

● 运动人体科学 ●

单双侧复合式训练对篮球运动员下肢爆发力和灵敏的 PAP 影响

向琦玮¹, 温宇红¹, 王梓越²

(1.北京体育大学 体育休闲与旅游学院,北京 100084;2.沈阳体育学院 社会体育学院,辽宁 沈阳 110102)

摘要: **目的** 探究单双侧复合式训练对男子篮球运动员下肢爆发力和灵敏的激活后增强效应的影响。**方法** 对招募的 27 名男子篮球运动员进行两种复合式训练,测量前后恢复时间的下蹲跳腾空高度和峰值垂直地面反作用力以及改良灵敏测试的时间。**结果** 1) 双侧激活后的腾空高度在 4 min 较基线有显著提高($p<0.001$); 2) 双侧激活后($p<0.01$)和单侧激活后($p<0.001$)的峰值垂直地面反作用力在即刻、4 min、8 min 和 12 min 较基线有显著提高; 3) 单侧激活后优势腿 MAT 测试时间在即刻($p<0.05$)、4 min($p<0.001$)、8 min($p<0.05$)和 12 min($p<0.05$)较基线显著减少、非优势腿 MAT 测试时间在 4 min 和 8 min 较基线显著减少($p<0.01$)。**结论** 1) 双侧复合式训练可以有效提高男子篮球运动员 CMJ 的腾空高度、峰值垂直地面反作用力; 2) 单侧复合式训练可以有效提高运动员 CMJ 的峰值垂直地面反作用力以及减少 MAT 测试时间。

关键词: 复合式训练; 篮球运动员; 下肢爆发力; 灵敏素质; 激活后增强效应

中图分类号: G841 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-983X(2026)03-0069-07

DOI: 10.20185/j.cnki.1003-983X.2026.03.012

PAP Effects of Unilateral and Bilateral Complex Training on Lower Limb Explosive Power and Agility in Basketball Players

XIANG Qiwei, WEN Yuhong, WANG Ziyue

(1. Beijing Sport University, School of Sports Leisure and Tourism, Beijing 100084, China; 2. Shenyang Sport University, Social Sports Department, Shenyang Liaoning, 110102)

Abstract: **Objective** To investigate the effects of unilateral and bilateral complex training on post-activation potentiation(PAP) of lower-body explosive power and agility in male basketball athletes. **Methods** Twenty-seven male basketball athletes underwent two types of complex training. Pre-and post-recovery measurements included vertical jump height(CMJ), peak vertical ground reaction force, and time on the modified agility test(MAT). **Results:** 1) Bilateral activation significantly increased jump height at 4 min compared to baseline ($p<0.001$); 2) Peak vertical ground reaction force significantly increased immediately, at 4 min, 8 min, and 12 min post-activation for both bilateral ($p<0.01$) and unilateral ($p<0.001$) activation compared to baseline; 3) MAT test time for the dominant leg after unilateral activation was significantly reduced compared to baseline at immediate ($p<0.05$), 4 min ($p<0.001$), 8 min ($p<0.05$), and 12 min ($p<0.05$); MAT test time for the non-dominant leg was significantly reduced compared to baseline at 4 min and 8 min ($p<0.01$). **Conclusions:** 1) Bilateral complex training effectively enhances the vertical jump height and peak vertical ground reaction force in male basketball athletes. 2) Unilateral complex training effectively increases the peak vertical ground reaction force during the vertical jump and reduces the MAT test duration.

Keywords: complex training; basketball players; lower limb explosive power; agility; post-activation potentiation (PAP)

高水平运动员和教练员追求使用先进的训练策略来有效提升个人力量与运动表现,除了长期的体能训练外,赛前热身

训练的急性影响已经成为一种流行的手段^[1],激活后增强效应(Post Activation Potentiation,PAP)是诱导肌肉收缩性能的急性改善,在短时间内的最大负荷或次最大负荷抗阻训练所引起的生理现象,表现为肌肉的发力速度或爆发力的急性增强^[2]。目前,如何将 PAP 广泛、科学地应用于运动员日常训练、赛前热身和赛中再激活,成为运动员和科研人员普遍关注的问题^[3]。

PAP 的生理机制主要包括:肌球蛋白调节轻链的磷酸化和高阈值神经运动单位募集能力的增强。此外,还有一些具有争议的 PAP 潜在的生理机制,例如肌肉含水量、肌肉温度和肌

收稿日期:2025-12-05

第一作者简介:向琦玮(2001~),男,湖北恩施人,在读硕士,研究方向:体能训练理论与方法。

通信作者简介:温宇红(1968~),女,河南安阳人,博士,教授,研究方向:游泳教学与训练,E-mail:wyhswim@126.com。

纤维羽状角的改变等^[4]。PAP 的影响因素包含年龄、性别、训练水平、肌纤维类型、激活方式、激活强度以及恢复时间^[5-9]。除此之外,PAP 需要考虑两个关键因素:疲劳效应和增强效应之间的平衡、激活动作与随后运动模式是否相似^[10-11]。从目前研究来看,大负荷抗阻训练是激活 PAP 的主要方式。然而,使用大负荷抗阻训练激活会产生更大的疲劳效应,从而影响甚至抵消 PAP 的最终结果^[12]。另外,因为场地以及设备的要求,大负荷抗阻训练作为赛前激活方式并不实际,相比于大负荷抗阻训练,有研究证实了复合式训练(Complex Training,CT)作为一种简单、有效的替代方法,也可以产生 PAP^[13]。除了需要平衡疲劳效应和增强效应,所选择的激活动作也需要与随后的运动模式相匹配,例如深蹲这种双侧训练,可能更有利于提升随后的反向纵跳(Counter Movement Jump, CMJ)等双侧发力模式动作的运动表现,而单侧训练例如分腿蹲,则更有利于单侧发力模式的动作,比如加速跑和变向能力。

前期已有大量研究证明,大负荷抗阻训练和增强式训练都可以有效产生 PAP,例如 Carmo^[14]等招募 12 名有抗阻训练经验的男性,采用 1 次 5 RM(Repetition Maximal)深蹲作为激活方式,CMJ 成绩得到显著提高,成功诱导出了 PAP。此外,Zong-Rong Chen^[15]等采用了 1 组 5 次下蹲跳的增强式训练,也有效提升了 NCAA D1 级别排球运动员和篮球运动员的跳跃表现。但少有文献报道了复合式训练对篮球运动员跳跃能力和灵敏的急性影响,仅有 1 篇文献^[16]研究了单、双侧的复合式训练对男子篮球运动员下肢爆发力和灵敏的急性影响,激活方式为 2 组 4 次 80%的 1RM 深蹲结合 10 次跳深、2 组 2 次 80%的 1RM 单侧分腿蹲结合 5 次跳深后衔接侧向跳,最终结果显示两种复合式训练均不能提高 CMJ 和 MAT(Modified Agility Test)成绩,这可能归因于该研究所采用的复合式训练激活强度太大和动作重复次数过多,导致更严重的疲劳效应,从而抵消了激活效应。此外,该文献只进行了激活后 6 min 的 CMJ 和 MAT 测试,恢复时间过短,远少于常规 PAP 窗口期的 4 至 12 min。

鉴于此,在 Papla 等人研究的基础上^[16],本研究旨在降低激活强度和动作的重复次数,并延长激活后的恢复期,来系统探究单双侧复合式训练对篮球运动员 PAP 效应的急性影响。

1 研究对象与方法

1.1 实验对象

本实验共招募 27 名受试者(使用 G*Power 3.1.9.2 软件对样本量进行计算,选取 F 检验:ANOVA 重复测量方差,被试内设计,先验分析, $d=0.25$, $\alpha=0.05$,Power=0.8,样本脱落率为 20%,计算出至少需要 27 名受试者),受试者自愿参与本次实验,并签署知情同意书。受试者基本情况见表 1。本研究已通过北京体育大学运动科学实验伦理委员会的审批(2025128H)。

受试者纳入标准:1)男性;2)国家篮球一级/二级运动员;

3)1RM 深蹲 $\geq$ 自身体重 1.5 倍;4)12 个月以内无任何下肢重大运动损伤史或其他可能影响测试结果的伤病。

1.2 研究方法

1.2.1 实验仪器

1 台坤维测力台;1 套测速仪(Smart Speed,Fusion Sport,澳大利亚);1 台笔记本电脑;1 套硬拉架;2 块秒表;4 个标志桶;1 把量角器。

1.2.2 实验流程

实验分为 3 个阶段,共 10 天(图 1)。实验期间要求受试者规律饮食及作息,且须有充足睡眠,在测试前 48 h,受试者无咖啡因和酒精摄入,下肢未进行大强度抗阻训练,间歇期间禁止剧烈运动。

第一阶段:受试者熟悉实验场地、实验流程、完成受试者基本信息统计,以及了解 CMJ 和 MAT 测试的动作要求。第一阶段与第二阶段,受试者间歇 48 h^[17-18]。

第二阶段:受试者按照随机顺序分别进行 2 次 CMJ 测试,一组为 2 次 6 s150°双侧等长深蹲结合 6 次双侧跳深,另一组为 2 次 3 s150°单腿等长深蹲结合 3 次单侧跳深衔接侧向跳,两次测试间隔 48 h。测试流程为受试者先进行标准化热身,包括 5 min 慢跑、4 min 下肢动态拉伸(8 次弓步压腿、8 次提膝、8 次提踝、8 次大腿外展、8 次大腿内收)、2 次最大强度跳和冲刺(10 m)以及 2 min 恢复。热身结束休息 5 min 后进行一次 CMJ 测试,此次测试为基线测试,随后所有受试者将接受相应的激活,然后分别采集激活后即刻(15s)、4 min、8 min、12 min 的 CMJ 动力学数据,每个时间点采集 2 次有效动作,并选取最佳一次进行记录。第二阶段与第三阶段,受试者间歇 2 天。

第三阶段:受试者按照随机顺序分别进行 2 次 MAT 测试,一组为 2 次 6 s150°双侧等长深蹲结合 6 次双侧跳深,另一组为 2 次 3 s 150°单腿等长深蹲结合 3 次单侧跳深衔接侧向跳,两次测试间隔 48 h。测试流程为受试者先进行标准化热身,包括 5 min 慢跑、4 min 下肢动态拉伸(8 次弓步压腿、8 次提膝、8 次提踝、8 次大腿外展、8 次大腿内收)、2 次最大强度跳和冲刺(10 m)以及 2 min 恢复。热身结束休息 5 min 后进行一次 MAT 测试,此次测试为基线测试,随后所有受试者将接受相应的激活,然后分别记录激活后即刻(15s)、4 min、8 min、12 min 的 MAT 测试时间成绩,每个时间点采集 2 次有效测试,两次测试之间间歇 1 min,并选取最佳一次进行记录。

1.2.3 CMJ 测试

受试者下蹲至合适深度后尽力向上纵跳,同时双手始终置于髋部,且起跳点与落地点均需保持在测力台中心区域。评估指标包括跳跃高度(根据腾空时间计算)和峰值垂直地面反作用力。每个时间点采集 2 次有效动作,间隔休息 45 s,并选取最佳一次进行记录。

表 1 受试者基本情况(N=27)

年龄/岁	身高/cm	体重/kg	篮球训练年限/年	BMI	优势腿
22.3 $\pm$ 1.77	181.92 $\pm$ 4.60	78.44 $\pm$ 5.91	7.37 $\pm$ 2.92	23.69 $\pm$ 1.45	右腿

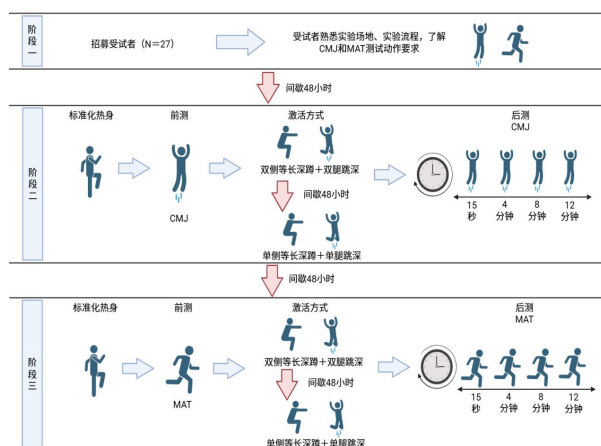


图 1 实验流程图

1.2.4 MAT 测试

计时门架设高度距地面约 1 m, 以避免因摆动肢体误触发计时装置。受试者起始位置前脚距起点门 0.3 m, 以防止提前触发计时门, 然后向前冲刺 5 m 触碰中间标志桶顶部, 随后向左侧滑步 2.5 m 触碰左侧标志桶顶部, 再向右滑步 5 m 触碰右侧标志桶, 继而滑步 2.5 m 返回中间标志桶, 最终后退穿过计时门。每位受试者需分别以优势腿和非优势腿作为起始位置的前脚完成两次 MAT 测试, 间隔休息 1 min, 并选取最佳一次进行记录。

1.3 统计分析

实验数据经 Excel 整理后, 采用 SPSS 29.0 进行双因素重复测量方差分析, 2×5 (组别 $\times$ 时间) 处理。首先对数据进行正态性检验、方差齐性检验和 Mauchly 球形检验。若满足 Mauchly 球形检验 ($p > 0.05$), 则使用重复测量方差分析处理数据; 若不满足 Mauchly 球形检验 ($p \leq 0.05$), 则采用 Greenhouse-Geisser 估计值对自由度进行校正。显著性水平为 $p < 0.05$ 或 $p < 0.01$ 。

2 结果

2.1 CMJ 测试的结果

2.1.1 腾空高度的结果

经过 Shapiro-Wilk 检验, 各组数据均符合正态分布, 但不符合 Mauchly 球形检验结果 ($p < 0.001$), 采用 Greenhouse-

Geisser 检验估计值对自由度进行校正。重复测量方差分析结果表明, 测试时间和激活方式的交互效应显著 ($F=6.095, p < 0.001, \eta_p^2=0.105$), 测试时间的主效应显著 ($F=11.460, p < 0.001, \eta_p^2=0.181$), 激活方式的主效应不显著 ($F=0.562, p=0.457, \eta_p^2=0.011$)。简单效应分析发现, 单双侧复合式训练在所有时间点上均无显著差异。进一步事后多重比较表明(图 2), 双侧激活方式在激活后第 4 min 的 CMJ 高度比基线有显著提高 ($p < 0.001$), 8 min 的 CMJ 高度比 4 min 有显著下降 ($p < 0.05$), 12 min 比 4 min 有显著下降 ($p < 0.001$); 单侧激活方式在激活后第 8 min 的 CMJ 高度比基线有显著下降 ($p < 0.05$), 12 min 的 CMJ 高度比基线有显著下降 ($p < 0.001$)。此外, 双侧、单侧复合式训练的 CMJ 峰值腾空高度分别出现在激活后第 4 min 和 15 s。

2.1.2 峰值垂直地面反作用力的结果

经过 Shapiro-Wilk 检验, 各组数据符合正态分布, 且符合 Mauchly 球形检验结果 ($p=0.077$), 以一元方差分析结果为准。结果显示, 测试时间的主效应显著 ($F=24.485, p < 0.001, \eta_p^2=0.320$), 激活方式的主效应不显著 ($F=0.269, p=0.606, \eta_p^2=0.005$), 测试时间和激活方式的交互效应不显著 ($F=0.731, p=0.554, \eta_p^2=0.014$)。事后多重比较表明(图 3), 双侧激活方式在激活后即刻的峰值地面垂直反作用力比基线有显著提高 ($p < 0.01$), 第 4 min、8 min 和 12 min 的峰值垂直地面反作用力比基线有非常显著提高 ($p < 0.001$); 单侧激活方式在激活后即刻、4 min、8 min 和 12 min 的峰值垂直地面反作用力比基线有非常显著提高 ($p < 0.001$)。此外, 双侧、单侧复合式训练的 CMJ 最大峰值垂直地面反作用力出现在激活后第 4 min 和 8 min。

2.2 MAT 测试的结果

2.2.1 MAT 优势腿的结果

经过 Shapiro-Wilk 检验, 各组数据符合正态分布, 但不符合 Mauchly 球形检验结果 ($p < 0.05$), 采用 Greenhouse-Geisser 检验估计值对自由度进行校正。重复测量方差分析结果显示, 测试时间和激活方式对 MAT 优势腿的交互效应显著 ($F=5.914, p < 0.001, \eta_p^2=0.326$), 测试时间对 MAT 优势腿的主效应显著 ($F=16.036, p < 0.001, \eta_p^2=0.567$), 激活方式对 MAT 优势腿的主效应不显著 ($F=0.479, p=0.492, \eta_p^2=0.009$)。简单效应分析发现, 单双侧复合式训练在所有时间点上均无显著差异。进一

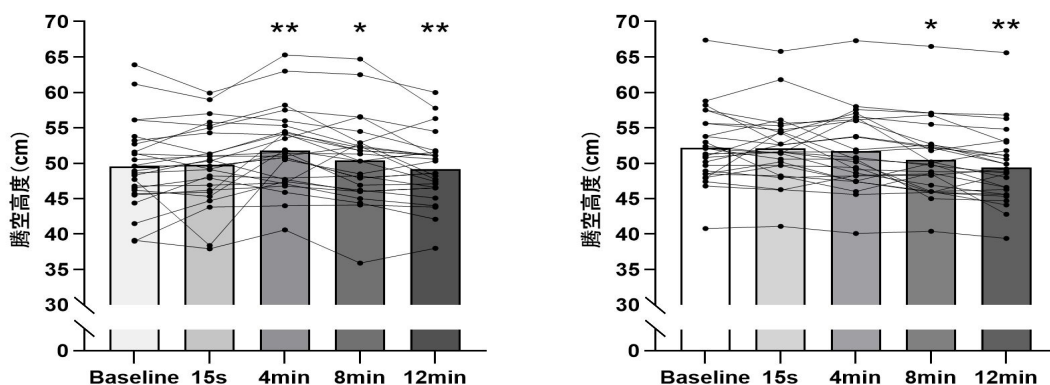


图 2 双侧(左)与单侧(右)激活前后 CMJ 腾空高度在不同恢复时间点的变化

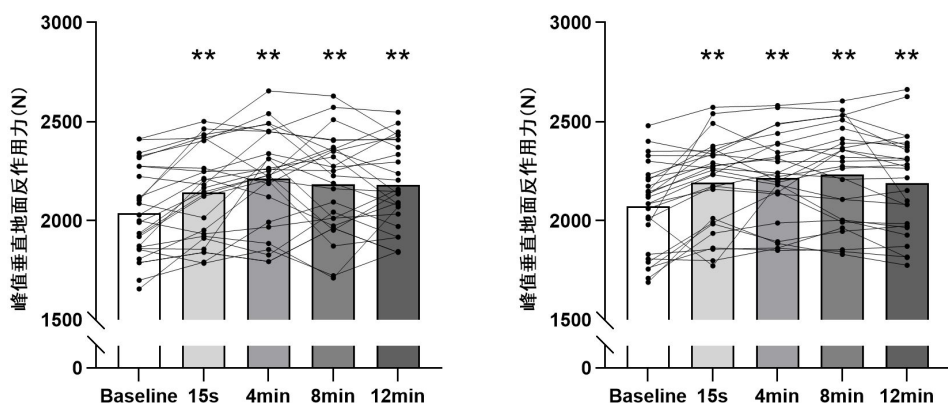


图 3 双侧(左)与单侧(右)激活前后 CMJ 峰值垂直地面反作用力在不同恢复时间点的变化

步事后多重比较表明(图 4),在单侧激活方式的 MAT 优势腿测试中,相比于基线测试,激活后即刻($p=0.01$)、4 min($p<0.001$)、8 min($p<0.05$)和 12 min($p<0.05$)的成绩都具有显著提升。

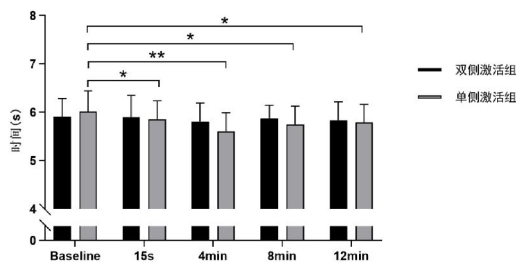


图 4 激活前后优势腿 MAT 在不同恢复时间点的变化

2.2.2 MAT 非优势腿的结果

经过 Shapiro-Wilk 检验,各组数据符合正态分布,但实验数据不符合 Mauchly 球形检验结果($p<0.001$),采用 Greenhouse-Geisser 检验估计值对自由度进行校正。重复测量方差分析结果显示,测试时间和激活方式对 MAT 非优势腿的交互效应显著($F=4.913, p<0.05, \eta_p^2=0.286$),测试时间对 MAT 非优势腿的主效应显著($F=7.938, p<0.001, \eta_p^2=0.393$),激活方式对 MAT 非优势腿的主效应不显著($F=1.005, p=0.321, \eta_p^2=0.019$)。简单效应分析发现,单双侧复合式训练在所有时间点上均无显著差异。进一步事后多重比较表明(图 5),与 MAT 非优势腿基线成绩相比,单侧激活后 4 min($p<0.01$)和 8 min($p<0.01$)有显著提升。

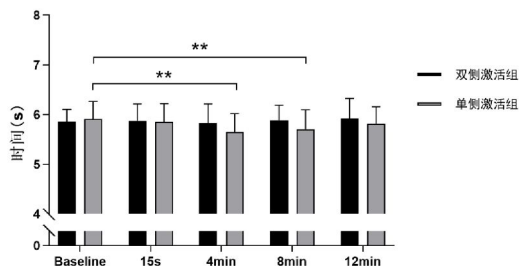


图 5 激活前后非优势腿 MAT 在不同恢复时间点的变化

3 讨论

本研究探讨了两种不同复合式训练对男子篮球运动员下肢爆发力和灵敏的急性影响,旨在为篮球运动员赛前热身方式的选择和随后运动表现的最佳窗口期提供参考借鉴。研究发现:双侧复合式训练主要提升垂直爆发力,表现为激活后 4 min 的 CMJ 腾空高度的显著增加;单侧复合式训练则主要改善灵敏,表现在多个时间点显著缩短 MAT 测试时间。此外,两种复合式训练均能持续提高 CMJ 的峰值垂直地面反作用力。这些发现进一步支持了激活动作与随后运动模式之间的相似性原则对 PAP 的重要性。与本研究假设基本一致,双侧训练能显著提高 CMJ 的腾空高度,单侧训练能缩短 MAT 测试的时间。

3.1 单侧复合式训练对下肢爆发力的影响

研究结果表明,单侧复合式训练在激活后即刻、4 min、8 min 和 12 min 的峰值地面垂直反作用力比基线有非常显著提高,但在第 8 min 和 12 min 的 CMJ 腾空高度比基线有显著下降。CMJ 的腾空高度的显著下降和峰值垂直地面反作用力的显著提高,这看似是一个矛盾的结果。其实不然,这反应了本研究的受试者在经过单侧复合式训练后,下肢肌肉神经在激活后即刻和 4 min 被充分唤醒,出现了短暂的峰值力提升,但即使有着较高的峰值垂直地面反作用力,由于受试者的发力速率急剧下降,所以在第 8 min 和 12 min 的 CMJ 腾空高度显著下降。此外,激活动作要与随后运动模式尽可能相似,是能否产生 PAP 的重要因素^[10],而单侧分腿蹲结合单侧跳深与 CMJ 运动模式并不相符,这可能是导致随后的 CMJ 腾空高度显著下降的原因之一。

在 Papla 等^[16]的研究中,受试对象为 13 名女性排球运动员,采用 2 组 4 次 80%1RM 深蹲结合 10 次跳深、2 组 2 次 80%1RM 单侧分腿蹲结合 5 次跳深后衔接侧向跳作为激活方式,最终结果显示两种复合式训练均不能提高 CMJ 腾空高度,且有下降的趋势,这可能归因于该研究所采用的复合式训练激活强度太大和动作重复次数过多,导致更严重的疲劳效应,从而抵消了激活效应,且受试对象为女性,而一般情况下女性的 PAP 增强幅度本就比男性更小^[19]。这可能是测试对象的个体差异和自身水平不同而导致结果不一致,但并不能代表所有的测试对象都无显著变化,由此可见,为不同个体提供个性化的 PAP 方案是有必要的^[20]。此外, Kalinowski 等^[21]让 13 名受试者进行 1 组 6 s 双侧等长半蹲与 10 次双侧跳深、1 组 3 s

单侧等长半蹲与5次单侧跳深,并进行CMJ测试。结果显示,CMJ的腾空高度无显著变化,而相对峰值功率出现显著下降,相对峰值功率的下降可以间接说明峰值功率的下降,这与本研究的结果一致,尤其是受试者在经历了热身、激活训练以及即刻和4 min等阶段的CMJ测试后,在第8 min和12 min疲劳效应可能逐渐占据上风,影响神经肌肉系统的效率,最终导致下肢肌肉最大瞬时功率值下降。

然而,Duan等^[22]和Gonzalo等^[23]的研究却得出了不同的结果。Duan对20名男子篮球运动员进行了为期8周、每周2次的单、双侧复合式训练。结果显示,单侧复合式训练能显著提高受试者的CMJ腾空高度,但提高幅度不如双侧复合式训练,除了纵向的下肢爆发力,20 m冲刺跑也有显著提高,且提高幅度远大于双侧复合式训练。Gonzalo将22名男性篮球运动员分为两组,分别进行为期6周、每周2次的单、双侧复合式训练,结果与Duan的研究相一致,单侧组受试者的CMJ腾空高度出现显著提升。造成这一原因可能是本研究作为PAP实验,是一种急性影响的结果,其单侧复合式训练的提高效果不如长期单侧复合训练,由于长期的PAP训练效果和生理机制尚不明确,因此,未来的研究应关注长期训练,尤其是单、双侧训练对肌肉结构、功能和运动表现的影响^[24]。

3.2 双侧复合式训练对下肢爆发力的影响

研究结果表明,双侧复合式训练在激活后4 min的CMJ腾空高度比基线有显著提高,在即刻、4 min、8 min和12 min的峰值垂直地面反作用力比基线有非常显著提高。根据研究结果来看,峰值垂直地面反作用力的窗口期为激活后即刻至12 min,时长远超腾空高度的4 min以内的窗口期,说明虽然双侧复合式训练有效地提高了运动员下肢在起跳阶段所产生的最大力量,但运动员的发力速度出现下降,导致CMJ的腾空高度只在4 min时出现显著提高。

Zong-Rong Chen等^[15]对10名排球与篮球运动员施加1组5次5RM深蹲结合5次跳深,在激活后第4 min的CMJ腾空高度较基线有显著提高,这与本研究的结果一致。尽管如此,Chen的研究中,个体的PAP反应差异较大,有5名运动员在双侧复合式训练后CMJ腾空高度有显著提高,但有3名运动员的腾空高度没有变化甚至还出现了下降的现象,这也再次验证了PAP需要朝着个性化定制训练方案的路径发展,不能对所有运动员一概而论^[25]。张凯^[26]将13名田径、排球、橄榄球运动员进行5次65%1RM深蹲和5次跳深的激活,并分为2 min间歇组和3 min间歇组。结果显示,两个间歇组别的CMJ腾空高度都有显著提高,并在4 min达到峰值,这与本研究的结果相一致。

Kalinowski等的CMJ测试^[21]。结果显示,双侧复合式训练在第6 min可以显著提高腾空高度和RSImod。与本研究的结果相比,CMJ的腾空高度的峰值时间出现晚于4 min,其原因可能是Kalinowski的研究只测试了激活后6 min的CMJ,这种只有一个时间点的测试方案无法验证双侧复合式训练的PAP窗口期。此外,运动项目、性别、热身方案等也是造成PAP出现时间不同的影响因素。Gonzalo等^[23]将22名男性篮球运动员分为两组,分别进行为期6周、每周2次的单、双侧复合式训练。结果显示,双侧复合式训练组的CMJ腾空高度和25 m冲刺跑的成绩都得到显著提升,证明了长期双侧复合式训练也

能提高运动员的下肢爆发力。

3.3 单侧复合式训练对灵敏的影响

研究结果表明,单侧复合式训练激活后,相比于基线测试,在即刻、4 min、8 min和12 min的MAT优势腿测试所用时间均显著减少,在第4 min和8 min的MAT非优势腿测试时间显著减少。根据研究结果来看,单侧复合训练对MAT优势腿产生了强烈且持久的神经系统激活,可以维持长达12 min,为运动员提供了一个相当长的PAP窗口期。此外,非优势腿同样能从激活中受益,但其神经系统的兴奋性水平和持久性不如优势腿。这可能是因为优势腿长期主导运动,神经肌肉系统的功能和效率本身就更优,因此对激活刺激的反应更敏感、更持久。整体来看,单侧复合式训练对篮球运动员MAT成绩的最佳窗口期为4—8 min。这对于安排热身激活与正式比赛或训练开始的间隔时间具有重要的指导意义,在设计和实施训练时,需要考虑到优势腿与非优势腿对不同刺激的反应差异,可能需要对非优势腿进行更具针对性的训练和激活。

然而,根据Kalinowski等^[21]和Papla等^[16]的研究来看,Kalinowski采用1组6 s双侧等长半蹲与10次双侧跳深、1组3 s单侧等长半蹲与5次单侧跳深,Papla采用2组4次80%1RM深蹲结合10次跳深、2组2次80%1RM单侧分腿蹲结合5次跳深后衔接侧向跳作为激活方式,然后进行MAT测试,并没有成功诱导出PAP效应。造成这一明显差别的原因可能有2点:一是CMJ和MAT的测试顺序没有随机化;二是CMJ、MAT以及一些其他的测试指标都被安排在了同一天同一次进行,这就很有可能造成几种测试指标之间的相互影响,导致运动员以更加疲劳的状态去完成排序靠后的测试。除了急性影响外,Duan^[22]对20名男子篮球运动员进行了为期8周、每周2次的单、双侧复合式训练。结果显示,505测试和T测试所用时间均显著减少,说明长期的单侧复合式训练也可以有效提升篮球运动员的灵敏素质。

3.4 双侧复合式训练对灵敏的影响

研究结果表明,双侧复合式训练激活后,与基线测试相比,MAT优势腿和非优势腿测试所用时间均无显著差异。根据研究结果来看,双侧复合式训练并不能显著减少MAT测试时间。MAT是一个多方向、以单侧支撑和侧向移动为主的任务,它涉及加速、减速、侧向滑步和后退跑。而双侧复合式训练作为一种双腿同时发力的运动模式,与MAT测试在生物力学模式、发力方式和涉及的肌肉群上存在根本差异。因此,由双侧复合式训练诱导的PAP效应无法有效地转移到以单侧和侧向为主的灵敏任务中。这与Kalinowski等^[21]和Papla等^[16]的研究结果相一致,双侧复合式训练无法显著提升MAT成绩。然而,长期的双侧复合式训练似乎可以有效减少505测试和T测试的时间,Duan等^[22]对20名男子篮球运动员进行了为期8周、每周2次的单、双侧复合式训练。结果显示,505测试和T测试所用时间都显著减少,但其优势腿和非优势腿改善幅度均低于单侧复合式训练。除了训练时长不一样外,用于评定灵敏素质的结局指标的不同也可能是造成这种差别的原因之一。虽然505测试、MAT、T测试都被归类为变向类灵敏测试^[27],但505测试主要评估受试者在冲刺过程中快速完成一次180°转身并再次加速的能力,测试结果与运动员的直线冲刺速度

有较高关联。而 T 测试虽然与 MAT 测试非常相似,但由于 T 测试的直线跑动距离是 MAT 的两倍,所以并不能真实地反应运动员,尤其是篮球运动员的灵敏素质。

4 结论与展望

4.1 结论

1) 双侧复合式训练在提升 CMJ 表现方面的 PAP 效应更显著,CMJ 腾空高度的窗口期为 15 s 至 4 min,峰值垂直地面反作用力的窗口期为 15 s 至 12 min,CMJ 的峰值腾空高度和最大峰值垂直地面反作用力均出现在 4 min。单侧复合式训练的 CMJ 峰值垂直地面反作用力的窗口期为即刻至 12 min,CMJ 的峰值腾空高度出现在 15 s,最大峰值垂直地面反作用力出现在 8 min。

2) 单侧复合式训练在提升 MAT 表现方面的 PAP 效应更显著,MAT 优势腿的窗口期为 15 s 至 12 min,MAT 非优势腿的窗口期为 4 min 至 8 min,最佳 MAT 优势腿和非优势腿测试时间均出现在 4 min;双侧复合式训练的 MAT 测试时间均无显著性差异。

3) 实践中可根据比赛战术需求与运动员个人特点,针对性地选择赛前激活方案:若需提升垂直爆发力,如争抢篮板、盖帽等,宜采用双侧复合式训练;若需增强灵敏性,如防守滑步等,则选用单侧复合式训练。

4.2 未来展望

本研究的局限性在于未测发力速率和表面肌电,对于结果的解释,无法排除神经驱动下降或肌纤维传导速度减慢。此外,虽然 CMJ 和 MAT 测试间隔两天可以有效避免疲劳的干扰因素,但是受试者每天状态存在差异可能会影响研究结果。未来研究应结合生理指标来更科学地解释 PAP 实验的结果,还可进一步探讨不同负荷强度与训练量的单、双侧复合式训练对不同运动水平和项目的运动员群体的 PAP 影响,以验证其普适性并制定个性化的激活方案。

参考文献:

- [1] BLAZEVOICH A J, BABAUULT 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] BROWN I E, LOEB G E. Post-Activation Potentiation—A Clue for Simplifying Models of Muscle Dynamics[J]. *American Zoologist*, 1998, 38(4): 743–754.
- [3] 梁美富, 郭文霞. 骨骼肌激活后增强效应的研究进展[J]. *体育科学*, 2019, 39(5): 70–80.
- [4] PRIESKE O, BEHRENS M, CHAABENE H, et al. Time to Differentiate Postactivation “Potentiation” from “Performance Enhancement” in the Strength and Conditioning Community[J]. *Sports Medicine*, 2020, 50(9): 1559–1565.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] SUCHOMEL T J, LAMONT H S, MOIR G L. Understanding Vertical Jump Potentiation: a Deterministic Model[J]. *Sports Medicine*, 2016, 46(6): 809–828.
- [8] MALONEY S J, TURNER A N, FLETCHER I M. Ballistic Exercise as a Pre-Activation Stimulus: a Review of the Literature and Practical Applications[J]. *Sports Medicine*, 2014, 44(10): 1347–1359.
- [9] BOULLOSA D, BEATO M, DELLO IACONO A, et al. A New Taxonomy for Postactivation Potentiation in Sport[J]. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2020, 15(8): 1197–1200.
- [10] KRZYSZTOFIK M, TRYBULSKI R, TRABKA B, et al. The Impact of Resistance Exercise Range of Motion on the Magnitude of Upper-Body Post-Activation Performance Enhancement[J]. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 2022, 14(1): 123.
- [11] 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.
- [12] CHEN Z R, WANG Y H, PENG H T, et al. The Acute Effect of Drop Jump Protocols with Different Volumes and Recovery Time on Countermovement Jump Performance[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2013, 27(1): 154–158.
- [13] LESINSKI M, PRIESKE O, GRANACHER U. Effects and Dose-Response Relationships of Resistance Training on Physical Performance in Youth Athletes: a Systematic Review and Meta-Analysis[J]. *British Journal of Sports Medicine*, 2016, 50(13): 781–795.
- [14] DO CARMO E C, DE SOUZA E O, ROSCHEL H, et al. Self-Selected Rest Interval Improves Vertical Jump Postactivation Potentiation[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2021, 35(1): 91–96.
- [15] CHEN Z R, LO S L, WANG M H, et al. Can Different Complex Training Improve the Individual Phenomenon of Post-Activation Potentiation? [J]. *Journal of Human Kinetics*, 2017, 56(1): 167–175.
- [16] PAPLA M, EWERTOWSKA P, KRZYSZTOFIK M. Acute Effects of Complex Conditioning Activities on Athletic Performance and Achilles Tendon Stiffness in Male Basketball Players[J]. *Journal of Sports Science and Medicine*, 2023: 281–287.
- [17] 孙超, 曹梦婷, 李雪浩. 后激活增强效应对散打运动员直拳打击表现的影响[J]. *成都体育学院学报*, 2025, 51(4): 145–151.
- [18] FONTANETTI G, BARRETO R V, JUNIOR R C, et al. The Use of the Self-Selected Rest Interval Method Is as Effective for Optimizing Postactivation Performance Enhancement in Elite Athletes as Employing the Best Fixed Rest Interval[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2025, 39(1): 10–15.
- [19] 姜自立, 李庆. 激活后增强效应研究进展述评[J]. *体育科学*, 2016, 23(1): 136–144.
- [20] 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.
- [21] KALINOWSKI R, PISZ A, KOLINGER D, et al. Acute Effects of Combined Isometric and Plyometric Conditioning Activities on Sports Performance and Tendon Stiffness in Female Volleyball Players[J]. *Frontiers in Physiology*, 2022, 13: 1025839.
- [22] DUAN T, HE Z, DAI J, et al. Effects of Unilateral and Bilateral Con-

- trast Training on the Lower Limb Sports Ability of College Basketball Players[J]. *Frontiers in Physiology*, 2024, 15: 1452751.
- [23] GONZALO-SKOK O, TOUS-FAJARDO J, SUAREZ-ARRONES L, et al. Single-Leg Power Output and Between-Limbs Imbalances in Team-Sport Players: Unilateral versus Bilateral Combined Resistance Training[J]. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2017, 12(1): 106-114.
- [24] 刘瑞东, 张军鑫, 曾子辰, 等. 跳深练习的激活后增强效应对优秀男子短跑运动员加速跑和肌肉—肌腱硬度的影响[J]. 首都体育学院学报, 2024, 36(5): 561-569.
- [25] 刘敏, 郭燕兰. 后激活增强效应对不同训练水平运动员肌肉活性的影响[J]. 中国体育科技, 2019, 55(7): 30-36.
- [26] 张凯. 复合式训练的激活后增强效应对反向纵跳影响的研究[D]. 山东体育学院, 2024.
- [27] 高崇, 杨威, 廖开放, 等. 人体运动的灵敏: 定义与测试[J]. 成都体育学院学报, 2021, 47(6): 122-129.

(上接第25页)

织困境、《世界反兴奋剂条例》的局限以及美国域外管辖冲击等难题, 阻碍反兴奋剂治理工作有效开展, 损害全球体育事业发展根基。体育善治理念为全球反兴奋剂治理变革提供了明确而科学的思路和建设方向: 1) 优化《世界反兴奋剂条例》, 融入过错责任原则并加快更新机制, 进一步补充完善反兴奋剂治理工作内容、要求; 2) 重塑世界反兴奋剂机构角色, 增强其独立性、民主性并强化监督评估职能, 减少政府过分干预; 3) 积极应对域外管辖挑战, 借助国际合作抵制单边行为, 强化规则意识和责任权限, 杜绝“手过长”现象; 4) 完善国内法规保障权益等多维度变革策略, 构建更优全球反兴奋剂治理体系。为了保障运动员权益、弘扬体育精神、推动体育的可持续发展。未来全球各国应秉持合作共赢理念, 完善创新反兴奋剂治理体系, 让体育赛事彰显公平与正义, 并且为世界体育善治提出切实可行之策。

参考文献:

- [1] 任慧涛, 赵耀. 国际体育自治的权力疏散研究: 兼论全球反兴奋剂治理的新趋势与新困境[J]. 武汉体育学院学报, 2024, 58(7): 48-55.
- [2] 世界反兴奋剂机构(WADA). 2024年反兴奋剂检测数据报告[R/OL]. (2025-12-16) [2025-12-22]. <https://www.wada-ama.org/en/news/wada-publishes-2024-testing-figures-report%20World%20Anti%20Doping%20Agency>.
- [3] 刘韵. 运动员仲裁权益保障的困境及其修正: 兼述里约奥运会仲裁案件[J]. 武汉体育学院学报, 2017, 51(1): 47-54.
- [4] On icy ground: Kamila Valieva and the challenge of pleading “no fault or negligence” in anti-doping cases [EB/OL]. (2024-04-03) [2025-10-09]. <https://natlawreview.com/article/icy-ground-kamila-valieva-and-challenge-pleading-no-fault-or-negligence-anti-doping?amp>.
- [5] 李智, 王俊晖. 兴奋剂违规认定: “严格责任”还是“过错责任”: 以《世界反兴奋剂条例》条款2.5为视角[J]. 福州大学学报(哲学社会科学版), 2022, 36(1): 99-106.
- [6] 网易新闻. 摩尔禁赛四年与辛纳三个月: 网球公正的双面镜[EB/OL]. (2025-07-17) [2025-10-09]. <https://c.m.163.com/news/a/K4N5K39V05298CTE.html>.
- [7] 孙遥. 反兴奋剂规范的法理基础、逻辑补位与体系构建[J]. 上海体育大学学报, 2024, 48(6): 27-38.
- [8] 苏东妮, 王川, 李智. 区块链技术在反兴奋剂结果管理中的适用研究[J]. 体育科学研究, 2025, 29(2): 32-39.
- [9] 徐伟康. 人工智能赋能兴奋剂管制: 价值意蕴、现实挑战与发展策略[J]. 体育科学, 2024, 44(1): 50-58+97.
- [10] 陈新宇, 阮嘉禾. 道与器: 全球反兴奋剂新形势下的中国方案[J]. 体育科学, 2025, 45(1): 52-63.
- [11] 宋俊潼, 王楦. 美国《2019罗琴科夫反兴奋剂法》的规范分析、法理批判及应对策略[J]. 体育教育学报, 2022, 38(5): 80-87.
- [12] 黎霞芳, 罗林. 体育善治的显现空间与理性选择[J]. 武汉体育学院学报, 2017, 51(10): 32-36.
- [13] 董红刚, 易剑东. 体育治理评价: 英美比较与中国关注[J]. 武汉体育学院学报, 2016, 50(2): 25-31.
- [14] 马博威, 王家宏. 我国竞技体育治理体系建设逻辑、困境与突破路径[J]. 中国体育科技, 2024, 60(11): 3-11.
- [15] Liu L, Wang Z L, Zhao L Y, et al. Method development of pegmolesatide for doping analysis: a novel synthetic erythropoietin-mimetic agent [J]. *Drug Testing and Analysis*, 2025, 17(1): 2210-2219.
- [16] 石岩, 赵娜. 我国反兴奋剂综合防控体系建设研究[J]. 体育科学, 2024, 44(6): 23-31.
- [17] 郑志杰, 赵耀, 易剑东, 等. 走向善治: 世界反兴奋剂机构如何应对治理失灵[J]. 武汉体育学院学报, 2024, 50(5): 54-66.
- [18] 乔一涓, 许益奇. 辅助人员过错时马术运动员兴奋剂责任认定研究[J]. 北京体育大学学报, 2024, 47(6): 110-121.
- [19] 徐伟康. 2021年版《世界反兴奋剂条例》(WADC)的修改评述: 基于2015年版WADC条款的对比[J]. 西安体育学院学报, 2020, 37(4): 408-414.
- [20] 刘永平, 李智. 我国《反兴奋剂条例》修订的发展特点、基本思路与现实进路[J]. 体育科研, 2023, 44(6): 64-69.
- [21] 石纪辉, 包涵. 我国涉兴奋剂行为的治理现状与完善路径[J]. 湖北体育科技, 2025, 44(4): 112-118.
- [22] 周青山, 敖忠. 美国反兴奋剂领域的域外管辖: 国际体育自治的挑战与应对[J]. 北京体育大学学报, 2022, 45(3): 144-152.
- [23] 宋彬龄, 李宇婷. 反兴奋剂治理的“中国模式”研究[J]. 北京体育大学学报, 2023, 46(8): 63-72.