

# 快速伸缩复合练习伴随血流限制的激活后增强效应研究

魏宏文, 向镜

(北京体育大学 体能训练学院, 北京 100084)

**摘要:** [目的] 观察快速伸缩复合练习、血流限制, 以及两者相结合对纵跳的动力学和运动学的影响。[方法] 对象为运动训练专业男性大学生, 随机分为对照组(C)、快速伸缩复合练习组(P)、血流限制组(B), 以及快速伸缩复合练习伴随血流限制(P+B), 分别在干预前、干预后测定纵跳的运动学和动力学参数。[结果] P组与P+B组在干预4 min后, 有类似的显著效果; 但B组不显著。[结论] 单独使用血流限制不能产生激活后增强效应; 快速伸缩复合练习及其与血流限制相结合, 能够产生激活后增强效应。

**关键词:** 快速伸缩复合练习; 血流限制; 激活后增强效应; 纵跳

**中图分类号:** G808

**文献标志码:** A

激活后增强效应(Post-activation Potentiation, PAP)是由于骨骼肌急性力量输出后留下了一系列收缩痕迹, 使骨骼肌在后续的收缩过程中出现收缩能力暂时增强的现象<sup>[1]</sup>。尽管大负荷的深蹲<sup>[2]</sup>与卧推<sup>[3]</sup>、高翻<sup>[4]</sup>、拖重物冲刺<sup>[5]</sup>、飞轮超负荷离心练习<sup>[6]</sup>均能够诱导出PAP, 但它们都需要沉重的训练器材, 教练员和运动员更希望能够有相对简单、便利而有效的方法来产生PAP。有研究在热身中加入克服自身体重的快速伸缩复合练习, 发现能够显著提高纵跳高度和功率<sup>[7-8]</sup>, 显示出PAP作用。但也有快速伸缩复合练习未能够产生PAP的研究报道<sup>[9-10]</sup>。

资料显示, 虽然小强度(30% 1RM)的抗阻训练无明显的增肌作用, 但是它与血流限制(Blood Flow Restricted, BFR)相结合就会具有与大强度(>70% 1RM)抗阻训练一样的效果, 出现肌肉肥大、肌力增加、提高运动表现<sup>[11-14]</sup>, 其机制与较高阈值的运动单位被募集有关<sup>[15]</sup>。有研究发现, 弓箭步练习伴随BFR能够显著提高纵跳表现<sup>[16]</sup>。原因可能是在BFR期间, 慢肌纤维的供氧不足, 导致快肌纤维更早地被募集<sup>[17]</sup>。较高阈值运动单位的募集是PAP的机制之一<sup>[18]</sup>。

虽然对BFR有较多的研究, 但利用BFR来诱导PAP反应仍有待评估。BFR联合快速伸缩复合练习可能增强急性PAP肌肉反应。因此, 本研究拟分别观察快速伸缩复合练习、血流限制对纵跳表现的影响, 以及快速伸缩复合练习伴随血流限制是否具有交互作用, 探讨它们产生PAP作用及其机制。

## 1 研究对象和方法

### 1.1 研究对象及其分组

在北京体育大学 36 名招募体育专业男性大学生。入组标准: 1) 至少具有两年抗阻训练的经历; 2) 半年内无损伤; 3) (深蹲最大力/体重) $>1.5$ <sup>[19]</sup>。以反向纵跳(Countermovement Jump, CMJ)的基础值为标准, 将受试者随机分为 4 组: 对照组(Control, C)、快速伸缩复合练习组(Plyometric, P)组、血流限制组(Blood Flow Restriction, B), 以及快速伸缩复合练习伴随血流限制组(Plyometrics with BFR, P+B)。受试者基本情况见表 1。在实验测试前 24 h 禁止大强度运动, 禁止摄入咖啡因、酒精。

收稿日期: 2021-03-10; 修回日期: 2021-07-02。

基金项目: 国家科技攻关计划(2018YFF0300801); 河北省体育科学研究所课题(19245709D)。

作者简介(通信作者): 魏宏文(1972—), 男, 青海西宁人, 北京体育大学教授, 博士, 研究方向为体能训练的理论与方法,

E-mail: weihw@bsu.edu.cn.

表 1 受试者基本信息

Tab. 1 Basic information of subjects

组别	年龄/岁	身高/cm	体质量/kg	训练年限/a	深蹲最大力/体重
C	24.1±1.17	173.6±2.88	73.0±5.48	4.3±1.00	1.8±2.68
P	23.8±1.56	173.8±2.77	72.8±5.17	4.1±1.17	1.8±4.48
B	24.4±1.67	173.9±5.16	72.4±5.64	4.3±1.73	1.9±6.68
P+B	23.6±1.51	174.9±4.43	73.9±4.37	4.2±1.09	2.0±4.59

## 1.2 实验内容

### 1.2.1 实验流程

受试者身着短裤,在标准化热身后进行跳跃测试,即干预前测,3 min 后 C 组、P 组、B 组和 P+B 组分别在无干预、跳跃练习,血流限制,以及跳跃练习伴随血流限制不同的处理后的 4 个时间点进行跳跃测试。根据文献[20—23],本研究采用较为常用的干预后 4 min,8 min,12 min 和 16 min 进行跳跃测试,研究激活后增强效应的时间特征。跳跃测试依次为反向纵跳、静蹲跳(Squat Jump,SJ)和落下跳(Drop Jump,DJ),每个测试动作间隔 7 d。

### 1.2.2 处理方法

标准化热身<sup>[24]</sup>:慢跑 2 min 后,进行 3 min 的相关下肢肌肉组织的动态拉伸,动作依次是抱膝提踵、雁式平衡、股四头肌拉伸和伟大拉伸,每个动作重复 6 次。快速伸缩复合练习<sup>[25]</sup>:受试者依次进行 2 组 10 个直腿跳(组间歇 30 s,完成时间为 90 s),3 组 5 个连续障碍跳(高度 50 cm,组间歇 30 s,完成时间为 120 s),5 个落下跳(高度 50 cm,次间歇 10 s,完成时间为 90 s)。这些练习动作共耗时 5 min。血流限制:在受试者的大腿根部(臀横纹肌处)套上 6 cm 宽的血流限制带、以 21.28 kPa<sup>[13]</sup>静坐 5 min(时间与 P 组用时一致)。这样做会限制工作肌肉的动脉血流,并阻断静脉血流回流<sup>[26]</sup>。加压带的松紧度以能放进两指为宜,随后再进行充气加压。

### 1.2.3 测试动作

依次进行反向纵跳、静蹲跳和落下跳测试。受试者双手叉腰、双脚分开与肩同宽站在测力台上(KIS-TLER Quattro,瑞士),测试动作严格按照文献[27]进行。

反向纵跳:受试者在预备姿势下,向下快速下蹲至膝角 130°~150°,立即迅速用力向上跳起,并稳定地落在测力台上。动作要求在跳起阶段中双腿伸直不能弯曲,下落阶段要求身体呈半蹲姿势稳定地落在测力台上。

静蹲跳:受试者双手叉腰站立在测力台上,测试时不能出现预蹲,膝关节屈曲 90°,听到指令后,在这个姿势下用力垂直向上跳起,并稳定地落在测力台上。动作要求同反向纵跳。

落下跳:受试者站在 40 cm 的跳箱上,向前踏出一小步(但不是下蹬或者跳跃),当双脚接触测力台时,全力快速向上跳跃,并稳定地落在测力台上。动作要求同反向纵跳。

### 1.2.4 测试指标

根据文献[28]选取如下测试指标:1)跳跃高度(Height,H),2)峰值功率(Peak Power Output,PPO,单位体质量肌肉收缩的力量与速度的乘积),3)力量产生速率(Rate of Force Development,RFD,平均单位时间力量的增量),4)反应力量指数(Reactive Strength Index,RSI,跳起的腾空时间与触地时间的比值)。

## 1.3 数据处理

数据采用“平均值±标准差”表示,使用 SPSS 25.0 统计软件。采用重复测量方差分析,post hoc 采用 Bonferroni。确定组内不同间歇时间点的纵跳数据变化,并检验组间因素(干预方式)与组内因素(恢复时间)两者之间是否存在交互效应,然后进一步比较两组之间同一时间点的的变化。在组间分析时,通过双因素方差分析检验是否存在交互作用。 $p < 0.05$  认为具有显著性。具体结果见表 2。

## 2 研究结果

### 2.1 反向纵跳测试表现

干预方式与恢复时间对 CMJ-H( $F = 1.944, p = 0.129$ ),CMJ-PPO( $F = 0.572, p = 0.689$ )均无交互作用,

对 CMJ-RFD 有交互作用( $F=4.559, p=0.003$ ).组内比较:1)P 组在 4 min 时的 CMJ-H 显著性高于干预前,4 min 时的 CMJ-RFD 分别显著性高于干预前和 16 min;2)P+B 组在 4 min 和 8 min 时的 CMJ-H 均显著性高于干预前,在 4 min 时的 CMJ-RFD 显著性高于干预前.组间比较:1)P 组在 4 min 时的 CMJ-H 分别显著高于 C 组;2)P+B 组在 4 min 时的 CMJ-H 分别显著高于 C 组、B 组,4 min 时的 CMJ-RFD 显著高于 C 组.

表 2 跳跃测量结果

Tab. 2 Results of jump tests

测量时刻	组别	CMJ-H/cm	CMJ-PPO/ (W · kg <sup>-1</sup> )	CMJ-RFD/ (N · kg <sup>-1</sup> · s <sup>-1</sup> )	SJ-H/cm	SJ-PPO/ (W · kg <sup>-1</sup> )	SJ-RFD/ (N · kg <sup>-1</sup> · s <sup>-1</sup> )	RSI
干预前	C	53.2±3.7	55.2±6.5	12.8±2.5	48.9±3.4	49.8±3.3	13.5±3.7	1.39±0.13
	P	53.3±4.3	55.5±7.9	12.4±2.1	48.9±2.8	49.9±3.9	13.4±4.7	1.41±0.12
	B	53.2±4.3	54.8±7.4	12.6±2.4	48.9±3.4	49.5±3.5	13.5±4.3	1.40±0.14
	P+B	53.5±3.9	55.4±7.6	12.4±2.3	49.09±2.5	49.6±4.4	13.5±4.6	1.40±0.13
干预后 4 min	C	53.0±4.2	55.3±6.5	12.1±2.6	48.7±4.1	49.7±4.0	13.4±4.0	1.39±0.14
	P	55.6±4.0 <sup>①③</sup>	56.6±7.5	13.8±2.4 <sup>①②</sup>	50.9±2.8 <sup>①②③</sup>	51.8±3.5 <sup>①③</sup>	14.1±4.7	1.50±0.15 <sup>①</sup>
	B	53.7 ±3.6	54.8±6.7	12.7±2.9	49.2±3.9	49.7±3.6	13.5±4.3	1.45±0.18
	P+B	55.8±2.5 <sup>①③④</sup>	56.8±7.9	13.8±2.6 <sup>①③</sup>	51.1±2.5 <sup>①②③④</sup>	52.0±4.6 <sup>①③</sup>	14.3±4.6	1.52±0.15 <sup>①③</sup>
干预后 8 min	C	53.0±4.6	55.2±7.6	12.7±2.7	48.9±4.5	50.1±4.4	13.5±4.1	1.41±0.16
	P	54.4±5.2	55.2±9.2	13.4±1.8	50.0±3.2	51.0±3.6	13.7±4.2	1.47±0.14
	B	53.9±3.4	54.7±6.8	12.7±2.5	49.4±3.6	50.6±4.2	13.6±4.4	1.40±0.22
	P+B	55.1±2.1 <sup>①</sup>	56.6±7.8	13.2±2.1	50.8±2.8 <sup>①③</sup>	51.0±4.2	14.2±4.7	1.49±0.17 <sup>①</sup>
干预后 12 min	C	53.8±4.1	55.3±6.5	12.7±2.6	48.8±4.4	50.0±4.3	13.5±4.0	1.36±0.12
	P	54.0±4.7	55.2±9.0	13.0±1.5	48.6±2.6	50.3±3.2	13.8±4.3	1.45±0.20
	B	53.6±4.5	54.3±8.7	12.7±2.9	48.8±4.4	50.3±4.6	13.5±4.6	1.38±0.18
	P+B	53.4±3.5	56.1±8.0	12.9±2.5	50.0±3.2	50.7±3.6	13.9±4.5	1.46±0.19
干预后 16 min	C	53.5±4.5	55.2±6.4	12.6±2.4	49.1±4.6	50.0±4.5	13.5±4.1	1.38±0.16
	P	53.4±4.3	54.6±8.1	12.3±1.4	48.4±3.1	50.2±3.8	13.3±4.0	1.45±0.20
	B	53.8±3.6	54.6±7.9	12.3±2.7	48.9±3.7	49.9±3.7	13.6±4.4	1.34±0.21
	P+B	53.6±4.0	55.6±8.9	12.8±2.1	49.2±3.7	50.6±4.0	13.9±4.6	1.42±0.15

注:①与干预前相比显著;②与干预后 16 min 相比显著;③与 C 组相比显著;④与 B 组相比显著.

## 2.2 静蹲跳

干预方式与恢复时间对 SJ-H( $F=1.553, p=0.215$ ), SJ-PPO( $F=1.448, p=0.227$ )和 SJ-RFD( $F=2.008, p=0.087$ )均无交互作用.组内比较:1)P 组在 4 min 时的 SJ-H 分别显著高于干预前和 16 min,4 min 时的 SJ-PPO 显著高于干预前;2)P+B 组:4 min 时的 SJ-H 分别显著高于干预前和 16 min,8 min 时 SJ-H 显著高于干预前,4 min 时的 SJ-PPO 显著高于干预前.组间比较:1)P 组在 4 min 时的 SJ-H, SJ-PPO 均显著高于 C 组;2)P+B 组在 4 min 和 8 min 时的 SJ-H 均显著高于 C 组, P+B 组在 4 min 时的 SJ-H 显著高于 B 组.

## 2.3 落下跳测试表现

干预方式与恢复时间对 RSI 无交互作用( $F=0.760, p=0.553$ ).组内比较:1)P 组在 4 min 时的 RSI 显著高于干预前;2)P+B 组在 4 min,8 min 时的 RSI 均分别显著高于干预前.组间比较:在干预后 4 min, P+B 组的 RSI 显著高于 C 组.

## 3 分析与讨论

有研究认为,神经系统适应能力的提高比肌肉或肌群(收缩增强或反射增强)在 PAP 效应中表现出更重

要的角色<sup>[27]</sup>。基于拉长-缩短循环、能够提高神经系统适应能力的快速伸缩复合训练可能会成为另外一个能够诱导出 PAP 的方式。近年研究发现血流限制技术能够显著促进下肢爆发力<sup>[29-31]</sup>。基于此,本研究通过观察快速伸缩复合练习、血流限制,以及两者相结合对反向纵跳、静蹲跳和落下跳 3 种跳跃测试表现的影响,探讨它们作为热身策略的可能性及其机制。

### 3.1 反向纵跳

在本研究中,快速伸缩复合练习后 4 min 时 CMJ 的 H 以及 RFD 均达到峰值,与干预前相比有显著性差异。这一实验结果与国外学者 TOBIN 等的研究相似<sup>[25]</sup>。有研究认为,PAP 是通过提高 RFD,从而改善运动表现,而非单纯地提高力量或者速度来增强后续的运动表现<sup>[32]</sup>。因为 RFD 与单位时间内运动神经元冲动的频率、神经对运动单位的募集以及骨骼肌收缩的类型高度相关<sup>[33]</sup>。因此本研究认为,快速伸缩复合练习使神经系统产生速度性适应,从而在短时间内增强肌肉收缩力量和速率关系表现。在 PAP 效应出现的同时也伴随着疲劳的产生<sup>[34]</sup>。本研究结果显示,快速伸缩复合练习后 4~8 min 阶段 CMJ 的 H 以及动力学指标开始缓慢下降。根据 PAP 与疲劳的关系来看,这种现象的出现可能是由于疲劳堆积逐渐大于 PAP 效应而导致的,PAP 效应在 16 min 的时候完全消失。

本研究结果还显示,血流限制对 CMJ 的 H,PPO,以及 RFD 均无明显影响,表明单纯的血流限制并不能产生 PAP 作用。而伴随血流限制的快速伸缩复合练习后 CMJ 的 H 和 RFD,RSI 在干预后 4 min,8 min 均明显高于对照组。中枢神经机能的调节和改善对 RFD 的影响较大<sup>[35]</sup>,因此快速伸缩复合练习伴随血流限制可能引起了中枢神经兴奋性的改变,产生 PAP 作用且持续时间较长。此外,快速伸缩复合训练募集了较多的快肌纤维,以及血流限制抑制慢肌纤维运动神经元,造成大量的快肌纤维被进一步动员和募集<sup>[11]</sup>。快肌纤维在这种双重强化募集的作用下,有助于跳跃测试表现的提高。

### 3.2 静蹲跳

本研究结果显示,快速伸缩复合练习后 4 min,SJ 的 H 与 PPO 显著提高,在 8~12 min 时 SJ 的 H,RFD,PPO,以及 RSI 逐渐下降,且在 16 min 时 SJ 的 H 显著性低于 4 min 时。根据 PAP 效应与疲劳共存的特点<sup>[34]</sup>,SJ 的 H 下降可能与疲劳的堆积、激活后效果的消退有关。

本研究结果还显示,血流限制对 SJ 的 H,PPO,RFD 以及 RSI 均无显著影响,而伴随血流限制的快速伸缩复合练习能够明显增加 SJ 的 H,PPO,RFD,以及 RSI,这表明快速伸缩复合训练伴随血流限制,在对神经肌肉系统产生深刻刺激的同时产生缺血缺氧的应激,进一步募集更多的快肌纤维,不仅提高了 SJ 的 H,而且适度延长了 PAP 的持续时间。有研究认为,血流限制造成机体出现缺血缺氧的状态,导致乳酸堆积、机体出现酸性环境,进而慢肌纤维收缩受到抑制、快肌纤维被进一步动员<sup>[36]</sup>。因此,血流限制能够动员和募集额外的快肌纤维,这是 SJ 的 H 增加、肌力增强的主要原因。

### 3.3 落下跳

通过落下跳测试能够得到反应力量(RSI)的参数。有研究表明,大负荷半蹲练习产生的 PAP 能够使 RSI 显著提高<sup>[37]</sup>。在本研究中,快速伸缩复合练习后 4 min,RSI 显著提高,提示快速伸缩复合练习可以产生与大负荷抗阻练习一样的 PAP 作用。但 RSI 在 8 min 之后无显著性变化,表明快速伸缩复合练习产生的 PAP 作用的维持时间不及经典的大负荷抗阻练习。

本研究结果还显示,血流限制对 RSI 无显著影响,而伴随血流限制的快速伸缩复合练习后 4 min,RSI 分别显著高于干预前和单独的血流限制干预。这表明,快速伸缩复合练习伴随血流限制对神经肌肉系统产生的刺激效应可能与血流限制后快肌纤维募集增加有关<sup>[36]</sup>。

## 4 结 论

1)血流限制不能产生激活后增强效应。2)快速伸缩复合练习及其与血流限制相结合,能够产生激活后增强效应,表现干预后的 4 min 和 8 min 的反向纵跳和静蹲跳的腾空高度、力量产生速率、反应力量指数显著提高,且提高的程度和持续时间均优于单独的快速伸缩复合练习或血流限制。

## 参 考 文 献

- [1] BLAZEVIČ A J, BABAULT N. Post-activation potentiation versus post-activation performance enhancement in humans: historical perspective, underlying mechanisms, and current issues[J]. *Frontiers in Physiology*, 2019, 10: 1359.
- [2] 王安利, 张新. 力量训练的理论探索及实践进展: 后激活增强效应的影响因素及应用[J]. *中国学校体育*, 2014, 1(11): 79-83.  
WANG A L, ZHANG X. Theoretical exploration and practical progress of strength training: influence factor and application of post-activation potentiation[J]. *China School Physical Education*, 2014, 1(11): 79-83.
- [3] MOIR G L, MUNFORD S N, MOROSKI L L, et al. The effects of ballistic and nonballistic bench press on mechanical variables[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2018, 32(12): 3333-3339.
- [4] SEITZ L B, TRAJANO G S, HAFF G G. The back squat and the power clean: elicitation of different degrees of potentiation[J]. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2014, 9(4): 643-649.
- [5] SEITZ L B, MINA M A, HAFF G G. A sled push stimulus potentiates subsequent 20-m sprint performance[J]. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2017, 20(8): 781-785.
- [6] CUENCA-FERNÁNDEZ F, LÓPEZ-CONTRERAS G, MOURÃO L, et al. Eccentric flywheel post-activation potentiation influences swimming start performance kinetics[J]. *Journal of Sports Sciences*, 2019, 37(4): 443-451.
- [7] HILFIKER R, HÜBNER K, LORENZ T, et al. Effects of drop jumps added to the warm-up of elite sport athletes with a high capacity for explosive force development[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2007, 21(2): 550-555.
- [8] SAEZ SAEZ DE VILLARREAL E, GONZÁLEZ-BADILLO J J, IZQUIERDO M. Optimal warm-up stimuli of muscle activation to enhance short and long-term acute jumping performance[J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2007, 100(4): 393-401.
- [9] ESFORMES J I, CAMERON N, BAMPOURAS T M. Postactivation potentiation following different modes of exercise[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2010, 24(7): 1911-1916.
- [10] TILL K A, COOKE C. The effects of postactivation potentiation on sprint and jump performance of male academy soccer players[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2009, 23(7): 1960-1967.
- [11] LUEBBERS P E, WITTE E V, OSHEL J Q, et al. The effects of practical blood flow restriction training on adolescent lower body strength[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2017, 31(10): 2674-2683.
- [12] KIM D, SINGH H, LOENNEKE J P, et al. Comparative effects of vigorous-intensity and low-intensity blood flow restricted cycle training and detraining on muscle mass, strength, and aerobic capacity[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2016, 30(5): 1453-1461.
- [13] MILLER R M, KEETER V M, FREITAS E D S, et al. Effects of blood-flow restriction combined with postactivation potentiation stimuli on jump performance in recreationally active men[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2018, 32(7): 1869-1874.
- [14] MANIMMANAKORN A, HAMLIN M J, ROSS J J, et al. Effects of low-load resistance training combined with blood flow restriction or hypoxia on muscle function and performance in netball Athletes[J]. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2013, 16(4): 337-342.
- [15] HODGSON M, DOCHERTY D, ROBBINS D. Post-activation potentiation: underlying physiology and implications for motor performance[J]. *Sports Medicine*, 2005, 35(7): 585-595.
- [16] DOMA K, LEICHT A S, BOULLOSA D, et al. Lunge exercises with blood-flow restriction induces post-activation potentiation and improves vertical jump performance[J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2020, 120(3): 687-695.
- [17] KAWADA S. What phenomena do occur in blood flow-restricted muscle[J]. *Int J KAATSU Tra Res*, 2005, 1(2): 37-44.
- [18] GARBISU-HUALDE A, SANTOS-CONCEJERO J. Post-activation potentiation in strength training: a systematic review of the scientific literature[J]. *Journal of Human Kinetics*, 2021, 78: 141-150.
- [19] HOLCOMB W R, KLEINER D M, CHU D A. Plyometrics: considerations for safe and effective training[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 1998, 20(3): 36-41.
- [20] 侯世伦, 张新, 王安利. 下肢力量与负荷后恢复时间对后激活增强效应的影响[J]. *北京体育大学学报*, 2015, 38(5): 57-62.  
HOU S L, ZHANG X, WANG A L. Influence of lower extremity strength and recovery time after load training on postactivation potentiation[J]. *Journal of Beijing Sport University*, 2015, 38(5): 57-62.
- [21] KILDUFF L P, OWEN N, BEVAN H, et al. Influence of recovery time on post-activation potentiation in professional rugby players[J]. *Journal of Sports Sciences*, 2008, 26(8): 795-802.
- [22] WILSON J M, DUNCAN N M, MARIN P J, et al. Meta-analysis of postactivation potentiation and power: effects of conditioning activity, volume, gender, rest periods, and training status[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2013, 27(3): 854-859.
- [23] SEITZ L B, HAFF G G. Factors modulating post-activation potentiation of jump, sprint, throw, and upper-body ballistic performances: a systematic review with meta-analysis[J]. *Sports Medicine*, 2016, 46(2): 231-240.
- [24] ELKAIM Y. 12 Crucial dynamic warm-up exercises to do before your workout[EB/OL]. [2021-04-14]. <https://yurielkaim.com/dynamic-warm-up-exercises>.
- [25] TOBIN D P, DELAHUNT E. The acute effect of a plyometric stimulus on jump performance in professional rugby players[J]. *Journal of*

- Strength and Conditioning Research,2014,28(2):367-372.
- [26] ABE T,KEARNS C F,SATO Y.Muscle size and strength are increased following walk training with restricted venous blood flow from the leg muscle,Kaatsu-walk training[J].Journal of Applied Physiology,2006,100(5):1460-1466.
- [27] ZEHR P E.Considerations for use of the Hoffmann reflex in exercise studies[J].European Journal of Applied Physiology,2002,86(6):455-468.
- [28] PAUL C,PAUL A J,JOHN J M.Performance Assessment in Strength and Conditioning[M].London:Routledge,2018.
- [29] COOK C J,KILDUFF L P,BEAVEN C M.Improving strength and power in trained Athletes with 3 weeks of occlusion training[J].International Journal of Sports Physiology and Performance,2014,9(1):166-172.
- [30] MANIMMANAKORN A,HAMLIN M J,ROSS J J,et al.Effects of low-load resistance training combined with blood flow restriction or hypoxia on muscle function and performance in netball Athletes[J].Journal of Science and Medicine in Sport,2013,16(4):337-342.
- [31] MILLER R M,KEETER V M,FREITAS E D S,et al.Effects of blood-flow restriction combined with postactivation potentiation stimuli on jump performance in recreationally active men[J].Journal of Strength and Conditioning Research,2018,32(7):1869-1874.
- [32] IMPELLIZZERI F M,RAMPININI E,CASTAGNA C,et al.Effect of plyometric training on sand versus grass on muscle soreness and jumping and sprinting ability in soccer players[J].British Journal of Sports Medicine,2008,42(1):42-46.
- [33] MAFFIULETTI N A,AAGAARD P,BLAZEVICH A J,et al.Rate of force development:physiological and methodological considerations [J].European Journal of Applied Physiology,2016,116(6):1091-1116.
- [34] LYMPERIS K.Postactivation potentiation:sometimes more fatigue than potentiation[J].Stre Cond J,2012,34(6):75-76.
- [35] WALLACE B J,SHAPIRO R,WALLACE K L,et al.Muscular and neural contributions to postactivation potentiation[J].Journal of Strength and Conditioning Research,2019,33(3):615-625.
- [36] YASUDA T,ABE T,BRECHUE W F,et al.Venous blood gas and metabolite response to low-intensity muscle contractions with external limb compression[J].Metabolism:Clinical and Experimental,2010,59(10):1510-1519.
- [37] 周彤.后激活增强效应对下肢反应力量的影响研究[J].山东体育学院学报,2019,35(3):78-83.  
ZHOU T.Influence of lower reactive force after load training on post activation potentiation[J].Journal of Shandong Sport University. 2019,35(3):78-83.

## Effect of post-activation potentiation induced by combining plyometrics and blood flow restriction

Wei Hongwen, Xiang Jing

(School of Strength and Conditioning Training, Beijing Sport University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** [Purpose] To investigate the post-activation potentiation(PAP)effect of plyometrics, blood flow restriction and their combination on kinetics and kinematic parameters in vertical jump performance. [Methods] Objects are male strength-trained students. They were randomly divided into four groups: control(C), plyometrics(P), blood flow restriction(B)and plyometrics combined with blood flow restriction(P+B). Vertical jumping performance were measured before intervention and after. [Results] The results of Group P and Group (P+B) are similar at 4 min, while Group B are not. [Conclusions] Blood flow restriction could not induce the PAP effect. Plyometrics combined with blood flow restriction had the PAP effect.

**Keywords:** plyometrics; blood flow restriction; post-activation potentiation; vertical jump

[责任编辑 杨浦 刘洋]