

● 运动人体科学 ●

持续与间歇血流限制联合反向跳的激活后增强效应研究

姚军威¹, 程 阳², 韦俏丽³, 代永胜¹

(1.湖北工业大学 体育学院,湖北 武汉 430068;2.湖北省体育科学研究所,湖北 武汉 430205;3.武汉体育学院体育科技学院,湖北 武汉 430200)

摘要: **目的** 对比分析持续血流限制(PBFR)与间歇血流限制(IBFR)联合反向跳(CMJ)的激活后增强效应(PAP)。**方法** 招募 16 名高水平男性篮球运动员分别完成 PBFR 与 IBFR 联合 CMJ 的激活,采集激活前和激活后不同时间点 CMJ 数据,进行统计分析。**结果** 1)IBFR 组跳跃高度、峰值功率、峰值垂直地面反作用力和平均力量发展速率极显著高于 PBFR ($p=0.001$),蹬伸时间极显著小于 PBFR ($p=0.001$)。2)IBFR 组 0、4、8、12 min 跳跃高度、峰值功率、峰值垂直地面反作用力和平均力量发展速率较基准值显著提高 ($p<0.05$);PBFR 组 0、4、8 min 跳跃高度、峰值功率相对基准值显著减小 ($p<0.05$),0 min 峰值垂直地面反作用力和平均力量发展相对基准值显著减小 ($p<0.05$)。**结论** 两种血流限制方式联合 CMJ 对 PAP 的影响存在明显差异,IBFR 联合 CMJ 可有效诱导 PAP,显著提升 CMJ 高度与爆发力,效果优于 PBFR。

关键词: 血流限制;激活后增强效应;反向跳;爆发力

中图分类号: G804.6 文献标识码: A 文章编号: 1003-983X(2026)04-0061-06

DOI:10.20185/j.cnki.1003-983X.2026.04.011

Effects of Persistent and Interval Blood-flow Restriction Combined with Counter-movement Jump Training on the Post-activation Potentiation

YAO Junwei¹, CHENG Yang², WEI Qiaoli³, DAI Yongsheng¹

(1.Hubei University of Technology, School of Physical Education, Wuhan Hubei, 430068; 2. Hubei Institute of Sports Science, Wuhan Hubei, 430205; 3. The College of Sports Science and Technology of Wuhan Sports University, Wuhan Hubei, 430200)

Abstract: **Objective** To compare the post-activation potentiation(PAP) effects of persistent blood-flow restriction(PBFR) and interval blood-flow restriction(IBFR) in combination with the counter movement jump(CMJ). **Methods** Sixteen high-level male basketball athletes were recruited to perform combined CMJ activation using PBFR and IBFR, with CMJ data collected at various time points before and after activation for statistical analysis. **Results** 1) The IBFR group exhibited significantly greater height, power, the peak vertical ground reaction force, and rate of force development compared to the PBFR group ($p=0.001$), and a significantly shorter compared to the PBFR group ($p=0.001$). 2) In the IBFR group, jump height, peak power, peak vertical ground reaction force and rate of force development at 0, 4, 8 and 12 minutes were significantly higher than baseline values ($p<0.05$); In the PBFR group, jump height and peak power at 0, 4 and 8 minutes were significantly lower than baseline values ($p<0.05$), whilst peak vertical ground reaction force and rate of force development at 0 minutes were significantly lower than baseline values ($p<0.05$). **Conclusion** There are distinct differences in the effects of the two blood flow restriction methods combined with CMJ on PAP; the combination of IBFR and CMJ effectively induces PAP, significantly increasing CMJ height and power, with results superior to those of PBFR.

Keywords: blood-flow restriction; post-activation potentiation; counter-movement jump; explosive power

激活后增强效应是一种由预先的条件性抗阻练习引起的肌肉发力速度或爆发力急性增加的生理现象(post-activa-

tion potentiation, PAP)^[1]。这种条件性训练通常需要以最大或接近最大努力进行肌肉收缩,通过先前条件性训练诱导的肌肉收缩,实现对随后肌肉收缩能力的急性且暂时的增强^[2-3]。条件性训练诱导 PAP 取决于疲劳与增强之间的净平衡,且似乎受条件性训练与运动表现之间的时间间隔^[4-5]、训练水平^[6]以及条件性训练强度^[7]的影响。

有研究提出,PAP 主要通过肌球蛋白调节轻链磷酸化水平升高,进而提升肌球蛋白对钙离子的敏感性实现的^[8-9]。也有研究指出,PAP 是通过更高阈值运动单位募集增加进而提

收稿日期:2026-04-02

基金项目:湖北省自然科学基金(2025AFD653)。

第一作者简介:姚军威(1990~),男,江苏徐州人,博士,讲师,研究方向:运动康复、体能训练,E-mail:315524814@qq.com。

升肌肉功率实现的^[10]。尽管高负荷的深蹲、卧推、高翻、拖重物冲刺和飞轮超负荷离心练习均能够诱导出 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^[11]。利用自身体重进行的阻力训练可能是一种方便且简单的替代方案,尽管与高负荷阻力训练相比,其强度和刺激水平不足。为了弥补自重训练强度和刺激水平不足,一种增加强度和刺激水平的方法是使用血液限制(blood-flow restriction,BFR),即在运动过程中限制流向工作肌肉的血液。研究表明,将 BFR 与较轻负荷的阻力训练相结合,可以引发与高负荷阻力训练相似的肌肉力量和肌肉肥大适应性^[12]。多项研究指出,BFR 训练因慢肌纤维氧气供应不足,可导致快肌纤维更早被激活^[13-15]。由于高阈值运动单位的募集是 PAP 的机制之一^[10,16],因此使用较轻负荷(如自重)的 BFR 训练可能产生与高负荷阻力训练相似的反应,并带来更持久的机械功率提升^[17]。较轻负荷(如自重)的 BFR 训练可以诱导出 PAP,如 Doma 等^[17],采用基于 BFR 的自重训练对 PAP 起到促进作用,可改善下落跳的跳跃高度和反应力量指数。魏宏文等^[11],采用基于 BFR 的自重快速伸缩复合练习,能够诱导 PAP,并且 PAP 效果提高程度和持续时间均优于单独的快速伸缩复合练习或无快速伸缩复合练习的 BFR。

轻负荷的 BFR 训练实现了诱导 PAP 的目标,弥补了传统方案(需要沉重训练器械)诱导 PAP 的不足,然而,现有关于轻负荷的 BFR 训练诱导 PAP 的研究多关注作用效果,鲜有探讨 BFR 施加方式(持续性给予压力或者间歇性给予压力)差异对于 PAP 的影响。在实际训练应用中,持续性给予肌肉压力和间歇性给予肌肉压力是 BFR 常用的施加方式,两者在代谢压力累积和神经肌肉募集上可能存在差异,这种差异可能直接影响诱发 PAP 的效果。目前,关于这两种施加方式结合特定练习对 PAP 的影响尚未见报道,因此,本研究从压力持续这一施加方式的变量出发,探究基于持续血流限制(persistent blood-flow restriction,PBFR)和间歇血流限制(interval blood-flow restriction,IBFR)结合自重反向跳(counter movement jump,CMJ)训练的预激活方式对 PAP 的影响,为训练实践中 BFR 施加方式的选择上提供理论依据。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

招募高水平男性篮球运动员 16 人参加本实验,年龄为(21.89±1.93)岁,身高为(184.30±4.82)cm,体质量为(85.90±6.47)kg,大腿维度为(58.50±5.36)cm。要求身体健康,能够正确执行 CMJ,所有受试者均被告知测试的注意事项和应急方案,并自愿参与本研究。在测试前 48 h 无剧烈运动,并且在每次测试前至少 2 h 避免摄入咖啡因和食物,血流限制气压值参考 Loenneke 等^[18]的研究。

1.2 研究方法

本实验采用测力台为 Kistler 三维测力台(9260AA6,瑞士,采样频率 1 kHz);血流限制设备为 Theratools BRF 训练带。

为减少上肢摆动对实验结果的影响,选择双手叉腰的 CMJ 动作,动作标准为:双脚与肩同宽,双手叉腰,重心保持稳定,由站立姿势开始,迅速下蹲并全力跳起。

正式实验采用 50%动脉阻断压(AOP)作为 BFR 的压力强度。PBFR 组与 IBFR 组测试间隔 7 天,并在一周的相同时间进行测试,PBFR 组为 1 组 5 次 CMJ,每次间歇时间为 60 s,间歇时间持续血流限制;IBFR 组为 1 组 5 次 CMJ,每次间歇时间为 60 s,间歇时间停止血流限制。

测试流程为 10 min 热身(NSCA 标准)、3 次 CMJ(基准值)、血流限制(PBFR/IBFR)结合 CMJ 训练激活。在训练激活后 0(即刻)、4、8、12 min 4 个时间点分别进行 3 次 CMJ,在 3 次 CMJ 中选取跳跃高度最大的 1 次记录数据。参考刘嘉俊等^[19]研究选择以下指标:跳跃高度(height,H)、峰值功率(power,p)、蹬伸时间(time,T)、峰值垂直地面反作用力(vGRF)和平均力量发展速率(RFD)。

1.3 数据统计

采用 SPSS 26.0 软件进行统计分析,数据以平均值±标准差(M±SD)表示。对激活方式自变量(PBFR 和 IBFR)和时间自变量(基准、0、4、8、12 min)进行双因素重复测量方差分析,以 2×5(激活方式×时间)的处理方法,检验数据的正态分布、异常值和是否满足球形假设,若满足球形假设($p>0.05$),以一元方差统计结果为准,若不满足则参考多元方差检验结果;对每组数据分别进行组内、组间比较,统计显著差异水平设置为 $p<0.05$,非常显著差异水平设置为 $p<0.01$,极显著差异水平设置为 $p\leq 0.001$ 。

2 结果

2.1 跳跃高度(H)

双因素重复测量方差分析发现,激活方式与时间因素之间的交互作用对 H 的影响具有极显著差异 [$F_{(1.01,15.02)}=59.77$, $p=0.001$]。激活方式对 H 的主效应具有极显著的统计学意义 [$F_{(1,15)}=1160.86$, $p=0.001$],IBFR 组 H 比 PBFR 组高 0.16(95%置信区间:0.15~0.17)m,差异具有极显著的统计学意义, $p=0.001$ (图 1)。

对 PBFR、IBFR 组内各时间点 H 与各组基准值进行重复测量方差分析发现,时间因素对 PBFR 组 H 的影响具有非常显著的统计学意义, [$F_{(1.01,15.14)}=13.31$, $p=0.002$]。PBFR 组 12 min H 与基准值 [(0.53±0.02)m]相比无显著性差异,0、4、8 min H 与基准值相比显著减小 24.53%、22.64%、28.30%。时间因素对 IBFR 组 H 的影响具有极显著的统计学意义, [$F_{(1.22,18.41)}=68.22$, $p=0.001$]。IBFR 组 0、4、8、12 min H 与基准值 [(0.53±0.01)m]相比显著增加 20.75%、20.75%、16.98%、13.21%(图 1)。

2.2 峰值功率(p)

双因素重复测量方差分析发现,激活方式与时间因素之间的交互作用对 p 的影响具有极显著的差异 [$F_{(1.03,15.35)}=74.58$, $p=0.001$]。激活方式对 p 的主效应具有极显著的统计学意义 [$F_{(1,15)}=934.65$, $p=0.001$],IBFR 组 p 比 PBFR 组高 10.92(95%置信区间:10.16~11.68)W·kg⁻¹,差异具有极显著的统计学意义, $p=0.001$ (图 2)。

对 PBFR、IBFR 组内各时间点 p 与各组基准值进行重复测量方差分析发现,时间因素对 PBFR 组 p 的影响具有极显著的统计学意义, [$F_{(1.03,15.49)}=22.93$, $p=0.001$]。PBFR 组 0、4、8 min p 与基准值 [(59.19±1.74)W·kg⁻¹]相比显著减小 15.36%、

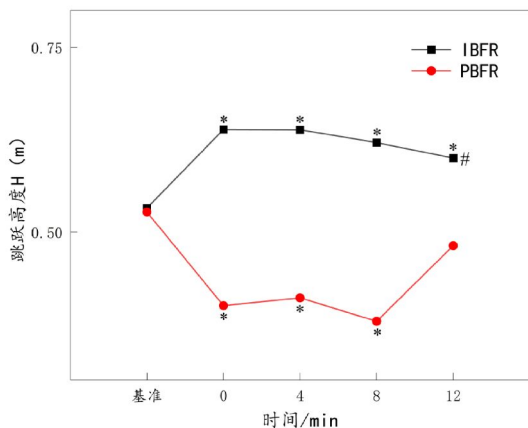


图1 PBFR和IBFR不同时间上H的变化

注:*表示与基准值相比存在显著差异, $p<0.05$;#表示PBFR和IBFR组间比较存在极显著的差异, $p\leq 0.001$;下同。

13.15%、16.45%。时间因素对IBFR组 p 的影响具有极显著的统计学意义, $[F_{(123, 1850)}=73.21, p=0.001]$ 。IBFR组0、4、8、12 min p 与基准值 $[(59.59\pm 1.96)W\cdot kg^{-1}]$ 相比显著增加12.05%、9.62%、8.33%、7.97%(图2)。

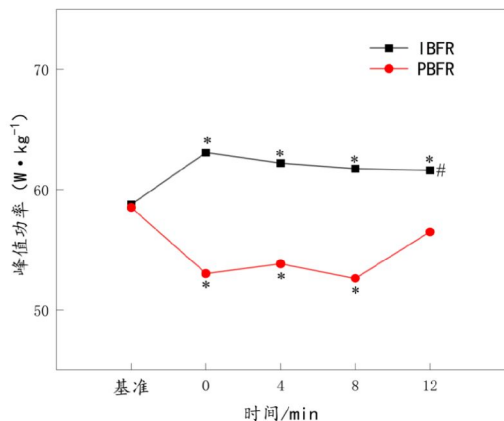


图2 PBFR和IBFR不同时间上p的变化

2.3 蹬伸时间(T)

双因素重复测量方差分析发现,激活方式与时间因素之间的交互作用对T的影响具有极显著的差异 $[F_{(1.89, 28.31)}=17.49, p=0.001]$ 。激活方式对T的主效应具有极显著的统计学意义 $[F_{(1, 15)}=43.20, p=0.001]$,IBFR组T比PBFR组低0.04(95%置信区间:0.03~0.05)s,差异具有极显著的统计学意义, $p=0.001$ 。时间因素对T的主效应具有极显著的统计学意义 $[F_{(1.96, 29.36)}=20.34, p=0.001]$ (图3)。

对PBFR、IBFR组内各时间点T与各组基准值进行重复测量方差分析发现,时间因素对PBFR组T的影响具有极显著的统计学意义, $[F_{(1.87, 28.29)}=14.46, p=0.001]$ 。PBFR组仅12 min T与基准值 $[(0.40\pm 0.01)s]$ 相比显著增加27.50%,其余时间T与基准值均无显著差异。时间因素对IBFR组T的影响具有极显著的统计学意义, $[F_{(1.97, 29.59)}=184.41, p=0.001]$ 。IBFR组0、4、8、12 min T与基准值 $[(0.42\pm 0.02)s]$ 相比显著减小16.67%、11.90%、7.14%、4.76%(图3)。

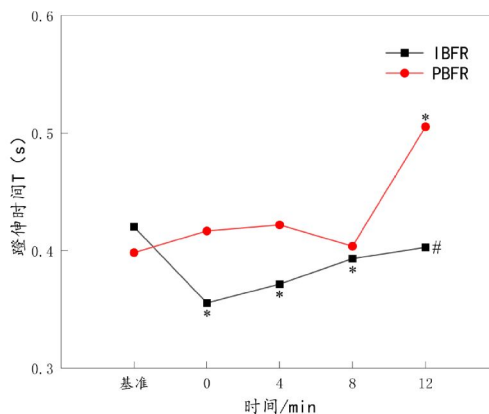


图3 PBFR和IBFR不同时间上T的变化

2.4 峰值垂直地面反作用力(vGRF)

双因素重复测量方差分析发现,激活方式与时间因素之间的交互作用对vGRF的影响具有极显著的差异 $[F_{(2.59, 38.98)}=75.79, p=0.001]$ 。激活方式对vGRF的主效应具有极显著的统计学意义 $[F_{(1, 15)}=1609.57, p=0.001]$,IBFR组vGRF比PBFR组高2.83(95%置信区间:2.68~2.98) $N\cdot kg^{-1}$,差异具有极显著的统计学意义, $p=0.001$ 。时间因素对vGRF的主效应具有极显著的统计学意义 $[F_{(4, 60)}=144.73, p=0.001]$ (图4)。

对PBFR、IBFR组内各时间点vGRF与各组基准值进行重复测量方差分析发现,时间因素对PBFR组vGRF的影响具有极显著的统计学意义, $[F_{(1.53, 22.94)}=33.19, p=0.001]$ 。PBFR组0min vGRF与基准值 $[(20.91\pm 0.21)N\cdot kg^{-1}]$ 相比显著减小5.31%,12 min vGRF与基准值相比显著增大2.77%,其余时间vGRF与基准值无显著差异。时间因素对IBFR组vGRF的影响具有极显著的统计学意义, $[F_{(2.60, 39.01)}=154.95, p=0.001]$ 。IBFR组0、4、8、12 min vGRF与基准值 $[(20.98\pm 0.20)N\cdot kg^{-1}]$ 相比显著增加12.49%、19.73%、17.40%、15.11%(图4)。

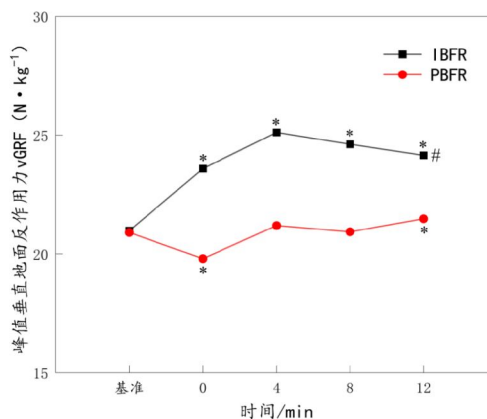


图4 PBFR和IBFR不同时间上vGRF的变化

2.5 平均力量发展速率(RFD)

双因素重复测量方差分析发现,激活方式与时间因素之间的交互作用对RFD的影响具有极显著的差异 $[F_{(2.24, 33.64)}=102.20, p=0.001]$ 。激活方式对RFD的主效应具有极显著的统计学意义 $[F_{(1, 15)}=705.96, p=0.001]$,IBFR组RFD比PBFR组高17.45(95%置信区间:16.05~18.85) $N\cdot kg^{-1}\cdot s^{-1}$,差异具有极显著

的统计学意义, $p=0.001$ 。时间因素对 RFD 的主效应具有极显著的统计学意义 [$F_{(4,60)}=96.43, p=0.001$] (图 5)。

对 PBFR、IBFR 组内各时间点 RFD 与各组基准值进行重复测量方差分析发现, 时间因素对 PBFR 组 RFD 的影响具有极显著的统计学意义, [$F_{(248,3729)}=17.59, p=0.001$]。PBFR 组 0 min RFD 与基准值 [$(28.78 \pm 1.76) \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$] 相比显著减小 12.09%, PBFR 组 12 min RFD 与基准值相比显著增加 27.14%, 其余时间 RFD 与基准值无显著性差异。时间因素对 IBFR 组 RFD 的影响具有极显著的统计学意义, [$F_{(3,12,46,93)}=372.23, p=0.001$]。IBFR 组 0、4、8、12 min RFD 与基准值 [$(29.24 \pm 2.00) \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$] 相比显著增加 74.66%、86.83%、80.51%、69.21% (图 5)。

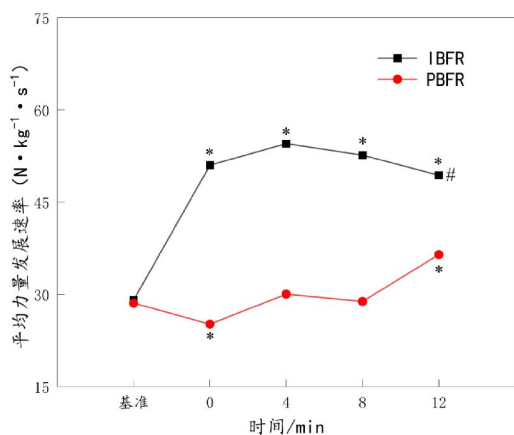


图 5 PBFR 和 IBFR 不同时间上 RFD 的变化

3 讨论

3.1 PBFR 和 IBFR 结合 CMJ 训练激活对 PAP 效应的影响

研究发现, PBFR 和 IBFR 结合 CMJ 训练激活对 H 的影响存在极显著差异, IBFR 组 H 显著高于 PBFR 组, 说明在纵跳运动表现的促进效果上, IBFR 结合 CMJ 训练激活方式优于 PBFR。IBFR 组 0、4、8、12 min 的 H 相较于基准值显著增加, 而 PBFR 组 0、4、8 min 的 H 相较于基准值显著减小, 12 min 的 H 相较于基准值无显著差异, 说明 IBFR 结合 CMJ 训练激活方式对纵跳运动表现起促进作用, 而 PBFR 结合 CMJ 训练激活方式对纵跳运动表现无促进作用。快速伸缩复合训练募集较多的快肌纤维, 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, 快肌纤维在这种双重强化募集的作用下, 有助于纵跳运动表现的提高^[11]。高阈值运动单位的募集是 PAP 效应的潜在机制之一^[20]。据此, 本研究认为 IBFR 结合 CMJ 训练激活改善纵跳运动表现的原因之一在于高阈值运动单位的优先募集与预激活。血流限制使肌肉快速出现缺氧和缺血状态, 导致乳酸升高, 营造酸性环境, 抑制慢肌纤维, 动员快肌纤维^[21]。PBFR 和 IBFR 结合 CMJ 训练激活的区别在于间歇时间是否持续保持血流阻断, 因此, PBFR 结合 CMJ 训练激活对纵跳运动表现无促进作用的原因可能在于过长时间的血流限制会导致肌肉缺氧和缺血状态延长, 乳酸浓度增大, 不仅抑制慢肌纤维动员, 同时也抑制快肌纤维动员与募集。

对 PBFR 和 IBFR 结合 CMJ 训练激活后起跳阶段评价爆

发力的常用指标 p、T、vGRF 和 RFD 进行分析发现, 各指标均存在极显著差异, 说明运动员爆发力能力在训练激活后产生不同变化。下肢爆发力通常以下肢功率衡量, 在提高运动员下肢功率方面, 有研究发现, 有血流限制的无负重弓箭步跳训练相对于无血流限制可以显著提升运动员下落跳的下肢功率^[17]; 有血流限制的无负重快速伸缩复合训练可以显著提升运动员蹲跳下肢功率^[11]。本研究中, IBFR 组 p 相对于 PBFR 组显著提高, 表明间歇期间的下肢血液阻断模式是影响下肢功率的重要因素。功率输出取决于神经和肌肉两个因素, 运动单位募集和同步对最大功率起到关键作用^[22], 血流限制时长是影响运动单位募集和同步的关键因素。

某些以快速力量为主导的动作要求短时间内肌肉收缩产生巨大力量来提供爆发力, 例如在牵张-缩短循环类型的动作中, 力量发展速率会随神经驱动的增强而提高^[19]。本研究中, IBFR 组 T 相对于 PBFR 组显著减小, IBFR 组 vGRF 相对于 PBFR 组显著增加, 由于 RFD 是力量 and 时间的比值, 因此, 这对 IBFR 组的 RFD 结果产生较大影响。有研究认为, PAP 改善运动表现并不是通过单独的提高力量或者提升速度, 而是通过提高 RFD^[23]。本研究发现, IBFR 组 RFD 相对于 PBFR 组显著提高。由于单位时间内运动神经元冲动频率, 运动单位募集和骨骼肌收缩的类型共同影响着 RFD^[24], 因此本研究认为, 间歇血流限制相较于持续血流限制可以使神经系统产生快速适应, 从而在短时间内增大肌肉收缩力量和缩短收缩时间。

3.2 PBFR 和 IBFR 结合 CMJ 诱导 PAP 效应的时域特征

研究认为, PAP 的有效时间通常在诱导训练后的 4—12 min, 增强作用会随着恢复时间的延长而消失^[25]。本研究中 IBFR 的结果支持这一观点, IBFR 组在各时间点上的 H 均出现增大现象, 0 和 4 min 的 H 增幅最高, 随后增大幅度依次减小; 但 PBFR 组的结果则不支持该观点, PBFR 组 0—8 min 的 H 减小, 12 min 的 H 与基准值无显著差异。PBFR 采用持续性血流阻断(间歇时间持续保持压力), 相较于间歇性阻断会引起更大的生理代谢压力和疲劳效应, 激活后 8 min 以内代谢压力与疲劳堆积带来的影响超过了神经肌肉募集刺激带来的改善, 因此表现出纵跳高度降低, 随着恢复时间增加, 12 min 神经肌肉募集刺激带来的改善超过代谢压力与疲劳堆积, 但代谢压力和疲劳堆积对下肢协调发力的影响还未消除, 因此纵跳高度并未增加。

在爆发力为主的项目中, 往往由于运动负荷相对较小, 并不要求运动员达到最大力量, 而是力量与速度的最佳结合。因此, 峰值功率常被作为评价运动员爆发力的指标之一^[26]。爆发性动作中功率输出增加, 可以提高运动效率, 并提高整体运动表现^[27]。本研究中 PBFR 和 IBFR 结合 CMJ 训练激活的峰值功率变化趋势与高度变化趋势一致。Miller 等^[28]通过对比 BFR 和非 BFR 结合在振动仪上静蹲对纵跳的影响发现, 两者纵跳表现一致, 但 BFR 组的等长收缩力量显著增大。本研究中, IBFR 组各个时间点上 vGRF 和 RFD 均出现增大现象, 在 4 min 时增加幅度最高, 随后增加幅度逐渐减小。vGRF 代表着下肢和地面的垂直地面反作用力, RFD 代表单位时间内力量的输出, 由于运动单位的募集对 vGRF 和 RFD 的影响较大, 因此, 间歇血流限制可能引起了运动单位募集的改变, 对运动单

位的募集起到了增强作用,随着时间的延长,增强作用逐渐减弱。本研究中,PBFR组的vGRF和RFD在0 min减小,12 min增大。根据PAP效应与疲劳共存的理论^[29],PBFR结合CMJ训练激活,一方面可能在于过长时间的血流限制会导致肌肉缺氧和缺血状态延长,乳酸浓度增加,不仅抑制慢肌纤维动员,同时也抑制快肌纤维动员与募集;但另一方面,由于PAP与疲劳共同存在,PBFR诱导的疲劳可能掩盖了初期的增强效应,随着恢复时间延长至12 min,疲劳逐渐消退,PAP效应得以显现,从而导致12 min时vGRF和RFD等指标的回升。

4 结论

持续血流限制(PBFR)与间歇血流限制(IBFR)结合反向跳(CMJ)训练激活对激活后增强效应(PAP)的影响存在极显著差异:IBFR结合CMJ训练可有效诱发PAP效应,显著提高纵跳高度(H)、峰值功率(p)、峰值垂直地面反作用力(vGRF)及平均力量发展速率(RFD),缩短蹬伸时间(T),促进效应在训练后0—12 min内持续存在且0—4 min增幅最显著;而PBFR结合CMJ训练激活不仅无法促进纵跳运动表现,反而在训练后0—8 min显著降低纵跳高度与峰值功率,仅在12 min疲劳消退时vGRF与RFD出现增加,但纵跳高度仍无显著改善。血流限制方式的选择是影响PAP效应的关键,血流限制方式需兼顾血流限制时长与疲劳控制,避免过度阻断抑制运动表现。IBFR结合反向跳CMJ训练激活可作为提升男性篮球运动员急性纵跳爆发力的有效手段,适用于训练或赛前急性激活方案制定;PBFR结合CMJ训练激活不适用于急性纵跳表现提升,后续训练中应避免采用。

参考文献:

- [1] 杨菁睿,李文华,杨艺.飞轮训练诱导PAP对男子跆拳道运动员前腿横踢的影响[J].湖北体育科技,2025,44(3):113-118.
- [2] DOMA K, SINCLAIR W H, HERVERT S R, et al. Postactivation Potentiation of Dynamic Conditioning Contractions on Rowing Sprint Performance[J]. Journal of Science and Medicine in Sport, 2016, 19(11):951-956.
- [3] HODGSON M, DOCHERTY D, ROBBINS D. Post-Activation Potentiation: Underlying Physiology and Implications for Motor Performance[J]. Sports Medicine, 2005, 35(7):585-595.
- [4] BOULLOSA D A, ABREU L, BELTRAME L G N, et al. The Acute Effect of Different Half Squat Set Configurations on Jump Potentiation[J]. Journal of Strength and Conditioning Research, 2013, 27(8):2059-2066.
- [5] CLARK R A, BRYANT A L, REABURN P. The Acute Effects of a Single Set of Contrast Preloading on a Loaded Countermovement Jump Training Session[J]. Journal of Strength and Conditioning Research, 2006, 20(1):162-166.
- [6] 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.
- [7] BAKER D. Acute Effect of Alternating Heavy and Light Resistances on Power Output during Upper-Body Complex Power Training[J].

- Journal of Strength and Conditioning Research, 2003, 17(3):493-497.
- [8] BOULLOSA D, DEL ROSSO S, BEHM D G, et al. Post-Activation Potentiation (PAP) in Endurance Sports: a Review[J]. European Journal of Sport Science, 2018, 18(5):595-610.
- [9] BLAZEIVICH A J, BABAUT 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.
- [10] SWEENEY H L, BOWMAN B F, STULL J T. Myosin Light Chain Phosphorylation in Vertebrate Striated Muscle: Regulation and Function[J]. The American Journal of Physiology, 1993, 264(5 Pt 1): C1085-C1095.
- [11] 魏宏文, 向镜.快速伸缩复合练习伴随血流限制的激活后增强效应研究[J].河南师范大学学报(自然科学版), 2022, 50(1):144-149.
- [12] CENTNER C, WIEGEL P, GOLLHOFER A, et al. Effects of Blood Flow Restriction Training on Muscular Strength and Hypertrophy in Older Individuals: a Systematic Review and Meta-Analysis[J]. Sports Medicine, 2019, 49(1):95-108.
- [13] MORITANI T, SHERMAN W M, SHIBATA M, et al. Oxygen Availability and Motor Unit Activity in Humans[J]. European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, 1992, 64(6):552-556.
- [14] TAKARADA Y, TAKAZAWA H, SATO Y, et al. Effects of Resistance Exercise Combined with Moderate Vascular Occlusion on Muscular Function in Humans[J]. Journal of Applied Physiology, 2000, 88(6):2097-2106.
- [15] KAWADA S. What Phenomena Do Occur in Blood Flow-Restricted Muscle? [J]. International Journal of KAATSU Training Research, 2005, 1(2):37-44.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] LOENNEKE J P, FAHS C A, ROSSOW L M, et al. Effects of Cuff Width on Arterial Occlusion: Implications for Blood Flow Restricted Exercise[J]. European Journal of Applied Physiology, 2012, 112(8):2903-2912.
- [19] 刘嘉俊, 周喆啸, 汤珊, 等.血流阻断结合传统抗阻运动对男性大学生运动员激活后增强效应的影响[J].中国体育科技, 2023, 59(8):21-27.
- [20] TILLIN N A, BISHOP D. Factors Modulating Post-Activation Potentiation and Its Effect on Performance of Subsequent Explosive Activities[J]. Sports Medicine, 2009, 39(2):147-166.
- [21] 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, 2010, 59(10):1510-1519.
- [22] 王伟, 朱志强, 殷可意, 等.经颅直流电刺激对纵跳生物力学特征的影响[J].体育科学, 2020, 40(7):57-64.
- [23] IMPELLIZZERI F M, RAMPININI E, CASTAGNA C, et al. Effect of Plyometric Training on Sand versus Grass on Muscle Soreness and

(下转第91页)

- 接口要求》实施研讨会在京召开[EB/OL].(2025-06-27)[2026-03-12].<http://csss.kejie.org.cn/a2107.html>.
- [37] 韩松,陈宗科,巫文涵,等.区块链赋能运动健康数据资产交易:机理、架构与路径[J].河北体育学院学报,2025,39(4):48-57.
- [38] 沈克印,曹庆泽.新质生产力提升体育产业链韧性的作用机制与推进路径[J].体育与科学,2024,45(4):1-11+31.
- [39] 王逊,张小林.数字经济赋能我国体育旅游产业转型升级的内在逻辑及实践进路[J].山东体育学院学报,2024,40(6):29-40.
- [40] 宋永晶,秦小平,胡庆山,等.基于区块链技术的体育公共服务治理展望、风险与规避研究[J].武汉体育学院学报,2021,55(2):21-26.
- [41] ACQUISTI A, GROSS R. Imagined Communities: Awareness, Information Sharing, and Privacy on the Facebook [C]//Privacy Enhancing Technologies. Berlin, Heidelberg: Springer, 2006:36-58. DOI: org/10.1007/11957454_3.
- [42] BANSAL G, ZAHEDI F, GEFEN D. The Impact of Personal Dispositions on Information Sensitivity, Privacy Concern and Trust in Disclosing Health Information Online[J]. Decision Support Systems, 2010, 49(2):138-150.
- [43] 搜狐网. BOSS直聘研究院. 爆发的体育产业, 人才奇缺[EB/OL]. (2018-07-11)[2026-04-06]. https://www.sohu.com/a/240622927_355041.
- [44] 中国信息通信研究院. 中国数字经济就业发展研究报告: 新形态、新模式、新趋势(2021年)[EB/OL]. (2021-03-23)[2026-03-12]. http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/ztbg/202103/t20210323_372157.htm.
- [45] TEECE D J, PISANO G, SHUEN A. Dynamic Capabilities and Strategic Management[J]. Strategic Management Journal, 1997, 18(7):509-533.
- [46] 童杰, 林建君. 数字化赋能专精特新中小体育企业创新发展的内涵特征与困境突破[J]. 沈阳体育学院学报, 2025, 44(5):103-109.
- [47] NONAKA I, TAKEUCHI H. The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation [M]. New York: Oxford University Press, 1995:56-94.
- [48] 郑峥. 数字经济时代体育产业数字化转型的影响因素与推进路径[J]. 产业创新研究, 2025(16):45-48.
- [49] 刘春婷. 体育产业与数字经济的有效融合及效应探究[J]. 产业创新研究, 2025(13):120-122.
- [50] KATZ M L, SHAPIRO C. Network Externalities, Competition, and Compatibility [J]. The American Economic Review, 1985, 75(3):424-440.
- [51] 广州市人民政府. 广州赛区 MOC 指挥系统: 为“智慧全运”装上数智芯片[EB/OL]. (2025-11-11)[2026-06-25]. https://www.gz.gov.cn/szgzkfzx/sjgxcj/content/post_10535014.html.
- [52] 腾讯网. 乐刻门店数突破 2 000 家[EB/OL]. (2025-07-28)[2026-04-06]. <https://news.qq.com/rain/a/20250728A08Z5K00>.
- [53] 罗恒, 王家宏, 钟丽萍, 等. 数字技术赋能健身服务业: 内在机理、应用实例与推进路径[J]. 体育文化导刊, 2022(9):89-96.
- [54] 沈克印, 林舒婷, 董芹芹, 等. 我国体育产业数字化转型的现实要求、发展困境与实践策略[J]. 武汉体育学院学报, 2022, 56(8):51-59.
- [55] 胡怀国, 刘乃毓. 数据要素赋能新质生产力的历史逻辑、理论逻辑和实践进路[J]. 武汉大学学报(哲学社会科学版), 2026, 79(1):5-17.
- [56] 深圳市人民政府国有资产监督管理委员会. 深圳创新打造全国性数据交易平台[EB/OL]. (2023-04-19)[2026-03-12]. https://gzw.sz.gov.cn/gkmlpt/content/10/10550/post_10550087.html.
- [57] 司聪, 任保平. 智能经济新形态下科技创新与产业创新深度融合的策略研究[J]. 云南民族大学学报(哲学社会科学版), 2026, 43(1):109-118.
- [58] 马忠法, 郑文龙. 数据资产管理国际标准的制定、完善与中国因应[J]. 安徽大学学报(哲社版), 2025, 49(5):87-94.
- [59] 刘文烁, 金宗强, 王璇. 数字赋能: 体育旅游产业高质量发展的机理、困境与策略[J]. 湖北体育科技, 2025, 44(3):1-5+25.
- [60] 李洁, 刘凌波. 数字经济、产业集聚与体育产业效率[J]. 重庆大学学报(社会科学版), 2024, 30(3):100-114.
- [61] 刘顺顺, 李鹏飞. “互联网+”背景下体育服务产业转型升级的路径研究[J]. 当代体育科技, 2025, 15(3):105-108.
- [62] 浙江省体育局. 杭州亚运让办赛更智能[EB/OL]. (2023-08-27)[2026-03-12]. https://tyj.zj.gov.cn/art/2023/8/27/art_1347254_59115485.html.
- [63] 温州新闻网. 李雪晶: 打造体育数据资源平台 高质量培育温州体育新质生产力[EB/OL]. (2026-01-21)[2026-03-12]. <https://news.66wz.com/system/2026/01/21/105721285.shtml>.

(上接第65页)

- Jumping and Sprinting Ability in Soccer Players[J]. British Journal of Sports Medicine, 2008, 42(1):42-46.
- [24] 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.
- [25] LOWERY R P, DUNCAN N M, LOENNEKE J P, et al. The Effects of Potentiating Stimuli Intensity under Varying Rest Periods on Vertical Jump Performance and Power[J]. Journal of Strength and Conditioning Research, 2012, 26(12):3320-3325.
- [26] 郭文霞, 曲淑华, 孔振兴, 等. 以时域特征为视角的骨骼肌激活后增强效应[J]. 中国组织工程研究, 2018, 22(24):3804-3810.
- [27] SINKOVIC F, NOVAK D, FORETIC N, et al. The Plyometric Treatment Effects on Change of Direction Speed and Reactive Agility in Young Tennis Players: a Randomized Controlled Trial[J]. Frontiers in Physiology, 2023, 14:1226831.
- [28] 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.
- [29] KOZIRIS L P. Postactivation Potentiation: Sometimes More Fatigue than Potentiation[J]. Strength and Conditioning Journal, 2012:1.