

血流量限制结合低强度抗阻训练对下肢骨科术后肌肉功能的影响

黄凯荣, 张国兴, 王俊, 陈翠珍, 曾文娣, 林俊毅, 李芳鑫

【摘要】 目的:探索血流量限制结合低强度抗阻训练对下肢骨科术后肌肉功能的影响。方法:选取下肢骨科术后4~12周患者39例,随机将患者分为观察组19例和对照组20例。2组患者均接受为期4周的康复训练,对照组根据渐进抗阻原则进行肌力训练,观察组使用血流量限制结合低强度抗阻肌力训练。等速伸膝峰力矩、超声下股四头肌肌肉形态、肢体围度、静态稳定极限用于评估治疗前后患者的肌肉力量、肌肉形态、运动功能。结果:治疗4周后,2组患者伸膝峰力矩、股直肌厚度及横截面积、静态稳定极限、肢体围度均较治疗前明显提高($P<0.05$),且治疗后观察组患者伸膝峰力矩显著优于对照组($P<0.01$);仅观察组患者股中间肌厚度较治疗前有明显增加($P<0.05$),2组患者静态稳定极限及肢体围度治疗后比较差异无统计学意义。结论:血流限制性运动结合低强度抗阻肌力训练有助于下技术后患者肌肉功能,且增加肌肉力量及大小效果优于常规训练。

【关键词】 血流限制性运动;骨科术后;肌骨超声;等速肌力

【中图分类号】 R49;R683.4 **【DOI】** 10.3870/zgkf.2022.04.010

Effect of blood flow restriction combined with low-intensity resistance training on muscle function after lower limb orthopedic surgery Huang Kairong, Zhang Guoxing, Wang Jun, et al. Department of Physiotherapy, Guangdong Provincial Work Injury Rehabilitation Hospital, Guangzhou 510440, China

【Abstract】 Objective: To observe the effect of blood flow restriction combined with low-intensity resistance training on muscle function after lower limb orthopedic surgery. **Methods:** A total of 40 patients undergoing lower limb orthopedic operation within 4–12 weeks were selected, and randomly divided into treatment group ($n=19$, 1 dropout) and control group ($n=20$). Patients in both groups received 4 weeks of rehabilitation training. Patients in control group was given general resistant muscle strength training based on the principle of progressive resistance, and those in treatment group were subjected to blood flow restriction combined with low-intensity resistance muscle training. The isokinetic knee extensor peak torque (PT), quadriceps muscle morphology under ultrasound, limb circumference, static stability limit before and after treatment were used to evaluate the muscle strength, muscle shape, and motor function of patients. **Results:** Patients in the treatment group and the control group were significantly improved in PT, the thickness of the rectus femoris, the cross-sectional area of the rectus femoris, static stability limit, and limb circumference after treatment as compared with those before treatment ($P<0.05$). The improvement of PT in the treatment group was significantly better than that in the control group ($P<0.001$). The thickness of the vastus intermedius in the treatment group was significantly improved as compared with that before treatment ($P<0.05$). **Conclusion:** Blood flow restrictive exercise combined with low-intensity resistance training can improve the muscle function of patients after lower limb surgery, and the effect of increasing muscle mass and muscle strength are better than conventional training.

【Key words】 blood flow restriction movement; orthopedic surgery; muscle ultrasound; isokinetic muscle strength

骨科术后康复的主要目标是解决患者的疼痛,有效地重建正常的关节运动,恢复肌肉力量和功能^[1]。美国运动医学建议传统肌力训练负荷需超过65%~70%最大一次重复收缩(1 Repetition Maximum,

1RM)才能增加骨骼肌的大小和力量^[2]。为保护经手术修复的肢体,手术后患者常因疼痛、肿胀、关节不稳或个人意愿等因素无法进行传统抗阻肌力训练^[3]。故在较低强度下运动^[4],可能导致肌肉力量恢复受限制^[5]。血流量限制结合低强度抗阻训练(low load blood flow restriction training, BFRT)是指限制静脉回流增加肌肉代谢压力,同时给予肢体20~30%1RM的阻力进行抗阻训练的方法。让小负荷低强度的训练也能产生与长时间高强度训练相似的生理效果:包括

基金项目:广东省工伤康复中心(医院)重点科研项目(KYXM2020A002)

收稿日期:2021-10-11

作者单位:广东省工伤康复中心,广州 510400

作者简介:黄凯荣(1993-),男,技师,主要从事骨科康复方面的研究。

通讯作者:张国兴,379683555@qq.com

肌肉缺氧酸化、肌肉募集率提高(Ⅱ型肌纤维募集率提高)、神经肌肉兴奋性增加、生长激素分泌增加、1型类胰岛素生长因子(insulin-like growth factor-1, IGF-1)和哺乳动物雷帕霉素靶蛋白复合物1:mammalian target of rapamycin complex 1, mTORC1)分泌增多,肌肉生长抑制素降低^[6-7]。这种训练方式已经从职业体育领域引用到康复医疗领域,越来越多的文献证据表明BFRT具有较高的安全性,在促进肌肉和力量的增长和血管系统健康方面有良好的效果。本研究通过观察BFRT对肌肉功能的影响,为下肢骨科术后患者提供新的康复方案。

1 资料与方法

1.1 一般资料 本研究开始前获得了广东省工伤康复中心伦理委员会的审查批准,入组前签署知情同意书。研究对象为2020年6月~2021年5月在广东省工伤康复医院住院的下肢骨科术后患者40例,纳入标准:膝关节及以下组织骨科术后4~12周;年龄 ≥ 16 岁,可配合完成治疗;排除标准:不易控制的高血压、严重的心肺疾病、血栓性疾病、静脉曲张、淋巴切除、凝血功能障碍、周围血管疾病、血管重建等;任何禁止运动的疾病;不稳定性骨折、大腿植皮、伤口未愈及感染者;下肢神经损伤,严重的肌肉破坏或坏死;认知功能障碍。采用随机数字表法分为观察组和对照组,每组20例。其中1例患者因个人原因退出试验,共有39人完成试验,观察组19例,对照组20例。采用单盲法开展研究,即患者对分组情况不知情。2组患者一般资料比较差异无统计学意义。见表1。

1.2 方法 2组患者均遵循一般术后康复训练方案,包括体能耐力训练,关节活动度训练、负重训练、本体感觉训练和步行训练等。训练之前均使用固定式自行车热身5min,转速为60圈/min。由于患者术后实际情况很难获得真正的1RM,使用病人感觉为安全的最大负荷作为1RM。对照组使用常规肌力训练方法,根据患者不同功能情况使用弹力带、沙袋或医学训练设备(Medical training therapy, MTT),避免剪切、扭转等不良应力刺激。患者以60~80%1RM作为伸膝抗阻负荷,完成3组各10次伸膝抗阻训练,组间休息

60s。伸膝训练每天1次,每周6d,持续4周。观察组使用血流量限制训练带(blood flow restriction, BFR)进行训练,训练前将训练带内空气排出,环绕于大腿根部,保证训练带紧贴皮肤且不滑脱,充气加压前无束缚感,初始压力选择200mmHg^[8]。训练带压力仅限制静脉回流,以30%1RM作为伸膝抗阻负荷,完成4组抗阻训练,分别是30次,15次,15次,15次,组间休息30s,组间休息保持训练带压力直到训练结束,每次训练时长控制小于20min^[9]。根据个性化血流限制压力(Personalized tourniquet pressure, PTP)及训练部位^[10],在一次训练过程中不进行压力调整。每次训练后询问患者疲劳程度,分为4个等级,分别是无疲劳、轻度疲劳、疲劳、极度疲劳,下一次训练对应的压力调整分别是增加压力50mmHg、增加压力25mmHg、保持压力不变、减低压力25mmHg^[10]。伸膝训练每天1次,每周6d,持续4周。

1.3 评定标准 2组患者均在开始训练前,训练4周时在同一治疗师操作下进行以下指标测量。①伸膝力量:多关节等速肌力评估系统(BIODEX 4.0, 美国)测量伸膝峰力矩(peak torque)。患者取坐位,配置等速膝关节配件,热身5次,60°/s角速度下完成最大伸膝屈膝向心运动,重复5次。记录最大伸膝峰力矩,单位为N·m,代表肌肉收缩的最大肌力。②肌肉形态:肌骨超声(Terason uSmart 3300)选择12L5A线阵探头、肌骨模式膝关节部位。患者取卧位,膝下垫滚轴保持屈膝约30°,探头短轴垂直皮肤表面测量髌骨上极10cm处股直肌厚度、股直肌横截面积、股中间肌厚度,使用较多耦合剂并减少加压,降低对软组织的压迫^[11]。③肢体围度:患者取卧位伸膝,用软尺测量距髌骨上极10cm处测量大腿肌围度。④平衡功能:平衡测试及训练系统(TecnoBody PK252, 意大利)测量睁眼静态稳定极限,患者按照要求站立在平衡板上,朝8个方向分别进行重心转移,记录患者完成结果。

1.4 统计学方法 使用SPSS 26.0统计软件进行数据分析,计数资料根据相应的分类变量计数,采用 χ^2 或Fisher检验;计量资料用 $\bar{x} \pm s$ 表示,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, $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

表1 2组患者一般资料比较

组别	例	性别(例)		年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	身高 (cm, $\bar{x} \pm s$)	体重 (kg, $\bar{x} \pm s$)	病程 (d, $\bar{x} \pm s$)	术侧(例)		手术部位(例)		
		男	女					左	右	膝部	小腿	踝足
观察组	19	10	9	35.89 $\pm$ 10.14	165.37 $\pm$ 8.36	60.26 $\pm$ 10.06	56.32 $\pm$ 15.09	9	10	4	7	8
对照组	20	13	7	38.20 $\pm$ 10.06	166.35 $\pm$ 7.33	60.08 $\pm$ 10.32	60.10 $\pm$ 15.36	12	8	2	8	10
t/χ^2		—		0.712	0.391	0.448	0.776	—		—		
P		0.523		0.481	0.698	0.657	0.443	0.527		0.696		

2 结果

2.1 伸膝峰力矩 治疗前 2 组患者伸膝峰力矩差异无显著意义。治疗 4 周后,2 组患者伸膝峰力矩均较治疗前明显增加 ($P < 0.01$),且观察组优于对照组 ($P < 0.01$)。见表 2。

表 2 2 组患者治疗前后伸膝峰力矩比较 $N \cdot m, \bar{x} \pm s$

组别	<i>n</i>	治疗前	治疗后	<i>t</i>	<i>P</i>
观察组	19	50.40±29.10	69.65±30.53	-4.504	<0.001
对照组	20	50.84±36.47	61.46±34.65	-6.059	<0.001
<i>t</i>		0.041	-3.541		
<i>P</i>		0.967	<0.001		

2.2 肌肉形态 2 组患者治疗前股直肌厚度、股直肌横截面积、股中间肌厚度均无明显差异。治疗 4 周后,2 组患者的股直肌厚度、股直肌横截面积均较治疗前明显提高 ($P < 0.05$),但 2 组间比较无明显差异;观察组患者股中间肌厚度较治疗前有明显增加 ($P < 0.05$),对照组患者股中间肌厚度治疗前后未见明显差异。见表 3。

2.3 肢体围度 治疗前 2 组患者肌围度未见明显差异。治疗 4 周后,2 组患者肌围度均较治疗前增加 ($P < 0.05$)。组间比较无明显差异。见表 4。

表 4 2 组患者治疗前后肢体围度比较 $cm, \bar{x} \pm s$

组别	<i>n</i>	治疗前	治疗后	<i>t</i>	<i>P</i>
观察组	19	40.77±4.42	41.47±3.72	-2.278	0.035
对照组	20	39.55±4.21	39.90±4.02	-2.333	0.031
<i>t</i>		-0.886	-1.265		
<i>P</i>		0.381	0.214		

2.4 静态稳定极限 治疗前 2 组患者静态稳定极限无明显差异。治疗 4 周后,2 组患者稳定极限较治疗前明显提高 ($P < 0.01$)。组间比较无明显差异。见表 5。

表 5 2 组患者治疗前后静态稳定极限比较 $\%, \bar{x} \pm s$

组别	<i>n</i>	治疗前	治疗后	<i>t</i>	<i>P</i>
观察组	19	58.81±18.08	72.61±7.16	-4.238	<0.001
对照组	20	52.64±17.73	67.42±12.66	-5.360	<0.001
<i>t</i>		-1.077	-1.565		
<i>P</i>		0.289	0.126		

3 讨论

本研究发现低负荷运动中增加 BFR 训练带在改

善下肢骨科术后患者肌肉功能具有积极作用,4 周治疗后患者的伸膝峰力矩、肌肉形态、肢体围度、静态稳定极限等数据均有明显提升。股直肌厚度、股直肌横截面积、肢体围度和静态稳定极限均与对照组结果一致,组间差异不明显。伸膝峰力矩的治疗效果观察组明显优于常规训练,且仅观察组患者股中间肌厚度前后变化有统计学意义。可能与以下情况有关:第一,术后患者出现肌肉萎缩、肌力下降是常见的现象,但因疼痛、肿胀、不稳或个人意愿等因素无法进行高强度抗阻肌力训练,延迟肌肉及功能的恢复。使用 BFRT 训练带结合低负荷抗阻训练,患者训练时配合程度高,耐受情况更好。BFRT 通过限制静脉回流增加肌肉代谢压力,促进生长激素的分泌和生成,让小负荷低强度的训练也能产生与高强度抗阻肌力训练相似的生理效果^[10]。许多研究证明 BFRT 能有效增加肌力和肌肉大小,Scott 等^[12]通过研究证明在低负荷有氧运动中,BFRT 可显著改善肌肉的形态和增加力量,并阐述了 BFRT 促进肌肉生长效果的最佳条件。Pearson 等^[13]阐述了 BFRT 产生肌肥大效果的工作原理,为 BFRT 提供了理论依据。Hughes 和 Mason 等^[14-15]通过实验证明 BFRT 对前交叉韧带重建术后患者肌肉功能恢复有促进作用。第二,所有患者的一般术后康复训练方案,包括体能耐力训练,关节活动度训练、负重训练、本体感觉训练和步行训练等,不能完全控制训练量一致,肌力训练方法也不尽相同,均可能会对训练结果造成一定影响。第三,肌肉厚度是影响肌肉力量的重要因素,许多 BFRT 使用肌骨超声对肌肉进行评估^[16-17],但肌肉形态可能受软组织水肿、肌肉边界不清晰、探头加压力度等影响。本研究选取术后 4 周以后患者进行检测,一方面患者或已出现明显的肌肉萎缩,另一方面患者的软组织水肿得到控制,尽可能减小水肿的影响。第四,股四头肌由股直肌、股中间肌、股外侧肌和股内侧肌组成,其中股直肌是连接髌关节和膝关节的双关节肌肉,股中间肌对于伸膝爆发力作用明显。Cheon^[18]的研究认为虽然这组肌肉均起到膝伸肌作用,但每个肌肉有特定的功能,不同的训练模式对肌肉刺激效果不同。Ryosuke^[19]认为在构成股四头肌

表 3 2 组患者治疗前后股直肌厚度、股直肌横截面积、股中间肌厚度比较 $\bar{x} \pm s$

组别	<i>n</i>	股直肌厚度(cm)				股直肌横截面积(cm ²)				股中间肌厚度(cm)			
		治疗前	治疗后	<i>t</i>	<i>P</i>	治疗前	治疗后	<i>t</i>	<i>P</i>	治疗前	治疗后	<i>t</i>	<i>P</i>
观察组	19	0.92±0.25	1.01±0.24	-2.827	0.011	1.88±0.59	2.15±0.70	-2.666	0.016	0.80±0.29	0.93±0.30	-2.973	0.008
对照组	20	0.92±0.26	0.96±0.27	-2.130	0.046	1.93±0.70	2.07±0.77	-2.310	0.032	0.96±0.32	0.98±0.30	-0.516	0.612
<i>t</i>		0.026	-0.706			0.264	-0.306			1.592			
<i>P</i>		0.979	0.485			0.793	0.761			0.120			

的四块肌肉中,股中间肌的肌肉结构是膝关节力量的最佳预测指标。本研究中观察组及对照组的训练负荷不同,仅观察组患者股中间肌厚度前后有明显变化,且治疗前后观察组伸膝峰力矩较对照组变化明显可能与此有关。

另外,安全性是BFRT应用的前提。Bond等^[1]对骨科术后使用BFRT的安全性问题进行研究,对比BFR与深静脉血栓(Deep Vein Thrombosis, DVT)之间关系,认为BFRT不会导致血流凝滞、血管内壁损伤或使血液处于高凝状态,不会增加DVT的风险。但是DVT的发生是相当严重的,要基于临床医生对BFRT生理机制的理解,以及对风险的预测,训练前可使用骨科术后静脉血栓风险相关的BFRT相对禁忌症进行筛查。

综上所述,BFRT可改善患者肌肉功能,增加伸膝峰力矩和股中间肌厚度效果优于常规训练,在骨科康复领域具有较高的临床意义。

【参考文献】

- [1] Bond CW, Hackney KJ, Brown SL, et al. Blood Flow Restriction Resistance Exercise as a Rehabilitation Modality Following Orthopaedic Surgery: A Review of Venous Thromboembolism Risk. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2019,49(1):17-27.
- [2] American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults[J]. *Med Sci Sports Exerc.* 2009,41(3):687-708.
- [3] Hopkins J, Ingersoll C. Arthrogenic muscle inhibition: a limiting factor in joint rehabilitation[J]. *J Sport Rehabil.* 2000,9(2):135-159.
- [4] van Grinsven S, van Cingel RE, Holla CJ, et al. Evidence-based rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2010,18(8):1128-1144.
- [5] Palmieri-Smith RM, Thomas AC, Wojtys EM. Maximizing quadriceps strength after ACL reconstruction[J]. *Clin Sports Med.* 2008,27(3):405-424.
- [6] Vanwyke WR, Weatherholt AM, Mikesky AE. Blood Flow Restriction Training: Implementation into Clinical Practice[J]. *Int J Exerc Sci.* 2017,10(5):649-654.
- [7] Ilett MJ, Rantalainen T, Keske MA, et al. The Effects of Restriction Pressures on the Acute Responses to Blood Flow Restriction Exercise[J]. *Front Physiol.* 2019,10(8):1018.
- [8] Bryk FF, Dos Reis AC, Fingerhut D, et al. Exercises with partial vascular occlusion in patients with knee osteoarthritis: a randomized clinical trial[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016,24(5):1580-1586.
- [9] Yasuda T, Fukumura K, Fukuda T, et al. Effects of low-intensity, elastic band resistance exercise combined with blood flow restriction on muscle activation. *Scand J Med Sci Sports* [J]. 2014,24(1):55-61.
- [10] Bordessa JM, Hearn MC, Reinfeldt AE, et al. Comparison of blood flow restriction devices and their effect on quadriceps muscle activation[J]. *Phys Ther Sport.* 2021,49(5):90-97.
- [11] Lopez P, Pinto MD, Pinto RS. Does Rest Time before Ultrasonography Imaging Affect Quadriceps Femoris Muscle Thickness, Cross-Sectional Area and Echo Intensity Measurements [J]. *Ultrasound Med Biol.* 2019,45(2):612-616.
- [12] Scott BR, Loenneke JP, Slattery KM, et al. Exercise with Blood Flow Restriction: An Updated Evidence-Based Approach for Enhanced Muscular Development[J]. *Sports Med.* 2015,45(3):313-325.
- [13] 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.
- [14] Hughes L, Rosenblatt B, Haddad F, et al. Comparing the Effectiveness of Blood Flow Restriction and Traditional Heavy Load Resistance Training in the Post-Surgery Rehabilitation of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Patients: A UK National Health Service Randomised Controlled Trial[J]. *Sports Med.* 2019,49(11):1787-1805.
- [15] Mason J, Owens J, Brown W, et al. Blood Flow Restriction Training: Current and Future Applications for the Rehabilitation of Musculoskeletal Injuries[J]. *Tech Orthop.* 2018,33(2):106-113.
- [16] Gavanda S, Isenmann E, Schlöder Y, et al. Low-intensity blood flow restriction calf muscle training leads to similar functional and structural adaptations than conventional low-load strength training: A randomized controlled trial[J]. *PLoS One.* 2020,15(6):e0235377.
- [17] Wengle L, Migliorini F, Leroux T, et al. The Effects of Blood Flow Restriction in Patients Undergoing Knee Surgery: A Systematic Review and Meta-analysis [J]. *Am J Sports Med.* 2021,10(8):3635465211027296.
- [18] Cheon S, Lee JH, Jun HP, et al. Acute Effects of Open Kinetic Chain Exercise Versus Those of Closed Kinetic Chain Exercise on Quadriceps Muscle Thickness in Healthy Adults[J]. *Int J Environ Res Public Health.* 2020,17(13):4669.
- [19] Ando R, Saito A, Umemura Y, et al. Local architecture of the vastus intermedius is a better predictor of knee extension force than that of the other quadriceps femoris muscle heads[J]. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2015,35(5):376-382.