



# 预激活增强效应对优秀女子 体操运动员跳马助跑的影响

## Effect of Post Activation Potentiation Exercises on Women Elite Gymnasts' Vaulting Run-up

何卫<sup>1</sup>, 汤仁圣<sup>1,2</sup>, 张霞<sup>3</sup>, 宋湘勤<sup>4</sup>, 洪平<sup>1</sup>  
HE Wei<sup>1</sup>, TANG Ren-sheng<sup>1,2</sup>, ZHANG Xia<sup>3</sup>, SONG Xiang-qin<sup>4</sup>, HONG Ping<sup>1</sup>

**摘要:**目的:研究不同时段静态牵拉连接PAP诱导对优秀女子体操运动员跳马助跑产生的影响。方法:研究对象为5名国家健将级女子体操运动员。采用单组多重前后测试研究方法;利用SPSS 21.0统计软件进行数据分析, $P < 0.05$ 有统计学差异。结果:1)PAP诱导后,髋关节角度有明显增加趋势,并可维持长达16 min;2)下蹲跳(CMJ)峰值力显示:PAP诱导有效时段为4~12 min,8 min为高峰点;3)跳马助跑倒3步(L3S)、倒2步(L2S)和踏板起跳(FS)平均水平速度呈递减趋势,L2S显示PAP诱导后有效时段8~16 min,8 min为高峰点。结论:研究实验方案能有效诱导实验对象PAP效应,并通过髋关节活动度、CMJ峰值力及跳马助跑倒2步跑速反映出来。

**关键词:**预激活增强效应;女子;体操;跳马

**Abstract:** Objective: The purpose of this study is to determine the effect of static stretching followed by PAP stimulation in different periods on elite female gymnasts, and the relationship between countermovement jump (CMJ) and vaulting run-up kinematics after PAP stimulation over time. Methods: Five national gymnasts volunteered were recruited in this work. Using a single set of multiple pre-and post-test methods. SPSS 21.0 were used to analyse the data. P value was set at 0.05. Results: 1) As compared to baseline, hips ROM shown improved and lasted the entire 16mins duration after static stretching induced. 2) CMJ peak force were increased significantly between 4-12mins with peak value at 8mins; 3) last-3-step (L3S), last-2-step (L2S) and final step (FS) of vaulting run-up showed reduction of speed, only L2S indicated PAP were effective between 8-16mins with 8mins peak value post PAP. Conclusion: The experimental protocol of this study can effectively induce the PAP effect of the experimental subjects and is reflected by the hips ROM, CMJ peak force and the last-2-step speed of vaulting run-up.

**Keywords:** PAP; female; artistic gymnastics; vault

**中图分类号:**G804.6 **文献标识码:**A

跳马是一项由助跑、踏板起跳、手撑上台连接体操技术动作,最后稳定站立落地的竞技体操项目。这一环环相连的动作中,跳马助跑是决定最后运动成绩的关键因素之一。跑速直接影响踏板起跳水平速度,而水平速度转换手撑上台作用和反作用力的大小将影响离台后身体的腾空高度与转体角速度,进而影响跳马动作技术难度和完成质量,最后决定运动成绩<sup>[1,2,6]</sup>。近年来,在中国体操队的不断努力下,我国跳马难度分值水平有明显提高,但动作完成质量相较其他体操强国还是存在差距。这其中存在体能与体操技术发展脱节的问题,而体能-腿部力量是完成高质量跳马动作的基础<sup>[1,4,6]</sup>。Hall等人<sup>[13]</sup>在20名竞技体操女青少年运动员常规训练课里添加了每周2次,每次45 min冲击式训练。6周后,实验结果显示跳马助跑水平速度、踏板

起跳水平速度加快和空翻后落地时间加长。因此,许多体操教练员会在其训练课中编排一些下肢水平速度力量训练,通过提升跳马运动员助跑水平速度,使体操运动员能有更

收稿日期:2017-09-20; 修订日期:2017-12-23

基金项目:国家体育总局体育科学研究所基本科研业务费资助项目(15-09,17-29)。

作者简介:何卫,男,助理研究员,博士,主要研究方向为运动生物力学,Tel:(010)87182535,E-mail:hewei@ciss.cn。

作者单位:1.国家体育总局体育科学研究所,北京100061;2.上海体育学院,上海200438;3.国家体育总局体操运动管理中心,北京100063;4.北京师范大学,北京100875  
1. China Institute of Sports Science, Beijing 100061, China; 2. Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China; 3. Gymnastics Management Centre, Beijing, 100063, China; 4. Beijing Normal University, Beijing, 100875, China.

充裕的时间来完成更高难度和更高质量的技术动作。

除了体能素质训练逐渐提高助跑水平速度外,在运动前应用合理的热身编排也会产生提升助跑与起跳水平速度的急性效应,这种热身方案被称为预激活增强(Post-Activation Potentiation, PAP)<sup>[14-16]</sup>。PAP效应是通过各种高强度肌肉收缩方式的抗阻运动,等长收缩<sup>[16, 20, 26]</sup>、向心离心收缩<sup>[16, 19, 21]</sup>或离心收缩<sup>[8, 22]</sup>等,诱导高阶运动单位募集能力提高、改变肌肉收缩时羽状角或肌球蛋白调节轻链的磷酸化<sup>[3]</sup>,最终提升肌肉力量、冲刺速度等体能能力。但PAP效应的大小受牵制于不同负荷量、激活运动方法、运动年龄、运动肌群、激活后休息时间等,负荷强度越高所需激活后休息时间越长、对运动年龄越长水平越高的运动员其效果越明显<sup>[3, 9, 11]</sup>。有研究表明,PAP诱导后需要一段3~6 min<sup>[17, 18]</sup>的恢复时段,然后体能指标才会提升并维持一段约12 min的有效时段<sup>[23, 26]</sup>。因此,在实践PAP时必须考虑项目特点与运动员的体能条件应用科学方法找出最佳搭配作为运动前的热身活动<sup>[18, 24]</sup>。

由于体操比赛场地没有抗阻训练设备,有学者采用各种冲击式弹跳运动诱导相似的PAP效应<sup>[7, 10, 24, 25, 27]</sup>。Donti等人<sup>[10]</sup>应用静态牵拉加PAP(屈膝纵跳)热身方案,对希腊优秀男女竞技体操和艺术体操队员进行研究,取得良好的急性提升下肢力量效果。本工作前期研究<sup>[7]</sup>也表明,对中国6名优秀女子体操运动员进行静态牵拉30 s及3组5次屈膝纵跳后,结果能增加其柔韧度及有效预激活增强下肢力量。但诱导PAP效应后能否转化维体操跳马助跑速度的提升有待验证,不同时间段PAP效应与体操跳马助跑速度的影响也需要进一步研究。因此,本文在前期工作基础上,研究不同时段静态牵拉连接PAP诱导对优秀女子体操运动员跳马助跑产生的影响。

## 1 研究对象与方法

### 1.1 实验对象

5名国家健将级女子体操运动员自愿参与本项目,运动员均采用腱子后手翻类跳马动作。5名有效实验对象年龄15.2±2.17岁、运动年限9.8±2.59年、体重38.1±5.7 kg、身高149.4±8.35 cm。本实验遵循赫尔辛基宣言(Declaration of Helsinki, 2008),并在获得监护人及实验对象知情同意后进行。实验对象纳入标准为实验前6个月没有因运动伤病缺席训练。实验对象均为高水平体操运动员并曾经获得过全国青少年体操锦标赛奖牌,其中两名实验对象曾经获得多个世锦赛奖牌,也是2016年里约奥运会主力队员。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 PAP方案

本研究PAP方案参考Donti等人<sup>[10]</sup>的30 s静态牵拉和3组5次屈膝纵跳PAP诱导方案。由于本实验对象都能轻松完成每组5次屈膝纵跳,因此每组间隔调整为30 s。首先

实验对象主动静态牵拉臀伸肌群、股四头肌群和小腿三头肌群等,至感觉疼痛之前左右脚各30 s,总共牵拉时间3 min;然后屈膝纵跳3组5次(屈膝腰角度小于水平线)。对照方案则依照正常训练课要求进行热身,然后静态休息5 min,无其他要求。

#### 1.2.2 实验流程

本研究采用单组多重前后测试实验方法。实验对象正常热身后静态休息5 min,然后进行5次跳马,接着实施PAP手段5 min,然后再进行5次跳马,每次跳马间隔4 min。为表述方便,以下以PAP前、后表示两种实验方案。正常热身后测试髌关节活动度(基础值),每个时间点做跳马动作前对运动员依次进行髌关节活动度(PAP前后0 min、16 min)、下蹲跳(PAP前后0 min、4 min、8 min、12 min、16 min)测试,并对每次跳马动作进行录像拍摄。PAP前与PAP后实验方案之间间歇约5 min。实验方案流程如图1所示。

每次跳马完成后,教练员对实验对象技术动作做出点评指导,鼓励实验对象积极完成每一次跳马实验。此外,本实验方案也符合运动员正常训练课安排。

#### 1.2.3 数据采集

髌关节活动度:实验对象仰卧平躺伸直优势腿往身体屈靠,大腿与身体水平面于大转子为轴心形成的夹角。在大腿外侧中位、身体水平位和大转子放置标记点,测试者稳定压按实验对象的另一条腿末端,用量角器(汉斯HS1024c,中国台湾)采集数据。实验对象分别在设定时间点(图1所示)测试两次,取最大测量值为实验结果。

下蹲跳峰值力与高度:实验对象站在测力台(KISTLER 9281C,德国)上,两脚站立与腰臀部同宽,两手摆动同时身体快速下蹲然后向上蹬跳。实验对象分别在设定时间点(图1)测试2次,读取CMJ峰值力与CMJ高度最大测量值为实验结果。

录像拍摄:通过高速摄像机(JVC PX100)采集实验对象跳马助跑倒三步至离板过程影像数据,拍摄频率为100 fps,主光轴与助跑跑道垂直,距离跑道约20 m。

#### 1.2.4 数据处理

视频解析:对所获得的视频数据通过Dartfish软件进行解析计算,获得助跑倒三步、倒二步、踏板起跳水平速度和从踏板到离板过程中髌关节的角速度(踏板髌关节角速度)等运动学数据。其中,腱子步为倒二步,腱子步之前一步为倒三步,腱子步之后一步为倒一步,也即踏板起跳水平速度。助跑水平速度和踏板髌关节角速度均为平均值。

疲劳指数:疲劳指数是通过CMJ或跳马助跑运动学指标变化幅度反映实验对象5次跳马后体能变化(PAP前或后)的比率。计算公式如下:

$$\text{疲劳指数} = \frac{(PAP_{\text{前(后)}} 12 \text{ min} + PAP_{\text{前(后)}} 16 \text{ min}) - (PAP_{\text{前(后)}} 0 \text{ min} + PAP_{\text{前(后)}} 4 \text{ min})}{PAP_{\text{前(后)}} 0 \text{ min} + PAP_{\text{前(后)}} 4 \text{ min}} \times 100$$

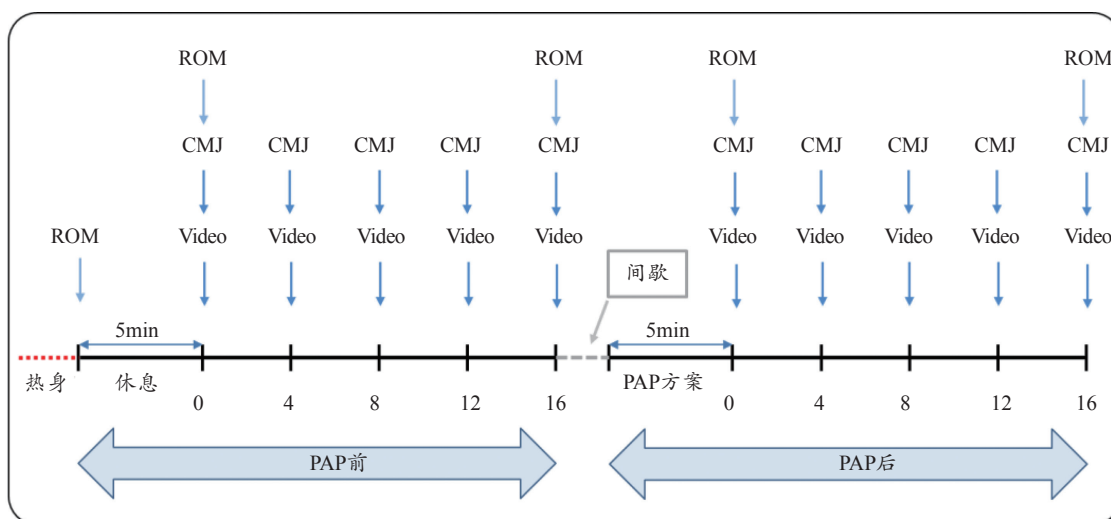


图1 实验方案流程图

Figure 1. Schematic Representation of the Experimental Protocol

注:0、4、8、12、16分别表示PAP前后5个时间点。ROM表示髋关节活动度测试,CMJ表示下蹲跳测试,Video表示对跳马动作进行拍摄录像,每个时间点测试顺序如图中箭头所示。

### 1.2.5 数据统计分析

采用SPSS 21.0 统计软件对实验数据进行处理分析,结果以平均值±标准差( $\bar{x} \pm SD$ )表示。应用单因素重复方差检验分别分析实验指标PAP诱导前后组内的有效时段。如有统计学差异则进一步进行LSD做两两比较。另外应用Pearson相关检验分析有效时段的实验指标之间的关系。

$P < 0.05$  说明有统计学差异。

## 2 研究结果与分析

本研究PAP前后实验结果指标对比如表1所示,实验结果以平均值±标准差表示。

表1 本研究PAP前后实验结果比较

Table 1. The Experiment Results before and after PAP in this Study

( $\bar{x} \pm SD$ , n=5)

	热身后	0 min	4 min	8 min	12 min	16 min
髋关节活动度( $^{\circ}$ )	119.00 ± 8.83					
PAP前		117.20 ± 12.15				118.20 ± 7.98
PAP后		128.60 ± 12.26 <sup>#</sup>				120.40 ± 10.85
下蹲跳高度(cm)						
PAP前		36.84 ± 2.28	37.10 ± 1.97	36.16 ± 2.90	36.62 ± 3.24	35.92 ± 1.85
PAP后		36.86 ± 3.51	37.40 ± 3.35	38.50 ± 2.81	37.76 ± 2.29	37.66 ± 2.83
下蹲跳力矩峰值(N)						
PAP前		887.03 ± 117.07	909.55 ± 103.44	858.98 ± 97.75 <sup>+</sup>	907.98 ± 90.04	880.88 ± 80.08
PAP后		860.23 ± 124.19	888.15 ± 92.96 <sup>††</sup>	1078.10 ± 56.04 <sup>†††</sup>	880.25 ± 134.23	896.25 ± 112.85
踏板起跳速度( $ms^{-1}$ )						
PAP前		3.19 ± 0.31	3.19 ± 0.23	3.16 ± 0.28	3.13 ± 0.19	3.18 ± 0.26
PAP后		3.11 ± 0.19	3.33 ± 0.29	3.25 ± 0.27	3.25 ± 0.20	3.22 ± 0.23
倒2步速度( $ms^{-1}$ )						
PAP前		3.70 ± 0.28	3.74 ± 0.55	3.66 ± 0.42	3.84 ± 0.54	3.68 ± 0.51
PAP后		3.68 ± 0.49	3.73 ± 0.25	4.13 ± 0.40 <sup>*</sup>	3.91 ± 0.22	4.00 ± 0.37 <sup>**</sup>
倒3步速度( $ms^{-1}$ )						
PAP前		4.09 ± 0.55	4.26 ± 0.51	4.11 ± 0.55	4.03 ± 0.56	4.18 ± 0.52
PAP后		4.06 ± 0.57	4.20 ± 0.48	4.22 ± 0.60	4.19 ± 0.45	4.30 ± 0.63
踏板髋关节角速度( $^{\circ}s^{-1}$ )						
PAP前		99.04 ± 34.7	92.06 ± 34.84	102.64 ± 37.32	92.50 ± 34.67	94.32 ± 28.24
PAP后		97.78 ± 35.82	101.50 ± 34.15	103.20 ± 39.90	102.83 ± 37.74	105.33 ± 35.88 <sup>***</sup>

注:#;与热身后( $P=0.007$ )、PAP前0 min( $P=0.001$ )和PAP前16 min( $P=0.026$ )相比;+:与PAP前12 min( $P=0.002$ )相比;†:与PAP后( $P=0.014$ )、PAP后4 min( $P=0.013$ )和PAP后16 min( $P=0.022$ )相比;††:与PAP前8 min( $P=0.017$ )和PAP前12 min( $P=0.002$ )相比;†††:与PAP前( $P=0.024$ )、PAP前4 min( $P=0.033$ )、PAP前8 min( $P=0.007$ )、PAP前12 min( $P=0.016$ )和PAP前16 min( $P=0.011$ );\*:与PAP前4 min( $P=0.034$ )、8 min( $P=0.034$ )、16 min( $P=0.036$ )相比;\*\* :与16 min( $P=0.009$ )相比;\*\*\*:与PAP前16 min( $P=0.043$ )相比。

2.1 髋关节活动度组内比较

髋关节活动度结果如图2所示。经检验后发现,髋关节活动度组内有统计学差异 $F_{(4,16)}=6.332, P=0.003, \text{Partial}\eta^2=0.613$ 。LSD两两比较显示PAP后0 min髋关节活动度大于基础值( $P=0.007$ )、PAP前0 min( $P=0.001$ )和PAP前16 min( $P=0.026$ );与PAP后16 min没有显著性差异( $P\geq 0.05$ )。热身完成后休息(5 min),关节活动度轻微减低(-1.51%),而PAP后关节活动度明显提升(8.91%)。

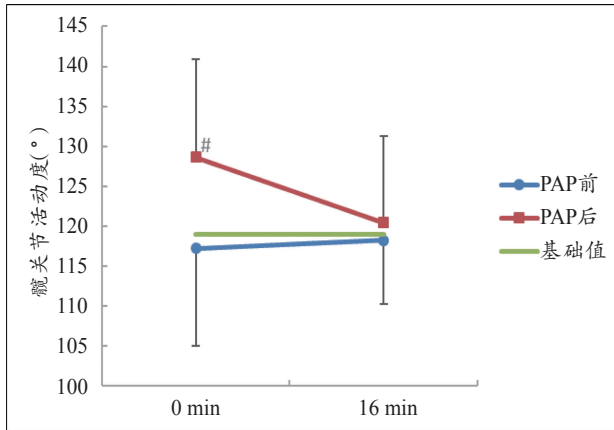


图2 PAP前后髋关节活动度比较分析

Figure 2. Hips Range of Motion (ROM) Output before and after the PAP Stimulation

注: #表示与热身后( $P=0.007$ )、PAP前0 min( $P=0.001$ )和PAP前16 min( $P=0.026$ )相比

2.2 CMJ峰值力组内比较

CMJ峰值力结果如图3所示。CMJ峰值力组内有统计学差异Hyunh Feldt  $F_{(5,077, 20,308)}=6.287, P=0.001, \text{Partial}\eta^2=0.611$ 。PAP前组内LSD两两比较显示,除了PAP前8 min CMJ峰值力显著性低于PAP前12 min( $P=0.002$ ),与其他PAP前组内没有显著性差异。PAP后组内LSD两两比较显示,PAP后8 min CMJ峰值力显著性高于PAP后0 min( $P=0.014$ )、PAP后4 min( $P=0.013$ )和PAP后16 min( $P=0.022$ );与PAP后12 min没有显著性差异( $P\geq 0.05$ )。PAP前后组内LSD两两比较显示,PAP后4 min CMJ峰值力显著性高于PAP前8 min( $P=0.017$ )但低于PAP前12 min( $P=0.002$ );PAP后8 min CMJ峰值力显著性高于PAP前0 min( $P=0.024$ )、PAP前4 min( $P=0.033$ )、PAP前8 min( $P=0.007$ )、PAP前12 min( $P=0.016$ )和PAP前16 min( $P=0.011$ )。疲劳指数计算结果表明,PAP前CMJ峰值力疲劳指数为-0.11%,有疲劳倾向;PAP后CMJ峰值力疲劳指数为0.4%,有提升迹象。

2.3 CMJ高度组内比较

CMJ高度结果如图4所示。单因素重复方差检验显示CMJ高度组内没有统计学差异( $P\geq 0.05$ )。但实验对象

PAP前5次跳马后疲劳指数的变化率为-0.47%,有疲劳倾向;PAP后再进行5次跳马的疲劳指数变化率为0.39%,有提升迹象。与PAP前CMJ平均高度值相比,PAP后0 min、4 min、8 min、12 min、16 min CMJ高度变化率为0.05%、1.52%、4.51%、2.50%和2.25%,有先提高后微减的趋势。CMJ高度涨幅率最高为PAP后8 min并持续维持到PAP后16 min。

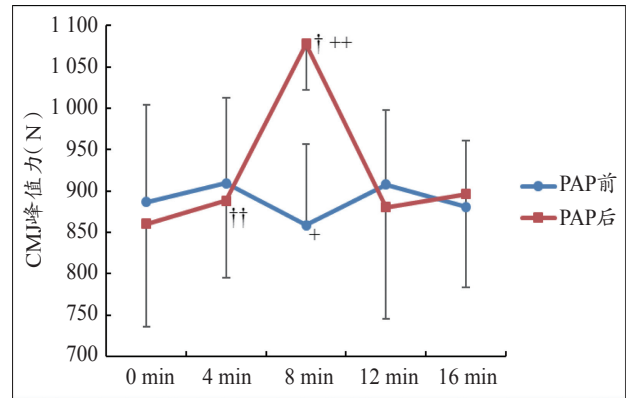


图3 PAP前后下蹲跳峰值力比较分析

Figure 3. Peak Force of Countermovement Jump (CMJ) Output before and after the PAP Stimulation

注: +表示与PAP前12 min( $P=0.002$ )相比;†表示与PAP后12 min( $P=0.014$ )、PAP后4 min( $P=0.013$ )和PAP后16 min( $P=0.022$ )相比;††表示与PAP前8 min( $P=0.017$ )和PAP前12 min( $P=0.002$ )相比;++表示与PAP前( $P=0.024$ )、PAP前4 min( $P=0.033$ )、PAP前8 min( $P=0.007$ )、PAP前12 min( $P=0.016$ )和PAP前16 min( $P=0.011$ )。

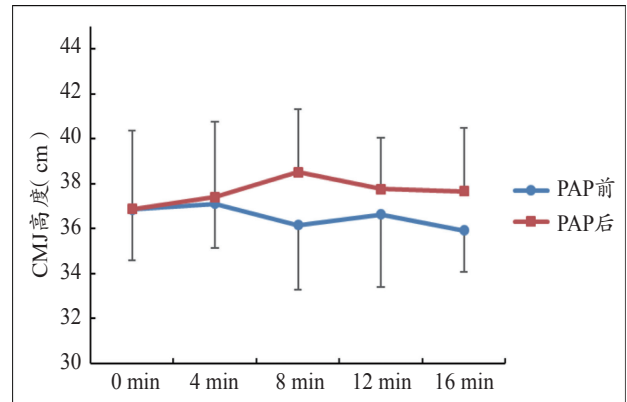


图4 PAP前后下蹲跳高度比较分析

Figure 4. Height of Countermovement Jump (CMJ) Output before and after the PAP Stimulation

2.4 跳马助跑水平速度与踏板髋关节角速度

跳马助跑的运动学数据结果如图5所示。实验对象疲劳指数变化比率计算结果显示,在PAP前,倒3步为-0.24%,倒2步为0.2%,踏板起跳为-0.27%,踏板髋关节角速度为0.24%;PAP后,倒3步为0.16%,倒2步为1.79%,踏板起跳为0.71%,踏板髋关节角速度为1.13%。

单向重复方差检验显示倒3步、倒2步、踏板起跳水平

速度和踏板髌关节角速度没有显著性差异 $P \geq 0.05$ 。然而,PAP前倒2步疲劳指数变化比率与倒2步助跑速度拥有较强的正相关关系(PAP前 $r=0.897$ ,PAP后 $r=0.974$ , $P < 0.05$ )。因此作为协方差函数进行单向重复协方差检验,结果显示倒2步助跑速度组内有显著性差异,Huynh Feldt

$F_{(9,36)}=2.235$ , $P=0.042$ , $\text{Partial}\eta^2=0.358$ 。LSD两两比较显示,PAP后8 min与PAP前4 min( $P=0.034$ )、8 min( $P=0.034$ )、16 min( $P=0.036$ )有显著性差异;PAP后4 min与PAP后16 min有显著性差异( $P=0.009$ );踏板髌关节角速度PAP前16 min和PAP后16 min显著性差异( $P=0.043$ )。

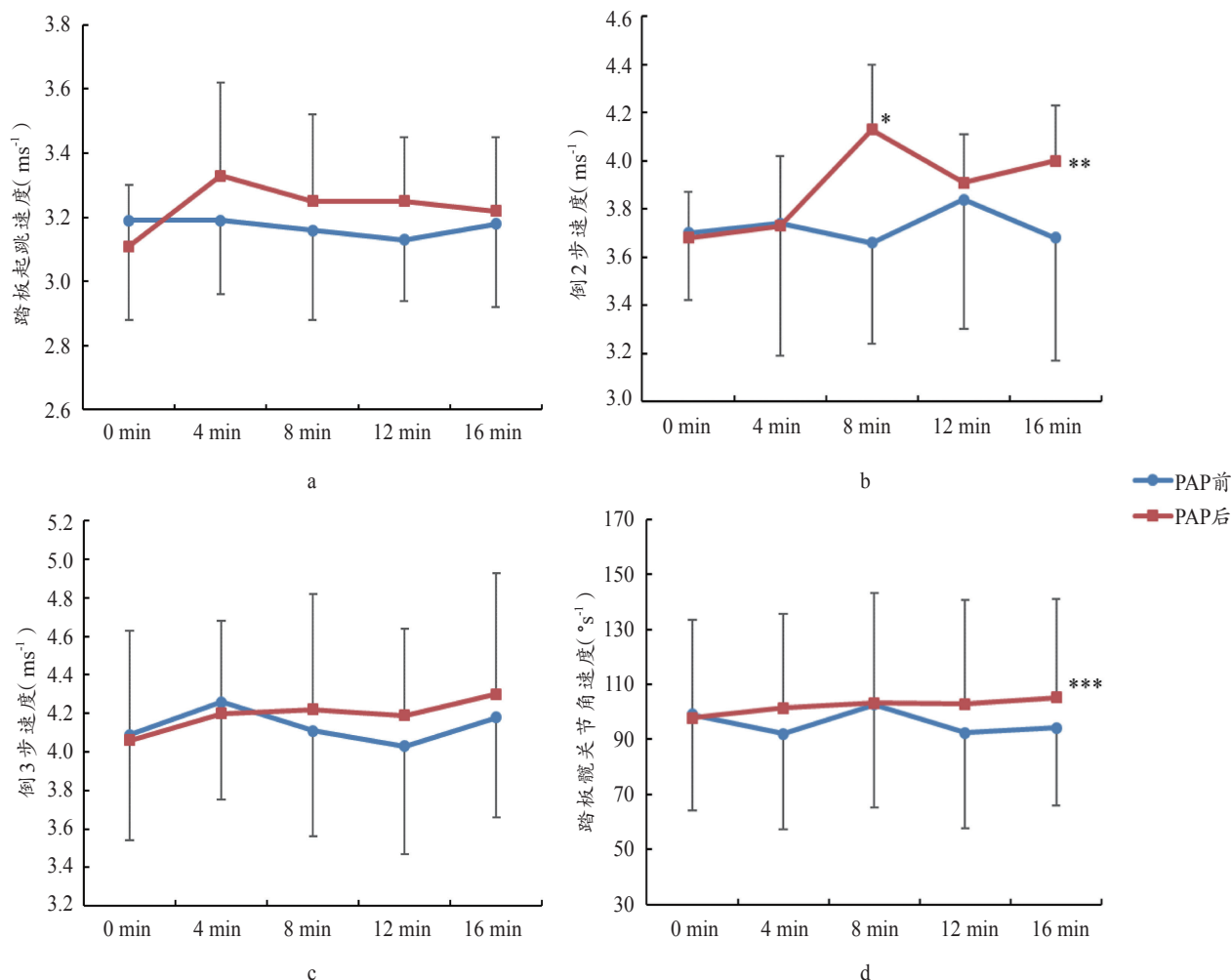


图5 PAP前后运动学数据指标对比

Figure 5. Kinematic Data Output before and after the PAP Stimulation.

注:图a为踏板起跳速度,子图b为倒2步速度,图c为倒3步速度,图d为踏板髌关节角速度。图b中\*表示与PAP前4 min( $P=0.034$ )、8 min( $P=0.034$ )、16 min( $P=0.036$ )相比;\*\*表示与PAP后4 min( $P=0.009$ )相比;图d中表示与PAP前16 min( $P=0.043$ )相比。

### 2.5 CMJ峰值力有效时段与PAP后水平速度之间的关系

经Pearson相关检验显示,PAP后4 min CMJ峰值力和PAP后16 min倒2步助跑速度有显著性相关( $r=0.879$ , $P=0.049$ );PAP后8 min CMJ峰值力与PAP后8 min踏板起跳水平速度有显著性相关( $r=-0.925$ , $P=0.024$ );PAP后8 min CMJ峰值力与PAP后0 min( $r=-0.891$ , $P=0.043$ )、8 min( $r=-0.957$ , $P=0.011$ )、12 min( $r=-0.890$ , $P=0.043$ )、16 min( $r=-0.897$ , $P=0.039$ )倒3步助跑速度有显著性相关;PAP后8 min CMJ峰值力与PAP后4 min( $r=-0.884$ ,

$P=0.047$ )、12 min( $r=-0.888$ , $P=0.044$ )和16 min( $r=-0.936$ , $P=0.019$ )踏板髌关节角速度有显著性相关。由于跳马助跑和起跳上台是一个连贯性动作,PAP后8 min踏板起跳水平速度与倒3步助跑速度( $r=0.982$ , $P=0.003$ )和踏板髌关节角速度( $r=0.948$ , $P=0.014$ )显示正相关关系;而倒3步与踏板髌关节角速度显示正相关关系( $r=0.967$ , $P=0.007$ );与倒2步没有统计学相关意义( $P \geq 0.05$ )。

### 3 研究讨论

本文主要研究不同时间段静态牵拉连接PAP诱导对我国优秀女子体操运动员跳马助跑的影响。PAP方案综合考虑女子跳马项目特征和实验对象专项技术水平特点而制定,实验流程符合正常训练课安排。采集指标包括髋关节活动度、CMJ峰值力和高度、跳马助跑倒三步、倒二步、踏板起跳水平速度和踏板髋关节角速度等。其中,髋关节活动度反映了助跑时主动肌力量与拮抗肌灵活度互相交替协调的能力。CMJ峰值力和高度反映了运动员下肢肌肉刚度与收缩能力、结缔组织的弹力与肌肉神经募集兴奋度。助跑跑速直接影响踏板起跳水平速度,而水平速度转换手撑上台作用和反作用力的大小将影响离台后身体的腾空高度与转体角速度,进而影响跳马动作技术难度和完成质量,最后决定运动成绩。

本研究结果显示,PAP诱导后,髋关节角度有明显增加,并维持长达16 min。这说明静态牵拉30 s有助于实验对象提升髋关节灵活度,可能对跳马助跑时跑速有影响<sup>[12]</sup>。CMJ峰值力显示PAP诱导有效时段为4~12 min,8 min为高峰点。CMJ高度没有统计学差异但平均值趋势与CMJ峰值力相似(详见图3、图4),这说明肌肉力量的增强可能有利于促进跳马助跑,提高助跑跑速。另外,跳马助跑倒三步、倒二步和踏板起跳平均水平速度呈递减的现象,而跳马助跑倒二步显示PAP诱导后有效时段8~16 min,8 min为高峰点。PAP诱导后8 min CMJ峰值力与跳马助跑倒三步、踏板起跳水平速度和踏板髋关节角速度呈负相关关系。实验结果表示干预方案有效诱导实验对象PAP效应,并能通过CMJ峰值力及跳马助跑倒二步跑速反映出来。而CMJ峰值力的提升则通过跳马助跑倒三步、踏板起跳水平速度和踏板髋关节角速度的指标反映。跳马助跑运动学指标显示,步速越快,转移踏板起跳水平速度和踏板髋关节角速度之间的关系也越快。

本研究疲劳指数结果显示,实验对象在每隔4 min 5次跳马后呈现轻度疲劳。最大疲劳程度首先体现在CMJ高度(-0.47%)上,接着是影像运动学指标(-0.24%~-0.27%),最后CMJ峰值力(-0.11%)。若常规技术训练课跳马连续跳十几次,每次间隔时间4 min(或于)属于正常运动次数频率。后半段运动量(5次或以上的跳马)的训练效果因体能恢复需求而大不如前半段,尤其在以完成技术质量为主的训练课最为明显。对10次连续跳马体能消耗认识的不足会将运动员置身于高运动损伤风险里,从而导致训练不科学或缺乏训练成效甚至伤病。本文研究结果建议训练课下半段应用小休的时间编入静态牵拉连接PAP诱导,能提高下半段(5次或以上的跳马)CMJ高度(0.39%)、影像运动学指标(0.16%~1.79%)和CMJ峰值力(0.4%)的训练成效。此外本文PAP效应后CMJ峰值力涨幅达到4.5%,符合前人的研究结果<sup>[10,12,25]</sup>。但CMJ高度在本文因较大的个体化因素而没有取得统计学意义。

本研究运动影像数据显示,倒三步、倒二步、踏板起跳水平速度和踏板髋关节角速度没有显著性差异( $P \geq 0.05$ )。然而PAP前倒二步疲劳指数变化比率与倒二步助跑速度拥有较强的正相关关系( $r=0.897 \sim 0.974, P < 0.05$ )。10次跳马助跑倒三步至踏板起跳、倒二步至踏板起跳和倒三步至倒二步的平均水平速度损失率各为30.1%、18.9%和9.5%,这体现了体操跳马蹬子后手翻类上板动作的一个专项特征。与PAP诱导前相比,PAP诱导后倒三步至踏板起跳与倒三步至倒二步水平速度损失率各减少0.6%和3.1%,而倒二步至踏板起跳反而增加2.9%,提示倒三步加速则导致倒二步减速的负相关关系,因此,PAP诱导后踏板起跳水平速度变化并不明显( $< 1\%$ )。这说明研究对象为达到“最佳”踏板起跳水平速度从而保证稳定发挥技术,其自身具有调控踏板起跳水平速度的能力。然而与田径跳远踏板起跳水平速度相比<sup>[5]</sup>,如此大的水平速度损失率可以通过教练员对起跳技术的训练与掌握,以提高运动员对“最佳”踏板起跳水平速度的本体感觉,从而降低水平速度损失率并且有效地提高踏板起跳水平速度。

本实验在体操训练馆实地采集,受空间限制无法拍摄跳马上台后至落地的过程,不能确定加速后的踏板起跳与起跳髋关节角速度对腾空时段的意义。另外,数据显示PAP诱导后,CMJ峰值力与跳马助跑水平速度虽然有效时间段存在不一致现象,但是其共同显示一致的最佳PAP效应时段为8 min以及有效时间长达8 min。这可能是因测试项目次序导致的差异,因为运动员会在助跑前进行心理准备、踏板位置等调整,与CMJ相隔的时间约30 s左右。

#### 4 结论

本研究干预方案能有效诱导实验对象PAP效应,并通过髋关节活动度、CMJ峰值力及跳马助跑倒二步跑速反映出来。PAP诱导后,髋关节活动度明显增加并维持长达16 min,CMJ峰值力和跳马助跑水平速度显示最佳PAP效应时段为8 min时间点、有效时间长达8 min。跳马助跑运动学指标显示,步速越快,转移踏板起跳水平速度和踏板髋关节角速度之间的关系也越快。此外,本研究中实验对象在5次跳马后出现疲劳倾向,而干预后体能有所提升倾向,提示教练员和运动员应科学编排个性化训练从而降低运动损伤风险、提高训练水平。

#### 参考文献:

- [1] 陈恒义.我国女子跳马技术现状与对策[J].体育学刊.2008,15(12):82-4.
- [2] 郝勇霞.2006年“新世界国际杯”全国体操锦标赛女子团体决赛分析[硕士]:河北师范大学;2008.
- [3] 姜自立,李庆.激活后增强效应研究进展述评[J].体育学刊,2016,23(1):136-144.

