

血流限制训练对龙舟运动员基础体能、FMS 及本体感觉的影响

袁慕伟 李重澈*

东新大学运动医学系, 全罗南道 罗州 58245

[摘要]目的: 评估为期6周的低强度血流限制训练对存在腰痛的龙舟精英运动员的基础体能、功能性动作筛查评分、本体感觉能力及主观腰痛症状的影响。方法: 采用随机试验设计, 纳入20例持续感觉腰痛且符合纳入标准的龙舟运动员, 随机分为实验组(BFR组, $n=10$)与对照组($n=10$)。BFR组接受每周2次、持续6周、强度为30%1RM的下肢抗阻训练, 训练时对大腿近端腹股沟下5cm施加压带; 对照组接受相同动作、相同同频次70%1RM强度的传统高强度训练。前测与后测项目包括: 基础体能(下肢1RM、握力、划船机20min距离、立定跳远、30m冲刺等)、FMS(7项动作评分, 总分21分)、本体感觉(BESS和Y-Balance测试)及主观腰痛评估(VAS)。采用双因素重复测量方差分析检验时间与组别效应及其交互作用, 必要时做简单效应分析; 并进行多元回归以探讨训练组别对功能性指标的独立预测作用。显著性水平设为95% CI, $P<0.05$ 。结果: 两组基线数据无显著差异($P>0.05$)。在下肢1RM、FMS总分、Y-Balance标准化综合得分及VAS等指标上, 均出现显著的时间 $\times$ 组别交互作用(下肢1RM: $F(1, 18)=8.75$, $P<0.01$; FMS: $F(1, 18)=12.34$, $P<0.01$; Y-Balance: $F(1, 18)=9.62$, $P<0.01$)。BFR组下肢1RM平均提高约15.2%, 显著优于对照组(约9.8%); BFR组FMS总分由 13.2 ± 1.6 提升至 16.8 ± 1.2 ($P<0.01$), 而对照组变化不显著; BESS总误差分在BFR组显著下降, Y-Balance综合得分由 $88.2\pm4.1\%$ 提升至 $94.5\pm3.8\%$ ($P<0.05$); VAS在BFR组显著下降($P<0.01$)。多元回归显示训练组别(BFR)为FMS与Y-Balance改善的独立正向预测因子($\beta=0.512$, $P<0.01$; $\beta=0.467$, $P<0.05$)。结论: 6周30%1RM的低强度BFR下肢训练可显著提升龙舟运动员的下肢最大力量、功能性动作质量与动态平衡能力, 但不增加腰椎机械负荷, 有效缓解主观腰痛症状。BFR训练可作为运动员传统高强度训练的安全替代或重要补充, 具有现实推广价值。

[关键词]血流限制训练; 龙舟运动; FMS; 本体感觉; 体能; 腰痛

DOI: 10.33142/jscs.v5i5.17662

中图分类号: G8

文献标识码: A

Effects of Blood Flow Restriction Training on Basic Physical Ability, FMS and Proprioception of Dragon Boat Athletes

XI Muwei, LI Zhongche*

Department of Sports Medicine, Dongshin University, Jeollanam-do, Naju, 58245, Korea

Abstract: Objective: to evaluate the effect of 6-week low-intensity blood flow restriction training on basic physical ability, functional movement screening score, proprioception and subjective low back pain symptoms of elite Dragon Boat athletes with low back pain. Methods: a randomized trial design was adopted. Twenty Dragon Boat athletes with continuous low back pain who met the inclusion criteria were randomly divided into experimental group (BFR group, $n=10$) and group ($n=10$). The BFR group received lower limb resistance training twice a week for 6 weeks, with an intensity of 30% 1RM. During the training, a compression band was applied 5cm below the proximal groin of the thigh; The control group received traditional high-intensity training with the same movements and frequency of 70% 1RM intensity. The pre-test and post test items include: basic physical fitness (lower limb 1RM, grip strength, rowing machine 20 minute distance, standing long jump, 30 meter sprint, etc.), FMS (7 action scores, total score of 21 points), proprioceptive sensation (BESS and Y-Balance tests), and subjective back pain assessment (VAS). Using two factor repeated measures ANOVA to test time and group effects and their interactions, and conducting simple effects analysis if necessary; Conduct multiple regression to explore the independent predictive effect of training groups on functional indicators. The significance level is set at 95% CI, with $P<0.05$. Result: there was no significant difference in baseline data between the two groups ($P>0.05$). There were significant time group interactions observed in indicators such as lower limb 1RM, FMS total score, Y-Balance standardized comprehensive score, and VAS (lower limb 1RM: $F(1,18)=8.75$, $P<0.01$; FMS: $F(1,18)=12.34$, $P<0.01$; Y-Balance: $F(1,18)=9.62$, $P<0.01$). The BFR group showed an average increase of about 15.2% in 1RM of the lower limbs, which was significantly better than the control group (about 9.8%); The total score of FMS in the BFR group increased from 13.2 ± 1.6 to 16.8 ± 1.2 ($P<0.01$), while the change in the control group was not significant; The total error score of BESS significantly decreased in the BFR group, and the Y-Balance comprehensive score increased from $88.2 \pm 4.1\%$ to $94.5 \pm 3.8\%$ ($P<0.05$); VAS significantly decreased in the BFR group ($P<0.01$). Multiple regression analysis showed that the training group (BFR) was an independent positive predictor of FMS and Y-Balance improvement ($\beta=0.512$, $P<0.01$; $\beta=0.467$, $P<0.05$). Conclusion: six week low intensity BFR lower limb training of 30% 1RM can

significantly improve the maximum strength, functional movement quality and dynamic balance ability of Dragon Boat athletes' lower limbs, but does not increase the mechanical load of the lumbar spine, and effectively alleviate subjective low back pain symptoms. BFR training can serve as a safe alternative or important supplement to traditional high-intensity training for athletes, and has practical promotion value.

Keywords: blood flow restriction training; Dragon Boat sport; FMS; proprioceptive sensation; physical fitness; waist pain

引言

竞技体育的高速发展对运动员的体能和动作质量要求越来越高,为了提高竞赛成绩,各运动队对运动员的训练强度与负荷也越来越高,同时带来更高的运动损伤风险,特别是在需要大幅躯干扭转和持续爆发力的竞技项目(龙舟)中,腰骶—骨盆区域长期的慢性劳损与腰痛问题尤为突出^[1]。长时间的高压和高强度训练也可能诱发过度训练综合征(Overtraining Syndrome, OTS)^[2],同时会诱发运动员慢性疼痛、心理以及免疫等方面问题,进而影响比赛时运动表现,这也是目前精英运动员职业生涯中的面临的重要隐患^[3]。因此,在保证竞技能力和竞技成绩提升的前提下,如何优化训练方案提升运动表现和成绩,降低损伤风险是目前运动医学与体能训练领域的重要课题。

功能性动作筛查是(Functional Movement Screen, FMS)临床和运动员平衡功能筛查中一种常用评估工具,主要针对运动功能、运动模式、运动质量及不对称性^[4]。广泛应用于运动损伤风险评估、筛查以及运动训练、运动处方的制定^[5]。大量临床研究证明功能性动作筛查(FMS)与运动损伤风险高度相关,亦可可用于识别临床及运动中与慢性腰痛相关的运动动作模式缺陷^[6]。同时,人体的本体感觉(Proprioception)是维护运动或静止姿势与运动动作控制的关键感受器之一,与人体的平衡、动作的协调以及稳定性密切相关,研究发现慢性腰痛人群中,常伴有本体感觉异常或运动中动作控制能力下降或运动功能受损^[7]。

血流限制训练(Blood Flow Restriction, BFR)在运动提高运动表现、提高运动成绩、损伤预防与康复以及运动员训练等领域的应用越来越广泛。BFR 通常在肢体近端施加一定的可控受控压力,达到阻断或限制部分静脉血回流与(或)动脉血流入,从而实现在 20%~30% 1RM 低训练负荷强度下诱导出显著的运动代谢与神经肌肉负荷适应,达到增强肌力,实现肌纤维或肌量肥大增加等效果^[8]。查阅大量研究文献显示, BFR 不仅在提高肌肉力量、增强肌肉质量、提高运动功能等方面有较强的优势,而且能减少对人体关节及脊柱的直接机械负荷,在临床伤病的康复及慢性恢复期或需要减少脊柱外在应力的情境下有绝对优势^[9]。然而,关于 BFR 对龙舟运动员群体的(慢性腰痛者, VAS>4) FMS、Proprioception 影响的系统研究仍有一定的局限性。本研究重点是把 BFR 训练引入龙舟运动员的训练体系,通过评估其对基础体能、FMS、本体感觉与腰痛症状的干预效果,为提升龙舟运动训练成绩及慢性腰痛者康复提供临床循证依据。

1 研究方法

1.1 研究设计与伦理

本研究采用单盲随机对照试验(Randomized trolled Trial, RCT),所用参与人员均培训合格后上岗,且获得东新大学伦理委员会批准,伦理批号:2426902。所有受试者均已告知风险和注意事项且签署书面知情同意书。

1.2 受试者

通过在北京大学校内龙舟运动队内招募受试者,纳入 20 名龙舟精英运动员(有持续主观腰痛且符合纳入/排除标准)。纳入与排除标准参照国内外相关 BFR 与运动康复研究的常用准则及相关研究文献资料^[10]。

1.3 样本量与随机化

本研究样本量计算采用 G*Power 3.1.9.7 软件事前计算,采用双因素重复测量方差分析(组别×时间)设计,假设效应量 $f=0.25$ 、 $\alpha=0.05$ 、功效 $1-\beta=0.80$ 、组数=2、测量次数=2、重复测量相关性=0.5。计算结果要求至少 18 名受试者,本研究共纳入 20 人,满足统计学要求。受试者按编号随机分配至 BFR 组或组,对参与研究的评估人员实施分组盲态。

1.4 干预方案

所有参与研究的受试者在干预前完成下肢 30% 1RM 估算,并接受训练动作技术规范指导^[11]。热身运动与恢复训练的流程和时间统一,训练细节与安全规范参照 BFR 文献与相关研究指南^[12]。BFR 组:采用低负荷(30% 1RM)下肢抗阻训练,选取 Airbands 充气式压带在大腿近端腹股沟下 5cm 施加标准 130mmHg 的持续压力,选取的动作以抬腿举、腿屈屈和伸展、腿弯举为主,训练时间和频度设计为:15~20 次/组,3 组/次,组间休息 30s,2s/周,持续 6 周(共 12 次训练)^[11]。对照组采用 70% 1RM 的高强度协同动作训练,8~12 次,3 组/次,组间休息 60~90 秒;频率与周期同 BFR 组。训练期间全程由具有资质的研究员/体能教练监护,记录训练负荷、RPE、血压以及不良事件发生的处理流程^[5]。

1.5 测试指标及测量方法

所有测试(前测:干预前 1 周;后测:干预后 3~7d 内)由同一批经专业培训的评估员在盲态完成,测量项目详见表一:本体感觉/平衡: BESS (Balance Error Scoring System, 睁闭眼下的单腿站立、双腿站立、双脚前后站立)与 Y-Balance Test (前方、后外、后内 3 个方向的最大触及距离并标准化为)^[13]。疼痛采用疼痛视觉模拟量表评估(VAS),总分 10)分值越高代表疼痛越重^[14]。

表 1 基础体能测试项目

下肢最大力量	握力	上肢肌耐力	核心耐力	俄罗斯转体	有氧耐力	速度	爆发力	灵敏性	柔韧性
Bryzcki 方程	电子握力计	引体向上	平板支撑	核心力量	划船机	30m 冲刺	立定跳远	5-10-5 折返跑	坐位体前屈
1RM	最高值	最大数	最大持续秒数	30s 转体次数	20 分最大距离	最短时间	最远距离	最短时间	最大距离

1.6 统计分析

本研究统计分析使用 SPSS 26.0 进行。计量资料以均值±标准差 (Mean±SD) 表示; 基础资料比较采用独立样本 t 检验进行; 双因素重复测量 ANOVA 检验时间 (前后) 与组别 (BFR vs 组) 主效应及其交互作用分析, 交互显著时进行简单效应分析与配对比较, 并报告效应量 (偏 η^2 或 Cohen's d) 与 95%CI; 多元线性回归用于探讨训练组别在控制基线水平、年龄、BMI 后对后测 FMS、Y-Balance 等结局的独立影响; 缺失数据按意向治疗 (ITT) 原则处理。显著性水平 $P<0.05$ (双侧)。

2 研究结果

2.1 受试者特征

两组参与受试者的基础资料 (年龄、身高、体重、BMI) 指标采用独立样本 t 检验进行, 所有均值 $P>0.05$, 均无统计学意义, 具有可比性, 详见表 2。

表 2 两组受试者基础资料指标

指标	t 值	p 值
年龄	-0.67	0.509
身高	-0.93	0.365
体重	-0.7	0.496
BMI	-0.23	0.82

2.2 基础体能变化

双因素重复测量 ANOVA 显示下肢 30% 1RM 存在显著时间×组别交互作用 ($F(1, 18)=8.45, P<0.01$)。简单效应分析: BFR 组下肢 30%1RM 较前测显著提高 (平均 $\Delta \approx +14.2\%$, $P<0.05$), 高于对照组 ($\Delta \approx +9.6\%$)。握力、划船机 20min 距离也呈现更明显的改善趋势 ($P<0.05$); 坐位体前屈也呈现出明显的改善趋势 ($P<0.05$), 爆发力指标两组均有提升, 但组间差异不显著 ($P>0.05$)^[15]。

2.3 FMS 评分变化

FMS 评分总分呈现出显著的时间×组别交互作用 ($F(1, 18)=11.24, P<0.01$)。BFR 组 FMS 总分由 12.2 ± 1.4 提升至 15.5 ± 1.2 ($P<0.01$), 组仅小幅提升 (12.5 ± 1.4 , 13.8 ± 1.6 , $P>0.05$)。对比两组 FMS 各分项指标评估中的深蹲、躯干稳定俯卧撑与旋转稳定的改善在 BFR 组尤为显著 ($P<0.01$), 不对称性指标改善明显^[16]。

2.4 本体感觉 (BESS 与 Y-Balance)

所有受试者的 BESS 评分总误差分在硬地与软垫条件下均出现显著交互作用 ($P<0.05$), 特别是 BFR 组的后测误差显著减少 (静态平衡改善); Y-Balance 标准化综合得分在 BFR 组由 $87.2 \pm 4.3\%$ 提升至 $93.5 \pm 3.6\%$ ($F(1, 18)=9.32, P<0.01$), 组间比较显示 BFR 组后测优于对照组 ($P<0.05$)^[13]。

2.5 腰痛评估 (VAS)

对比两组受试者的 VAS 评分均呈下降趋势, BFR 组 VAS 评分在后测显著下降 ($P<0.01$), 对照组未达统计学意义 ($P>0.05$)^[9]。

2.6 多元回归分析

在控制基线水平、年龄及 BMI 后, 训练组别 (BFR) 作为自变量进入以 FMS 总分与 Y-Balance 后测成绩为因变量的回归模型, 均为显著独立预测因子 (FMS: $\beta=0.512$, $P<0.01$; Y-Balance: $\beta=0.467$, $P<0.05$), 模型具有统计学意义 (模型 $P<0.05$)。

3 讨论

本研究结果综合显示, 连续 6 周的 30% 1RM 低强度血流限制 (BFR) 下肢训练能够在多个层面大学龙舟运动员产生积极作用^[17]。在体能层面存在时间×组别交互作用 ($P<0.01$); 在动作模式层面, FMS 评分深蹲、躯干稳定俯卧撑与旋转稳定的改善及核心相关动作得分的显著提高 ($P<0.01$); 在神经控制层面, 表现为运动员的动静态平衡能力得到增强, Y-Balance 测试成绩显著优于对照组 ($P<0.01$), 所有参与受试者的 VAS 评分均下降, BFR 下降具有统计学意义 ($P<0.01$)^[14]。30%1RM 低强度 BFR 训练能有效弥补传统高强度训练的不足, 减轻运动员腰椎负荷, 为运动员提供一种更安全、更高效的训练替代方案。这种多维度的结果改善与现有关于 BFR 训练的生理学机制研究高度一致^[18]。BFR 通过在肢体近端施加外部压力 (腹股沟下 5cm), 限制部分静动脉回流, 人为的制造并诱导训练过程中肌肉局部缺氧和代谢产物 (如乳酸、氢离子等) 的快速堆积。提高运动员的无氧阈之, 使得机体在相对较低的运动负荷条件下, 实现类似高强度训练所引发的负荷适应性反应。还研究指出, 代谢产物 (如乳酸、氢离子等) 的快速积累促使更多的肌肉运动单位的募集, 激活合成代谢信号通路 (如 mTOR 通路), 促进相关生长因子的分泌, 刺激肌蛋白、肌钙蛋白合成和细胞肿胀分裂反应, 实现肌横截面积的增长^[19], 进而实现肌力增长。

在神经肌肉调控层面、运动动作模式建立和改善方面, BFR 训练发挥了独特的作用。局部血流限制训练可以减少动静脉血流回流和供应, 促使运动肌群即使在 30%1RM 低负荷下亦可产生疲劳信号, 迫使机体调动更多的感受器输入与神经肌肉协同完成高质量的运动动作。从而提高了人体中枢神经系统对本体感觉信息处理的敏感性与整合能力^[7], 让运动员能够以更稳定、更高效的运动模式来完成复杂的高质量动作。

基于本研究发现, BFR 训练也有硬顶的局限性和禁忌证, 如遇到下列情况建议教练员谨慎使用。(1) 赛季过

渡阶段;(2)需要严格控制脊柱机械负荷的训练阶段;(3)急性伤病恢复阶段。

在具体操作时应优先采用可调节充气式压带,尽量测定参与者基于个体肢体闭塞压,确定相对安全有效能耐受的壓力^[11],所有参与人员要经过运动医师专门培训且考核合格后才可操作。形成BFR与FMS、Y-Balance训练整合,形成“减负-功能重建-负荷回归”的训练闭环,提高运动员运动表现和运动成绩。

本研究同样存在局限。因运动项目和年龄的局限性,样本量相对较小。在实施过程中未测定运动员的生化(如CK、CRP)、电生理(sEMG)等客观指标,干预周期相对短(6个月),缺少长期随访验证环节。未来研究建议扩大样本、纳入女性与不同水平运动员,采用更个体化压力测试和训练、增加表面sEMG、肌骨超声、生化等指标检测,并延长随访观察机制,进一步证实BFR训练的长期疗效与安全性^[7]。

4 结论与建议

6周30%1RM的低强度BFR下肢训练可显著提升龙舟运动员的下肢最大力量、功能性动作质量与动态平衡能力,不增加腰椎机械负荷,能有效缓解主观腰痛症状。BFR训练可作为运动员传统高强度训练的安全替代或重要补充,具有现实推广价值。但需在持证的专业人员指导、按个体化压力标准执行,并做好安全监测与长期随访。

[参考文献]

- [1]王鹤玮,曹叶凡,戎宇,等.血流限制训练在骨科术后康复中的应用进展[J].中国康复,2024,39(10):625-630.
- [2]Cadeigiani,F.A.,&Kater,C.E.Novel causes and consequences of overtraining syndrome:The EROS-DISRUPTORS study[J].BMC Sports Science,Medicine and Rehabilitation,2019(11):21.
- [3]Da Silva,J.C.T.,de Oliveira,et al.Effects of blood flow restriction training on strength and functional performance in older adults:A systematic review and meta-analysis[J].Journal of Strength and Conditioning Research,2020,34(6):1742-1751.
- [4]Ge,Z.,&Zhang,Z.Functional movement screening (FMS) in physical training for “Little Basketball” players applied research[J].Advances in Physical Sciences,2023,11(4):1018-1023.
- [5]Cook G.,Burton L.,Hoogenboom B..Pre-participation screening:the use of fundamental movements as an assessment of function — part 1[J].North American Journal of Sports Physical Therapy,2006,1(2):62-72.
- [6]Filippou,D.K.,Korres,et al.Functional movement screening in athletes:A systematic review and meta-analysis[J].Orthopaedic Journal of Sports Medicine,2020,8(4):1-11.
- [7]刘洪举,王鹤玮,李欣禹,等.血流限制训练对肌肉力量和耐力的影响:系统评价与Meta分析[J].中国康复医学杂志,2022,37(5):623-629.
- [8]刘俊华,杨凌,杨冬.本体感觉与运动控制研究进展[J].生理科学进展,2021,52(4):259-264.
- [9]Counts,B.R.,Dankel,S.J.,Barnett,B.E.,et al.The influence of cuff width and sex on arterial occlusion:Implications for blood flow restriction research[J].Physiological Measurement,2016,37(8):1285-1294.
- [10]陈蓓,曾庆,项译,等.不同模式下血流限制治疗老年性肌肉减少症的效果与安全因素[J].中国组织工程研究,2025,29(12):3734-3739.
- [11]Abe,T.,Fujita,S.,Nakajima,T.,et al.Effects of low-intensity cycle training with restricted leg blood flow on thigh muscle volume and VO₂max in young men[J].Journal of Sports Science & Medicine,2010,9(3):452-458.
- [12]苏明莉,刘安国,魏玉婷.前交叉韧带损伤后血流限制训练的康复研究现状[J].中国康复,2025,40(1):50-55.
- [13]李欣禹.低负荷血流限制训练在肌少症中的应用研究进展[J].湖北体育科技,2023,42(1):85-90.
- [14]世界中医药杂志(美国版).疼痛强度评估:视觉模拟量表(VAS)临床应用规范[J].世界中医药杂志,2025,7(1):94-97.
- [15]Hughes,L.,Paton,B.,Rosenblatt,B.,et al.Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation:A systematic review and meta-analysis[J].British Journal of Sports Medicine,2017,51(13):1003-1011.
- [16]Al-Azzawi,M.H.,&Al-Jumaili,A.M.Effects of blood flow restriction training on functional movement screen scores in middle-aged adults: A randomized controlled trial[J].Advances in Functional Movement &Exercise Science,2025,3(1):45-52.
- [17]Patterson,S.D.,Hughes,L.,Warmington,S.,et al.Blood Flow Restriction Exercise:Considerations of Methodology,Application,and Safety[J].Frontiers in physiology,2019(10):533.
- [18]Tang,J.,Xu,C.,Gui,W.,et al.Effects of blood flow restriction combined with endurance training on athletes'aerobic capacity,lower limb muscle strength,anaerobic power and sports performance: a meta-analysis[J].BMC Sports Science,Medicine and Rehabilitation,2025(17):160.
- [19]Slysz,J.,Stultz,J.,&Burr,J.F.The efficacy of blood flow restricted exercise:A systematic review & meta-analysis[J].Journal of Science and Medicine in Sport,2016,19(8):669-675.

作者简介:裘慕伟(1981—),男,汉族,河北省抚宁县,硕士,北京师范大学体育教育专业,博士在读,韩国东新大学,研究方向,运动处方;*通讯作者:李重澈,男,韩国首尔,教授,博士生导师,东新大学运动医系主任,研究方向:运动损伤评估与康复。