



高温环境下PAP诱导训练对短跑运动员爆发力的影响

The High Temperature Effect of PAP Induction Training on Explosive Power for Sprinters

朱小芋¹, 部义峰^{1*}, 朱 闯¹, 樊继鑫¹, 杨 清¹, 骆冬亚²
ZHU Xiaoyu¹, BU Yifeng^{1*}, ZHU Chuang¹, FAN Jixin¹, YANG Qing¹, LUO Dongya²

摘要:目的:探讨高温、常湿环境下,激活后增强(PAP)诱导训练负荷以及间歇时间对短跑运动员垂直爆发力、水平爆发力以及水平加速的影响。方法:选取11名一级、6名二级男子短跑运动员,测试其诱导训练前后垂直纵跳(CMJ)、立定跳远(SLJ)、10码跑(TYR)成绩(温度 $>32\text{ }^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $<60\%$)。诱导训练负荷(L)分别为 $1\times 4\times 90\%$ 1RM、 $1\times 6\times 85\%$ 1RM、 $1\times 8\times 80\%$ 1RM、 $1\times 10\times 75\%$ 1RM(组数 \times 次数 $\times\%$ 1RM),间歇时间(T)分别为3 min、6 min、9 min、12 min。结果:诱导训练后的 $T_{3\text{min}}$ 测试成绩均低于基准成绩(Pre); $T_{6\text{min}}$ 3项测试成绩提高幅度最大,CMJ测试在 $T_{6\text{min}}$ 与 $1\times 10\times 75\%$ 1RM组合时提高6.1%($P<0.05$),SLJ与TYL测试最佳成绩在 $T_{6\text{min}}$ 与 $1\times 4\times 90\%$ 1RM组合时,成绩分别提高2.4%、1.5%;CMJ与SLJ测试的 $T_{9\text{min}}$ 成绩与Pre相比有所提高,但无显著性差异($P>0.05$),TYR测试 $T_{9\text{min}}$ 成绩呈下降趋势,但无显著性差异($P>0.05$); $T_{12\text{min}}$ 测试成绩均低于Pre($P>0.05$)。结论:在高温环境下,间歇时间对PAP存在显著影响,负荷对PAP无显著性影响;75%~90% 1RM均能产生PAP, $T_{6\text{min}}$ 对运动表现影响最大,产生的PAP效应最佳;诱导训练后过短或过长时间的间歇均不会提高运动表现。

关键词: 高温;激活后增强;诱导训练;爆发力

Abstract: Objective: To investigate the effects of PAP induction training load and interval time on vertical power, horizontal power and horizontal acceleration of sprinters at high temperature. Methods: Eleven level 1 and six level 2 male sprinters were selected to perform the tests of counter-movement jump (CMJ), standing long jump (SLJ) and 10 yard run (TYR) before and after induction training(temperature $>32\text{ }^{\circ}\text{C}$, relative humidity $<60\%$). Induction training load (L) was $1\times 4\times 90\%$ 1RM, $1\times 6\times 85\%$ 1RM, $1\times 8\times 80\%$ 1RM and $1\times 10\times 75\%$ 1RM (groups of training \times times $\times\%$ 1RM); intermittent time (T) was 3 min, 6 min, 9 min and 12 min. Results: $T_{3\text{min}}$ test scores after induction training were lower than benchmark scores(Pre). Three test scores in $T_{6\text{min}}$ showed the largest improvement. When the load of CMJ test was $1\times 10\times 75\%$ 1RM at $T_{6\text{min}}$, the improvement rate was 6.1% ($P<0.05$). The best scores of SLJ and TYL test were in $T_{6\text{min}}$ and $1\times 4\times 90\%$ 1RM, which improved by 2.4% and 1.5% respectively. The $T_{9\text{min}}$ score of CMJ and SLJ test was improved compared with Pre, but there was no significant difference ($P>0.05$). The $T_{9\text{min}}$ score of TYR test showed a downward trend, but there was no significant difference ($P>0.05$). The $T_{12\text{min}}$ test scores were all lower than the benchmark scores ($P>0.05$). Conclusions: In high temperature environment, interval time after induction training had significant influence on PAP. There was no significant effect of load on PAP. PAP can be generated from 75% to 90% 1RM. $T_{6\text{min}}$ had the greatest impact on CMJ, SLJ and TYR performance. Neither shorter interval nor longer interval could improve performance.

Keywords: high temperature; PAP; induction training; power

中图分类号: G808.1 **文献标识码:** A

骨骼肌收缩后会引发一定的疲劳,同时也会得到短暂的增强效应,当增强效应大于疲劳效应时,运动表现会提升,这种现象被称为激活后增强(post-activation potentiation,

基金项目:

国家体育总局重点研究领域课题(2014B074);江苏高校“青蓝工程”资助项目

第一作者简介:

朱小芋(1994-),男,在读硕士研究生,主要研究方向为体能训练理论与实践,E-mail:97837173@qq.com。

*通信作者简介:

部义峰(1981-),男,教授,博士,硕士研究生导师,主要研究方向为足球与体能训练、运动表现评定,E-mail:buyifeng@jsnu.edu.cn。

作者单位:

1. 江苏师范大学,江苏徐州 221116;
2. 华东师范大学,上海 200241
1. Jiangsu Normal University, Xuzhou 221116, China;
2. East China Normal University, Shanghai 200241, China.

PAP)(Sale, 2002)。近年来, PAP 成为体能训练领域研究的热点之一, 目前关于产生 PAP 的生理机制的解释主要有 3 种: 1) 由于收缩蛋白对钙离子的敏感性增强导致横桥接触率增加(Baudry et al., 2007), 随之横桥结合点 ATP 的总释放能量增加, 同时也加快了横桥摆动速率, 最终使得肌力、收缩功率增加(Beach et al., 2017; Lim et al., 2013; Seitz et al., 2016); 2) 通过诱导训练使肌纤维羽状角减小, 增加了肌纤维产生力量的能力(Mahlfed et al., 2004; Reardon et al., 2014); 3) 通过大强度诱导训练, 预先激活主动肌群的快肌纤维, 募集更多的快肌纤维。目前, 有研究已证明通过诱导训练可以产生 PAP, 进而提高垂直纵跳、立定跳远、短跑等爆发性运动项目的运动表现(侯世伦等, 2015; 梁美福等, 2019; Evetovich et al., 2015; Low et al., 2015; Turner et al., 2015; Whelan et al., 2014), 为改进竞赛与训练前的热身活动安排提供了重要的理论依据。

通过梳理文献可知, 当前关于 PAP 的实证研究主要是在适宜环境下进行的, 而在特殊环境下的研究较为匮乏。张雅祺(2019)证实了在急性低氧环境下可以产生 PAP, 为指导运动员低氧环境参赛提供了依据。研究表明, 温度是影响运动员表现的重要因素, 赖丽丽等(2011)证实了高温环境会加剧机体中枢疲劳与外周疲劳, 高温会影响运动员的运动表现。那么在高温环境下 PAP 效应是否还会存在? 如果该效应仍然存在, 其产生的规律在负荷强度、间歇时间等方面是否与常温环境下一致? 为考察高温环境对 PAP 的影响, 王海宁等(2018)通过电刺激方式进行了初步研究, 结果表明, 在高温高湿环境下, 通过电刺激可以产生 PAP。但电刺激不能等同于诱导训练, 因此, 本研究将对高温环境下诱导训练与 PAP 关系进行实证研究。为确定高温环境下诱导训练与 PAP 的关系, 本研究主要涉及以下 3 方面内容: 1) 高温环境下诱导训练能否产生 PAP 效应; 2) 高温环境下诱导训练负荷安排与 PAP 的关系; 3) 高温环境下诱导训练间歇时间与 PAP 的关系。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

11 名男子一级短跑运动员, 6 名男子二级短跑运动员, 所有受试者运动专项均为 100 m, 年龄(20±0.8)岁, 身高(176±2.0) cm, 体质量(67±2.9) kg, 1RM 深蹲(138.5±6.7) kg。1RM 深蹲重量>200%体质量, 且受试者在 3 个月内无伤病。测试过程中, 无其他体力活动, 作息规律, 休息充足, 无其他不良习惯。

1.2 测试方案

1.2.1 实验条件

根据当地气象局的温度公告, 选取室外温度>32℃, 相对湿度<60%的高温环境进行实验。

1.2.2 基准数据采集

安排受试者在热曝晒情况下进行 3 min 慢跑, 随后针

对下肢进行每侧 8 次弓步转体、10 次徒手深蹲、10 m 高抬腿、5 次 10 m 加速跑热身。充分休息后, 测定垂直纵跳(CMJ)、立定跳远(SLJ)、10 码跑(TYR)成绩作为基准成绩(Pre)。第二测试日, 在同等热身后, 按照《美国国家体能协会体能测试与评估指南》(NSCA's Guide to Tests and Assessments)(2019)中颈后深蹲 1RM 测试方法测定 17 名运动员颈后深蹲 1RM。

1.2.3 测试方法

CMJ 采用纵跳摸高(篮板), 在受试者中指涂上彩色颜料, 先测量受试者原地伸手高度, 再测量纵跳摸高后的高度, 两者相减得到 CMJ 成绩; SLJ 测试场地选择室外田径场的塑胶跑道进行, 受试者穿着钉鞋; TYR 测试场地选择塑胶跑道, 受试者采用站姿起跑, 听到发令后全力冲刺至终点, 为提高测试成绩精确性, 先采用摄像记录, 根据影像确定成绩。所有测试进行 2 次, 取其中最好成绩。

1.2.4 诱导训练后测试及实验数据采集

根据受试者的 1RM, 分别计算出每名受试者 90% 1RM、85% 1RM、80% 1RM、75% 1RM, 在温度、相对湿度符合实验要求时进行第 2 阶段测试, 测定不同负荷的诱导训练第 3 min、6 min、9 min、12 min 成绩, 第 2 阶段测试为 12 天(表 1)。

表 1 第 2 阶段测试方案
Table 1 The Second Stage Test Scheme

测试日程	n	测试项目	诱导训练	负荷(组数×次数×重量)	温度/℃	相对湿度/%
1	17	CMJ	颈后深蹲	1×4×90% 1RM	33	23
2	17	CMJ	颈后深蹲	1×6×85% 1RM	33	37
3	17	CMJ	颈后深蹲	1×8×80% 1RM	34	32
4	17	CMJ	颈后深蹲	1×10×75% 1RM	33	33
5	17	SLJ	颈后深蹲	1×4×90% 1RM	34	23
6	17	SLJ	颈后深蹲	1×6×85% 1RM	33	35
7	17	SLJ	颈后深蹲	1×8×80% 1RM	34	28
8	17	SLJ	颈后深蹲	1×10×75% 1RM	35	33
9	17	TYR	颈后深蹲	1×4×90% 1RM	33	35
10	17	TYR	颈后深蹲	1×6×85% 1RM	33	30
11	17	TYR	颈后深蹲	1×8×80% 1RM	33	30
12	17	TYR	颈后深蹲	1×10×75% 1RM	33	27

注: 受试者在热曝晒情况下进行热身, 休息时不进行热曝晒, 但置于高温环境中, 测试时进行热曝晒, 允许运动员补充少量矿泉水, 鼓励运动员在测试时做最大努力。

1.3 数据处理与分析

采用 SPSS 20.0 统计软件对实验结果进行分析, 通过多因素重复测量方差分析, 探讨负荷(L)、间歇时间(T)、负荷×间歇时间(L×T)对 PAP 的影响, 结果采用平均数±标准差(M±SD)表示, 确定显著性水平为 P<0.05, 非常显著为 P<0.01。

2 研究结果

2.1 高温下PAP的诱导训练对短跑运动员CMJ的影响分析

对测试成绩进行多因素重复测量方差分析(表2),结果显示,L显著性 $P>0.05$ 、T显著性 $P<0.01$ 、L×T显著性

$P>0.05$,表明L对诱导训练后的测试结果无显著影响,T对测试结果具有非常显著影响,L×T的交互作用无显著性影响。3个因素偏Eta²值 $T>L>L\times T>L$,表明对CMJ测试结果的影响程度为: $T>L>L\times T>L$ 。

表2 CMJ测试多因素重复测量方差分析

Table 2 Multiple-Factor Repetitive AOVAN of CMJ Test

来源	平方和	自由度	均方	F	P	偏Eta ²
修正模型	1 370.393	19	72.126	1.649	0.044	0.089
截距	1 494 547.860	1	1 494 547.860	7.827	0.000	0.991
L	53.275	4	13.319	0.304	0.875	0.004
T	1 027.224	3	342.408	7.827	0.000	0.068
L×T	289.894	12	24.158	0.552	0.879	0.020

诱导训练前后CMJ测试结果显示,不同间歇时间的测试结果存在显著性差异,且差异性主要集中在 $T_{6\min}$ 与其他间歇时间测试结果的比较上, $T_{6\min}$ 整体测试结果与 $T_{3\min}$ 、 $T_{12\min}$ 整体测试结果相比均存在显著性差异,Pre与

$T_{3\min}$ 、 $T_{6\min}$ 整体测试结果相比也存在显著性差异。而相同间歇时间、不同负荷下的测试结果并不存在显著性差异,说明高温环境下,对于CMJ的运动表现,诱导训练后存在间歇时间效应,不存在负荷强度效应(表3)。

表3 CMJ测试成绩

Table 3 The Result of CMJ Test

/cm, n=17

时间	4×90% 1RM	6×85% 1RM	8×80% 1RM	10×75% 1RM	整体均值
3 min	63.62±6.74	64.21±6.15	64.21±6.58	64.82±7.28	64.21±6.56
6 min	70.18±6.49**	68.41±6.57	69.09±6.51*	70.38±6.92*	69.51±6.53**
9 min	66.59±6.78	66.85±6.00	67.01±6.28	67.85±7.02	67.07±6.41*
12 min	64.26±6.76##	63.75±6.84#	64.62±6.44#	65.00±6.31#	64.40±6.46###&
Pre	66.29±6.61	66.29±6.61	66.29±6.61	66.29±6.61	66.29±6.61*#

注:对相同负荷测试结果进行组内比较。与 $T_{3\min}$ 整体测试成绩相比,*表示 $P<0.05$,**表示 $P<0.01$;与 $T_{6\min}$ 整体测试成绩相比,#表示 $P<0.05$,##表示 $P<0.01$;与 $T_{9\min}$ 相比,&表示 $P<0.05$;下同。

对CMJ在相同负荷下的测试结果与Pre测试结果进行比较可知,对任何一种诱导训练负荷强度,只有 $T_{6\min}$ 与 $T_{9\min}$ 高于Pre值,其中 $T_{6\min}$ 提升幅度最大; $T_{3\min}$ 与 $T_{12\min}$ 成绩均低于Pre值,呈下降趋势(图1)。

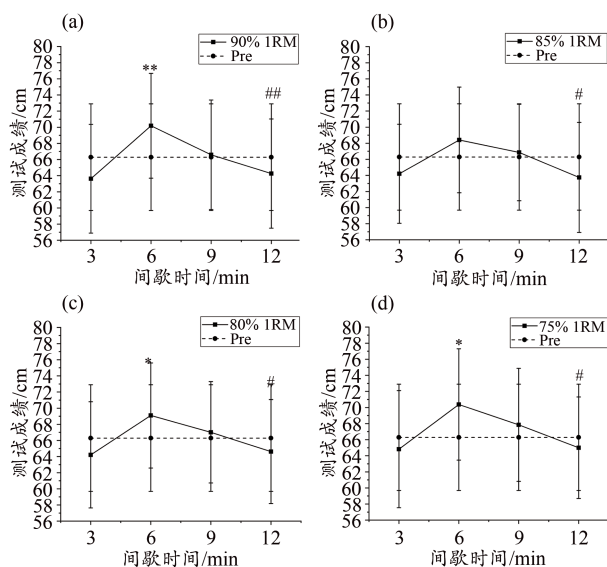


图1 不同L的CMJ测试成绩

Figure 1. CMJ Test Results under Different L

将诱导训练的 $T_{3\min}$ 、 $T_{6\min}$ 、 $T_{9\min}$ 、 $T_{12\min}$ 测试结果的整体均值与Pre测试结果进行比较,结果显示, $T_{3\min}$ 变化率为 $-3.1\%<0$, $T_{6\min}$ 变化率为 $4.9\%>0$, $T_{9\min}$ 变化率为 $1.2\%>0$, $T_{12\min}$ 变化率为 $-2.9\%<0$,变化率由大到小依次为 $T_{6\min}$ 、 $T_{9\min}$ 、 $T_{12\min}$ 、 $T_{3\min}$ 。对诱导训练 $T_{6\min}$ 测试结果进行组内比较,变化率由大到小依次为75% 1RM=6.2%、90% 1RM=5.9%、80% 1RM=4.2%、85% 1RM=3.1%,但组内不存在统计学差异(图2)。

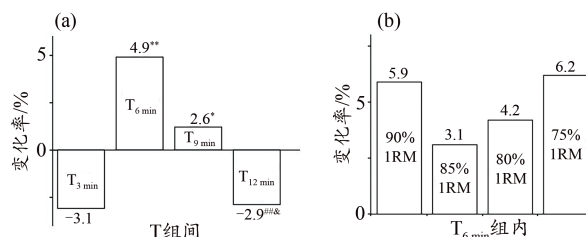


图2 CMJ测试T组间变化率(a)与 $T_{6\min}$ 组内变化率(b)

Figure 2. CMJ Test Rate Chart with Different T (a) and Rate of Change within the $T_{6\min}$ Group (b)

综上,高温环境下,诱导训练后不同L的 $T_{6\min}$ 、 $T_{9\min}$ 均出现PAP, $T_{6\min}$ 整体测试结果与Pre测试结果具有显著性

差异($P < 0.05$),但 $T_{9\min}$ 整体测试结果与Pre测试结果无显著性差异($P > 0.05$), $T_{3\min}$ 所有组别成绩呈下降趋势未出现PAP,75% 1RM 诱导负荷下的 $T_{6\min}$ 出现PAP且效应最大, $T_{9\min}$ 出现PAP但效应减弱, $T_{12\min}$ 所有组别测试结果未出现PAP且成绩低于Pre成绩。

2.2 高温下PAP的诱导训练对短跑运动员SLJ的影响分析

对SLJ测试结果进行多因素重复测量方差分析(表4),结果显示,T显著性 $P < 0.05$ 、L显著性 $P > 0.05$ 、L×T显著性 $P > 0.05$,表明T对测试结果具有显著性影响、L对诱导训练后的测试结果无显著影响,L×T交互作用对测试结果无显著影响。3个因素偏Eta² T>L>T>L,表明对于CMJ结果的影响程度为:T>L×T>L。

表4 SLJ多因素重复测量方差分析
Table 4 Multiple-Factor Repetitive AOVAN of SLJ Test

来源	平方和	自由度	均方	F	P	偏Eta ²
修正模型	2 747.662	19	144.614	0.698	0.821	0.040
截距	24 670 035.960	1	24 670 035.960	119 140.459	0.000	0.997
T	2 018.909	3	672.970	3.250	0.022	0.030
L	179.890	4	44.972	0.217	0.929	0.003
L×T	548.863	12	45.739	0.221	0.997	0.008

诱导训练前后SLJ测试结果显示,在多因素重复测量方差分析中发现,诱导训练的 $T_{6\min}$ 整体测试结果显著高于 $T_{12\min}$ 整体测试结果($P < 0.01$), $T_{3\min}$ 整体测试结果显著小于 $T_{6\min}$ 整体测试结果($P < 0.05$), $T_{9\min}$ 测试结果在组间

相比未出现显著性差异($P > 0.05$)(表5)。不同L的 $T_{6\min}$ 测试结果成绩提升幅度最大,但与Pre相比并未出现显著性差异($P > 0.05$),不同T的测试结果也不存在显著性差异($P > 0.05$)。

表5 SLJ测试成绩

Table 5 The Result of SLJ Test /cm, n=17

时间	4×90% 1RM	6×85% 1RM	8×80% 1RM	10×75% 1RM	整体均值
3 min	268.4±12.3	267.2±12.1	267.0±13.9	266.0±14.3	267.2±12.9
6 min	275.9±12.9	273.9±13.6	274.7±13.5	272.4±15.5	274.2±13.6*
9 min	270.8±13.1	269.4±14.7	269.6±15.3	269.0±15.6	269.7±14.4
12 min	267.5±13.1	265.6±14.0	266.4±14.7	266.3±12.3	266.5±13.2 ^{##}
Pre	269.3±16.4	269.3±16.4	269.3±16.4	269.3±16.4	269.3±16.4

对SLJ在相同负荷下的测试结果与Pre测试结果进行比较可知,只有 $T_{6\min}$ 测试成绩显著高于Pre以及其他间歇时间测试成绩,但测试结果不存在显著性差异($P > 0.05$)。 $T_{3\min}$ 与 $T_{12\min}$ 成绩均低于Pre值,呈下降趋势(图3)。

将诱导训练的 $T_{3\min}$ 、 $T_{6\min}$ 、 $T_{9\min}$ 、 $T_{12\min}$ 测试结果的整体均值与Pre测试结果进行比较(图4),结果显示, $T_{3\min}$ 的变化率=-0.8%<0, $T_{6\min}$ 变化率=1.8%>0, $T_{9\min}$ 变化率=0.1%>0, $T_{12\min}$ 变化率=-1%<0,变化率由大到小依次为 $T_{6\min}$ 、 $T_{9\min}$ 、 $T_{3\min}$ 、 $T_{12\min}$ 。对 $T_{6\min}$ 进行组内比较,变化率从大到小依次为90% 1RM=2.5%、80% 1RM=2%、85% 1RM=1.7%、75% 1RM=1.2%,但组内不存在统计学差异。

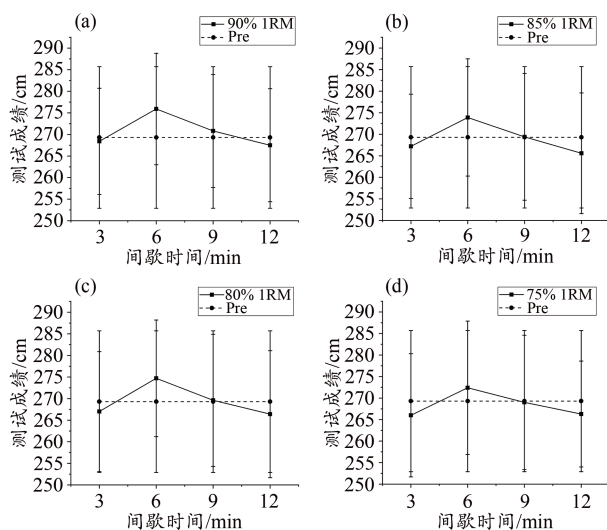


图3 SLJ不同L测试成绩
Figure 3. SLJ Test Results under Different L

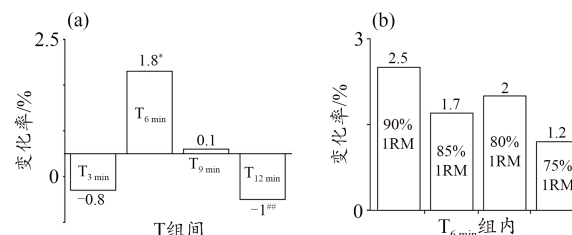


图4 SLJ测试T组间变化率(a)及 $T_{6\min}$ 组内变化率(b)
Figure 4. SLJ Test Rate Chart with Different T (a) and Rate of Change within the $T_{6\min}$ Group (b)

综上,高温下环境下诱导训练后,不同L的 $T_{6\min}$ 、 $T_{9\min}$ 均出现PAP,但测试结果与Pre相比无显著性差异($P >$

0.05)。T_{3 min}、T_{12 min}未出现PAP,且成绩低于Pre。在SLJ测试中PAP的最大效应出现在90% 1RM诱导负荷下的第6 min。

2.3 高温下PAP的诱导训练对短跑运动员TYR的影响分析 对TYR测试结果进行多因素重复测量方差分析结果

显示,T显著性 $P<0.01$ 、L显著性 $P>0.05$ 、L×T显著性 $P>0.05$ (表6),表明T对测试成绩具有显著性影响、L对诱导训练后的测试成绩无显著影响,L×T交互作用对测试成绩无显著影响。3个因素偏Eta² T>L×T>L,表明对TYR测试结果的影响程度为:T>L×T>L。

表6 TYR测试多因素重复测量方差分析

Table 6 Multiple-Factor Repetitive AOVAN of TYR Test

来源	平方和	自由度	均方	F	P	偏Eta ²
修正模型	0.129	19	0.007	2.703	0.000	0.138
截距	837.626	1	837.626	332 561.264	0.000	0.999
T	0.097	3	0.032	12.893	0.000	0.108
L	0.006	4	0.002	0.599	0.664	0.007
L×T	0.026	12	0.002	0.857	0.591	0.031

诱导训练前后TYR测试结果显示,在多因素重复测量方差分析中发现,只有T_{6 min}整体测试结果与其他间歇时间的测试结果出现显著性提高,但与Pre相比并未出

现显著性差异($P>0.05$),而其他间歇时间测试的整体结果与Pre相比都呈下降趋势,无显著性差异($P>0.05$)(表7)。

表7 TYR测试成绩

Table 7 The Result of TYR Test

/s, n=17

时间	4×90% 1RM	6×85% 1RM	8×80% 1RM	10×75% 1RM	整体均值
3 min	1.585±0.05	1.586±0.05	1.582±0.05	1.585±0.05	1.585±0.05
6 min	1.537±0.05**	1.539±0.05*	1.546±0.05*	1.542±0.05**	1.542±0.05**&
9 min	1.565±0.05	1.567±0.05	1.563±0.05	1.564±0.05	1.565±0.05#
12 min	1.601±0.05##&	1.600±0.05#	1.594±0.05##	1.600±0.05##	1.600±0.05##
Pre	1.561±0.05	1.561±0.05	1.561±0.05	1.561±0.05	1.561±0.05*

对TYR在相同负荷下的测试结果与Pre测试结果进行比较(图5),结果显示,只有T_{6 min}测试成绩显著高于Pre测试成绩,而T_{3 min}、T_{9 min}与T_{12 min}与Pre值相比均呈现出下降趋势,其中T_{12 min}引起的负效应最大。

对诱导训练后T_{3 min}、T_{6 min}、T_{9 min}、T_{12 min}测试结果的整体均值与Pre测试结果进行比较(图6),结果显示,T_{3 min}的变化率=1.5%>0, T_{6 min}变化率=-1.2%<0, T_{9 min}变化率=0.3%>0, T_{12 min}变化率=2.5%>0。对T_{6 min}进行组内比较,变化率由大到小依次为75% 1RM、80% 1RM、85% 1RM、90% 1RM=-1.7%,但组内不存在统计学差异。

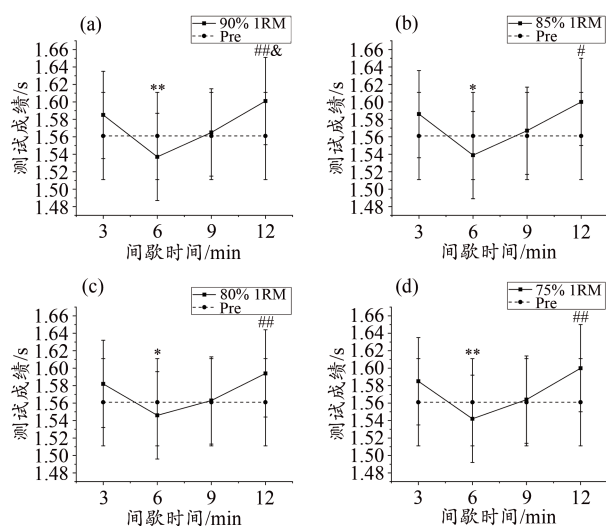


图5 TYR不同L测试成绩

Figure 5. TYR Test Results under Different L

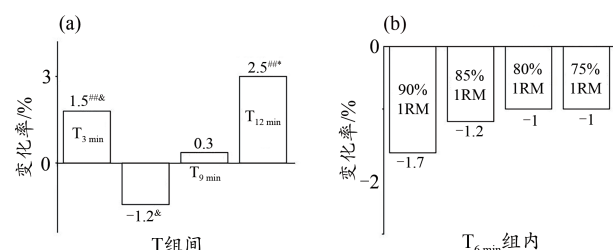


图6 TYR测试T组间变化率(a)及T_{6 min}组内变化率(b)

Figure 6. TYR Test Rate Chart with Different T (a) and Rate of Change within the T_{6 min} Group (b)

综上,高温环境下诱导训练后不同L的T_{6 min}均出现PAP,但测试结果与Pre无显著性差异($P>0.05$)。T_{3 min}、T_{9 min}、T_{12 min}未出现PAP,且成绩低于Pre成绩。在SLJ测试中

PAP 的最大效应出现在 90% 1RM 诱导负荷下的第 6 min。

3 讨论

在诱导训练后,只有产生的激活效应大于疲劳效应时运动表现才会提升。多项研究已表明,诱导训练可以产生 PAP,但其发生规律能否为高温条件下进行诱导训练还不能提供足够的证据。因此基于不同负荷强度、不同间歇时间对高温环境下诱导训练与 PAP 的关系进行了实证研究。研究结果证实,在高温条件下诱导训练依然会产生 PAP,但高温会对 PAP 产生显著影响。

以往常温下的 PAP 研究中,以间歇 3 min 为时间节点的 CMJ、TYR 测试成绩虽未出现显著性差异,但表现出提高趋势(Chatzopoulos et al., 2007; Jensen et al., 2003; Mangus et al., 2006; Weber et al., 2008)。只有少数研究表明 3 min 时成绩会出现下降(Jones et al., 2003)。本研究表明,在高温环境下,间歇时间为 3 min 时,CMJ、TYR 在诱导训练后的 3 min 的整体测试成绩均出现显著性下降,即便 SLJ 成绩未出现显著性下降,但也表现出下降趋势,说明高温会对诱导训练后的 PAP 产生影响,在诱导训练后,机体并未在 3 min 时完全恢复,仍处于疲劳状态,这可能是由于高温环境加剧了受试者中枢疲劳,使受试者运动神经元的兴奋性降低,也有可能上述两者交互作用导致了 3 min 时测试成绩的下降。

有研究结果表明,在常温条件下 PAP 最大化主要集中在 7 min 后(Wilson et al., 2008),Kilduff 等(2008)在对 20 名橄榄球运动员的研究发现,PAP 最大效应主要出现在 8 min 与 12 min。Linder 等(2010)对 12 名女性受试者的研究发现,诱导训练后的第 9 min,受试者短跑成绩提升幅度最大。而本次高温下测试,PAP 效应最大出现在第 6 min,并未出现在诱导训练的较后时段,造成这种结果的原因,可能是高温环境下,6 min 出现的 PAP 效应并不是增大,而是高温环境使机体的中枢疲劳、外周疲劳加剧,由于这种疲劳效应,使本应出现在 9 min 或 12 min 的最大 PAP 效应减弱,而 6 min 由于在高温环境中的时长较短,产生的疲劳效应较小,对 PAP 影响较小,所以在 6 min 时的 PAP 效应最大。CMJ 与 SLJ 在间歇 9 min 时虽然出现 PAP,但并未出现显著性变化,且两项研究结果的变化率只出现较小增长。而与多数常温条件下的研究相比,9 min 是 PAP 最大化的时间节点之一,本研究中 9 min 只是小幅度增长,这可能是由于受试者在高温下暴露时间延长导致疲劳效应增加所致。由此可见,在高温环境下,诱导训练后出现最佳 PAP 效应的时间会前移。

在常温下对 PAP 的多项研究指出,诱导训练后间歇 12 min 时仍出现 PAP(侯世伦等, 2015; Kilduff et al., 2008),Tumer 等(2015)对 23 名短跑运动员的研究也表明,间歇 12 min 受试者测试成绩有所提高,这与本实验结

果不符。在本研究中,虽然与基准成绩相比未出现显著性差异,但在 12 min 时,所有项目的测试结果都呈现下降趋势,且显著低于 $T_{0\text{min}}$ 测试结果,说明在高温条件下诱导训练产生的 PAP 效应存在最佳时间节点,如果间歇时间过长,PAP 效应不但会消失,而且会由于热暴露时间延长,对受试者的心理、生理产生较大影响,从而引起运动表现下降。

在对测试结果进行统计分析时发现,在高温环境下,诱导训练后的间歇时间对 PAP 具有显著性影响。有研究表明,间歇时间对 PAP 存在显著性影响(Nibali et al., 2015; Tillin et al., 2009),而负荷强度对 PAP 无显著性影响。从本实验结果来看,本次实验所选取的负荷均超过了 75% 1RM,在诱导训练后都可以诱导出 PAP,也未发现各个负荷之间存在显著性差异。从测试结果来看,SLJ、TYR 测试中,4×90% 1RM 的诱导训练产生的 PAP 效应大于其他负荷组,CMJ 测试中 10×75% 1RM 的诱导训练产生的 PAP 效应稍大于 4×90% 1RM,但均不具有统计学差异。整体结果表明,采用高强度低重复次数的负荷组合策略诱导产生的 PAP 最佳。

采用颈后深蹲作为诱导训练,只有 CMJ 测试的第 6 min 整体成绩与 Pre 相比出现显著性提高,而其他 2 项并未出现显著性提高。CMJ 测试成绩最高提升了 6.2%,SLJ 测试成绩最高提升了 2.5%,TYR 测试成绩最高提升 1.7%,可见,将颈后深蹲作为 PAP 的诱导训练,其对于垂直爆发力的影响最大,而对于水平方向爆发力的影响相对较小。这提示,在诱导训练中,动作模式可能也是影响 PAP 效应的因素之一,由于颈后深蹲在动作模式上与 CMJ 更为相似,因此,发生在 CMJ 上的 PAP 效应最佳。当然,该推断只是基于数据趋势的判断,关于动作模式是否影响 PAP 效应以及二者的关联性仍需进一步的研究证实。

本研究虽然证实了高温条件下诱导训练与 PAP 的关系,对运动员在高温条件下参赛进行更加合理的热身准备提供了证据,但仍有不足之处。在研究过程中,高温不仅对受试者的生理产生影响,同时也可能对其心理产生一定影响,在研究过程中,难以排除心理疲劳产生的效应。此外,虽然研究过程中关于温度的控制符合测试标准,但对于相对湿度的选择上并未做到绝对统一,相对湿度介于 23%~37%,平均值处于 30% 左右,并没有高湿天气,因此可以忽略相对湿度对运动表现产生的影响。

目前,关于 PAP 的研究成为体能训练研究领域的热点之一,但是相关研究多是在常温条件下进行的,而诸如在高温、低温、高压等特殊环境下的研究相对不足。本研究证实了高温环境下产生的 PAP 效应不同于常温条件下,由此可以推断,在低温、高压等环境下产生的 PAP 效应也可能不同于常温条件下,因此特殊环境下的 PAP 研究还需要进一步的研究证实。此外,由于不同运动项目的动

作模式不同,诱导训练的动作模式设计很可能会由于运动项目的动作模式不同而产生不同的PAP效应,因此在实际应用中,教练员在设计诱导训练时应该充分考虑动作的功能性,找到最佳的诱导训练动作。总之,在进行诱导训练时,应形成系统解决方案,除了关注负荷强度和量外,温度、海拔、湿度以及动作模式都需要充分考虑,以便形成最优化的诱导训练整体方案。

4 结论

在高温环境下,诱导训练后的间歇时间对CMJ测试结果存在显著性影响,负荷对测试成绩并无显著性影响。同等环境下, $T_{6\min}$ 的 $10\times 75\%$ 1RM可作为CMJ的最佳诱导训练, $T_{6\min}$ 的 $4\times 90\%$ 1RM负重深蹲可作为SLJ、TYR的最佳诱导训练。负重深蹲作为诱导训练,其对短跑运动员水平爆发力、水平加速度的激活效应小于垂直爆发力。高温环境会加剧运动员的疲劳,运动员的激活后增强效应持续时间较短。

参考文献:

侯世伦,张新,王安利,2015.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,38(5):57-62.

赖丽丽,赵杰修,崔书强,等,2011.不同湿度高温环境下机体有氧运动能力相关指标比较[J].中国运动医学杂志,30(9):806-809.

梁美福,郭文霞,2019.骨骼肌激活后增强效应的研究进展[J].体育科学,39(5):70-80.

美国国家体能协会,2019.美国国家体能协会体能测试与评估指南[M].高炳宏,杨涛,译.北京:人民邮电出版社.

王海宁,陈万,王颖,等,2018.高温高湿环境长时间运动后神经肌肉疲劳类型与PAP的关系[J].中国体育科技,54(5):83-89.

张雅祺,2019.急性低氧抗阻练习对下肢肌肉募集和激活后增强效应的影响[J].中国体育科技,55(2):37-46.

BAUDRY S J, DUCHATEAU, 2007. Post-activation potentiation in a human muscle: Effect on the rate of torque development of tetanic and voluntary isometric contractions[J]. J Appl Physiol, 102(4): 1394-1401.

BEACH J R, BRUUN K S, SHAO L, et al., 2017. Actin dynamics and competition for myosin monomer govern the sequential amplification of myosin filaments[J]. Nat Cell Biol, 19(2):85-93.

CHATZOPOULOS D E, MICHAELIDIS C J, GIANNAKOS A K, et al., 2007. Post-activation potentiation effects after heavy resistance exercise on running speed[J]. J Strength Cond Res, 21(3): 1278-1281.

EVETOVICH T K, CONLEY D S, MCCAWLEY P F, et al., 2015. Post-activation potentiation enhances upper-and lower body athletic performance in collegiate male and female athletes[J]. J Strength Cond Res, 29(2):336-342.

JENSEN R L, EBBEN W P, 2003. Kinetic analysis of complex training rest interval effect on vertical jump performance[J]. J Strength

Cond Res, 17(2): 345-349.

JONES P, LEES A A, 2003. Biomechanical analysis of the acute effects of complex training using lower limb exercises[J]. J Strength Cond Res, 17(4):694-700.

KILDUFF L P, OWEN N, BEVAN H, et al., 2008. Influence of recovery time on post-activation potentiation in professional rugby players[J]. J Sports Sci, 26(8):795-802.

LIM J J H, KONG P W, 2013. Effects of isometric and dynamic post-activation potentiation protocols on maximal sprint performance[J]. J Strength Cond Res, 27(10):2730-2736.

LINDER E E, PRINS J H, MURATA N M, et al., 2010. Effects of preload 4 repetition maximum on 100-msprint times in collegiate women[J]. J Strength Cond Res, 24(7): 1184-1190.

LOW D, HARSLEY P, SHAW M, et al., 2015. The effect of heavy resistance exercise on repeated sprint performance in youth athletes[J]. Sports Sci, 33(10): 1028-1034.

MAHLFED K, FRANKE J, AWISZUS F, 2004. Post-contraction changes of muscle architecture in human quadriceps muscle [J]. Muscle Nerve, 29(4):597-600.

MANGUS B C, TAKAHASHI M, MERCER J A, et al., 2006. Investigation of vertical jump performance after completing heavy squat exercises[J]. J Strength Cond Res, 20(3): 597-600.

NIBALI M L, CHAPMAN D W, ROBERGS R A, et al., 2015. Considerations for determining the time course of post-activation potentiation[J]. Appl Physiol Nutr Metab, 40(11):63-70.

REARDON D, HOFFMAN J R, MANGINE G T, 2014. Do changes in muscle architecture affect post-activation potentiation [J]. J Sports Sci Med, 13(3): 483-491.

SALE D G, 2002. Post-activation potentiation: Role in human performance[J]. Exerc Sport Sci Rev, 30(3):138-143.

SEITZ L B, TRAJANO G S, HAFF G G, et al., 2016. Relationships between maximal strength, muscle size, and myosin heavy chain isoform composition and postactivation potentiation[J]. Appl Physiol Nutr Metab, 41(5):491-497.

TILLIN N A, BISHOP D, 2009. Factors modulating post-activation potentiation and its effect on performance of subsequent explosive activities[J]. Sports Med, 39(2):147-166.

TURMER A P, BELLHOUSE S, KILLDUFF L P, et al., 2015. Post-activation potentiation of sprint acceleration performance using plyometric exercise[J]. J Strength Cond Res, 29(2): 343 -350.

WEBER K R, BROWN L E, COBURN J W, et al., 2008. Acute effects of heavy-load squats on consecutive squat jump performance [J]. J Strength Cond Res, 22(3):726-730.

WHELAN N, O'REGAN C, HARRISON A J, 2014. Resisted sprints do not acutely enhance sprinting performance[J]. J Strength Cond Res, 28(2):1858-1866.

WILSON J M, DUNCAN N M, MARIN P J, et al., 2013. Meta-analysis of postactivation potentiation and power: Effects of conditioning activity, volume, gender, rest periods, and training status[J]. J Strength Cond Res, 27(3):854-859.

(收稿日期:2019-10-14; 修订日期:2022-03-28; 编辑:丁合)