

激活后增强效应对国家钢架雪车运动员冲刺能力的影响

Effect of Post-Activation Potentiation on Sprint Ability of National Skeleton Athletes

田 广^{1,2},朱 欢¹,龚 敏¹,王 丹¹,高炳宏^{1*}
TIAN Guang^{1,2},ZHU Huan¹,GONG Min¹,WANG Dan¹,GAO Binghong^{1*}

摘 要:目的:观察不同负荷雪橇抗阻冲刺产生的激活后增强效应(post-activation potentiation, PAP)对中国钢架雪车运动员30m冲刺成绩的影响,探索中国钢架雪车运动员经PAP诱导 练习后的最佳雪橇抗阻冲刺负荷。方法:以7名中国钢架雪车国家队重点运动员作为研究 对象,要求运动员在连续4周的每周一完成测试。测试时,第1周运动员完成1次时长为 40 min 的标准热身,休息6 min后直接进行30 m测试。第2周、第3周、第4周完成标准热身 分别采用1次75%、50%、25%体质量雪橇抗阻全力冲刺20m,休息6min后进行30m测试。 结果: 1)不同组次晨脉(F=0.272, P=0.845, ES=0.212)、晨起血尿素(F=0.385, P=0.765, ES= 0.253)和肌酸激酶(F=1.997, P=0.151, ES=0.578)值均无显著性差异; 2)不同组次热身阶段 最大心率百分比(percentage of maximum heart rate, %HR_{max})≤60%(F=2.009, P=0.149, ES= 0.579) % HR_{max} $60\% \sim 70\%$ (F=2.010, P=0.149, ES=0.579) % HR_{max} $70\% \sim 80\%$ (F=0.368, P= 0.777, ES=0.248)、%HR_{max}80%~90%(F=0.160, P=0.922, ES=0.163)值均无显著性差异;3)不 同组次30m冲刺成绩有显著性差异(F=15.635, P=0.000, ES=1.616)。事后比较结果显示: 50%体质量雪橇抗阻组30m冲刺成绩显著低于无雪橇抗阻组(P<0.05)、25%体质量雪橇 抗阻组(P < 0.05)、75%体质量雪橇抗阻组(P < 0.05),75%体质量雪橇抗阻组30m冲刺成 绩显著低于25%体质量雪橇抗阻组(P<0.05)。结论:采用1次50%体质量雪橇抗阻20m 全力冲刺能够有效提高钢架雪车运动员的PAP,进而提高其30m冲刺成绩。建议:教练员 在日常训练以及比赛前可采用50%体质量雪橇抗阻负荷进行全力冲刺,提高运动员短距离 冲刺表现。

关键词:钢架雪车;激活后增强效应;冲刺

Abstract: Objective: To observe the effect of PAP (post-activation potentiation) produced by different loads of sled resistance sprint on the 30 m sprint performance of national skeleton athletes, and to explore the optimal sled resistance sprint load for national skeleton athletes after PAP induction training, so as to provide guidance for the pre-competition warm-up and physical training for the national skeleton team. Methods: Seven key athletes from the national skeleton team are selected as the research objects and are required to complete the test every Monday for four consecutive weeks. During the test, athletes are required to complete a standard warm-up for 40 min in the first week and then take a 30 m sprint test directly after a 6 min rest. In the second, third, and fourth weeks, after the standard warm-up, the athletes use 75%, 50%, and 25% sled resistance respectively to sprint 20 m, followed by a 30 m test after a 6 min rest. Results: 1) There are no significant differences in morning pulse (F=0.272, P=0.845, ES=0.212), morning blood urea (F=0.385, P=0.765, ES=0.253), creatine kinase (F=1.997, P=0.151, ES=0.578) among the four groups; 2) there are no significant differences in percentage of maximun heart rate (%HR_{max}) \leq 60% (F=2.009, P=0.149, ES=0.579), %HR_{max} 60% \sim 70% (F=2.010, P=0.149, ES=0.579), %HR_{max} 70%~80% (F=0.368, P=0.777, ES=0.248), %HR_{max} 80%~90% (F=0.160, P=0.922, ES=0.163) during warm-up among the four groups; 3) there are significant differences in 30 m sprint results among four groups (F=15.635, P=0.000, ES=1.616). Post-hoc comparisons show that: The 30 m sprint results of the 50% body weight sled resistance group is signifi-

基金项目:

国家重点研发计划"科技冬臭"重点专项(2019YFF0301603);上海市人类运动能力开发与保障重点实验室资助项目(11DZ2261100)

第一作者简介:

田广(1994-), 男, 硕士, 主要研究方向为体能训练理论与实践, E-mail: 19802178357@126.com。

*通信作者简介:

高炳宏(1971-),男,教授,博士,博士研究生导师,主要研究方向为优秀运动员身体机能状态和运动训练负荷监控与评定,E-mail:gaobinghong@126.com。

作者单位:

- 1. 上海体育学院, 上海 200438; 2. 上海市嘉定区嘉一实验高级中学, 上海 201808
- 1. Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China;
- 2. Jiayi Experimental Senior High Shool, Jiading District, Shanghai 201808, China.

cantly lower than that of the no sled resistance group (P < 0.05), the 25% body weight sled resistance group (P < 0.05), and the 75% body weight sled resistance group (P < 0.05). The 30 m sprint results of the 75% body weight sled resistance group is significantly lower than that of the 25% body weight sled resistance group (P < 0.05). Conclusions: The PAP of skeleton athletes can be improved effectively by using a 50% body weight sled resistance for a 20 m allout sprint, which in turn improves their 30 m sprint performance. It is suggested that coaches are encouraged to use 50% body weight sled resistance load for all-out sprint in daily training and before competitions to improve athletes' performance in short-distance sprints.

Keywords: skeleton; post-activation potentiation; sprint

中图分类号: G863.2 文献标识码: A

钢架雪车项目比赛成绩分为出发推橇成绩和冰道滑行成绩(李钊等,2019)。已有研究表明,冲刺能力与钢架雪车推橇启动能力密切相关(Colyer et al., 2018)。有研究发现,鉴别优秀推橇运动员最有价值的预测性评估主要包括短跑和垂直纵跳成绩(Sands et al., 2005)。此外,澳大利亚钢架雪车选才项目成功的4名女运动员在最初的筛选中,30 m冲刺成绩更快(Bullock et al., 2009)。由此可见,突出的短距离冲刺能力对于钢架雪车项目至关重要。近3届冬奥会(2010年温哥华冬奥会、2014年索契冬奥会、2018年平昌冬奥会)男子钢架雪车运动员和2014年索契冬奥会女子钢架雪车运动员的推橇出发阶段成绩对比赛成绩约有1.7~3.0倍的正向影响(郝磊等,2020)。这说明推橇出发能力是钢架雪车项目克技成绩的重要影响因素,快速推橇起步是钢架雪车项目成功的先决条件(韩艳丽等,2021;尹一全等,2020)。

推橇阶段需要较大的速度和力量,因此有效的热身能够影响和改善推橇阶段运动表现(Yaicharoen et al., 2012)。 激活后增强效应(post-activation potentiation, PAP)策略已 应用于改善急性冲刺表现(Chatzopoulos et al., 2007; Winwood et al., 2016),因此采用 PAP 策略进行训练可能有助于提高钢架雪车运动员短距离冲刺成绩。目前,国内关于PAP的研究多关注同一负荷下不同间歇时间所产生的干预效果(梁美富等,2020;周形,2019),鲜见关于雪橇抗阻冲刺后 PAP 对冲刺成绩影响的研究,而把握不同负荷雪橇抗阻的 PAP 特征对于中国钢架雪车国家队运动员赛前热身及体能训练具有重要的实践指导意义。因此,本研究对中国钢架雪车国家队重点运动员采用不同负荷雪橇抗阻 PAP 诱导练习后的冲刺成绩进行研究,探索中国钢架雪车国家队运动员 PAP 诱导练习的最佳雪橇抗阻负荷。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

本研究以7名中国钢架雪车国家队重点运动员作为研究对象(表1)。确保所有运动员试验期间训练计划均一致,所有受试者在参与本研究前6个月内无下肢或背部损伤。考虑到日常生物节律,所有运动员均在一天的同一时间完成测试。在测试期间,训练服装及跑鞋均保持一致。所有运动员均签署了知情同意书,本研究通过了上海体育学院学术与伦理委员会的批准。

表 1 运动员基本情况 Table 1 Basic Information of Athletes

	性别	身高/m	体质量/kg	$BMI/(kg \cdot m^{-2})$	年龄/岁	运动等级	训练年限/年
闫××	男	183.5	83.3	24.7	24	运动健将	6
殷×	男	178.7	74.6	23.4	25	运动健将	4
陈××	男	176.9	84.4	27.0	25	运动健将	6
赵×	女	171.6	62.9	21.4	19	运动健将	3
林××	女	169.8	62.9	21.8	23	运动健将	6
黎××	女	172.9	66.1	22.1	23	运动健将	3
朱××	女	168.2	69.0	24.4	21	运动健将	3
$M\pm SD$	_	174.5 ± 5.4	71.9 ± 9.1	23.5 ± 2.0	22.9 ± 2.2	_	4.4 ± 1.5

1.2 PAP诱导测试

1.2.1 PAP诱导测试流程

本研究要求运动员在连续4周的周一完成测试,热身、PAP诱导方案及冲刺测试均在室内塑胶跑道上完成。每次测试前均对运动员身体机能状态进行评估。第1周

周一上午9:00 开始,进行1次时长为40 min 的标准热身,包括10 min 慢跑、短时间的动态拉伸、特定的短跑动态练习,依次以90%、95%、100%的强度进行1次20 m冲刺,分别间歇2 min(Whelan et al., 2014),休息6 min 后进行30 m冲刺测试。第2周、第3周、第4周完成标准热身后分别采

用 1 次 75%、50%、25% 体质量的雪橇抗阻全力冲刺 20 m, 休息 6 \min 后进行 30 m 冲刺测试(图 1)。

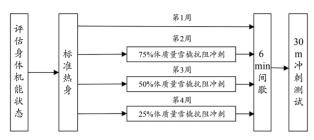


图1 PAP诱导测试流程

Figure 1. PAP Induction Test Procedure

1.2.2 30 m 冲刺测试

运动员以三点式起跑姿势开始向前冲刺,采用单手支撑,支撑手放在第1个计时门后50cm处的标记起跑线后。采用此种姿势进行测试的原因:在钢架雪车推橇出发时,运动员一般采用单手推橇,起跑姿态为三点式。运动员在整个冲刺过程中均给予口头鼓励,以确保每次重复都能尽最大的努力。使用Smartspeed速度灵敏反应测评系统(Fusion sport,澳大利亚)计时。

1.2.3 血尿素、肌酸激酶测试

血尿素(blood urea, BU)、肌酸激酶(creatine kinase, CK)采用三通道全血干式生化分析仪(Reflotron Plus,美

国)进行测试,测试前一天运动员进行充分休息,测试时间为每周一早上6:30,采用肝素钠抗凝采血管采集肘静脉血1 mL进行测试。

1.2.4 心率测试

心率(heart rate, HR)测试包括晨脉测试及热身过程中的HR测试。采用指夹式血氧仪(YX306,中国)测试晨脉,测试前一天运动员进行充分休息,测试时间为每周一早上6:30。热身40 min 全程采用 Polar Team Pro 心率表(Polar,芬兰)进行最大心率百分比(percentage of maximum heart rate,%HR_{max})测试。

1.3 统计学分析

采用 SPSS 24.0 统计软件进行数据统计分析,结果以平均值土标准差($M\pm SD$)表示。采用 Shapiro-Wilk 法检验数据是否符合正态分布,采用单因素重复测量方差对30 m冲刺成绩、晨脉、晨起 BU和 CK 及热身 HR 数据进行整体分析,事后比较使用 LSD 法进行两两比较,使用 η^2 计算效应量(effect size, ES),显著性水平为 P<0.05。

2 结果

2.1 不同负荷雪橇抗阻测试前晨脉、晨起BU和CK测试结果对 4次不同负荷雪橇抗阻测试前晨脉、晨起BU和CK进行单因素重复测量方差分析显示(表 2): 晨脉(F=0.272,P=0.845,ES=0.212)、晨起BU(F=0.385,P=0.765,ES=0.253)和CK(F=1.997,P=0.151,ES=0.578)均无显著性差异。

M+SD

表2 不同负荷雪橇抗阻测试前晨脉、晨起BU和CK测试结果

Table 2 Morning Pulse, Morning BU and CK Test Results before Sled Resistance Test with Different Loads

指标	无雪橇抗阻	25%体质量雪橇抗阻	50%体质量雪橇抗阻	75%体质量雪橇抗阻
晨脉/(次·min⁻¹)	53.13 ± 3.91	52.88 ± 3.80	53.38 ± 3.64	53.25 ± 3.99
$BU/(mmol \cdot L^{-1})$	6.64 ± 1.19	6.33 ± 0.75	6.48 ± 0.58	6.30 ± 0.67
$CK/(U \cdot L^{-1})$	154.71 ± 76.41	138.86 ± 75.24	125.43 ± 49.82	146.14 ± 75.86

2.2 不同负荷雪橇抗阻热身阶段心率监控结果

对 4 次不同负荷雪橇抗阻测试时热身阶段心率进行单因素重复测量方差分析显示(表 3):% HR_{max} \leq 60% (F= 2.009,P=0.149,ES=0.579)、% HR_{max} 60%~70% (F=2.010,P=0.149,ES=0.579)、% HR_{max} 70%~80% (F=0.368,P=0.777,ES=0.248)、% HR_{max} 80%~90% (F=0.160,P=0.922,ES=0.163)均无显著性差异。

2.3 不同负荷雪橇抗阻冲刺后对30m冲刺成绩的影响

对 4 次不同负荷雪橇抗阻测试时 30 m 冲刺成绩进行单因素重复测量方差分析显示(表 4):不同组次 30 m 冲刺成绩有显著性差异(F=15.635,P=0.000,ES=1.616)。事后比较显示: 50% 体质量雪橇抗阻组 30 m 冲刺成绩显著低于无雪橇抗阻组(P<0.05)、25% 体质量雪橇抗阻组(P<0.05)、75% 体质量雪橇抗阻组(P<0.05)30 m 冲刺成绩,75% 体质量雪橇抗阻组 30 m 冲刺成绩显著低于 25% 体质

量雪橇抗阻组 $30 \, \text{m}$ 冲刺成绩(P < 0.05)。

表3 不同负荷雪橇抗阻热身阶段心率监控结果 Table 3 Results of Heart Rate Monitoring during Warm-Up Phases of Sled Resistance with Different Loads $M\pm SD$

0/IID	无雪橇	25%体质量	50%体质量	75%体质量
$^{\rm WHR}_{\rm max}$	抗阻/min	雪橇抗阻/min	雪橇抗阻/min	雪橇抗阻/min
≪60	11.57 ± 2.15	12.71 ± 1.80	12.43 ± 1.90	12.43 ± 0.79
$60\sim70$	16.86 ± 1.95	15.57 ± 1.40	16.00 ± 1.29	15.71 ± 0.95
$70\sim80$	8.57 ± 1.72	8.57 ± 0.98	8.29 ± 1.25	8.71 ± 1.25
$80\sim90$	3.00 ± 1.53	3.14 ± 0.90	3.29 ± 1.11	3.14 ± 0.69
90~100	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00

3 讨论

本研究在测试当日均进行晨脉、晨起BU和CK测试,结果表明,在测试当日运动员身体机能状态无明显变化,

且监控热身流程心率,运动员在4次测试期间热身过程运动强度基本一致,因此本研究的关键变量为是否加入不同负荷雪橇抗阻冲刺。姜自立等(2016)研究发现,4~12 min 的恢复时间均能产生 PAP,但存在个体差异性,且爆发力运动项目产生 PAP所需的时间为5~10 min。Seitz等(2016)研究了 PAP后的休息时间对随后的冲刺等项目运动表现的影响,发现5~7 min 的较长休息时间产生的PAP最大。此外,结合钢架雪车项目实际情况,运动员热

身结束后,换专业比赛滑行套装至准备开始比赛的过程至少需6 min。因此,本研究将间歇时间设置为6 min。Smith等(2014)和 Whelan等(2014)研究表明,较轻负荷可以产生 PAP; Winwood等(2016)和 Cross等(2017)研究表明,较重负荷可以产生 PAP,但鲜见对比评价不同负荷产生的 PAP的研究,因此,本研究旨在对比不同负荷雪橇抗阻后产生的 PAP效果。

表4 不同负荷雪橇抗阻冲刺后30 m 冲刺成绩

Table 4 Results of 30 m Sprint after Sled Resistance Sprints with Different Loads

	无雪橇抗阻	25%体质量雪橇抗阻	差值	50%体质量雪橇抗阻	差值	75%体质量雪橇抗阻	差值
闫××	3.72	3.72	0.00	3.70	-0.02	3.71	-0.01
陈××	3.85	3.79	-0.06	3.74	-0.11	3.78	-0.07
殷×	3.63	3.67	0.04	3.59	-0.04	3.62	-0.01
林××	4.27	4.29	0.02	4.21	-0.06	4.24	-0.03
黎××	4.15	4.18	0.03	4.07	-0.08	4.16	0.01
赵×	4.27	4.25	-0.02	4.13	-0.14	4.21	-0.06
朱××	4.28	4.33	0.05	4.20	-0.08	4.31	0.03
$M\pm SD$	4.02 ± 0.28	4.03 ± 0.29	0.01 ± 0.04	$3.95 \pm 0.26^{*\#@}$	-0.08 ± 0.04	$4.00\pm0.29^{\&}$	-0.02 ± 0.04

注:*表示与无雪橇抗阻组比较,50%体质量雪橇抗阻组具有显著性差异(P<0.05);#表示与25%体质量雪橇抗阻组比较,50%体质量雪橇抗阻组出中,50%体质量雪橇抗阻组比较,50%体质量雪橇抗阻组出中,50%体质量雪橇抗阻组比较,50%体质量雪橇抗阻组比较,50%体质量雪橇抗阻组比较,75%体质量雪橇抗阻组出较,75%体质量雪橇抗阻组上有显著性差异(P<0.05);差值为各组与无雪橇抗阻组比较。

本研究发现,在进行50%体质量雪橇抗阻PAP干预 后,相比无雪橇抗阻组,运动员平均快了0.08 s,且所有运 动员相比无雪橇抗阻组30m冲刺成绩均用时更短,50% 体质量雪橇抗阻负荷冲刺能显著改善运动员30m冲刺成 绩。75%体质量雪橇抗阻负荷冲刺后30m冲刺成绩与无 雪橇抗阻组相比较虽然没有显著性差异,但是75%体质 量雪橇抗阻后30m冲刺成绩与无雪橇抗阻组冲刺成绩相 比,有5名运动员跑得更快,平均快了0.02 s。本研究与 Winwood 等(2016)的研究结果相似,在室内人造草皮上 使用雪橇负荷 75% 体质量的 PAP 方案后,15 m 冲刺成绩 有显著改善。Cross等(2017)研究发现,产生PAP的最佳 雪橇抗阻负荷为体质量的69%~96%,其受试者在室内塑 胶跑道上进行测试,与本研究类似。与前人研究成果进 行比较发现,本研究中产生PAP的最佳负荷为50%体质 量雪橇抗阻冲刺,稍低于其他相关研究产生PAP的最佳 雪橇抗阳负荷,虽然本研究75%体质量雪橇抗阳负荷也 具有改善30m冲刺成绩的趋势,但不具有显著性差异。 Alcaraz 等(2018)研究表明,不同的表面会造成不同的拖 拽效果,如人造草皮可以增强雪橇的拖拽效果,这可能是 由于雪橇和人造草皮之间的摩擦力较低,从而减少了受试 者的疲劳反应。而本研究测试时地面为室内塑胶跑道,摩 擦力比人造草皮大,这可能是本研究中产生 PAP 的最佳 负荷较其他研究低的原因之一。Linthorne等(2013)研究 表明,在人造草地上牵引雪橇的摩擦系数为0.21±0.01,

而在不太光滑的表面(如田径跑道)上摩擦系数可能达到 0.58±0.01,因此,当在不同的表面上进行雪橇训练时,摩擦系数可能会有较大的变化,这可能会对施加载荷的计算产生较大的影响。理论上,运动员在雪橇抗阻冲刺时间随着跑道摩擦系数的增加而增加,但由于个体体能、短跑技术等不同,可能存在个体差异。

在本研究中,50%和75%体质量雪橇抗阻冲刺所导致 的短跑运动学的变化可能产生有益的激活效果。雪橇抗 阻冲刺可以增加对肌肉力量、峰值力量及力量发展速度的 刺激(Fradkin et al., 2010; Martínez-Valencia et al., 2015)。 Winwood 等(2016)研究认为,较重的负荷可以诱导更大 的肌纤维参与短跑冲刺所需的特定运动单元,从而诱发 更大的神经和肌肉机制,进而促进爆发性短跑冲刺能力 的急性增加。此外,带有较重负荷的雪橇抗阻冲刺可以 使运动员产生更大的水平或合成地面反作用力冲量,提 高其冲刺加速性能(Kawamori et al., 2014)。研究发现, 相对于无抗阻冲刺而言,雪橇抗阻冲刺是一种潜在的提 高力量输出和力量输出效率的方法。在物理输出的技术 效率方面,雪橇抗阻冲刺比无抗阻冲刺的水平推进力更 大(Fradkin et al., 2010; Okkonen et al., 2013)。这可能是 因为相对于无抗阻冲刺,雪橇抗阻冲刺时躯干倾斜角度 增大(Cronin et al., 2008),因此可以在水平方向施加更大 的力。Alcaraz等(2008)通过荟萃分析发现,雪橇抗阻训 练是发展短跑成绩的有效训练方法,特别是在<10m的 早期加速阶段,而钢架雪车项目推橇出发阶段计时点为15~65 m,上橇点一般为30 m,运动员需推动雪车完成约30 m的爆发启动(景磊等,2020)。因此,如能在出发0~15 m阶段将速度提至最高并保持至约30 m上橇处,则能够获得更大的启动出发优势。

在本研究中,25%体质量雪橇抗阻冲刺对随后的30m冲刺成绩无明显影响,与Smith等(2014)的研究结论一致,较轻的雪橇负载可能不适用于提高急性冲刺性能。Smith等(2014)采用体质量25%~30%雪橇抗阻冲刺3次,并没有显著提高冲刺速度,从而得出该雪橇负荷可能不足以诱发PAP的结论。Whelan等(2014)研究发现,使用体质量为25%~30%的雪橇负荷进行抗阻冲刺并未证明在有阻力的情况下,10m冲刺表现存在PAP。综上所述,25%~30%体质量雪橇抗阻冲刺不足以引起PAP,原因可能是没有足够的刺激,PAP产生的可能性低。未来,可以进一步增加研究样本量,将不同负荷及不同间歇时间所产生的PAP进行对比研究,以寻求产生PAP的最佳负荷及时间。

4 结论与建议

采用 1 次 50% 体质量雪橇抗阻 20 m 全力冲刺能有效提高钢架雪车运动员的 PAP,进而提高其 30 m 冲刺成绩。建议:教练员在日常训练以及比赛前可采用 50% 体质量雪橇抗阻负荷进行全力冲刺,提高运动员短距离冲刺表现。

参考文献:

- 韩艳丽,石丽君,吴迎,2021.钢架雪车项目特征及备战启示[J].中国体育科技,57(8):44-52.
- 郝磊,王润极,杨康,等,2020.钢架雪车运动员运动表现的影响因素 及训练策略[J].首都体育学院学报,32(4):355-360.
- 姜自立,李庆,2016.激活后增强效应研究进展述评[J].体育学刊, 23(1):136-144.
- 景磊,袁晓毅,2020.中国钢架雪车、雪车队运动员专项体能训练研究[J].哈尔滨体育学院学报,38(1):27-32.
- 李钊,李庆,2019. 雪车、雪橇项目特征分析[J]. 体育科学,39(3): 81-87.
- 梁美富,张怀川,张树峰,等,2020.不同力量水平运动员激活后增强效应的时域特征[J].上海体育学院学报,44(6):54-61.
- 尹一全,邱森,孟庆军,等,2020. 钢架雪车运动员竞赛成绩的影响因素研究[J]. 北京体育大学学报,43(12):130-141.
- 周彤,2019.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,35(3):78-83.
- ALCARAZ P E, PALAO J M, ELVIRA J L, et al., 2008. Effects of three types of resisted sprint training devices on the kinematics of sprinting at maximum velocity [J]. J Strength Cond Res, 22 (3): 90-97
- ALCARAZ P E, CARLOS-VIVAS J, OPONJURU B O, et al., 2018. The effectiveness of resisted sled training (RST) for sprint perfor-

- mance: A systematic review and Meta-analysis [J]. Sports Med, 48(9): 43-65.
- BULLOCK N, GULBIN J P, MARTIN D T, et al., 2009. Talent identification and deliberate programming in skeleton: Ice novice to Winter Olympian in 14 months[J]. J Sports Sci, 27(4): 397-404.
- CHATZOPOULOS D E, MICHAILIDIS C J, GIANNAKOS A K, et al., 2007. Postactivation potentiation effects after heavy resistance exercise on running speed[J]. J Strength Cond Res, 21(4): 1278-1281.
- COLYER S L, STOKES K A, BILZON J L J, et al., 2018. Skeleton sled velocity profiles: A novel approach to understand critical aspects of the elite athletes' start phases[J]. Sports Biomech, 17(2): 168-179.
- CRONIN J, HANSEN K, KAWAMORI N, et al., 2008. Effects of weighted vests and sled towing on sprint kinematics [J]. Sports Biomech, 7(2): 160-172.
- CROSS M R, BRUGHELLI M, SAMOZINO P, et al., 2017. Optimal loading for maximizing power during sled-resisted sprinting[J]. Int J Sports Physiol Perform, 12(8): 1069-1077.
- FRADKIN A J, ZAZRYN T R, SMOLIGA J M, 2010. Effects of warming-up on physical performance: A systematic review with meta-analysis[J]. J Strength Cond Res, 24(1): 140-148.
- KAWAMORI N, NEWTON R U, HORI N, et al., 2014. Effects of weighted sled towing with heavy versus light load on sprint acceleration ability[J]. J Strength Cond Res, 28(10): 2738-2745.
- LINTHORNE N P, COOPER J E, 2013. Effect of the coefficient of friction of a running surface on sprint time in a sled-towing exercise[J]. Sports Biomech, 12(2): 175-185.
- MARTÍNEZ-VALENCIA M A, ROMERO-ARENAS S, ELVIRA J L L, et al., 2015. Effects of sled towing on peak force, the rate of force development and sprint performance during the acceleration phase[J]. J Hum Kinet, 46(1): 139-148.
- OKKONEN O, HÄKKINEN K, 2013. Biomechanical comparison between sprint start, sled pulling, and selected squat-type exercises [J]. J Strength Cond Res, 27(10): 2662-2673.
- SANDS W A, SMITH L S, KIVI D M, et al., 2005. Anthropometric and physical abilities profiles: US national skeleton team[J]. Sports Biomech, 4(2): 197-214.
- SEITZ L B, HAFF G G, 2016. Factors modulating post-activation potentiation of jump, sprint, throw, and upper-body ballistic performances: A systematic review with meta-analysis [J]. Sports Med, 46(2): 231-240.
- SMITH C E, HANNON J C, MCGLADREY B, et al., 2014. The effects of a postactivation potentiation warm-up on subsequent sprint performance[J]. Hum Mov, 15(1): 36-44.
- WHELAN N, O'REGAN C, HARRISON A J, 2014. Resisted sprints do not acutely enhance sprinting performance [J]. J Strength Cond Res, 28(7): 1858-1866.
- WINWOOD P W, POSTHUMUS L R, CRONIN J B, et al., 2016. The acute potentiating effects of heavy sled pulls on sprint performance[J]. J Strength Cond Res, 30(5): 1248-1254.
- YAICHAROEN P, WALLMAN K, BISHOP D, et al., 2012. The effect of warm up on single and intermittent-sprint performance [J]. J Sports Sci, 30(8): 833-840.
- (收稿日期:2021-11-01; 修订日期:2022-07-15; 编辑:尹航)