

血流限制训练对前交叉韧带重建术患者股四头肌及膝关节稳定性的影响

郑琦 施爱梅 李小龙 姚云海 傅建明

嘉兴市第二医院康复医学中心 314000

通信作者:姚云海,Email: zzy168110@163.com

【摘要】 目的 观察血流限制训练对前交叉韧带(ACL)重建术患者股四头肌及膝关节稳定性的影响。**方法** 将 40 例 ACL 重建术患者按随机数字表法分为对照组和治疗组,每组 20 例。2 组患者均给予常规康复干预,对照组增加常规膝关节屈伸肌力训练,治疗组增加血流限制训练,在腹股沟部保持恒定的压力以限制下肢的血液流动,血流限制压力设置为个体动脉闭塞压的 70%,平均压力为(123.00±11.23)mmHg,训练内容包括膝关节屈伸抗阻训练和伸膝抗阻训练,每次 20 min,每周 3 次,共训练 8 周。分别于治疗前和治疗 8 周后(治疗后),采用 Lysholm 量表评估膝关节功能、Humac Norm 等速测试仪评估屈伸肌峰力矩比值(H/Q%)和伸膝肌峰力矩(PT)。**结果** 治疗前,2 组患者的 Lysholm 评分、H/Q%、PT 组间比较,差异均无统计学意义($P < 0.05$);治疗后,2 组患者的 Lysholm 评分、H/Q%、PT 均较组内治疗前显著改善($P < 0.05$),且治疗组患者的 Lysholm 评分[(84.65±2.43)分]、H/Q%[(55.45±6.21)%]、PT[(115.25±10.32)N·m]均明显优于对照组治疗后[(82.15±4.49)分、(41.75±4.45)%、(104.45±8.52)N·m],组间差异均有统计学意义($P < 0.05$)。**结论** 血流限制训练能有效地改善 ACL 重建术患者的股四头肌力量、膝关节稳定性及膝关节功能。

【关键词】 血流限制训练; 前交叉韧带重建术; 股四头肌; 膝稳定性

基金项目:浙江省医药卫生科技计划项目(2021KY1113)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2023.07.010

The effects of blood flow restriction on the quadriceps femoris and knee stability after anterior cruciate ligament reconstruction

Zheng Qi, Shi Aimei, Li Xiaolong, Yao Yunhai, Fu Jianming

Rehabilitation Medical Center of the Second Hospital of Jiaxing, Jiaxing 314000, China

Corresponding author: Yao Yunhai, Email: zzy168110@163.com

【Abstract】 Objective To explore the effect of blood flow restriction training on the quadriceps femoris and on knee stability after anterior cruciate ligament reconstruction. **Methods** Forty patients recovering from anterior cruciate ligament reconstruction were randomly divided into an experimental group and a control group, each of 20. In addition to routine rehabilitation training, the control group was given routine knee flexion and extension strength training, while the experimental group trained for an additional 20 minutes doing knee flexion and extension resistance training with the blood pressure in their groins at 70% of their individual arterial occlusive pressure. (The mean pressure was (123±11.23)mmHg). The training lasted 8 weeks, three times a week. Knee function and hamstring and quadriceps peak torque were assessed before and after the intervention using a Lysholm scale and Humac Norm isokinetic muscle strength tests. **Results** There were no significant differences between the two groups in any of the measurements before the training. After the intervention, all of the measurements had improved significantly in both groups, with the average Lysholm score, H/Q% and peak torque of the experimental group significantly better than the control group's averages. **Conclusions** Blood flow restriction training can improve the effectiveness of quadriceps femoris strength, knee stability and knee function training after anterior cruciate ligament reconstruction.

【Key words】 Blood flow restriction; Anterior cruciate ligament reconstruction; Quadriceps femoris; Knee stability

Funding: a Zhejiang Province Medical and Health Science and Technology Project (2021KY1113)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2023.07.010

前交叉韧带 (anterior cruciate ligament, ACL) 损伤是常见的运动损伤^[1], 相关研究显示, ACL 损伤后患者常发生膝关节运动异常和关节不稳^[2]。ACL 重建术虽然是理想的治疗手段, 但术后对膝关节功能及周围肌肉力量产生负面影响^[3]。美国物理治疗协会临床实践指南中建议: 膝关节镜术后采用渐进性的抗阻训练方案, 且每次训练时负荷需达到患者单次重复最大负荷 (one repetition maximum, 1RM) 的 60% 以上才能起到增进肌肉体积和力量的作用, 而低于该强度的训练并不能起到良好的锻炼效果^[4-5]。然而, ACL 重建术患者并不能适应高强度的训练方案。因此, 寻求新型可替代的治疗方法具有重要意义。

近年来, 血流限制训练作为一种新型的肌力训练方法, 已应用于运动损伤术后的康复治疗中, 且相关研究表明, 血流限制训练不仅能增进肌肉体积和力量^[6], 还能避免高强度训练带来的再次损伤^[7]。基于此, 本研究对 40 例 ACL 重建术患者采用血流限制训练进行干预, 取得了满意的疗效。现报道如下。

对象与方法

一、研究对象及分组

纳入标准: ①行 ACL 重建术患者; ②年龄 20~55 岁; ③采用自体半腱肌肌腱和股薄肌肌腱移植, 如伴有半月板损伤, 行半月板修补术; ④神志清楚; ⑤由同一医疗组负责手术; ⑥签署知情同意书。

排除标准: ①有意识障碍者; ②合并严重心、肝、肾等器官功能衰竭; ③有下肢骨折、其它韧带损伤、恶性肿瘤等; ④有严重骨质疏松者; ⑤既往有膝骨性关节炎; ⑥既往有颅脑疾病; ⑦既往有膝关节手术史; ⑧未能按要求完成训练者。

选取 2021 年 1 月至 2022 年 3 月浙江省嘉兴市第二医院康复医学中心收治且符合上述标准的 ACL 重建术患者 40 例, 采用随机数字表法将患者分为对照组和治疗组, 每组 20 例。2 组患者的性别、平均年龄、平均体重指数、手术侧别等一般资料经统计学分析比较, 组间差异均无统计学意义 ($P>0.05$), 具有可比性。详见表 1。本研究经嘉兴市第二医院伦理学委员会审核批准 (JXEY-2021SW088)。

二、训练方法

术后 2 组患者均接受常规康复干预, 在此基础上, 治疗组患者辅以血流限制训练, 对照组患者则辅以常

规膝关节屈伸力量训练。具体方法如下。

1. 常规康复干预: ①术后第 0~1 周, 包括支具固定、患肢抬高、踝泵运动、股四头肌静力性收缩; ②术后第 2~3 周, 包括被动活动度训练、膝关节屈伸训练、抗阻踝泵运动; ③术后第 4~6 周, 包括负重训练、重心转移训练、下肢肌力训练、平衡训练、步行训练等; ④术后第 7~8 周, 包括膝屈伸训练、上下楼梯训练、本体感觉训练等。每日 1 次, 每次 45 min, 每周 5 d, 共训练 8 周。

2. 常规膝关节屈伸肌力训练: 术后 2 周, 开始进行膝关节屈伸肌力训练 (每组 10 个, 完成 4 组), 若能抗阻训练时踝关节借助沙袋进行训练, 组间休息 2 min, 每次训练 20 min, 每周 3 次, 训练至术后 8 周。

3. 血流限制训练: 术后 2 周, 开始进行血流限制训练。训练前先检测动脉闭塞压, 患者取仰卧位, 将血流限制带 (血压计袖带) 固定在患者大腿最近端 (腹股沟皱襞区), 采用荷兰 Philips HD11XE 彩色多普勒超声显像仪, 将 3.8 MHz 探头安置于内踝后缘与跟腱之间的中点处, 逐渐对限制带进行充气加压, 直到超声显示彩色血流模式动脉搏动消失, 超声探头检测不到动脉血流显像, 停止加压。此时压力值即为动脉闭塞压。本研究血流限制压设置为个体动脉闭塞压的 70%^[8], 平均压力为 (123.00±11.23) mmHg (1 mmHg=0.133 kPa)。待患者适应血流限制 2 min 后开始训练, 训练内容为膝关节屈伸抗阻训练 (第一组为 30 个, 第二组为 15 个, 共 2 组), 伸膝抗阻训练 (第一组为 30 个, 第二组为 15 个, 共 2 组), 训练时踝关节借助沙袋, 组间休息 2 min, 设置强度为 30% 1RM, 每 2 周重新评估强度, 每次训练完成后解除血流限制, 每次训练 20 min, 每周 3 次, 训练至术后 8 周。若训练过程中患者出现明显不适或下肢异常情况, 立刻停止训练。

三、观察指标

2 组患者均由同一位不知道分组情况的高年资康复医师分别于治疗前和治疗 8 周后 (治疗后) 进行膝关节功能、屈伸肌峰力矩比值和伸膝肌峰力矩评估。

1. 膝关节功能评估: 采用 Lysholm 量表评估受试者的膝关节功能, 该量表包括疼痛 (0~25 分)、跛行 (0~5 分)、支持 (0~5 分)、交锁 (0~15 分)、不稳定 (0~25 分)、肿胀 (0~10 分)、上楼 (0~10 分)、下蹲 (0~5 分) 共 8 个方面, 总分 0~100 分。分值越高提示膝关节功能越好^[9]。

表 1 2 组患者的一般临床资料

组别	例数	性别 (例)		平均年龄 (岁, $\bar{x}\pm s$)	手术侧 (例)		平均 BMI (kg/m ² , $\bar{x}\pm s$)
		男	女		左侧	右侧	
对照组	20	16	4	33.95±6.52	11	9	24.55±4.23
治疗组	20	14	6	35.05±5.93	13	7	26.45±3.36

2. 屈伸肌峰力矩比值 (hamstring/quadriceps, H/Q) 和伸膝肌峰力矩 (peak torque, PT) 评估: 采用由美国 CSMi 公司生产的 Humac Norm 型等速测试仪评估受试者的屈伸肌峰力矩比值和伸膝肌峰力矩, H/Q 反映膝关节稳定性, PT 反映股四头肌肌肉力量。

在温度适宜且舒适的环境下, 受试者坐位于测试座椅上, 保持髌和膝关节 90°, 用固定带将上身、腰部、大腿及踝部固定, 仅留膝节能屈伸活动; 将阻力垫置于踝关节略上方, 调整旋转轴与膝关节旋转轴对齐, 参数设置等速向心收缩模式, 角速度 60(°)/s; 测试前先让患者适应设备 2 min, 测试时嘱患者主动屈伸膝关节, 屈伸 3 次, 每次间隔 2 min, 所得数值取平均值。角速度 60(°)/s 时, H/Q×100% (H/Q%) 标准值为 60%~69%^[10], 故本研究以 H/Q×100% 表示, H/Q% 越接近标准值, 提示膝关节稳定性越好; 伸膝肌峰力矩值越大, 提示股四头肌力量越好^[11]。

四、统计学方法

使用 SPSS 20.0 版统计软件包对所得数据进行统计学分析处理, 计量资料以 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 计量资料先行方差齐性检验。正态分布计量资料比较采用 *t* 检验, 计量资料组内比较采用配对样本 *t* 检验, 组间比较采用独立样本 *t* 检验, 计数资料比较采用 χ^2 检验, $P < 0.05$ 认为差异有统计学意义。

结 果

治疗前, 2 组患者的 Lysholm 评分、伸膝肌 PT、H/Q% 组间比较, 差异均无统计学意义 ($P > 0.05$); 治疗 8 周后, 2 组患者的 Lysholm 评分、伸膝肌 PT、H/Q% 较组内治疗前均明显改善 ($P < 0.05$), 且治疗组上述指标均显著优于对照组治疗后, 组间差异均有统计学意义 ($P < 0.05$), 具体数据详见表 2。

表 2 2 组患者治疗前后的 Lysholm 评分、PT、H/Q% 比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	Lysholm 评分 (分)	伸膝肌 PT (N·m)	H/Q%
对照组				
治疗前	20	53.15±5.59	62.95±8.83	34.25±4.31
治疗后	20	82.15±4.49 ^a	104.45±8.52 ^a	41.75±4.45 ^a
治疗组				
治疗前	20	55.25±3.82	63.25±7.74	35.15±3.19
治疗后	20	84.65±2.43 ^{ab}	115.25±10.32 ^{ab}	55.45±6.21 ^{ab}

注: 与组内治疗前比较, ^a $P < 0.05$; 与对照组治疗后比较, ^b $P < 0.05$

讨 论

膝关节是人体正常运动、负重的重要关节之一, 膝关节韧带和周围肌肉力量是维持膝关节稳定性的重要组成部分。ACL 损伤后膝关节稳定性被破坏, 造成膝

关节不稳及关节功能障碍。研究显示, ACL 重建术虽然能重建膝关节结构, 但会遗留膝关节周围肌肉肌力减退^[12]、神经肌肉活动异常等问题, 降低了膝关节稳定性, 阻碍膝关节功能恢复。相关研究发现, ACL 重建术后患者表现为膝关节伸肌力量的缺失, 而屈肌力量的缺失不明显^[13-14]。Curran 等^[15]研究指出, ACL 重建术后康复的主要目标是恢复股四头肌的力量。因此, 尽早增加股四头肌肌力对 ACL 重建术患者膝关节稳定性的恢复具有重要意义。

血流限制训练是一种使用止血带或充气加压带对上臂或大腿近端进行外部加压来限制远端肢体血流, 并结合相对较小的运动强度以刺激肌肉生长和提高肌肉适应性的训练方法^[16]。血流限制训练因其无创、省力、操作简单、不良反应少等优势备受关注, 目前在临床应用中已涉及多个领域。Faltus 等^[17]研究表明, 血流限制训练能减少慢性踝关节不稳患者的疼痛, 促进肌肉激活和改善近端肌力。Harper 等^[18]研究显示, 血流限制训练能提高膝关节骨关节炎患者的下肢肌肉力量。Centner 等^[19]研究显示, 血流限制训练能促进中枢和外周神经适应性调节。Liu 等^[20]研究表明, 血流限制的阻力训练对调节动脉顺应性具有更积极的作用, 但对血管功能没有造成不良影响。Miller 等^[21]研究表明, 血流限制训练对心血管、内分泌和肌肉骨骼系统产生有利或无害的影响, 其中血流限制下低阻力运动时可增加局部肌肉质量、力量和耐力。由此可见, 血流限制训练在应用中兼具有效性和安全性。

本研究结果显示, 治疗 8 周后, 治疗组患者的 Lysholm 评分、伸膝肌 PT、H/Q% 均显著优于组内治疗前和对照组治疗后, 且差异均有统计学意义 ($P < 0.05$), 表明血流限制训练能有效地改善 ACL 重建术患者的股四头肌力量、膝关节稳定性及膝关节功能, 且疗效明显优于常规康复训练。这可能与血流限制训练的作用机制有关, 血流限制训练的作用机制包括: ①血流限制下膝关节屈伸抗阻训练可使股四头肌和腘绳肌在运动中进行低负荷抗阻训练, 从而增加肌肉力量和容量^[22]; ②血流限制下伸膝抗阻训练可使股四头肌力量得到增加, 同时刺激肌梭内感受器, 增加本体感觉输入, 增强膝关节在动态下的神经适应性调节能力^[19], 强化膝关节在伸膝运动过程中的动态稳定性, 从而促进膝关节功能恢复; ③膝关节屈伸运动可使股四头肌和腘绳肌协同收缩能力增加, 重新建立屈肌与伸肌的力量平衡状态, 改善膝关节前部与后部的作用力, 使关节能够很好地对抗外旋负荷^[23], 从而保护膝关节, 提高稳定性; ④血流限制下进行低负荷屈伸抗阻运动可快速募集快肌纤维^[24], 增强肌肉募集能力, 促使肌肉收缩力量增加和关节运动效应速度加快, 改善神经肌

肉功能,提高膝关节功能。此外,Kacin 等^[25]的研究结果显示,ACL 重建术患者采用低强度抗阻血流限制训练可明显改善伸膝肌力量和耐力的增加,促进膝关节功能恢复。上述观点与本研究结果一致。

综上所述,血流限制训练能有效地改善 ACL 重建术患者的股四头肌力量、膝关节稳定性及膝关节功能,且疗效明显。但本研究存在样本量少、研究时间短等不足之处;另外,本研究未观察血流限制训练的持续性疗效,因此还需大样本、多中心的进一步研究。

参 考 文 献

- [1] 蔡道章.膝关节前交叉韧带损伤治疗的历史变革与发展[J].中华关节外科杂志(电子版),2013,7(1):1-2. DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-134X.2013.01.001.
- [2] Kohn L, Rembeck E, Rauch A. Anterior cruciate ligament injury in adults:diagnostics and treatment [J]. Orthopade, 2020, 49 (11) : 1013-1028. DOI:10.1007/s00132-020-03997-3.
- [3] Brown C, Marinko L, LaValley MP, et al. Quadriceps strength after anterior cruciate ligament reconstruction compared with uninjured matched controls: a systematic review and meta-analysis [J]. Orthop J Sports Med, 2021,9(4):1-16. DOI:10.1177/2325967121991534.
- [4] Logerstedt DS,Snyder-Mackler L,Ritter RC,et al.Knee pain and mobility impairments;meniscal and articular cartilage lesions[J]. J Orthop Sports Phys Ther,2010,40(6):1-35. DOI:10.2519/jospt.2010.0304.
- [5] Pearson SJ, Hussain SR. A review on the mechanisms of blood-flow restriction resistance training induced muscle hypertrophy[J]. Sports Med,2015,45(2):187-200. DOI:10.1007/s40279-014-0264-9.
- [6] 郭艾鑫,顾新.血流限制训练对老年人运动能力改善作用[J].中华老年医学杂志,2020,39(10):1360-1364. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-9026.2020.11.027.
- [7] Fernandes DZ, Weber VMR,da Silva MPA,et al. Effects of blood flow restriction training on handgrip strength and muscular volume of young women [J]. Int J Sports Phys Ther,2020,15(6):901-909. DOI:10.26603/ijsp20200901.
- [8] Patterson SD,Hughes L,Warmington S,et al. Blood flow restriction exercise: considerations of methodology, application, and safety [J]. Front Physiol,2019,10:533. DOI:10.3389/fphys.2021.665568.
- [9] Huang H,Zhang S,Wang Y,et al.Reliability and validity of a Chinese version of the Lysholm score and Tegner activity scale for knee arthroplasty [J]. J Rehabil Med, 2022,54:jrm00317. DOI: 10.2340/jrm.v54.2304.
- [10] Arrhenius AHH. Knee flexion and extension: the establishment and comparison of strength norms among college athletes[C]. American, APS: 54th Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics, 2015:1025-1031. DOI:10.1016/S0895-7061(01)02194-X.
- [11] Wang XF, Ma ZH, Teng XR. Isokinetic strength test of muscle strength and motor function in total knee arthroplasty [J]. Orthop Surg, 2020, 12(3): 878-889. DOI:10.1111/os.12699.
- [12] Balki S, Eldemir S. Hamstring weakness at 90° flexion of involved knee as an indicator of the function deficit in males after anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR) [J]. Acta Bioeng Biomech, 2021,23(3):147-153. DOI:10.37190/ABB-01868-2021-03.
- [13] Leiter JR, Gourlay R, McRae S, et al. Long-term followup of ACL reconstruction with hamstring autograft [J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2014, 22(5):1061-1069. DOI: 10.1007/s00167-013-2466-3.
- [14] Leys T, Salmon L, Waller A, et al. Clinical results and risk factors for reinjury 15 years after anterior cruciate ligament reconstruction; a prospective study of hamstring and patellar tendon grafts [J]. Am J Sports Med, 2012, 40(3):595-605. DOI: 10.1177/0363546511430375.
- [15] Curran MT, Bedi A, Mendias CL, et al. Blood flow restriction training applied with high-intensity exercise does not improve quadriceps muscle function after anterior cruciate ligament reconstruction; a randomized controlled trial [J]. Am J Sports Med 2020,48(4):825-837. DOI:10.1177/0363546520904008.
- [16] Abe T, Kearns CF, Manso Filho HC, et al. Muscle, tendon, and somatotropin responses to the restriction of muscle blood flow induced by KAATSU-walk training [J]. Equine Vet J Suppl, 2006,36:345-348. DOI:10.1111/j.2042-3306.2006tb05566.x.
- [17] Faltus J, Owens J, Hedt C. Theoretical applications of blood flow restriction training in managing chronic ankle instability in the basketball athlete [J]. Int J Sports Phys Ther, 2018,13(3):552-560. DOI: 10.26603/ijsp20180552.
- [18] Harper SA, Roberts LM, Layne AS, et al. Blood-flow restriction resistance exercise for older adults with knee osteoarthritis: a pilot randomized clinical trial [J]. J Clin Med, 2019, 8(2):265. DOI:10.3390/jcm8020265.
- [19] Centner C, Lauber B. A systematic review and meta-analysis on neural adaptations following blood flow restriction training: what we know and what we don't know [J]. Front Physiol, 2020, 11:887. DOI:10.3389/fphys.2020.00887.
- [20] Liu Y, Jiang N, Pang F, et al. Resistance training with blood flow restriction on vascular function: a meta-analysis [J]. Int J Sports Med 2021,42(7):577-587. DOI:10.1055/a-1386-4846.
- [21] Miller BC, Tirko AW, Shipe JM, et al. The systemic effects of blood flow restriction training: a systematic review [J]. Int J Sports Phys Ther, 2021, 16(4):978-990. DOI: 10.26603/001c.25791.
- [22] Whiteley R. Blood flow restriction training in rehabilitation: a useful adjunct or Lucy's latest trick [J]. J Orthop Sports Phys Ther, 2019, 49(5):294-298. DOI:10.2519/jospt.2019.0608.
- [23] Teixeira da Fonseca S, Silva PL, Ocarino JM, et al. Analyses of dynamic co-contraction level in individuals with anterior cruciate ligament injury [J]. J Electromyogr Kinesiol, 2004, 14(2):239-247. DOI: 10.1016/j.jelekin.2003.09.003.
- [24] Takarada Y, Takazawa H, Sato Y, et al. Effects of resistance exercise combined with moderate vascular occlusion on muscular function in humans [J]. J Appl Physiol, 2000, 88(6):2097-2106. DOI:10.1152/jappl.2000.88.6.2097.
- [25] Kacin A, Drobnic M, Mars T, et al. Functional and molecular adaptations of quadriceps and hamstring muscles to blood flow restricted training in patients with ACL rupture [J]. Scand J Med Sci Sports, 2021,31(8):1636-1646. DOI:10.1111/sms.13968.

(修回日期:2023-05-23)

(本文编辑:汪玲)