

血流限制联合低强度抗阻训练对高位脊髓损伤患者上肢功能和日常活动能力的影响*

马淑琴¹ 董继革² 黄富表^{3,4}

摘要

目的:探讨血流限制联合低强度阻力训练对高位脊髓损伤患者上肢功能和日常活动能力的影响。

方法:选取2023年3—10月于北京博爱医院收治的颈段脊髓损伤患者34例,随机分为试验组和对照组,每组17例。对照组进行单纯双上肢低强度阻力训练,试验组在对照组的基础上添加血流限制条件。干预前后对比两组肌肉厚度、肌力、上肢功能问卷评分、日常活动能力和生存质量5个方面。

结果:①上肢功能:6周治疗后,试验组各肌肉的肌肉厚度较治疗前都有显著增加($P<0.05$),对照组仅部分有改善($P<0.05$),试验组各肌肉厚度的差值较对照组有显著差异($P<0.05$);治疗后,试验组和对照组大部分肌群的肌力较治疗前均有增加,另外试验组的双侧屈肘和伸肘肌群肌力优于对照组($P<0.05$);6周治疗后,两组患者CUE-Q评分均明显增加($P<0.05$),且试验组评分高于对照组($P<0.05$);②日常活动能力变化:6周治疗后,两组患者SCIM-Ⅲ、SCIDOLRS在治疗后均有提高($P<0.05$),且试验组评分优于对照组($P<0.05$)。

结论:相较于常规低强度阻力训练,血流限制联合低强度阻力训练可以更有效地改善高位脊髓损伤患者的上肢功能及日常活动能力。

关键词 高位脊髓损伤;血流限制;上肢功能;日常活动能力

中图分类号:R651.2;R681.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-1242(2026)-07-1081-08

Effects of blood flow restriction combined with low intensity resistance training on upper limb function and activity of daily living in patients with high-level spinal cord injury/MA Shuqin, DONG Jige, HUANG Fubiao//Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2026, 41(7):1081—1088

Abstract

Objective: To investigate the effects of blood flow restriction combined with low intensity resistance training on upper limb function and activities of daily living (ADL) in patients with high-level spinal cord injury.

Method: Thirty-four patients with cervical spinal cord injury admitted to Beijing Boai hospital from March 2023 to October 2023 were randomly divided into an experimental group and a control group, with 17 patients in each group. The control group received low intensity resistance training for both upper limbs, while the experimental group added blood flow restriction conditions on top of the control group. Comparing five aspects of muscle thickness, muscle strength, capabilities of upper extremity questionnaire(CUE-Q), spinal cord independence measure-Ⅲ(SCIM-Ⅲ) and spinal cord injury of dysfunction quality of life rating scale(SCIDOLRS)between the two groups before and after intervention.

Result:①Upper limb function: After 6 weeks of treatment, the muscle thickness of each muscle in the experimental group significantly increased compared to before treatment ($P<0.05$), while the control group only partially improved ($P<0.05$). The difference in muscle thickness between the experimental group and the control

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2026.07.009

*基金项目:国家自然科学基金重点支持项目(U1913209)

1 天津体育学院,天津市,301617; 2 中国中医科学院望京医院康复治疗部; 3 中国康复研究中心北京博爱医院作业疗法科; 4 通讯作者
第一作者简介:马淑琴,女,硕士,初级治疗师; 收稿日期:2023-11-15

group was significantly different ($P<0.05$); After treatment, the muscle strength of most muscle groups in the experimental and control groups increased compared to before treatment. In addition, the muscle strength of bilateral elbow flexion and extension muscle groups in the experimental group were better than that in the control group ($P<0.05$); After 6 weeks of treatment, the CUE-Q scores of both groups significantly increased ($P<0.05$), and the scores of the experimental group were higher than control group ($P<0.05$). ②Changes in daily activity ability: After 6 weeks of treatment, both groups of patients showed improvements in SCIM-Ⅲ and SCIDOLRS scores($P<0.05$), and the experimental group scored better than the control group ($P<0.05$).

Conclusion: Compared to low intensity resistance training, blood flow restriction combined with low intensity resistance training can more effectively improve upper limb function and daily activity ability in patients with high level spinal cord injury.

Author's address Tianjin University of Sport, Tianjin, 301617

Key word high-level spinal cord injury; blood flow restriction; upper limb function; activities of daily living

高位脊髓损伤为脊髓神经组织受损而造成颈段功能的损害和丧失,会造成四肢、躯干和盆腔器官功能的损害^[1]。由于上肢功能会因损伤节段不同而受到不同程度的损伤,严重影响了独立能力,因此上肢功能的改善和恢复是高位脊髓损伤患者的首要康复目标^[2]。迄今为止用来改善该类患者上肢功能的方法包括传统手法治疗、电刺激和上肢功能手术^[3]等,但常规康复治疗效果单一;电刺激在下运动神经元损伤的患者中应用具有一定局限性;上肢功能性手术价格昂贵,术后还会出现不同程度的其他功能下降,这些都限制了以上方法的应用^[4-6]。因此需要寻找一种安全、有效且不会造成经济负担的方法来更好地帮助其改善上肢功能。

血流限制(blood flow restriction, BFR)训练,是指使用皮带或气动袖口部分限制动脉血液流入,同时限制静脉流出的一种方法^[7-8]。证据表明,70%—80%一次可重复的最大重量(one-repetition maximum, 1RM)的阻力训练可以有效增加肌力,但是高强度的阻力训练会产生比较高的心肺压力和机械负荷,对于身体素质较差的人群来说并不适用^[9]。同时,血流限制条件下的低强度阻力训练可以产生与高强度运动类似的肌肉肥大反应,但其造成的心肺压力和机械负荷都较小^[10-12],因此各领域开始尝试将血流限制条件下的低强度阻力训练作为传统阻力训练的替代训练,应用于那些无法完成高强度运动的人群。

本实验将血流限制联合低强度抗阻应用到四肢瘫患者的上肢功能康复中去,旨在探究血流限制条件下的上肢低强度抗阻训练对颈段脊髓损伤患者上

肢功能以及日常生活活动能力恢复的影响。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本实验选取2023年3月—2023年10月已被确诊为颈段脊髓损伤并于中国康复研究中心北京博爱医院进行康复治疗的患者34例,男女不限。

纳入标准:①诊断为颈段的脊髓损伤;②能够维持轮椅坐位至少20min;③MMSE评分 ≥ 24 ,可配合研究人员进行检查;④患者在日常生活中为右利手;⑤双上肢有足够肌力能够在Mortor Med设备进行抗阻,且1RM在3—20;⑥自愿参与为期6周的干预,并签署知情同意书。

排除标准:①干预前测试运动后血压急性反应异常,即收缩压上升 $>30\text{mmHg}$;舒张压上升 $>20\text{mmHg}$;②存在血液循环障碍、凝血功能障碍;③上肢改良Ashworth分级Ⅱ级以上,并且存在上肢关节僵直;④存在活动性感染、妊娠或干预不耐受等情况。

剔除或脱落标准:①不能坚持完整治疗周期(连续3次缺席训练);②因其他原因无法配合全程康复治疗或中途退出;③发生无法耐受的异常反应。

将所有受试者随机分为两组,其中试验组17例、对照组17例(表1)。两组患者一般资料比较结果显示,受试者年龄、性别和病程等一般人口统计学信息均没有显著差异($P>0.05$)。本研究经过中国康复研究中心医学伦理委员会批准(批号:2023-017-01),试验过程中无不良事件发生。

1.2 方法

两组受试者均进行常规的康复治疗,除此之外

表1 一般资料

	试验组 (n=17)	对照组 (n=17)	P值
年龄(岁)	42.47±15.17	44.24±15.85	0.742
性别(男/女)	14/3	16/1	0.287
病程(月)	6(4,12)	5(3,22)	0.653
ASIA 分级[例%]			0.847
A	4(23.5)	2(11.8)	
B	6(35.3)	6(35.3)	
C	3(17.6)	6(35.3)	
D	4(23.5)	3(17.6)	
损伤平面[例%]			0.613
C2	2(11.8)	1(5.9)	
C3	3(17.6)	3(17.6)	
C4	10(58.8)	9(52.9)	
C5	1(5.9)	3(17.6)	
C6	1(5.9)	1(5.9)	
静息收缩压(mmHg)	104.00±19.30	105.65±14.92	0.783
单次运动后收缩压(mmHg)	109.35±23.70	111.59±15.25	0.746
Δ(mmHg)	5.35±8.08	5.94±6.04	0.811
静息舒张压(mmHg)	69.82±13.96	70.65±13.18	0.861
单次运动后舒张压(mmHg)	70.12±17.22	71.35±13.29	0.816
Δ(mmHg)	0.41±5.68	0.71±6.84	0.892

注:Δ:单次运动后收缩压与舒张压差值。

对照组进行单纯上肢低强度阻力训练,试验组在血流限制条件的基础上进行上肢低强度阻力训练。两组的干预频率均为15min/次,1次/天,3天/周,共干预6周。在进行阻力运动干预之前测试受试者双上肢1RM以确定后续训练的抗阻强度以及双上肢的肢体闭塞压(limb occlusion pressure, LOP)来实施BFR,治疗开始后每两周测试一次1RM和LOP保证训练效果;另外还需要将所有受试者单次运动后血压的急性反应作为安全指标进行测试,以确保受试者的运动后的血压变化在安全范围内。

1.2.1 常规低强度抗阻运动:本研究采用MotorMed Viva2康复训练设备进行上肢低强度抗阻训练,阻力设置为20% 1RM,训练时间设置为15min,在整个干预过程中训练4min,休息1min为1组,总共进行3组。在整个训练过程中,嘱咐患者主动用力,尽最大能力完成训练内容。

1.2.2 血流限制联合低强度阻力训练:该组受试者在相同设备上训练,与对照组不同的是进行低强度抗阻训练的同时需在双上肢施加BFR。使用Theratools BFR高效康复训练系统(图1)对受试者进行干预,待受试者在上肢训练器准备完成后,于上肢最近端、腋前侧佩戴BFR加压带。患者在50% LOP的压力条件下进行抗阻训练,训练强度为20%

1RM,训练动作与方案与对照组相同,需要注意的是在休息的过程中将BFR压力带中的压力释放,并且在整个干预过程中实验组受试者BFR训练压力不作调整。

图1 血流限制联合低强度阻力训练



1.3 观察指标

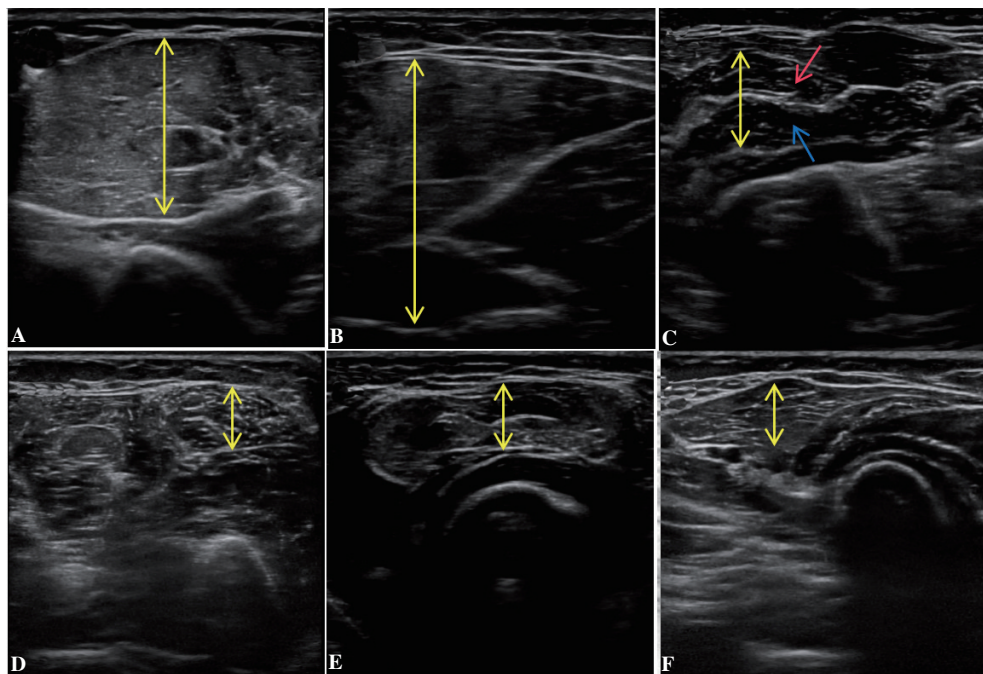
1.3.1 肌肉厚度:使用日本Sonimage HS1(柯尼卡美能达)肌骨超声对双侧肱二头肌、肱三头肌、指屈肌、尺侧腕屈肌、指伸肌和桡侧腕长伸肌的厚度进行测量。目标肌肉充分暴露后,将超声的L18-4线性探头垂直置于目标肌肉的表面皮肤,根据肌肉的深度调节亮度、界面大小和聚焦部位等参数,之后以肌肉横轴进行测量。探测到合适图像后将屏幕冻结(freeze),使用距离测量中的直线距离测量两层肌内膜之间的垂直距离。具体测量部位如下:肱二头肌和肱三头肌于起止点之间距离的中上1/3处进行测量;尺侧腕屈肌为肱骨内上髁至豌豆骨中上1/3处,指屈肌为腕横纹至上肢肘横纹1/2处,指伸肌和桡侧腕长伸肌分别于肱骨外上髁至桡骨茎突近段1/3处的外侧和稍内侧(图2)。

1.3.2 上肢徒手肌力测试:使用徒手肌力测试法对所有受试者肱二头肌、肱三头肌、屈腕肌群和伸腕肌群的肌力进行测试。使用美国医学研究委员会(Medical Research Council, MRC)分级进行肌力评估。

1.3.3 上肢功能问卷:使用上肢功能问卷(capabilities of upper extremity questionnaire, CUE-Q)对受试者的上肢功能进行评估,包括17个项目,其中15个为单侧上肢项目,2个为双上肢的项目,所有单项难度范围从0分(无法完成)到4分(没有困难),总分最低为0分,最高为128分。

1.3.4 日常活动能力评定:脊髓独立性评定量表-第

图2 肌肉厚度测量超声影像



注: A-F 分别为肱二头肌、肱三头肌、指屈肌、尺侧腕屈肌、指伸肌和桡侧腕长伸肌的超声冻结图影像,黄色双向箭头为测量范围;C中红色单向箭头为指浅屈肌,蓝色单向箭头为指深屈肌

3版(spinal cord independence measure-Ⅲ, SCIM-Ⅲ)是为脊髓损伤患者专门制定的用于评价日常生活功能的量表,包括自我照顾的0—20分、呼吸和括约肌管理0—40分,以及移动0—40分;每个项目的具体评分标准不一,满分为100分。

1.3.5 生存质量评定:使用脊髓损伤或功能障碍生存质量评定量表(spinal cord injury of dysfunction quality of life rating scale, SCIDOLRS)进行受试者生存质量的评估。该评定量表包括肢体运动、括约肌控制、肌肉张力、出汗、皮肤状态、疼痛、性功能、回归社会能力等共11个类别,18个项目。最高可能得分为54分,最低为0。

1.4 统计学分析

使用SPSS 27.0对实验数据进行统计学分析。对于所有满足正态分布和方差齐性的数据通过独立样本 t 检验分析组间差异,使用配对样本 t 检验分析组内差异,并采用均值 $\pm$ 标准差表示;对于不满足正态分布的数据通过Mann-Whitney U 检验分析,并用中位数(四分位数)来表示。另外,性别、损伤节段和损伤分级使用 χ^2 检验。 $P<0.05$ 为有显著性差异。

2 结果

2.1 上肢功能

2.1.1 肌肉厚度:治疗前两组患者肌肉厚度均无显著差异。6周治疗后,两组各肌肉厚度均未出现显著差异,组内比较结果显示,试验组所有肌肉的厚度较治疗前都出现了明显增加,而对照组仅左侧肱二头肌和左侧桡侧腕长伸肌的肌肉厚度较治疗前出现了显著差异;另外本研究将两组患者治疗前后各肌肉厚度的差值进行了比较,发现试验组的增加量均高于对照组(表2—3)。

2.1.2 肌肉力量:两组患者双侧上肢的屈肘肌群肌力、伸肘肌群肌力、屈腕肌群肌力以及伸腕肌群肌力在治疗前均无显著差异。6周治疗结束后,试验组双侧上肢屈肘肌群、伸肘肌群和右侧伸腕肌群的肌力都较对照组出现了显著差异,其他肌群的肌力未见显著组间差异;组内比较结果显示,试验组治疗后所有肌群的肌力较治疗前都有显著提高,对照组除双侧屈肘肌群以外其余肌群肌力较治疗前也有显著差异(表4)。

2.1.3 上肢功能问卷:治疗前两组患者的CUE-Q评

表2 两组患者干预前后肌肉厚度结果比较 ($\bar{x}\pm s$,mm)

	试验组 (n=17)	对照组 (n=17)	P值	t值
右侧肱二头肌				
干预前	21.512±3.863	22.053±4.598	0.713	- 0.372
干预后	24.041±4.194 ^①	22.118±4.554	0.209	1.281
左侧肱二头肌				
干预前	21.594±4.100	21.594±4.039	1.000	0.000
干预后	24.306±3.889 ^①	22.041±4.082 ^①	0.107	1.656
右侧肱三头肌				
干预前	26.094±3.792	26.653±4.024	0.680	- 0.417
干预后	28.294±3.780 ^①	27.012±4.394	0.369	0.912
左侧肱三头肌				
干预前	25.647±3.617	26.812±4.590	0.417	- 0.822
干预后	27.871±3.379 ^①	27.447±4.345	0.753	0.317
右侧指屈肌				
干预前	10.882±2.079	11.782±2.207	0.230	- 1.224
干预后	12.053±1.949 ^①	12.053±2.168	1.000	0.000
左侧指屈肌				
干预前	10.900±2.220	11.759±2.102	0.255	- 1.158
干预后	11.900±2.273 ^①	12.029±2.033	0.862	- 0.175
右侧尺侧腕屈肌				
干预前	6.976±1.130	7.265±1.527	0.536	- 0.626
干预后	7.976±1.134 ^①	7.647±1.480	0.472	0.728
左侧尺侧腕屈肌				
干预前	6.829±1.195	7.506±1.579	0.169	- 1.409
干预后	7.729±1.120 ^①	7.706±1.544	0.960	0.051
右侧桡侧腕长伸肌				
干预前	8.341±1.471	8.308±1.974	0.953	0.059
干预后	9.347±0.961 ^①	8.635±1.689	0.141	1.510
左侧桡侧腕长伸肌				
干预前	8.112±1.225	8.688±2.162	0.346	- 0.956
干预后	9.071±1.146 ^①	9.106±1.747 ^①	0.945	- 0.070
右侧指伸肌				
干预前	7.682±1.721	8.059±1.501	0.502	- 0.680
干预后	8.665±1.809 ^①	8.265±1.814	0.524	0.644
左侧指伸肌				
干预前	7.341±1.475	8.135±1.779	0.166	- 1.417
干预后	8.371±1.295 ^①	8.341±1.508	0.952	0.061

注:①P<0.05,为组内比较结果;表中所列t值、P值均为组间结果。

表3 两组受试者肌肉厚度干预前后差值比较

	试验组 (n=17)	对照组 (n=17)	P值	z值
右侧肱二头肌	2.80(1.15,3.65)	0.00(- 0.40,0.35)	<0.001	- 4.534
左侧肱二头肌	3.10(0.95,4.15)	0.50(0.00,0.90)	<0.001	- 3.501
右侧肱三头肌	2.50(1.000,2.95)	0.10(- 0.45,1.15)	<0.001	- 3.326
左侧肱三头肌	2.30(0.85,3.10)	0.50(- 0.40,1.25)	0.005	- 2.792
右侧指屈肌	1.20(0.90,1.40)	0.40(- 0.20,0.60)	<0.001	- 3.750
左侧指屈肌	0.90(0.75,1.25)	0.30(- 0.00,0.45)	<0.001	- 3.317
右侧尺侧腕屈肌	0.90(0.25,1.55)	0.30(- 0.05,0.70)	0.016	- 2.398
左侧尺侧腕屈肌	0.90(0.30,1.40)	0.00(- 0.20,0.50)	0.008	- 2.673
右侧桡侧腕长伸肌	1.10(0.35,1.95)	1.00(- 0.20,0.65)	0.025	- 2.244
左侧桡侧腕长伸肌	0.80(0.50,1.55)	0.30(- 0.10,0.75)	0.020	- 2.329
右侧指伸肌	1.00(0.20,1.55)	0.20(- 0.45,1.00)	0.038	- 2.070
左侧指伸肌	0.80(0.30,1.70)	0.30(- 0.20,0.65)	0.017	- 2.379

注:表中所列z值、P值均为组间结果。

分无显著差异。6周治疗结束后,两组受试者上肢功能评分较干预前都有明显提高;另外,治疗后两组的CUE-Q评分有显著差异,试验组患者的CUE-Q评分优于对照组(表5)。

2.2 日常活动能力

治疗前两组SCIM-Ⅲ、SCIDOLRS无显著性差异。6周治疗结束后,试验组和对照组的SCIM-Ⅲ、SCIDOLRS较治疗前都有明显提高,并且试验组的SCIM-Ⅲ、SCIDOLRS评分高于对照组(表6)。

3 讨论

颈段脊髓损伤患者因其损伤节段较高,上肢功能的改善对患者的预后和生存质量来说非常重要,临床康复一直致力于寻找更安全高效的训练方法来帮助高位脊髓损伤患者提高上肢功能。本研究通过比较两种训练方法对高位脊髓损伤患者的影响发现,相较于常规低强度阻力训练,相同的治疗时间内BFR训练可以更好的改善患者的上肢功能和日常

表4 两组患者干预前后肌力结果比较

	试验组 (n=17)	对照组 (n=17)	P值	z值
右侧肘屈肌群				
干预前	9.0(7.5,9.0)	7.0(5.0,9.0)	0.092	- 1.735
干预后	12.0(11.0,12.0) ^①	7.0(5.5,9.0)	<0.001	- 3.666
左侧肘屈肌群				
干预前	9.0(8.0,9.0)	7.0(5.5,9.0)	0.122	- 1.648
干预后	12.0(10.0,12.0) ^①	7.0(6.0,11.0)	0.003	- 3.020
右侧肘伸肌群				
干预前	6.0(6.0,7.0)	6.0(4.0,7.0)	0.205	- 1.323
干预后	8.0(7.0,9.0) ^①	7.0(5.0,7.5) ^①	0.014	- 2.475
左侧肘伸肌群				
干预前	6.0(6.0,7.5)	6.0(3.5,7.0)	0.193	- 1.348
干预后	8.0(7.0,9.0) ^①	6.0(5.0,8.5) ^①	0.038	- 2.093
右侧手腕肌群				
干预前	5.0(1.0,7.0)	2.0(1.0,5.5)	0.454	- 0.785
干预后	6.0(2.0,9.0) ^①	3.0(1.0,7.0) ^①	0.182	- 1.376
左侧手腕肌群				
干预前	3.0(1.0,5.0)	1.0(0.5,5.0)	0.433	- 0.806
干预后	5.0(1.0,8.5) ^①	2.0(1.0,6.0) ^①	0.205	- 1.291
右侧伸腕肌群				
干预前	5.0(3.5,9.0)	3.0(1.0,8.0)	0.170	- 1.394
干预后	9.0(4.5,9.0) ^①	5.0(1.0,8.5) ^①	0.029	- 2.230
左侧伸腕肌群				
干预前	4.0(3.0,9.0)	5.0(2.0,7.5)	0.683	- 0.435
干预后	7.0(4.0,9.0) ^①	6.0(4.0,8.5) ^①	0.290	- 1.085

注:①P<0.05,为组内比较结果;表中所列P值、z值均为组间结果;表中数据为MRC分级量表赋分后结果,0级为0分,向上每个等级增加1分,最终至5级为12分。

表5 两组患者干预前后CUE-Q结果比较 ($\bar{x}\pm s$,分)

	试验组 (n=17)	对照组 (n=17)	P值	t值
干预前	59.65±24.81	46.24±26.33	0.136	1.529
干预后	75.76±23.75 ^①	52.35±27.11 ^①	0.012	2.678

注:①P<0.05,为组内比较结果;表中所列t值、P值均为组间结果。

表6 两组患者干预前后SCIM-III、SCIDOLRS结果比较 ($\bar{x}\pm s$,分)

	试验组 (n=17)	对照组 (n=17)	P值	t值
SCIM-III				
干预前	39.00±15.06	31.59±12.53	0.129	1.560
干预后	50.29±19.29 ^①	35.94±16.17 ^①	0.025	2.351
SCIDOLRS				
干预前	26.65±7.48	21.76±6.67	0.053	2.009
干预后	32.35±9.63 ^①	24.12±7.20 ^①	0.008	2.824

注:①P<0.05,为组内比较结果,表中所列t值、P值均为组间结果。

活动能力,提高生存质量。

BFR的应用范围非常广泛,其和阻力运动结合可以有效提高肌力,增加肌肉厚度、横截面积或体积,通过改善肌肉的收缩能力来改善各项身体功能^[13-16];也可以与有氧运动结合通过改善摄氧量、通气功能来提高呼吸功能和肺功能^[17-18];另外,BFR单独使用也可以在术后早期或长期卧床状态下有效预防肌肉萎缩^[19]。BFR相较于传统的训练方法安全性也更高,本研究中,一位患者训练过程中出现了难以忍受的肩痛,因此终止了干预;另外有一位患者出现了较明显的延迟性肌肉酸痛(delayed onset muscle soreness, DOMS),但48h后基本消失,可以完成所有训练课程。先前研究中报道的BFR训练不良反应包括皮下出血、头晕、肢体麻胀感、感觉障碍、DOMS、血压升高,严重的可能还会出现横纹肌溶解、晕厥以及血栓形成等^[20]。但大部分研究都已经证明了BFR的安全性,训练中出现的皮下出血、麻木以及肌肉酸痛感绝大部分会在训练后48h内消失,也已经有研究证实该训练方法并不会造成神经传导阻滞^[21-22]。同时,该方法可以有效的降低高血压患者的血压,并在训练过程并不会造成过高的心血管负荷和肌肉损伤,也没有血栓形成的风险^[20, 23-25]。因此,BFR训练的安全性较高,其为加速康复进程、预防损伤提供了巨大的效益。

本研究发现,相较于单纯的低强度阻力训练,BFR联合低强度阻力训练能够显著增加高位脊髓

损伤患者的上肢肌肉厚度、增强肌力,并且能够更有效地改善上肢功能。迄今为止没有研究探索BFR联合阻力训练对脊髓损伤患者影响,但Gorgey和Skiba的研究都发现BFR联合电刺激可以有效促进高位脊髓损伤患者上肢的肌肉肥大,从而改善上肢功能,虽与本研究干预方法不完全相同,但都是在BFR条件下进行干预^[5,26],因此可以推测是BFR这种训练条件促进了肌肉的肥大反应,出现了肌肉尺寸增加的现象。关于BFR的确切作用机制还不明确,目前主流观点认为血流限制训练促进肌肉肥大的机制有两方面:血管闭塞导致的代谢应激和阻力运动引起的机械张力^[27],大部分研究都表明是二者协同作用的结果,但代谢应激占主要成分,二者可以通过作用于其他因素来促进肌肉体积的增加^[25]。

本研究还证明了BFR条件下的低强度阻力训练能够更有效地提高高位脊髓损伤患者的日常活动能力以及生存质量。先前一些研究证明了BFR与阻力运动结合能够改善骨骼肌性能和代谢反应物的水平,从而改善受试者的运动功能、平衡功能、认知功能以及步行功能^[28-31],但无论何种康复治疗手段最终目标都是最大程度的保留和改善患者的残留功能,从而提高日常活动能力和生存质量。因此本研究以日常活动能力和生存质量为观察指标,将上肢的肌肉功能逐级拓展延伸至活动能力,与患者日常生活结合起来,以便能够更全面、完整地为患者实施康复治疗。

肌力结果中,干预后除双侧屈、伸肘肌群以外其余肌群肌力未出现显著组间差异,研究认为与训练动作有关。训练中,主要是屈肘和伸肘的动作,因此相对屈、伸腕肌群,屈、伸肘肌群参与程度更高,得到训练的机会更大,最终差异也更明显。同时绝大部分患者伸肘肌群的肌肉性能弱于屈肘,因此训练时会嘱咐并鼓励患者尽可能以伸肘为主导,这可能也是导致对照组屈肘肌群肌力干预前后未出现明显变化的原因。另外对照组患者仅左侧上肢部分肌群的肌肉厚度较干预前有明显提高,可能与左侧上肢参与程度较平时生活和训练更高相关。本研究绝大部分患者右侧上肢功能优于左侧上肢,训练时,设备屏幕上会出现双侧努力程度的平衡情况,训练中监护者会不断提醒并嘱咐患者努力做到50/50,因此双侧上肢参与程度基本一致,相较于平时训练和生活,左

侧参与程度更高,因此左侧差异更显著。

LOP是指在特定的时间肢体的特定部位使用特定的止血带,通过气囊阻断动脉血流的最小压力,主要影响因素是肢体围度和收缩压^[32]。在进行BFR训练时,肢体闭塞压力的选择方式有很多,包括收缩压、130%收缩压或者LOP^[33]。其中相对客观和误差较小的就是LOP,使用收缩压或既定压力没有办法保证每个人的血流闭塞效果是一致的^[7],因此本研究选择使用个人的LOP作为标准参考值。在先前使用LOP作为参考的研究中,大部分采用的是40%—80%的LOP,在本研究中,考虑到受试者是颈段脊髓损伤的患者,运动时忍耐力和肌耐力都较差,并且在前期进行的预试验中,通过不断比较受试者在50%、60%和80%LOP的压力下运动的承受能力,最终选择了50%LOP作为训练压力。

尽管本研究已经证实BFR训练可以有效改善患者上肢功能和日常活动能力,但高位脊髓损伤患者由于自主神经控制紊乱,术后初期易出现体位性低血压^[34],目前有研究证明BFR可以有效降低高血压患者的血压,也可以调节自主神经功能^[35-36],但是本研究中的BFR训练是施加在患者的损伤平面以上,相较于实施在损伤平面以下的训练来说作用机制是否类似还未可知,因此其是否可以通过改善自主神经调控功能来减少体位性低血压的发生还有待研究。另外,BFR在健康人中的作用机制是否和在高位脊髓损伤患者中相同还未可知,高位脊髓损伤会造成心血管功能、代谢能力、反映应激能力,以及肌肉骨骼系统功能等各项身体功能下降,BFR是否会因为以上原因而无法充分发挥作用也需要探索,因此未来对于相关机制的确认或许在基础研究领域会更好实施。与此同时,本研究还发现部分患者治疗后会发现LOP升高的现象,由于我们没有同步监测对照组受试者的LOP,所以只能推测试验组LOP的增加是由于运动中增加了BFR条件,还需要独立的试验进行更深入的研究。本研究也存在一些不足之处,首先,本研究样本量相对较小,后续需扩大样本量再做研究,其次,没有后续的随访来观察BFR的持续效应,还需增加随访时间来完善。

综上所述,血流限制结合低强度阻力训练可以更显著的增加高位脊髓损伤患者肌肉厚度和上肢肌力,

并且相较于常规阻力训练,在提高上肢功能、日常活动能力和生存质量方面也体现出更好的临床效益,可以作为一种更有效的治疗方法在临床中开发应用。

参考文献

- [1] 岳寿伟.肌肉骨骼康复学[M].第3版.北京:人民卫生出版社,2018:108.
- [2] Anderson KD.Targeting recovery: priorities of the spinal cord-injured population[J]. Journal of Neurotrauma, 2004, 21(10): 1371—1383.
- [3] Kalsi-Ryan S, Verrier MC. A synthesis of best evidence for the restoration of upper-extremity function in people with tetraplegia[J]. Physiotherapy Canada, 2011, 63(4): 474—489.
- [4] Rupp R, Gerner HJ. Neuroprosthetics of the upper extremity—clinical application in spinal cord injury and challenges for the future[J]. Operative Neuromodulation, 2007:419—426.
- [5] Gorgey AS, Timmons MK, Dolbow DR, et al. Electrical stimulation and blood flow restriction increase wrist extensor cross-sectional area and flow mediated dilatation following spinal cord injury[J]. European Journal of Applied Physiology, 2016, 116(6): 1231—1244.
- [6] Huynh KA, Cho HE, Yue M, et al. Patterns of upper extremity reconstruction for patients with tetraplegia across the United States: a retrospective study[J]. The Journal of Hand Surgery, 2021, 46(11): 952—962. e24.
- [7] Lorenz DS, Bailey L, Wilk KE, et al. Blood flow restriction training[J]. Journal of Athletic Training, 2021, 56(9): 937—944.
- [8] Freitas EDS, Karabulut M, Bembem MG. The evolution of blood flow restricted exercise[J]. Frontiers in Physiology, 2021, 12: 747759.
- [9] Conceição MS, Ugrinowitsch C. Exercise with blood flow restriction: an effective alternative for the non-pharmaceutical treatment for muscle wasting[J]. Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle, 2019, 10(2): 257—262.
- [10] Centner C, Lauber B, Seynnes OR, et al. Low-load blood flow restriction training induces similar morphological and mechanical Achilles tendon adaptations compared with high-load resistance training[J]. Journal of Applied Physiology, 2019, 127(6): 1660—1667.
- [11] Grönfeldt BM, Lindberg Nielsen J, Mieritz RM, et al. Effect of blood-flow restricted vs heavy-load strength training on muscle strength: systematic review and meta-analysis[J]. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 2020, 30(5): 837—848.
- [12] Lixandrão ME, Ugrinowitsch C, Berton R, et al. Magnitude of muscle strength and mass adaptations between high-load resistance training versus low-load resistance training associated with blood-flow restriction: a systematic review

- and meta-analysis[J]. Sports Medicine, 2018, 48:361—378.
- [13] Zhao Y, Lin A, Jiao L. Eight weeks of resistance training with blood flow restriction improve cardiac function and vascular endothelial function in healthy young Asian males[J]. International Health, 2021, 13(5): 471—479.
- [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 Medicine, 2019, 49(11): 1787—1805.
- [15] Early KS, Rockhill M, Bryan A, et al. Effect of blood flow restriction training on muscular performance, pain and vascular function[J]. International Journal of Sports Physical Therapy, 2020, 15(6): 892.
- [16] 杜燕,陈雪梅,李丽.血流限制联合抗阻训练对老年脑卒中偏瘫患者下肢功能的影响[J].吉林医学,2022,43(03):800—802.
- [17] Silva JCG, Domingos-Gomes JR, Freitas EDS, et al. Physiological and perceptual responses to aerobic exercise with and without blood flow restriction[J]. The Journal of Strength & Conditioning Research,2021,35(9):2479—2485.
- [18] Park S, Kim JK, Choi HM, et al. Increase in maximal oxygen uptake following 2-week walk training with blood flow occlusion in athletes[J]. European Journal of Applied Physiology, 2010, 109(4): 591—600.
- [19] Lipker LA, Persinger CR, Michalko BS, et al. Blood flow restriction therapy versus standard care for reducing quadriceps atrophy after anterior cruciate ligament reconstruction [J]. Journal of Sport Rehabilitation,2019,28(8):897—901.
- [20] Loenneke JP, Wilson JM, Wilson GJ, et al. Potential safety issues with blood flow restriction training[J]. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 2011, 21(4): 510—518.
- [21] Sijlacks P, Matzon A, Wernbom M, et al. Muscle damage and repeated bout effect following blood flow restricted exercise[J]. European Journal of Applied Physiology, 2016, 116(3): 513—525.
- [22] Mendonca GV, Mouro M, Vila-Chã C, et al. Nerve conduction during acute blood-flow restriction with and without low-intensity exercise nerve conduction and blood-flow restriction[J].Scientific Reports, 2020, 10(1): 7380.
- [23] Crisafulli A, De Farias RR, Farinatti P, et al. Blood flow restriction training reduces blood pressure during exercise without affecting metaboreflex activity[J]. Frontiers in Physiology, 2018: 1736.
- [24] Smith NDW, Girard O, Scott BR, et al. Blood flow restriction during self-paced aerobic intervals reduces mechanical and cardiovascular demands without modifying neuromuscular fatigue[J]. European Journal of Sport Science, 2023, 23(5): 755—765.
- [25] Pearson SJ, Hussain SR. A review on the mechanisms of blood-flow restriction resistance training-induced muscle hypertrophy[J]. Sports Medicine, 2015, 45(2): 187—200.
- [26] Skiba GH, Andrade SF, Rodacki AF. Effects of functional electro-stimulation combined with blood flow restriction in affected muscles by spinal cord injury[J]. Neurological Sciences, 2022, 43(1): 603—613.
- [27] Cognetti DJ, Sheean AJ, Owens JG. Blood flow restriction therapy and its use for rehabilitation and return to sport: physiology, application, and guidelines for implementation[J]. Arthroscopy, Sports Medicine, and Rehabilitation, 2022, 4(1): e71—e76.
- [28] Reina-Ruiz ÁJ, Martínez-Cal J, Molina-Torres G, et al. Effectiveness of blood flow restriction on functionality, quality of life and pain in patients with neuromusculoskeletal pathologies: a systematic review[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2023, 20(2): 1401.
- [29] Lamberti N, Straudi S, Donadi M, et al. Effectiveness of blood flow-restricted slow walking on mobility in severe multiple sclerosis: A pilot randomized trial[J]. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 2020, 30(10): 1999—2009.
- [30] 黄伟,胡联英,骆亮亮,等.常规肌力康复训练联合血流限制训练对前交叉韧带重建术后患者膝关节功能、股四头肌功能和平衡功能的影响[J].现代生物医学进展,2023,23(10):1929—1933.
- [31] Du X, Chen W, Zhan N, et al. The effects of low-intensity resistance training with or without blood flow restriction on serum BDNF, VEGF and perception in patients with post-stroke depression[J]. Neuroendocrinology Letters, 2021, 42(4): 229—235.
- [32] 魏亚茵,余濛,高子军,等.控制性降压联合肢体闭塞压设定止血带压力对下肢手术患者的影响[J].陕西医学杂志,2022,51(5):570—573+603.
- [33] de Queiros VS, Dantas M, Neto GR, et al. Application and side effects of blood flow restriction technique: a cross-sectional questionnaire survey of professionals[J]. Medicine (Baltimore), 2021,100(18):e25794.
- [34] 刘娟娟,程绍民,熊英琼.脊髓损伤后体位性低血压的中西医结合研究进展[J].江西中医药大学学报,2022,34(2):115—119.
- [35] Araújo JP, Silva ED, Silva JCG, et al. The acute effect of resistance exercise with blood flow restriction with hemodynamic variables on hypertensive subjects[J]. Journal of Human Kinetics, 2014, 43(1): 79—85.
- [36] Zhao Y, Zheng Y, Ma X, et al. Low-intensity resistance exercise combined with blood flow restriction is more conducive to regulate blood pressure and autonomic nervous system in hypertension patients-compared with high-intensity and low-intensity resistance exercise[J]. Frontiers in Physiology, 2022: 523.