患者重返日常生活与社会角色^[4-5]。但是在术后会出现关节活

动度受限、疼痛、肌力下降以及肌肉萎缩等一系列问题^[6]。所以需要在术后及时介入，采取一些有效的康复治疗方式以达到最佳的治疗效果。肌电生物反馈疗法(Electromyographic Biofeedback, EMGBF)是临幊上常用的治疗手段，其先采集并放大肌肉组织的微弱电信号，再将其转化为视觉或听觉提示，患者实时接收这些信号，大脑据此不断调整指令使肌肉按照既定节律进行自主训练，从而实现对肌电活动的精准控制与功能强化^[7]。本研究讨论在常规术后康复的基础上添加肌电生物反馈疗法对前交叉韧带重建术后康复的影响，以期为 ACLR 术后患者的康复提供新的方案。

1 资料与方法

1.1 一般资料法

选取镇江市中西医结合医院 2011 年 2 月到 2022 年 5 月期间收治的前交叉韧带损伤并且完成前交叉韧带重建术的患者 30 例，将其使用随机数表法分为实验组和对照组，每组 15 例。其中对照组男性 10 例、女性 5 例，年龄平均 (27.86 ± 7.58) 岁，左膝损伤 8 例、右膝损伤 7 例。实验组男性 10 例、女性 5 例，年龄平均 (29.23 ± 7.16) 岁，左膝损伤 9 例、右膝 6 例。两组患者一般资料比较均无统计学差异 ($P > 0.05$)。纳入标准：(1) 经过磁共振成像检查符合膝关节前交叉韧带损伤诊断标准，且都通过重建术治疗后内植物稳定的患者。(2) 年龄 18 至 45 周岁。(3) 均为单侧前交叉韧带损伤。(4) 患者同意并自愿参于研究。排除标准：(1) 具有认知障碍等其他不能配合治疗的患者。

(2) 患有严重的心血管或者呼吸系统疾病等会限制患者活动能力患者。

1.2 方法

1.2.1 对照组

对照组在术后接受常规术后康复训练，每周 5 次，每次 50min。具体内容有关节松动：借鉴 Maitland 手法，对髌骨施行上下、左右各向滑动，再对胫股关节做前后向微移，全程避免疼痛；膝关节被动活动度练习：每天缓慢增加膝关节活动度。肌力抗阻练习：利用徒手抗阻或者弹力带对膝周肌群进行力量训练，同样遵循无痛发力原则。步态训练：初期进行本体感受的站立、重心转移等的训练，后期过渡至慢走练习。训练结束后，对股四头肌、胭绳肌及小腿肌群进行牵拉放松，每处持续 30s 左右，做 2~3 组，对膝关节进行冰敷，帮助肌肉松弛、加速血液回流，降低术后不适风险。

1.2.2 实验组

实验组在接受常规术后康复训练的基础上接受肌电生物反馈疗法：患者仍取坐位，用酒精棉球擦拭大腿前侧皮肤，去脂去汗。将两个 $4\text{cm} \times 4\text{cm}$ 电极片贴在患侧股四头肌的肌腹最隆起处。刺激参数：强度 0~100mA 可调，逐步增至患者耐受；刺激 5s，间歇 10s，自动触发模式。

切换至游戏模式，在视觉或者听觉反馈中完成股四头肌的精准收缩，提高趣味性与效果。实验组常规术后康复训练的时间为 30min，肌电生物反馈疗法 20min。

1.3 测量指标

1.3.1 膝关节的疼痛程度测量

采用视觉模拟评分量表(Visual Analogue Scale, VAS)，它是一种连续型、自我报告的疼痛强度测量工具。其标准实施形式为一条 10cm 长、无中间刻度的水平直线，左端锚点定义为“无痛”(0cm)，右端锚点定义为“最剧烈疼痛”(10cm)。受试者依据自身即时疼痛体验，在该直线上垂直标记一点；测量人员以毫米刻度尺记录标记点至左侧锚点的距离，再按 $1\text{cm}=1$ 分的比例转换为 0~10 分的疼痛强度值^[8]。

1.3.2 膝关节的功能

采用 Lysholm 膝关节评分，是 1982 年瑞典 Lysholm 医师为评估前交叉韧带损伤而开发的经典量表，包含跛行、负重、疼痛、步行、爬楼梯、下蹲、肿胀和膝关节稳定性 8 个维度共 100 分，95~100 分表示功能优秀，84~94 分良好，65~83 分一般，小于 65 分则提示膝关节功能差，该评分具有内容简洁、易于理解、敏感度高等特点^[9]。

1.3.3 膝关节活动度

使用多功能关节角度测量尺评估膝关节主动活动度。受检者取俯卧位，角度计固定臂沿股骨长轴方向放置，移动臂与腓骨小头至外踝连线平行，旋转轴定位于股骨外侧髁。在矢状面内引导受检者完成足跟向臀部方向的主动运动，以记录最大屈曲角度^[10]。

1.3.4 患者对治疗效果的满意程度

在 8 周的治疗结束后回访患者对治疗的满意程度，采用自制的满意度调查量表，0~10 分，0 分为极不满意，10 分为完全满意。

1.4 统计学方法

采用 SPSS 27.0 统计软件对数据进行分析，所有实验数据均采用平均数±标准差来表示，实验组和对照组前后测的关节疼痛度、膝关节的功能评分以及膝关节活动度的对比采用配对样本 T 检验分析，两组间的比较采用独立样本 T 检验。 $P < 0.05$ 为差异有显著性。

2 结果

2.1 疼痛程度 (VAS 评分) 比较

如表 1 所示，经配对样本 t 检验，干预 8 周后，实验组与对照组患者的膝关节疼痛程度 (VAS 评分) 均较干预前均有所下降，差异具有统计学意义 (实验组： $t=18.065$, $P=0.001$ ；对照组： $t=18.004$, $P=0.001$)。下降幅度分别为实验组的 5.467 ± 1.060 分降至 2.067 ± 0.594 分，对照组从 5.667 ± 0.724 分降至 2.933 ± 0.799 分。干预前两组 VAS 评分差异无统计学意义 ($t=-0.603$, $P=0.551$)，提示两组具有可比性。干预 8 周后，实验组 VAS 评分随低于对照组，

评分差具有统计学意义 ($t=3.373$, $P=0.002$), 提示干预效果有显著差异。

表 1 实验组与对照组的 VAS 评分对比 ($\bar{x} \pm S$, 分)

组别	干预前	干预后	t 值	P 值
实验组	5.467 \pm 1.060	2.067 \pm 0.594	18.065	0.001
对照组	5.667 \pm 0.724	2.933 \pm 0.799	18.004	0.001
t 值	-0.603	-3.373		
P 值	0.551	0.002		

2.2 Lysholm 膝关节评分对比

如表 2 所示, 经配对样本 t 检验, 干预 8 周后, 实验组与对照组患者的膝关节 Lysholm 评分均较干预前显著上升, 差异具有统计学意义(实验组: $t=-22.945$, $P=0.001$; 对照组: $t=-23.052$, $P=0.001$)。上升幅度分别为实验组的 44.067 ± 7.076 分升至 79.533 ± 4.406 分, 对照组的 47.467 ± 6.707 分上升至 74.733 ± 3.807 分。干预前两组 Lysholm 评分差异无统计学意义 ($t=-1.351$, $P=0.188$), 提示两组具有可比性。干预 8 周后, 实验组 Lysholm 评分显著低于对照组 ($t=3.193$, $P=0.003$), 提示干预效果具有显著差异。

表 2 实验组与对照组的 Lysholm 评分对比 ($\bar{x} \pm S$, 分)

组别	干预前	干预后	t 值	P 值
实验组	44.067 \pm 7.076	79.533 \pm 4.406	-22.945	0.001
对照组	47.467 \pm 6.707	74.733 \pm 3.807	-23.052	0.001
t 值	-1.351	3.193		
P 值	0.188	0.003		

2.3 膝关节活动度对比

如表 3 所示, 经配对样本 t 检验, 干预 8 周后, 实验组与对照组患者的膝关节活动度均较干预前显著上升, 差异具有统计学意义(实验组: $t=-15.190$, $P=0.001$; 对照组: $t=-18.657$, $P=0.001$)。上升幅度分别为实验组的 92.934 ± 9.603 度升至 114.067 ± 9.407 度, 对照组的 87.400 ± 8.407 度上升至 104.133 ± 7.754 度。干预前两组的膝关节活动度差异无统计学意义 ($t=1.679$, $P=0.104$), 提示两组具有可比性。干预 8 周后, 实验组膝关节活动度显著高于对照组 ($t=3.156$, $P=0.004$), 提示干预效果具有显著差异。

表 3 实验组与对照组的膝关节活动度对比 ($\bar{x} \pm S$, 度)

组别	干预前	干预后	t 值	P 值
实验组	92.934 \pm 9.603	114.067 \pm 9.407	-15.190	0.001
对照组	87.400 \pm 8.407	104.133 \pm 7.754	-18.657	0.001
t 值	1.679	3.156		
P 值	0.104	0.004		

2.4 患者对治疗效果的满意程度比较

干预 8 周后, 实验组患者对治疗效果的满意度评分为 (8.933 ± 0.799) 分, 高于对照组的 (8.067 ± 0.704) 分,

差异具有统计学意义 ($t=3.153$, $P=0.004$, 表 4)。

表 4 实验组与对照组患者满意度对比 ($\bar{x} \pm S$, 分)

组别	患者满意度	t 值	P 值
实验组	8.933 \pm 0.799	3.153	0.004
对照组	8.067 \pm 0.704		

3 讨论

前交叉韧带损伤是膝关节较常见的损伤之一, 往往会伴随关节积液、肌力以及运动能力的下降。ACL 重建术 (ACLR) 目前依旧是首选且最有效的治疗手段^[11]。术后是否及时有效的进行康复治疗干预直接决定损伤者的功能恢复程度与最终预后^[12]。术后若缺乏科学的功能锻炼与康复护理, 将直接削弱手术成效。因此, 系统化的康复训练是巩固 ACL 重建效果、重塑膝关节功能的核心环节^[13]。肌电生物反馈技术可捕捉肌肉在松弛或收缩状态下产生的肌电信号并加以放大, 再将这些肌电活动转化为视觉或听觉信号。借助这些信号, 患者能够实时判断相关肌肉的功能变化, 从而增强神经中枢对肌肉的调控能力, 推动机体功能的恢复进程^[14]。

经过八周的治疗, 两组患者的膝关节疼痛程度都降低、膝关节功能以及膝关节活动度都升高, 但是实验组改善的程度比对照组更明显。同时, 患者对自身康复的满意程度更高, 从实验数据上充分验证了肌电生物反馈疗法对于 ACL 重建术后康复的辅助作用。ACL 重建术后患者会出现因疼痛回避、关节不稳引起股四头肌抑制性萎缩的情况, 在本试验中用肌电生物反馈疗法采集患侧股四头肌肌腹处产生的微弱电信号, 并转换成视觉听觉等信息提示给患者, 通过游戏化的模式给患者进行康复, 避免了传统训练方式容易使肌肉产生疲劳的问题, 也可随时让患者了解自己的肌肉是否完成收缩的动作, 及时达到准确激活, 减少了一般训练易产生不受控发力的问题。实验组 VAS 评分由 5.467 ± 1.060 分降至 2.067 ± 0.594 分, Lysholm 评分提高至 79.533 ± 4.406 分;膝关节活动度的增加也得益于肌电生物反馈疗法对神经肌肉控制链的修复。股四头肌作为膝关节伸直的重要肌群, 肌力下降直接影响到关节活动范围, 该疗法主要是长期激活肌纤维, 通过肌力训练逐步恢复股四头肌和胭绳肌力量的动态平衡, 并且保持这种平衡才能使得膝关节可以做屈曲伸展的动作来避免关节僵硬的发生。在游戏化反馈的干预下, 提高了患者的训练依从性, 增加了肌力激活训练的规律性, 因此可以使实验组膝关节活动度由 92.934 ± 9.603 度增加到 114.067 ± 9.407 度, 高于对照组 104.133 ± 7.754 度的水平; 并且与对照组相比, 实验组患者满意度评分明显更高。此外, 患者满意度上升也是由于治疗效价增加及该治疗方式比普通康复锻炼更有仪式感的原因, 比如通常来说患者参与康复锻炼很容易会出现疲劳、无力等情形, 很难得到患者确切的感受反馈, 但用此方式锻炼时, 患者的每一个肌肉是否真的达到了所

需收缩量，都可以通过数据立马看出结果，所以在此就能收获成就感。

4 结论

本研究通过对 30 例前交叉韧带重建术后患者进行为期 8 周的随机对照试验，系统评估了肌电生物反馈疗法（EMGBF）联合常规康复训练在术后康复中的应用效果。

(1) 疼痛缓解效果显著：实验组疼痛 VAS 评分降幅优于对照组 ($P<0.05$)，证实 EMGBF 能更有效减轻 ACL 重建术后膝关节疼痛。

(2) 功能恢复水平提升：实验组 Lysholm 评分增幅优于对照组 ($P<0.05$)，表明 EMGBF 联合常规康复训练能更显著改善膝关节整体功能。

(3) 关节活动度增加明显：实验组膝关节主动屈曲角度增幅优于对照组 ($P<0.05$)，说明 EMGBF 有助于扩大术后关节活动范围，预防关节僵硬。

(4) 患者满意度更高：实验组治疗满意度评分显著高于对照组 ($P<0.05$)，提示 EMGBF 游戏化训练模式可提升患者康复体验与依从性。

基于此，肌电生物反馈疗法可以作为在 ACL 重建术后常规康复的辅助手段，根据患者耐受度调整刺激参数，帮助患者更快恢复膝关节功能，重返日常生活与社会角色。

基金项目：2024 年山西研究生教育创新计划项目（项目编号：2024SJ283）。

[参考文献]

- [1] 陈连旭,付立功.前交叉韧带断裂和重建的临床流行病学分析[J].中国组织工程研究,2016,20(24):3602-3608.
- [2] Olsson O,Isacsson A,Englund M,et al.Epidemiology of intra-and peri-articular structural injuries in traumatic knee joint hemarthrosis-data from 1145 consecutive knees with subacute MRI[J].Osteoarthritis Cartilage, 2016,24(11):1890-1897.
- [3] BANIOS K,RAOULIS V,FYLLOS A,et al.Anterior and posterior cruciate ligaments mechanoreceptors:A review of basic science[J].Diagnostics(Basel),2022,12(2):331.

[4] Murray MM.Optimizing outcomes of ACL surgery-Is autograft reconstruction the only reasonable option[J].J Orthop Res,2021,39(9):1843-1850.

[5] 周天平,徐一宏,徐卫东.前交叉韧带重建术后下肢行走过程中的异常步态表现[J].中华关节外科杂志(电子版),2021,15(3):307-317.

[6] Relph N,Herrington L,Tyson S.The effects of ACL injury on knee proprioception:a meta-analysis[J].Physiotherapy,2014,100(3):187-95.

[7] 陈美君,郑锦红,王美春,等.肌电生物反馈疗法联合智能通络治疗仪对脑卒中偏瘫患者上肢功能障碍的康复效果[J].中国医学物理学杂志,2025,42(3):415-420.

[8] 黄吉利,罗明,潘捷,等.应用 VAS 和 KSS 分析关节镜滑膜切除术后疼痛及膝关节功能[J].基因组学与应用生物学,2017,36(4):1435-1439.

[9] 林建宁,孙笑非,阮狄克.膝关节 lysholms 评分等级评价膝关节功能[J].中国骨与关节损伤杂志,2008(3):230-231.

[10] 杨文丽,张晓,范小波,等.体外冲击波循经取穴疗法对膝骨关节炎患者膝关节功能的影响 [J].河北中医,2021,43(7):1111-1114.

[11] 姜文斌,于胜波,隋鸿锦.前交叉韧带损伤的研究进展[J].中国临床解剖学杂志,2022,40(3):369-371.

[12] 辜刘伟,周霖,虞伟,等.促进膝关节前交叉韧带重建术后腱骨愈合方法的研究进展 [J].中国现代医学杂志,2021,31(23):49-56.

[13] 卢志文,叶庆林,吴贤驹,等.平衡训练在膝前交叉韧带损伤重建术后康复中的应用 [J].深圳中西医结合杂志,2021,31(23):110-112.

[14] 刘丽金,梁杰,苏婵娟,等.肌电生物反馈疗法对膝骨性关节炎股四头肌力量和功能的影响 [J].吉林医学,2020,41(11):2568-2573.

作者简介：郭杨博（1998—），男，汉族，山西临汾人，硕士在读，中北大学，研究方向：运动康复与健康促进。