

# 基于速度的力量训练中不同速度丢失阈值 (10% vs 20%)对大学生运动员下肢爆发力的影响 Effects of Different Velocity Loss Thresholds (10% vs 20%) on Lower Extremity Explosive Force of College Athletes in Velocity-Based Strength Training

张帅<sup>1</sup>, 赵亮<sup>1\*</sup>, 万发同<sup>1</sup>, 陆宇明<sup>1</sup>, 吴志强<sup>1</sup>, 程思远<sup>2</sup>  
ZHANG Shuai<sup>1</sup>, ZHAO Liang<sup>1\*</sup>, WAN Fatong<sup>1</sup>, LU Yuming<sup>1</sup>,  
WU Zhiqiang<sup>1</sup>, CHENG Siyuan<sup>2</sup>

**摘要:**目的:检验不同速度丢失阈值(10% vs 20%)的中等负荷深蹲练习对大学生运动员下肢爆发力的训练效果,丰富基于速度训练(velocity-based training, VBT)的理论体系。方法:23名大学生运动员随机分为2组:速度丢失阈值为10%(VLG10, n=11)和速度丢失阈值为20%(VLG20, n=12),进行为期8周、每周3次的中等强度负荷自由重量深蹲练习,每次训练课后记录训练量和主观疲劳程度,比较2组干预前后的1RM深蹲、SJ、CMJ、SCMJ、立定跳远、三级蛙跳、30 m冲刺跑等指标。结果:除30 m冲刺跑外( $P>0.05$ ),干预后2组的深蹲1RM、SJ、CMJ、SCMJ、立定跳远、三级蛙跳均比实验前有显著性提高( $P<0.01$ ),但组间无显著性差异( $P>0.05$ )。VLG10的疲劳程度低于VLG20,存在非常显著性差异( $P<0.01$ )。结论:干预后,2组均显著提高了大学生运动员的深蹲最大力量和跳跃能力,但没有显著提高短距离冲刺跑能力,VLG10的干预效果与VLG20无显著性差异且疲劳程度明显更低。建议:体能教练员和科研人员使用速度丢失阈值为10%的中等强度负荷自由重量深蹲练习进行为期至少8周的训练,发展运动员下肢最大力量和跳跃能力,并且进一步探索VBT结合短跑练习高效发展短距离冲刺跑能力的训练方案。

**关键词:**力量训练;速度丢失阈值;爆发力;大学生运动员

**Abstract:** Objectives: To test the training effect of moderate-load squat exercise with different velocity loss threshold (10% vs 20%) on lower extremity explosive force of college athletes, enrich the theoretical system of velocity-based training (VBT). Methods: 23 college athletes were randomly divided into two groups with the velocity loss threshold of 10% (VLG10,  $n=11$ ) and the velocity loss threshold of 20% (VLG20,  $n=12$ ). Moderate load free weight squat exercise were carried out 3 times a week for 8 weeks. The training volume and subjective fatigue degree were recorded after each training class. Squat 1RM, SJ, CMJ, SCMJ, standing long jump, triple leapfrog and 30 m sprint before and after experiment were compared between the two groups. Results: Except for 30 m sprint ( $P>0.05$ ), squat 1RM, SJ, CMJ, SCMJ, standing long jump and triple leapfrog of the two groups after the experiment were significantly improved compared with those before the experiment ( $P<0.01$ ), but there was no significant difference between two groups ( $P<0.05$ ). The fatigue degree of VLG10 was lower than that of VLG20, and there was an extremely significant difference ( $P<0.01$ ). Conclusions: Moderate-load squat exercise with different velocity loss thresholds (20% and 10%) can effectively improve squat 1RM and jump ability of college athletes, but not significantly improved the ability of short distance sprint. The effect of VLG10 was not significantly different from that of VLG20. Compared with VLG20, VLG10 has a significantly lower fatigue degree. Suggestion: Strength and conditioning coaches and researchers use the moderate-load free weight squat exercise with a velocity loss

## 基金项目:

国家体育总局排球运动管理中心  
科研项目(2022pqky-03)

## 第一作者简介:

张帅(1995-),男,硕士,主要研究  
方向为体能训练理论与方法,  
E-mail: 254008924@qq.com。

## \*通信作者简介:

赵亮(1985-),男,讲师,博士,主要  
研究方向为体能训练理论与方法,  
E-mail: zhaoliang1@sdpei.edu.cn。

## 作者单位:

1. 山东体育学院, 山东 济南 250102;
2. 山东英才学院, 山东 济南 250104
1. Shandong Sport University, Jinan 250102, China;
2. Shandong Yingcai University, Jinan 250104, China.

threshold of 10% for at least 8 weeks to develop the maximum strength and jumping ability of athletes' lower limbs, and further explore the training program that combines VBT with sprint exercise to effectively develop the ability of short distance sprint.

**Keywords:** strength training; velocity loss thresholds; explosive force; college athlete

**中图分类号:**G804.6 **文献标识码:**A

力量训练,特别是发展爆发力的训练一直是教练员和科研人员的关注热点。抗阻训练是提升力量素质的主要手段,其训练效果主要受练习的类型和顺序、负荷强度、负荷量、组间间歇等变量的影响(Crewther et al., 2006; González-Badillo et al., 2011; Sánchez-Medina et al., 2011)。其中,负荷强度是重要的变量之一(Jovanović et al., 2014)。实践中通常使用训练者重复 1 次练习可承受最大负荷(1RM)的百分比来规定负荷强度,因此这种方式被称为传统抗阻训练或基于 1RM 百分比的训练(percentage-based training, PBT)。然而 PBT 存在一些限制因素,会对运动员运动表现的长期发展产生不利影响(Davies et al., 2016; Izquierdo et al., 2006; Jovanović et al., 2014; Kraemer et al., 2007; Pareja-Blanco et al., 2017a; Sampson et al., 2016; Zourdos et al., 2016),因此,学者们提出了使用基于速度的训练(velocity-based training, VBT)方法(González-Badillo et al., 2010, 2016; Jovanović et al., 2014)。

VBT 根据不同训练目标确定训练的初始速度和速度丢失阈值(velocity loss threshold, VL),并通过监测训练过程中动作速度调节训练负荷强度,从而避免运动员出现无效训练和过度疲劳。与 PBT 相比,VBT 能够有效提高下肢爆发力(Banyard et al., 2020; Dorrell et al., 2019; Held et al., 2021; Orange et al., 2019; Ortega et al., 2020; Randell et al., 2011)。研究发现,中到低 VL 的固定器械深蹲练习能够有效提高下肢爆发力(Pareja-Blanco et al., 2017b, 2020; Rodríguez-Rosell et al., 2020, 2021)。自由重量的深蹲是发展运动员下肢爆发力主要的练习。本研究仅检索到 1 篇文献检验了中到低 VL 的自由重量深蹲对运动员人群的单次干预效果(Weakley et al., 2020),鲜见检验长期干预效果的实证研究。与此同时,有研究认为,中等负荷(V1LOAD)与大负荷(75%~95% 1RM)相比,同样能够显著提高非运动员人群的力量和爆发力(González-Badillo et al., 2015),但是尚未以运动员为受试人群进行实证研究。

VBT 是当前国际体能训练领域的研究热点,也是数字化体能训练理念指导下的体能训练的发展新趋势(李卫等, 2021; 闫琪等, 2018; 袁守龙, 2018)。但是,目前国内对 VBT 的研究还处于起步阶段,缺乏实证研究(傅家辉等, 2021; 廖开放等, 2021; 王智慧, 2020; 张雨佳等, 2018, 2019)。因此,本研究期望检验不同 VL(10% vs 20%)的中等强度负荷(V1LOAD)自由重量深蹲练习对大学运动员下肢爆发力的影响,从而丰富 VBT 相关的实证研究。

## 1 研究对象与方法

### 1.1 研究对象

以不同 VL(10% vs 20%)的中等强度自由重量深蹲练习对大学生运动员下肢最大力量、跳跃能力和短距离冲刺跑能力的影响为研究对象,招募大学生运动员作为受试者开展本研究。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 实验对象

在山东体育学院日照校区招募 24 名具有国家二级以上运动员技术等级的男性大学生运动员,均具有 2 年以上的力量训练经验,无下肢运动损伤,能够熟练使用杠铃完成自由重量的负重深蹲练习,深蹲最大力量(深蹲 1RM)达到体质量的 1.5 倍以上。实验对象随机分为 2 组,VL 分别为 20%(VLG20, n=11)和 10%(VLG10, n=12)(表 1)。实验干预过程开始前有 1 名受试者因伤病无法参加后续干预而被排除。

表 1 受试者基本信息

Table 1 Basic Information of Subjects

组别	年龄/岁	身高/cm	体质量/kg	深蹲力量	训练年限/年
				与体质量之比	
VLG10	20.00±1.00	177.90±3.39	70.12±4.31	1.77±0.12	3.10±0.50
VLG20	20.30±0.98	177.33±2.87	70.94±6.19	1.79±0.11	3.08±0.47

#### 1.2.2 实验流程与控制

受试者进行为期 8 周、每周 3 次的中等强度负荷自由重量深蹲训练干预。每次训练结束后统计当天的训练量(重复完成练习动作的数量)和主观疲劳程度(RPE 得分)。受试者在实验前后都进行测试。为保证测试指标不受疲劳的影响,实验前后的测试分 3 次进行,每次间隔时间为 48 h 以上。为避免生物节律和人为影响,保证测试时间在一天同一时间进行,测试人员与热身方案在实验前后保持一致。第 1 次测试蹲跳(squat jump, SJ)、反向跳跃(counter movement jump, CMJ)和摆臂反向跳跃(swing counter movement jump, SCMJ),第 2 次测试立定跳远、三级蛙跳、30 m 冲刺跑,第 3 次测试进行重量递增的负荷-速度测试,包括个人深蹲 1RM 和 V1LOAD(动作速度为 1 m/s 所对应的负荷重量)。

1) 跳跃能力测试。跳跃能力测试包括 SJ、SCMJ、CMJ、立定跳远、立定三级跳,其中 SJ、SCMJ 以及 CMJ 使

用美国 Just Jump 跳跃测试系统进行测试。在测量 SJ 和 CMJ 时要求受试者双手叉腰。测量 SJ 时要求测试者在膝盖接近 90° 时开始全力快速向垂直方向起跳,下肢避免做任何幅度的超等长动作;测量 CMJ 时测试者以自己选择的速度下蹲至个人最佳深度,然后双脚尽全力快速向垂直向上的方向起跳。SCMJ 则是在 CMJ 的基础上向上快速摆臂的动作。所有测试都要求受试者起跳后保持腿部伸直,不得跳出垫子。立定三级跳测试,起跳前受试者双脚平行站立于起跳线后,由静止状态开始做起跳动作。双脚起跳后,经腾空单脚着地,完成第 1 跳;然后又经腾空用另一侧脚着地,完成第 2 跳;双脚落入沙坑完成第 3 跳。所有项目分别进行 2 次测试,每次间歇 3 min,取最好成绩。

2) 30 m 冲刺跑测试。在室外跑道分别进行 2 次 30 m 冲刺跑测试,中间休息 3 min,参与者被要求尽最大努力,取最好的 1 次成绩。过程中由专业裁判员计时,保证测试一致。

3) 重量递增的负荷-速度测试。LVP (load-velocity profile) 是反映动作速度与阻力(重量)关系的变化图谱(廖开放等,2021)。使用速度与爆发力反馈系统(Tendo Unit, 斯洛伐克)进行重量递增的负荷-速度测试(Garnacho-Castaño et al., 2015)(图 1),确定受试者个人的 LVP、VILOAD 和 1RM,使用 Tend Power Analyzer 软件记录测试者每次重复的平均向心速度(mean velocity, MV)。在较轻强度负荷(平均速度 > 1.15 m/s)时每组进行 3 次测试,在中等强度负荷(0.70~1.15 m/s)时每组进行 2 次测试(González-Badillo et al., 2011)。测试流程如下:受试者在正式测试前进行 3 组空杆深蹲,以保证测试者熟悉测试设备和每个受试者的下蹲深度(大腿后侧与小腿触碰后立即进行反向运动)。受试者以 30 kg 作为初始强度负荷完成 3 次蹲起,逐渐增加负荷(5~10 kg),当 MV 为 1 m/s 时,记录所对应的负荷即为训练负荷(VILOAD)。当 MV 低于 0.7 m/s 后逐步增加小负荷(2.5 kg)直到受试者能成功举起最重负荷时以确定测试者个人 1RM。

4) 疲劳程度。本研究通过统计训练课中动作重复的次数和训练课后的主观疲劳程度(session-rating of perceived exertion, s-RPE) 综合评定疲劳程度,使用 CR-10RPE 统计 s-RPE(于洪军等,2021; Foster et al., 2017)。在实验开始前向所有受试者讲解 CR-10RPE 量表的作用和数字的含义,使其熟悉如何使用和反馈自己的疲劳程度,每次训练结束后 30 min 通过通讯软件收集每个人反馈的 s-RPE 分值。

### 1.2.3 训练方案

训练方式为自由重量深蹲,频率为每周 3 次,每次 4 组,组间歇 5 min。要求受试者下蹲至大腿后侧与小腿触碰后立即快速向上运动,中间避免间歇。负荷强度均为 VILOAD,当最快 MV 低于或超过正常的范围(0.96~1.04 m/s)时调整负荷强度,使 MV 达到规定速度范围。受

试者每次重复的 MV 通过 Tendo Unit 反馈至 Tend Power Analyzer 软件。在训练中,将每次重复的 MV 通过 Tendo Unit 呈现给受试者,并且口头鼓励,以保证受试者以最快速度和最大努力程度完成每次重复(表 2)。



图 1 测试过程与相关设备

Figure 1. Test Process and Related Equipment

### 1.2.4 数理统计

VLG10 与 VLG20 以实验前的测试数据为基准,以“平均值±标准差”表示。将实验后的测试结果与实验前的测试结果进行配对样本 *t* 检验,对组间测试结果采用独立样本 *t* 检验,所有样本 *t* 检验和正态分布检验都通过 SPSS 25.0 完成。利用 Excel 软件计算效应量(effect size, ES),根据国外已有的近似实验设计(Grazioli et al., 2020)和常用标准(Cohen, 1988; Hopkins et al., 2009),使用 Cohen's *d* 表示效应量:  $ES \leq 0.20$  为几乎没有影响,  $0.20 < ES \leq 0.50$  为较小的影响,  $0.50 < ES \leq 0.80$  为中度影响,  $ES > 0.80$  为较大的影响。

## 2 结果与分析

### 2.1 深蹲 1RM 的测试结果

干预后,2 组实验后 1RM 成绩与实验前相比均具有显著性差异( $P < 0.01$ ),实验前后 2 组间均无显著性差异( $P > 0.05$ )。2 组改善 1RM 的效应量相近,都表现为干预对结果变化为中度影响(表 3, 图 2)。

### 2.2 跳跃能力的测试结果

干预后 2 组的跳跃能力与干预前相比均具有显著性差异( $P < 0.01$ ),干预前后 2 组间均无显著性差异( $P > 0.05$ )。干预后 2 组对跳跃能力测试指标的效应量相近,对 SJ 的效应量均为中等,对其余测试指标的效应量均为高(表 3, 图 3)。

### 2.3 短距离冲刺跑能力的测试结果

干预后 2 组的 T30 成绩与干预前无显著性差异( $P > 0.05$ ),干预前后 2 组间均无显著性差异( $P > 0.05$ ),干预后 2 组对短距离冲刺跑能力的影响均表现为低的效应量(表 3, 图 4)。

表 2 训练方案及训练量

Table 2 Training Program and Training Volume

组别	负荷	第 1 周	第 2 周	第 3 周	第 4 周	第 5 周	第 6 周	第 7 周	第 8 周
VLG10	组数	4	4	4	4	4	4	4	4
	速度丢失阈值/%	10	10	10	10	10	10	10	10
	频率/次	3	3	3	3	3	3	3	3
	间歇时间/min	5	5	5	5	5	5	5	5
	RPE	4.7	4.5	4.3	4.2	4.2	4.1	4.1	4.3
	重复次数	12.7	13.1	12.4	12.7	12.7	12.3	12.7	12.8
VLG20	组数	4	4	4	4	4	4	4	4
	速度丢失阈值/%	20	20	20	20	20	20	20	20
	频率/次	3	3	3	3	3	3	3	3
	间歇时间/min	5	5	5	5	5	5	5	5
	RPE	6.1	6.0	6.2	6.2	6.2	5.8	5.5	5.7
	重复次数	19.6	19.5	19.5	19.7	19.5	19.6	19.6	19.5

注: RPE. 疲劳等级量表平均得分=周总 RPE 得分÷频率÷人数; 次数. 每人每组平均训练次数=周总训练次数÷频率÷人数÷组数。

表 3 各测试指标实验前后变化情况

Table 3 Changes of Test Indexes before and after Experiment

项目	实验前	实验后	增长率/%	P	ES(95% CI)
1RM-VLG10/kg	124.54±13.50	133.00±11.40	6.8	<0.01	0.68±0.36
1RM-VLG20/kg	127.08±14.84	136.08±14.87	7.1	<0.01	0.60±0.19
CMJ-VLG10/cm	26.40±3.25	29.47±3.13	11.6	<0.01	0.96±0.13
CMJ-VLG20/cm	27.12±3.84	30.13±3.64	11.0	<0.01	0.83±0.12
SCMJ-VLG10/cm	29.62±3.26	33.32±3.11	11.8	<0.01	1.10±0.14
SCMJ-VLG20/cm	30.31±3.27	33.65±3.39	11.0	<0.01	1.01±0.14
SJ-VLG10/cm	24.03±2.66	25.70±2.68	6.9	<0.01	0.63±0.13
SJ-VLG20/cm	24.20±2.97	25.93±3.11	6.9	<0.01	0.55±0.08
立定三级跳-VLG10/cm	875.18±28.30	901.54±29.00	3.1	<0.01	0.95±0.17
立定三级跳-VLG20/cm	881.58±27.90	907.70±28.10	2.9	<0.01	0.93±0.19
立定跳-VLG10/cm	273.72±12.80	284.00±12.59	3.8	<0.01	0.81±0.20
立定跳-VLG20/cm	274.16±12.60	285.00±12.03	3.7	<0.01	0.81±0.24
T30-VLG10/s	4.33±0.15	4.32±0.21	0.2	>0.05	0.46±0.42
T30-VLG20/s	4.31±0.10	4.30±0.08	0.2	>0.05	0.25±0.20

注: VLG10. 速度丢失阈值为 10% 的组; VLG20. 速度丢失阈值为 20% 的组; VILOAD. 平均向心速度为 1 m/s 对应的负荷; CMJ. 反向跳跃; SCMJ. 摆臂反向跳跃; SJ. 蹲跳; T30. 30 m 冲刺跑所需时间; ES. 组内效应量; P<0.01. 组内与实验前相比具有显著性差异; P>0.05. 组内与实验前相比无显著性差异。

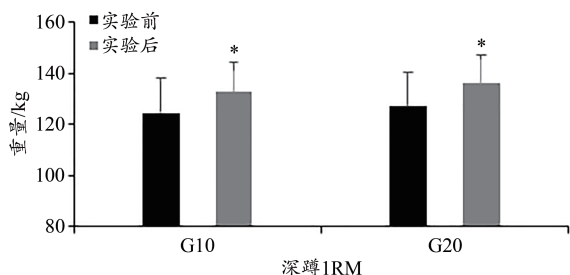


图 2 速度丢失阈值对下肢力量的影响

Figure 2. Effect of Velocity Loss Threshold on Lower Limb Strength

注: \*表示组内与实验前相比具有显著性差异(P<0.01)。

2.4 疲劳程度的测试结果

在 RPE 量表得分方面, VLG10 的受试者平均得分低于 VLG20, 并且 2 组的差异具有非常显著性(P<0.01)。在训练量方面, VLG10 的平均次数明显低于 VLG20 组, 2 组的差异具有非常显著性(P<0.01; 表 3, 图 5)。

3 讨论

同样进行为期 8 周、每周 3 次的中等强度负荷自由重量深蹲练习的情况下, VLG10 比 VLG20 的重复次数更少、单次训练后疲劳水平更低、总的训练量更低, 但是 VLG10



的力量、跳跃能力、短距离冲刺跑等测试中表现出与VL20相似的增长效果,说明低VL和中等强度负荷的VBT训练

可以有效提高下肢爆发力和相关运动表现。

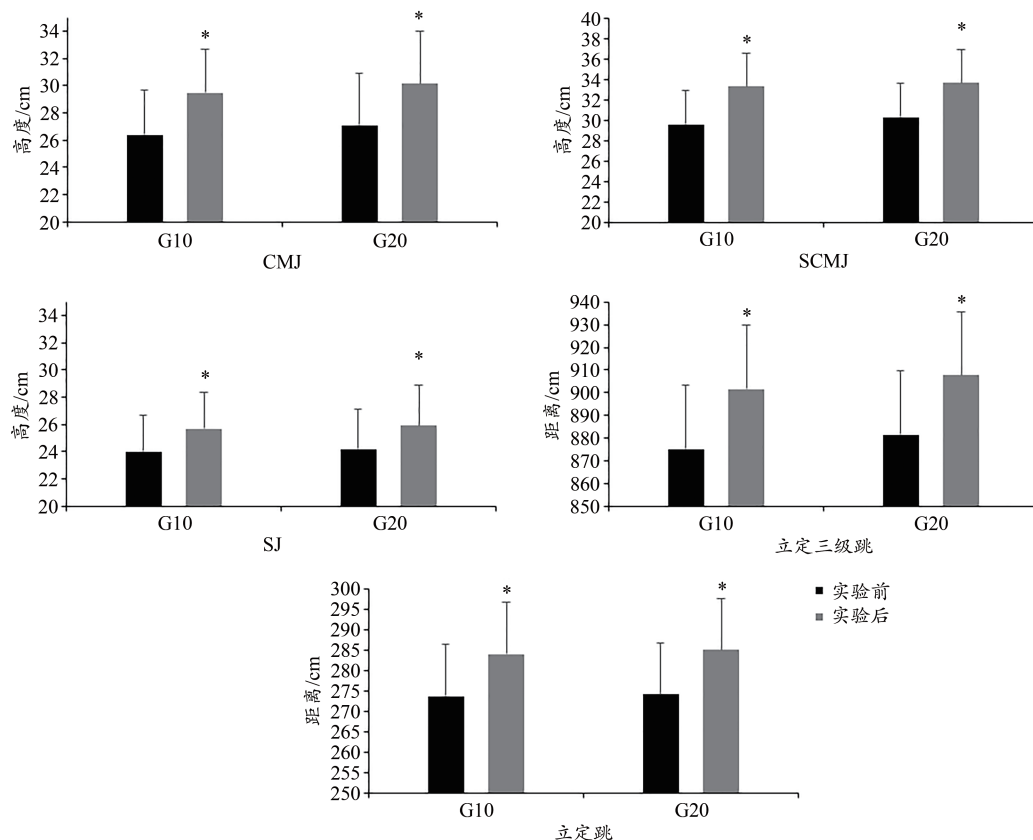


图3 速度丢失阈值对跳跃能力的影响

Figure 3. Effects of Velocity Loss Threshold on Jumping Ability

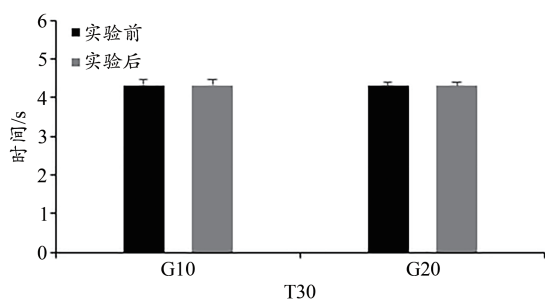


图4 速度丢失阈值对T30的影响

Figure 4. Effect of Velocity Loss Threshold on T30

### 3.1 对下肢最大力量的影响

最大力量与爆发力有很强的关联性,深蹲1RM能够综合体现受试者的力量素质水平(González-Badillo et al., 2011)。从组内看,干预后VLG10和VLG20的1RM成绩均显著提升;从组间看,2组干预后没有呈现出显著性差异,都表现为中等的效应(0.68、0.60)。该结果与使用不同VL(5% vs 20%)中等强度负荷的另一研究相似(Galiano et al., 2022),说明为期8周的中等强度负荷自由重量深蹲练习在使用VL10和VL20的条件下均能显著提高大学生运动员的最大力量。Pérez-Castilla等(2018)的研究显示,

为期4周的中等强度史密斯器械深蹲练习不能提高有抗阻训练经验的大学生的最大力量。以上研究结果说明,使用中等强度负荷的深蹲练习时需要至少8周才能够产生较为明显的训练效果。

在本研究中,使用VL10发展1RM的效应量(0.68)略高于VL20(0.60),但VLG20中1RM的增长幅度仅略高于VLG10,说明低VL( $\leq 10\%$ )发展下肢1RM的效果近似或优于中到高VL( $\geq 20\%$ ),这与部分研究结果一致(Alcazar et al., 2021; Galiano et al., 2022; Pareja-Blanco et al., 2020; Rodríguez-Rosell et al., 2021)。然而也有研究发现,成年女性使用VL40提高1RM成绩的增长率明显好于VL20(Rissanen et al., 2022)。已有研究中的有抗阻训练经验的受试者下肢相对力量约为1.2以上,本研究中招募的大学运动员为1.5(1.58~2.00)以上,而上述研究中的女性受试者约为1.0。因此,受试者训练水平的差异可能是导致研究结果存在不一致的主要原因之一。以上研究的结果说明,对于有训练经验的人,低VL( $\leq 10\%$ )发展下肢1RM的效果近似或优于中到高VL( $\geq 20\%$ )。

在本研究中,中等负荷( $\approx 50\%$  1RM)的深蹲练习能显著提高受试者的1RM,VLG10和VLG20分别提高了

6.8% 和 7.1%。有研究认为,有效发展 1RM 所需的强度为 70%~85% 1RM,并且每组重复力竭到训练(Androulakis-Korakakis et al., 2020)。有研究显示,使用不同 VL 进行为期 8 周的高负荷(70%~85% 1RM)深蹲练习能显著提高

有抗阻训练经验大学生的 1RM 深蹲,VL0、VL10、VL20、VL40 所在组分别提高了 13.7%、18.1%、14.9% 和 12.3% (Pareja-Blanco et al., 2020)。以上研究结果说明,使用较高负荷比使用中等负荷更能有效提高 1RM。

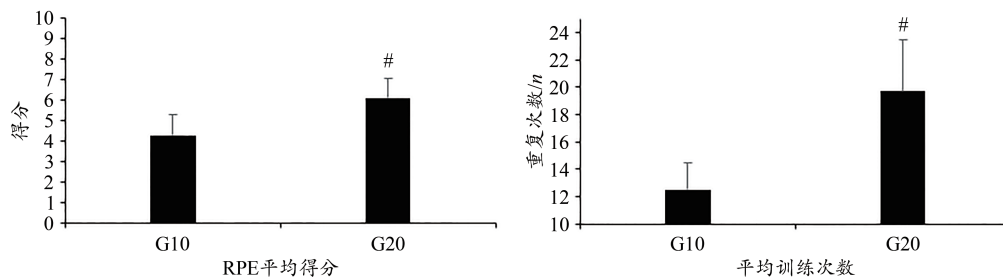


图5 速度丢失阈值对疲劳程度的影响

Figure 5. Effect of Velocity Loss Threshold on Fatigue Degree

在本研究中,VLG10的负荷量为每组重复12~13次,VLG20的负荷量为每组重复19~20次,VLG10的负荷量约为VL20G的2/3,两者皆与传统训练方式推荐的负荷量存在较大差异。已有研究发现,对不同训练水平的人群,使用VBT和PBT发展1RM的效果存在不一致,PBT对训练水平高的人群(优秀运动员、职业运动员)的效果优于VBT,而VBT对于有一定训练水平的人群(有抗阻训练经验的人、青少年运动员)的效果优于或等于PBT(Dorrell et al., 2020; Kilgallon et al., 2021; Orange et al., 2019)。传统训练方式下,教科书推荐发展1RM的训练量为每组重复1~6次或6~12次。前者主要从神经肌肉的层面提高运动单位的动员、肌肉内和肌肉间协调,后者主要从肌肉结构层面改善围度和纤维比例,进而提高1RM。以上研究结果说明,重复次数,即达到一定的疲劳程度,从而改善肌肉结构,是使用VBT发展1RM时需要考虑的重要因素。

### 3.2 对跳跃能力影响

跳跃能力是下肢爆发力在运动表现中展现的重要方式之一。从组内看,干预后VLG10和VLG20的受试者的SJ、CMJ和SCMJ成绩都有显著提升;从组间看,2组在干预后没有呈现出显著性差异,都表现为大的效应(0.96、0.83)。本研究中所使用的深蹲练习的动作形式属于离心-向心收缩工作,因此更好地提高与其动作结构相似的测试指标(CMJ和SCMJ)。CMJ是反映跳跃能力的最常用指标,与相对高VL(30%、40%、50%)相比,使用相对低VL(10%、15%、20%)的中到大强度负荷(50%~85% 1RM)的史密斯深蹲练习均能显著提高CMJ(Galiano et al., 2022; Pareja-Blanco et al., 2017b, 2017c, 2020; Rodríguez-Rosell et al., 2020, 2021)。本研究与已有研究的结果一致,说明中等强度负荷(50%~70% 1RM)和较高强度负荷(70%~85% 1RM)都适用于发展跳跃能力,较低VL比中高VL的效果更好。

在本研究中,中等强度负荷(≈50% 1RM)的深蹲练习

能显著提高受试者的1RM,VLG10和VLG20分别提高了11.8%和11.0%。有学者使用了与本研究相同的VL(10% vs 20%)的较大强度负荷(70%~85% 1RM)的史密斯深蹲练习,得出了相似的研究结果(Pareja-Blanco et al., 2020),但是CMJ提高的幅度(VL10:8.0%、VL20:5.4%)不及本研究,说明中等强度负荷提升跳跃能力的效果比使用大强度负荷更好。综上所述,使用中到低VL(≤20%)和中等强度负荷的深蹲练习能够显著提升跳跃能力,建议使用VL10的中等强度自由重量深蹲练习发展下肢爆发力。

### 3.3 对短距离冲刺跑能力的影响

短距离冲刺跑是评价VBT训练效果的常用测试,包括10、15、20和30 m, T30作为评价运动员下肢爆发力的指标已被广泛探讨(Orange et al., 2019; Pareja-Blanco et al., 2017b; Randell et al., 2011)。有研究显示(Banyard et al., 2020; Grazioli et al., 2020; Pareja-Blanco et al., 2020; Pérez-Castilla et al., 2018; Rodríguez-Rosell et al., 2021),中到低VL(10%~20%)和中到较高强度负荷(50%~85% 1RM)能有效提高短距离冲刺跑成绩,但干预前后没有显著差异;VL10提高短距离冲刺跑成绩的效果优于VL20,但两者之间没有显著差异;高VL(≥40%)会对短距离冲刺能力产生负面影响。Galiano等(2022)研究发现,使用LV5和VL20能够有效提高短距离冲刺跑成绩,且干预前后具有显著性差异。本研究结果与以上多数研究的结论一致。针对短跑的研究认为,短跑成绩的提高依靠“用力模式”的优化,即需要训练专项动作模式(郑雪峰等,2022)。一项研究检验了不同VL(10% vs 20%)的雪橇训练对职业足球运动员的效果,结果显示应用低的VL能够显著提升受试者的短距离冲刺跑成绩(Grazioli et al., 2020)。垂直方向的抗阻练习形式无法显著提高运动员的短距离冲刺能力,需要水平方向的练习形式和短跑专项动作模式训练将蹲起、蹲跳等垂直方向练习形式获得的爆发力转化为短距离冲刺跑能力(Orange et al., 2019; Randell et al.,

2011)。未来研究需要进一步探索下肢抗阻练习和短跑练习相结合高效发展短距离冲刺跑能力的VBT方案。

#### 3.4 对疲劳程度的影响

监控疲劳和量化训练负荷是科学化训练的重要组成部分(黎涌明等,2020)。已有研究显示,动作速度的下降与个体神经肌肉疲劳的高度相关(Muñoz-López et al., 2021; Weakley et al., 2019)。与传统抗阻训练方式相比,VBT可以通过VL控制每组的疲劳程度,避免过度疲劳或刺激不足给练习者带来的负面影响,并实现个体间刺激水平的一致性(梁美富等,2023; González-Badillo et al., 2022)。因此,疲劳程度是衡量不同VL训练效果的重要指标。干预后,VLG10每组平均重复次数比VLG20少(7.18±3.99)次( $P<0.01$ );VLG10的总次数比VLG20少9120次( $P<0.01$ ),VLG10的RPE量表得分显著低于VLG20( $P<0.01$ ),说明VLG10的疲劳程度低于VLG20。虽然VLG10的总次数仅为VLG20的59.6%,但干预后VLG10以更低的疲劳程度获得了与VLG20相似甚至更好的训练效果。这与已有的研究结果一致(Grazioli et al., 2020; Muñoz-López et al., 2021)。因此,以发展爆发力和快速力量为训练目标时,与中等VL(20%)相比,采用低VL( $\leq 10\%$ )控制训练次数可以使训练者在练习中保持相对更高的平均动作速度,并且有更充分的时间和精力去恢复和提高,从而有效提升训练的效率。

#### 4 结论与建议

使用不同速度丢失阈值(10% vs 20%)进行为期8周、每周3次的中等负荷自由重量深蹲练习均能显著提高大学生运动员的深蹲最大力量和跳跃能力,但无法显著提高短距离冲刺跑能力,VLG10的干预效果与VLG20无显著性差异且疲劳程度明显更低。建议体能教练员和科研人员使用速度丢失阈值为10%的中等强度负荷自由重量深蹲练习进行为期至少8周的训练,发展运动员下肢最大力量和跳跃能力,并且进一步探索结合短跑练习高效发展短距离冲刺跑能力的VBT方案。

#### 参考文献:

傅家辉,魏宏文,2021.基于速度的力量训练应用综述[C]//中国体育科学学会体能训练分会.第八届中国体能高峰论坛暨第二届中国体能训练年会书面交流论文集:211-217.

李卫,阙怡琳,石煜,等,2021.体能训练前沿理念与实践创新:第二届中国国际体能大会综述[J].北京体育大学学报,44(3):114-128.

黎涌明,韩甲,张青山,等,2020.我国运动训练学亟待科学化:青年体育学者共识[J].上海体育学院学报,44(2):39-52.

梁美富,王雄,赵可伟,等,2023.力量训练新动向:从生理把控、聚组变异到精细调控[J].成都体育学院学报,49(1):88-96.

廖开放,高崇,杨威,等,2021.基于速度的力量训练:应用基础与训练效果[J].上海体育学院学报,45(11):90-104.

王智慧,2020.深蹲中基于速度的力量训练对大学生篮球运动员下肢爆发力等运动能力的影响[D].武汉:武汉体育学院.

闫琪,廖婷,张雨佳,2018.数字化体能训练的理念、进展与实践[J].体育科学,38(11):3-16.

于洪军,王晓昕,2021.session-RPE训练负荷量化方法的发展及对运动训练的启示[J].体育科学,41(6):42-57.

袁守龙,2018.体能训练发展趋势和数字化智能化转型[J].体育学研究,1(2):77-85.

张雨佳,2019.优秀古典跤运动员基于速度的力量训练与部分运动能力指标监控[D].北京:北京体育大学.

张雨佳,闫琪,魏宏文,2018.基于速度的力量训练在古典跤项目中的应用[C]//2018年中国生理学会运动生理学专业委员会会议暨“科技创新与运动生理学”学术研讨会论文集:60-61.

郑雪峰,陈辉,苏炳添,等,2022.100 m短跑科学化训练进展与趋势:基于运动生物学和方法学的思考[J].体育科学,42(2):3-11.

ANDROULAKIS-KORAKAKIS P, FISHER J P, STEELE J, 2020. The minimum effective training dose required to increase 1RM strength in resistance-trained men: A systematic review and meta-analysis[J]. Sports Med, 50(4):751-765.

ALCAZAR J, CORNEJO-DAZA P J, SÁNCHEZ-VALDEPEÑAS J, et al., 2021. Dose-response relationship between velocity loss during resistance training and changes in the squat force-velocity relationship[J]. Int J Sports Physiol Perform, 16(12): 1736-1745.

BANYARD H G, TUFANO J J, WEAKLEY J J, et al., 2020. Superior changes in jump, sprint, and change-of-direction performance but not maximal strength following 6 weeks of velocity-based training compared with 1-repetition-maximum percentage-based training[J]. Int J Sports Physiol Perform, 16(2):232-242.

COHEN J, 1988. Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences[M]. United Kingdom: Routledge: 20-27.

CREWETHER B, CRONIN J, KEOGH J, 2006. Possible stimuli for strength and power adaptation[J]. Sports Med, 35(11): 967-989.

DAVIES T, ORR R, HALAKI M, et al., 2016. Erratum to: Effect of training leading to repetition failure on muscular strength: A systematic review and Meta-analysis[J]. Sports Med, 46(4):605-610.

DORRELL H F, SMITH M F, GEE T I, 2020. Comparison of velocity-based and traditional percentage-based loading methods on maximal strength and power adaptations[J]. J Strength Cond Res, 34(1):46-53.

FOSTER C, RODRIGUEZ-MARROYO J A, DE KONING J J, 2017. Monitoring training loads: The past, the present, and the future[J]. Int J Sports Physiol Perform, 12(Suppl 2): S22-S28.

GALIANO C, PAREJA-BLANCO F, HIDALGO D M J, et al., 2022. Low-velocity loss induces similar strength gains to moderate-velocity loss during resistance training[J]. J Strength Cond Res, 36(2): 340-345.

GARNACHO-CASTAÑO M V, LÓPEZ-LASTRA S, MATÉ-MUÑOZ J L, 2015. Reliability and validity assessment of a linear position transducer[J]. J Sport Sci Med, 14(1):128-136.

GONZÁLEZ-BADILLO J J, RODRÍGUEZ-ROSELL D, SÁNCHEZ-MEDINA L, et al., 2016. Short-term recovery following resistance exercise leading or not to failure[J]. Int J Sports Med, 37(4): 295-304.

GONZÁLEZ-BADILLO J J, GOROSTIAGA E M, ARELLANO R, et al., 2005. Moderate resistance training volume produces more favorable strength gains than high or low volumes during a short-term

- training cycle[J]. *J Strength Cond Res*, 19(3):689-697.
- GONZÁLEZ-BADILLO J J, SÁNCHEZ-MEDINA L, 2010. Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training[J]. *Int J Sports Med*, 31(5):347-352.
- GONZÁLEZ-BADILLO J J, MARQUES M, SÁNCHEZ-MEDINA L, 2011. The importance of movement velocity as a measure to control resistance training intensity[J]. *J Hum Kinet*, 29A:15-19.
- GONZÁLEZ-BADILLO J J, PAREJA-BLANCO F, RODRÍGUEZ-ROSELL D, et al., 2015. Effects of velocity-based resistance training on young soccer players of different ages[J]. *J Strength Cond Res*, 29(5):1329-1338.
- GONZÁLEZ-BADILLO J J, SÁNCHEZ-MEDINA L, RIBAS-SERENA J, et al., 2022. Toward a new paradigm in resistance training by means of velocity monitoring: A critical and challenging narrative[J]. *Sports Med Open*, doi: 10.1186/s40798-022-00513-z.
- GRAZIOLI R, LOTURCO I, LOPEZ P, et al., 2020. Effects of moderate-to-heavy sled training using different magnitudes of velocity loss in professional soccer players[J]. *J Strength Cond Res*, 37(3):629-635.
- HELD S, HECKSTEDEN A, MEYER T, et al., 2021. Improved strength and recovery after velocity-based training: A randomized controlled trial[J]. *Int J Sports Physiol Perform*, 16(8):1185-1193.
- HOPKINS W G, MARSHALL S W, BATTERHAM A M, et al., 2009. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 41(1): 3-13.
- IZQUIERDO M, IBÁÑEZ J, GONZÁLEZ-BADILLO J J, et al., 2006. Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal responses, strength, and muscle power gains[J]. *J Appl Physiol*, 100(5): 1647-1656.
- JOVANOVIĆ M, FLANAGAN E P, 2014. Researched applications of velocity based strength training[J]. *J Aust Strength Cond*, 22(2): 58-69.
- KILGALLON M J, JOHNSTON M J, KILDUFF L P, et al., 2021. A comparison of training with a velocity loss threshold or to repetition failure on upper-body strength development in professional Australian footballers[J]. *Int J Sports Physiol Perform*, 16(12): 1758-1763.
- KRAEMER W J, FLECK S J, 2007. *Optimizing Strength Training: Designing Nonlinear Periodization Workouts*[M]. Champaign: Human Kinetics: 36-38.
- MUÑOZ-LÓPEZ A, MARIN-GALINDO A, CORRAL-PEREZ J, et al., 2021. Effects of different velocity loss thresholds on passive contractile properties and muscle oxygenation in the squat exercise using free weights[J]. *J Strength Cond Res*, 36(11):3056-3064.
- ORANGE S T, METCALFE J W, ROBINSON A, et al., 2019. Effects of in-season velocity-versus percentage-based training in academy rugby league players[J]. *Int J Sports Physiol Perform*, 15(4): 554-561.
- ORTEGA J A F, DE LOS REYES Y G, PENA F R G, 2020. Effects of strength training based on velocity versus traditional training on muscle mass, neuromuscular activation, and indicators of maximal power and strength in girls soccer players[J]. *Apunts Sports Med*, 55(206):53-61.
- PAREJA-BLANCO F, RODRÍGUEZ-ROSELL D, SÁNCHEZ-MEDINA L, et al., 2017a. Acute and delayed response to resistance exercise leading or not leading to muscle failure[J]. *Clin Physiol Funct Imaging*, 37(6):630-639.
- PAREJA-BLANCO F, RODRÍGUEZ ROSELL D, SÁNCHEZ MEDINA L, et al., 2017b. Effects of velocity loss during resistance training on athletic performance, strength gains and muscle adaptations[J]. *Scand J Med Sci Sports*, 27(7):724-735.
- PAREJA-BLANCO F, SÁNCHEZ-MEDINA L, SUÁREZ-ARRONES L, et al., 2017c. Effects of velocity loss during resistance training on performance in professional soccer players[J]. *Int J Sports Physiol Perform*, 12(4):512-519.
- PAREJA-BLANCO F, ALCAZAR J, SÁNCHEZ-VALDEPEÑAS J, et al., 2020. Velocity loss as a critical variable determining the adaptations to strength training[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 52(8):1752-1762.
- PÉREZ-CASTILLA A, GARCÍA-RAMOS A, PADIAL P, et al., 2018. Effect of different velocity loss thresholds during a power-oriented resistance training program on the mechanical capacities of lower-body muscles[J]. *J Sports Sci*, 36(12):1331-1339.
- RANDELL A D, CRONIN J B, KEOGH J W, et al., 2011. Effect of instantaneous performance feedback during 6 weeks of velocity-based resistance training on sport-specific performance tests[J]. *J Strength Cond Res*, 25(1):87-93.
- RISSANEN J, WALKER S, PAREJA-BLANCO F, et al., 2022. Velocity-based resistance training: Do women need greater velocity loss to maximize adaptations?[J]. *Eur J Appl Physiol*, 122(5):1269-1280.
- RODRÍGUEZ-ROSELL D, YÁÑEZ-GARCÍA J M, MORA-CUSTODIO R, et al., 2020. Velocity-based resistance training: Impact of velocity loss in the set on neuromuscular performance and hormonal response[J]. *Appl Physiol Nutr Metab*, 45(8):817-828.
- RODRÍGUEZ-ROSELL D, YÁÑEZ GARCÍA J M, MORA CUSTODIO R, et al., 2021. Effect of velocity loss during squat training on neuromuscular performance[J]. *Scand J Med Sci Sports*, 31(8): 1621-1635.
- SAMPSON J A, GROELLER H, 2016. Is repetition failure critical for the development of muscle hypertrophy and strength?[J]. *Scand J Med Sci Sports*, 26(4):375-383.
- SÁNCHEZ-MEDINA L, GONZÁLEZ-BADILLO J J, 2011. Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 43(9):1725-1734.
- WEAKLEY J, WILSON K, TILL K, et al., 2019. Visual kinematic feedback enhances velocity, power, motivation and competitiveness in adolescent female athletes[J]. *J Aust Strength Cond*, 27(3):16-22.
- WEAKLEY J, MCLAREN S, RAMIREZ-LOPEZ C, et al., 2020. Application of velocity loss thresholds during free-weight resistance training: Responses and reproducibility of perceptual, metabolic, and neuromuscular outcomes[J]. *J Sports Sci*, 38(5):477-485.
- ZOURDOS M C, KLEMP A, DOLAN C, et al., 2016. Novel resistance training: Specific rating of perceived exertion scale measuring repetitions in reserve[J]. *J Strength Cond Res*, 30(1):267-275.

(收稿日期:2022-07-13; 修订日期:2023-04-23; 编辑:尹航)