

·短篇论著·

渐进性离心收缩训练在前交叉韧带重建术后早期康复中的临床应用*

徐仁杰¹ 葛向阳² 郭雨亭³ 张玉鑫⁴ 顾斌¹ 陈雨薇⁵ 李周^{1,6}

前交叉韧带(anterior cruciate ligament, ACL)断裂是膝关节最常见的结构损伤,主要继发于膝关节承受超负荷的剪切力和扭转力作用^[1]。前交叉韧带自愈能力弱,断裂后常需要进行重建手术恢复其功能。前交叉韧带重建术(anterior cruciate ligament reconstruction, ACLR)能够重建膝关节正常解剖结构和生物力学特性,从而恢复膝关节稳定性,是目前治疗ACL断裂患者的标准程序^[2-3]。虽然ACLR术后早期加速康复理念的提出降低了并发症的发生率,但是临床上仍存在大量的术后康复问题亟待解决。其中,由关节源性肌肉抑制引起的股四头肌力量减弱被认为是影响ACLR术后康复疗效的关键因素^[4]。此外,ACLR术后关节纤维化引起的关节活动度丢失也广泛存在^[5-6]。关节源性肌肉抑制和关节纤维化常伴随存在,共同破坏膝关节负荷对称策略,降低膝关节稳定性,引起异常步态,严重影响患者的生活质量^[7]。

离心收缩是指肌肉收缩时受到的外力大于肌肉产生的内力,肌肉的起止点相互分离的过程^[8]。离心收缩训练由于其低代谢成本高负荷的独特神经生理学特性,使得它在ACL断裂等涉及肌肉功能下降的运动系统损伤早期康复中具有很好的应用前景^[9]。虽然已有研究证实了渐进性离心收缩训练在ACLR术后早期康复(3周)中的安全性和可行性^[9],但其对术后膝关节整体功能状态的影响国内鲜有报道。本研究

旨在探索股四头肌渐进性离心收缩训练在ACLR术后早期康复中的临床应用价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取2020年4月—2021年6月在昆山市康复医院骨与关节康复组住院治疗的ACLR术后患者为研究对象。

纳入标准:①单侧关节镜下自体腘绳肌腱移植的ACLR术后;②年龄18—45岁;③ACLR术后2周内入院并接受早期常规康复训练;④接受正式试验时伸膝受限 $<5^\circ$ 且屈曲角度 $>90^\circ$;⑤患者对本研究知情同意。

排除标准:①合并膝关节骨折、感染、肿瘤;②合并呼吸系统或心血管系统疾病;③合并半月板损伤 II° 以上;④合并膝关节其他韧带严重损伤;⑤下肢深静脉血栓形成;⑥健侧下肢有外伤史;⑦不能按要求进行评估及康复训练。

根据入选标准,最终纳入36例符合条件的患者作为受试对象。通过随机数字表法将患者分为对照组和试验组,每组18例。两组患者的一般资料比较差异无显著性意义($P > 0.05$),组间具有可比性,见表1,入组病例无脱落。

本研究经昆山市康复医院伦理委员会审核批准[(2021)伦研批第006号]。

表1 两组患者一般资料比较

组别	例数	性别(例)		发病侧(例)		病程 ($\bar{x}\pm s, d$)	BMI ($\bar{x}\pm s$)	年龄 ($\bar{x}\pm s, \text{岁}$)
		男	女	左	右			
对照组	18	10	8	6	12	3.17 \pm 1.04	25.02 \pm 1.77	33.67 \pm 8.74
试验组	18	11	7	8	10	3.83 \pm 1.34	24.63 \pm 1.14	35.00 \pm 6.32
t/χ^2 值		0.114		0.468		-1.666	0.780	-0.524
P 值		0.735		0.494		0.105	0.441	0.603

1.2 治疗方法

两组均进行两个阶段的常规康复训练,试验组从第二阶段开始在常规康复训练基础上增加股四头肌离心收缩训练。

1.2.1 对照组治疗方法:第一阶段(入组后持续3周)具体内容:①早期关节活动度训练:包括持续被动关节活动度训练以及主动屈伸关节活动度训练(仰卧位,受试者髌骨保持向上,足跟紧贴床面沿着躯干长轴方向来回滑动);②踝泵训

练;③负重训练:利用腋杖患侧部分负重下练习行走,逐渐增加患侧下肢的负重并完成基本日常生活所需的步行活动;④肌力训练:股四头肌等长收缩训练。

进入第二阶段的标准为患侧屈膝活动度 $>90^\circ$,无伸膝受限;患侧进行等速肌力测试时疼痛评分在3分以内。

第二阶段(第一阶段结束后持续8周)具体内容:①肌耐力训练:MotoMed下肢智能训练,主动模式,强度根据患者实

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2023.09.017

*基金项目:昆山市科技局社发科专项(KSF202121);昆山市康复医院院级科技项目(KF2104);南通市卫生健康委员会科研课题(QA2020033)

1 昆山市康复医院康复治疗部,江苏省昆山市,215300; 2 南通大学附属妇幼保健院; 3 江苏大学附属昆山市第一人民医院; 4 上海交通大学医学院附属第九人民医院口腔外科; 5 南京医科大学康达学院; 6 通讯作者

第一作者简介:徐仁杰,男,初级治疗师; 收稿日期:2021-11-04

际情况调整(不宜过高),每天1次,每次25min;②平衡训练:站于平衡垫上进行抛接球练习,每天1次,每次10min;③肌力训练:利用沙袋进行股四头肌肌力训练,每天2次,每次3组,每组20个。沙袋重量从1kg开始,通过逐渐增加沙袋重量来提升训练强度(此训练在ACLR术后6周开始);④关节活动度训练:渐进性增加屈曲活动范围训练。

1.2.2 试验组治疗方法:利用等速肌力训练系统(美国Biodex等速肌力评估训练系统System4)进行股四头肌肌力的评估以及离心收缩训练。受试者坐在向后倾斜5°的椅子上,用两条松紧带固定躯干,双手紧握椅子旁边的把手。测力仪的机械轴与股骨外上髁对齐,阻力臂固定于小腿远端。由治疗师先进行简单的讲解和演示,待受试者熟悉试验过程后,分别对健侧及患侧以60°/s的角速度进行股四头肌最大扭矩评估,计算患侧股四头肌力量对称指数(肢体对称指数, limb symmetric index, LSI)^[10]。

评估结束后休息3min,将测试模式改为离心训练模式。离心训练的角度设置为膝关节屈曲20°—90°。离心训练强度的初始阻力矩始终设置为患侧最大扭矩的40%,每2周进行1次评估并调整强度,离心训练的角速度设置为60°/s。训练开始时将患者膝关节置于屈曲20°的位置,要求受试者主动伸膝,保持股四头肌处于收缩状态,等速设备会将膝关节被动屈曲到屈膝90°的位置,再重复以上过程。离心训练每周3次,每次5组,每组15个,组间休息1min。

1.3 评定标准

两组患者均于第二阶段训练前和训练8周后进行股四头肌力量对称指数、膝关节屈曲活动度以及膝关节功能评估,所有评估均由同一位经验丰富的治疗师完成。

1.3.1 股四头肌力量对称指数^[10]:利用等速肌力测试系统测试患者双下肢股四头肌最大自主收缩的峰值扭矩。在患者熟悉测试程序后分别对健侧和患者股四头肌进行5次测试并记录最大值。股四头肌力量对称指数计算为(患侧峰值扭矩/健侧峰值扭矩)×100,数值越接近100,功能越好。

1.3.2 膝关节主动屈曲活动度:患者俯卧位,嘱患者膝关节屈曲到最大活动范围,测量时治疗师将量角器的轴心对准股骨外上髁,固定臂与股骨长轴平行,移动臂与胫骨长轴平行,记录下当时的角度。

1.3.3 Lysholm膝关节功能评分^[11]:分别从跛行、支持、绞索、不稳定、疼痛、肿胀、上下楼和下蹲8个方面对膝关节功能进行评估,满分为100,分值越高,膝关节功能越好。

1.4 统计学分析

数据采用SPSS 22.0软件进行统计学分析。对计量资料进行Shapiro-Wilk检验后,均符合正态分布。计量资料采用均数±标准差进行统计描述,组间比较采用独立样本 t 检验,组内比较采用配对样本 t 检验。计数资料采用频次进行描述,采用 χ^2 检验。 $P < 0.05$ 为差异有显著性意义。

2 结果

见表2。

2.1 两组患者训练前后股四头肌力量对称指数比较

两组患者第二阶段训练前股四头肌力量对称指数比较,差异无显著性意义($P > 0.05$)。训练8周后,两组患者的股四头肌力量对称指数较训练前均显著提高($P < 0.05$),且试验组的股四头肌力量对称指数较对照组改善更明显($P < 0.05$)。

2.2 两组患者训练前后膝关节屈曲活动度比较

两组患者第二阶段训练前膝关节屈曲活动度比较,差异无显著性意义($P > 0.05$)。训练8周后,两组患者的膝关节屈曲活动度较训练前均显著提高($P < 0.05$),且试验组的膝关节屈曲活动度较对照组改善更明显($P < 0.05$)。

2.3 Lysholm膝关节功能评分比较

两组患者第二阶段训练前Lysholm膝关节功能评分比较,差异无显著性意义($P > 0.05$)。训练8周后,两组患者的Lysholm膝关节功能评分较训练前均显著提高($P < 0.05$),且试验组的Lysholm膝关节功能评分较对照组改善更明显($P < 0.05$)。

表2 两组患者治疗前后肢体对称指数(LSI)、膝关节活动度、Lysholm膝关节功能评分比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	LSI(%)		膝关节屈曲活动度(°)		Lysholm评分(分)	
		训练前	训练后	训练前	训练后	训练前	训练后
对照组	18	30.87±3.84	56.35±4.47 ^①	95.17±4.09	119.06±6.47 ^①	39.89±13.31	78.33±10.56 ^①
试验组	18	32.20±3.49	67.38±7.13 ^②	93.22±2.29	126.56±4.66 ^②	41.28±17.22	85.72±8.85 ^②
t 值		-1.086	-5.567	1.760	-3.993	-0.271	-2.276
P 值		0.285	<0.001	0.087	<0.001	0.788	0.029

注:①与组内治疗前比较 $P < 0.05$;②组间治疗后比较 $P < 0.05$

3 讨论

本试验结果显示,试验组训练8周后股四头肌力量对称指数、膝关节活动度以及Lysholm评分显著优于对照组,表明离心收缩能有效改善ACLR术后股四头肌的关节源性肌肉抑制,增加关节活动度,提高膝关节功能水平。

股四头肌力量丢失是目前ACLR术后康复中的主要难题,尽管早期康复积极介入,但仍有研究报道了术后12个月以上的持续性肌肉无力^[12-13]。我们对进入第二阶段的受试者进行评估后发现,两组的平均股四头肌力量对称指数仅31.53%±3.67%。临床上将ACLR术后股四头肌长期激活受

阻的过程称为关节源性肌肉抑制,其原因尚不明确,可能和术后肿胀疼痛有关^[13]。这些症状会在早期持续刺激膝关节感觉受体,改变脊髓和皮质上调中心,导致皮质兴奋性不对称和运动神经元兴奋性缺乏,最终引起股四头肌激活抑制,股四头肌力量长期处于较低水平^[14]。股四头肌力量下降又会引起下肢负荷策略不对称,使得膝关节稳定性降低,从而降低运动表现,增加ACL二次损伤的几率^[15]。一项大型临床研究已经将股四头肌力量的恢复作为ACLR术后成功康复的专家共识^[16]。由此可见,实现股四头肌力量的有效激活已成为ACLR术后康复的关键环节之一。

离心收缩时肌肉组织高负荷与小能量相结合的特性使其在运动系统损伤的预防和康复中有很大的应用前景^[17]。然而,离心收缩过程中产生的高扭矩使肌肉和肌腱存在的断裂风险^[18-19]。此外,离心运动还被认为是迟发性肌肉酸痛的主要原因^[20]。以上因素使得我们在对术后早期患者使用离心收缩训练时较为谨慎。Gerber^[9]等的研究证实了ACLR术后早期(3周)离心收缩训练的安全性,但并未对训练强度进行定量。Coury^[21]和Brasileiro^[22]等在ACLR术后9个月的患者中采用60%的患侧最大力矩进行等速肌力训练。考虑到本研究中受试者训练时间较早,我们采用40%的患侧最大力矩作为训练强度和训练阻力,并通过定期评估患侧最大扭矩以重新设定阻力来达到渐进性的目的。已有研究证实,渐进式负荷离心训练可在一定程度上预防离心收缩引起的肌肉肌腱损伤和迟发性肌肉酸痛,其机制可能与神经、机械、细胞适应引起的“重复回合效应”有关,即一回合的离心运动可以保护肌肉免受随后的离心回合的损伤^[23]。一方面,细胞的适应性通过改变骨骼肌超微结构和最初一轮的重塑来促成这种效应;另一方面,离心收缩中肌肉单位招募和同步化的变化表明神经适应性的存在,当离心收缩时皮质脊髓功能会进行调节以应对离心收缩造成的中枢性疲劳^[23]。本研究在ACLR术后早期康复中使用渐进性离心收缩训练,受试者并未出现疼痛肿胀,证明此训练是安全可行的。

离心收缩改善ACLR术后股四头肌关节源性肌肉抑制的主要原因可能在于3个方面:①Sekiguchi^[24]等在经颅磁刺激大脑实验中报告了在离心运动和向心运动中皮质脊髓兴奋性的差异,这表明在离心运动中高级皮质中枢参与的不同。相较于向心运动,脑电图衍生的运动相关皮层电位在离心运动中出现得更早、更大,皮质激活的幅度和面积也都更大^[25]。离心运动需要更长的时间进行早期准备以及更大的皮质活动来进行后期的运动执行。额外的准备时间和较高的激活幅度反映了中枢神经系统活动的高兴奋性,这些活动导致与最大水平离心肌肉动作相关的独特运动单位激活模式。②Brasileiro等^[22]研究发现,ACLR术后患者股四头肌扭矩的增加除了神经因素外还有肌肉的形态结构因素。在相

同强度下,离心收缩比向心收缩产生的负荷更多,更有利于提高肌肉内蛋白质的合成,尤其是II型肌纤维的合成来增强肌力^[22]。③离心训练是增强肌肉机械功能和肌肉肌腱单元形态结构适应的有效刺激^[26]。

关节纤维化是ACLR术后另一常见并发症,主要表现为关节活动度丢失。术后关节纤维化的发生率约为4%—38%^[27-28]。关节纤维化可引起膝前痛、股四头肌力量不足和步态异常^[4]。Mayr等^[29]在一项回顾性研究中报告了关节纤维化引起的中期(6年)膝关节骨性关节炎的发展。Calloway等^[30]研究发现,对ACLR术后关节纤维化的患者进行关节镜下松解手术能有效改善股四头肌的力量,提示关节纤维化可能也是关节源性肌肉抑制的重要原因。因此,预防和改善关节纤维化被认为是ACLR后患者康复的另一关键问题。

由于早期进行严格的康复流程,纳入研究的患者在第一阶段中膝关节屈曲活动范围均达到90°。经过第二阶段的训练,我们在试验组中观察到了膝关节屈曲活动度的增加幅度明显高于对照组,表明股四头肌离心收缩有利于增加膝关节屈曲活动范围。活动范围的增加可能来源于股四头肌和髌腱延展性的改变。Reich等^[31]发现,大鼠离心收缩后肌肉的被动和主动延长均显著增加,每块肌肉储存的能量也较之前增多。Kaux等^[32]在一项研究中发现离心运动可以改善大鼠肌腱胶原的数量和质量,修复制动引起的肌腱结构紊乱,使肌腱组织结构和胶原纤维方向高度有序,从根本上改善肌腱的机械质量。我们先前的研究也表明,8周的离心收缩训练能有效改善因制动后纤维化引起的踝关节背伸活动度受限^[33]。同时,股四头肌力量的激活也会抑制纤维化的发展,增加膝关节屈曲活动范围^[30]。

本研究的局限性是样本量较小,临床分析较为单一且并未对ACLR术后患者进行长期随访。目前,临床上对ACLR术后早期(4周)的患者进行离心收缩训练的研究较少,本研究初步证明了ACLR术后患者早期使用离心收缩训练的可行性和益处,未来需要大样本随机对照研究探究ACLR术后渐进性负荷离心收缩训练的最适强度和频率。

综上所述,早期股四头肌渐进性离心收缩训练能够改善ACLR术后患者股四头肌力量,增加膝关节活动范围,提高膝关节功能水平。

参考文献

- [1] Ageberg E, Roos HP, Silbernagel KG, et al. Knee extension and flexion muscle power after anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon graft or hamstring tendons graft: a cross-sectional comparison 3 years post surgery[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2009, 17(2):162-169.
- [2] Tay KS, Tan AHC. Clinical outcomes, return to sports, and patient satisfaction after anterior cruciate ligament reconstruction in young and middle-aged patients in an Asian pop-

- ulation: A 2-year follow-up study[J]. *Arthroscopy*, 2018, 34(4):1054—1059.
- [3] Cinque ME, Chahla J, Moatshe G, et al. Outcomes and complication rates after primary anterior cruciate ligament reconstruction are similar in younger and older patients[J]. *Orthop J Sports Med*, 2017, 5(10):2325967117729659.
- [4] Eckenrode BJ, Carey JL, Sennett BJ, et al. Prevention and management of post-operative complications following ACL reconstruction[J]. *Curr Rev Musculoskelet Med*, 2017, 10(3):315—321.
- [5] Eckenrode BJ, Sennett BJ. Arthrofibrosis of the knee following anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2011, 41(1):32.
- [6] Millett PJ, Wickiewicz TL, Warren RF. Motion loss after ligament injuries to the knee. Part I: causes[J]. *Am J Sports Med*, 2001, 29(5):664—675.
- [7] Ithurnburn MP, Paterno MV, Thomas S, et al. Change in drop-landing mechanics over 2 years in young athletes after anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Am J Sports Med*, 2019, 47(11):2608—2616.
- [8] Gerber JP, Marcus RL, Dibble LE, et al. Safety, feasibility, and efficacy of negative work exercise via eccentric muscle activity following anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2007, 37(1):10—18.
- [9] Gerber JP, Marcus RL, Dibble LE, et al. Effects of early progressive eccentric exercise on muscle structure after anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2007, 89(3):559—570.
- [10] Harput G, Ulusoy B, Yildiz TI, et al. Cross-education improves quadriceps strength recovery after ACL reconstruction: a randomized controlled trial[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2019, 27(1):68—75.
- [11] Harris JD, Abrams GD, Bach BR, et al. Return to sport after ACL reconstruction[J]. *Orthopedics*, 2014, 37(2):e103—108.
- [12] Gokeler A, Bisschop M, Benjaminse A, et al. Quadriceps function following ACL reconstruction and rehabilitation: implications for optimisation of current practices[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2014, 22(5):1163—1174.
- [13] Dauty M, Menu P, Mesland O, et al. Arthrogenic muscle inhibition and return to sport after arthrofibrosis complicating anterior cruciate ligament surgery[J]. *Eur J Sport Sci*, 2022, 22(4):627—635.
- [14] Kuenze CM, Hertel J, Weltman A, et al. Persistent neuromuscular and corticomotor quadriceps asymmetry after anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *J Athl Train*, 2015, 50(3):303—312.
- [15] Ithurnburn MP, Paterno MV, Ford KR, et al. Young athletes after anterior cruciate ligament reconstruction with single-leg landing asymmetries at the time of return to sport demonstrate decreased knee function 2 years later[J]. *Am J Sports Med*, 2017, 45(11):2604—2613.
- [16] Lynch AD, Logerstedt DS, Grindem H, et al. Consensus criteria for defining 'successful outcome' after ACL injury and reconstruction: a Delaware-Oslo ACL cohort investigation[J]. *Br J Sports Med*, 2015, 49(5):335—342.
- [17] Isner-Horobeti ME, Dufour SP, Vautravers P, et al. Eccentric exercise training: modalities, applications and perspectives[J]. *Sports Med*, 2013, 43(6):483—512.
- [18] Cuthbert M, Ripley N, McMahon JJ, et al. The effect of nordic hamstring exercise intervention volume on eccentric strength and muscle architecture adaptations: a systematic review and meta-analyses[J]. *Sports Med*, 2020, 50(1):83—99.
- [19] Walker CM, Noonan TJ. Distal triceps tendon injuries[J]. *Clin Sports Med*, 2020, 39(3):673—685.
- [20] Hotfiel T, Freiwald J, Hoppe MW, et al. Advances in delayed-onset muscle soreness (doms): part i: pathogenesis and diagnostics[J]. *Sportverletz Sportschaden*, 2018, 32(4):243—250.
- [21] Coury HJ, Brasileiro JS, Salvini TF, et al. Change in knee kinematics during gait after eccentric isokinetic training for quadriceps in subjects submitted to anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Gait Posture*, 2006, 24(3):370—374.
- [22] Brasileiro JS, Pinto OMSF, Avila MA, et al. Functional and morphological changes in the quadriceps muscle induced by eccentric training after ACL reconstruction[J]. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, 2011, 15(4):284—290.
- [23] Prasartwuth O, Suteebut R, Chawawisuttikool J, et al. Using first bout effect to study the mechanisms underlying eccentric exercise induced force loss[J]. *J Bodyw Mov Ther*, 2019, 23(1):48—53.
- [24] Sekiguchi H, Kohno Y, Hirano T, et al. Modulation of corticospinal excitability during lengthening and shortening contractions in the first dorsal interosseus muscle of humans [J]. *Exp Brain Res*, 2007, 178(3):374—384.
- [25] Fang Y, Siemionow V, Sahgal V, et al. Distinct brain activation patterns for human maximal voluntary eccentric and concentric muscle actions[J]. *Brain Res*, 2004, 1023(2):200—212.
- [26] Douglas J, Pearson S, Ross A, et al. Chronic adaptations to eccentric training: a systematic review[J]. *Sports Med*, 2017, 47(5):917—941.
- [27] Worsham J, Lowe WR, Copa D, et al. Subsequent surgery for loss of motion after anterior cruciate ligament reconstruction does not influence function at 2 years: A matched case-control analysis[J]. *Am J Sports Med*, 2019, 47(11):2550—2556.
- [28] Ekhtiari S, Horner NS, de Sa D, et al. Arthrofibrosis after ACL reconstruction is best treated in a step-wise approach with early recognition and intervention: a systematic review[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2017, 25(12):3929—3937.
- [29] Mayr HO, Weig TG, Plitz W. Arthrofibrosis following ACL reconstruction—reasons and outcome[J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2004, 124(8):518—522.
- [30] Calloway SP, Soppe CJ, Mandelbaum BR. Clinical outcomes after arthroscopic release of patellofemoral arthrofibrosis in patients with prior anterior cruciate ligament Reconstruction[J]. *Arthroscopy*, 2018, 34(5):1603—1607.
- [31] Reich TE, Lindstedt SL, LaStayo PC, et al. Is the spring quality of muscle plastic? [J]. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 2000, 278(6):R1661—1666.
- [32] Kaux JF, Drion P, Libertiaux VL, et al. Eccentric training improves tendon biomechanical properties: a rat model [J]. *Orthop Res*, 2013, 31(1):119—124.
- [33] 徐仁杰, 张玉鑫, 施加加. 低强度离心收缩或跟腱牵伸训练分别辅以常规康复方案治疗跟腱挛缩的疗效对比研究[J]. *中国康复*, 2021, 36(2):102—105.