

基于可变阻力训练的复合式训练对大学生篮球运动员 下肢运动表现的影响

石 林¹, 韩 冬¹, 郭 炜¹, 陈贞祥^{1,2}, 张宏杰¹, 张铭鑫¹, 马晓蔚³

(1.上海体育学院 竞技运动学院,上海 200438; 2.上海体育科学研究所 上海市反兴奋剂中心,上海 200030; 3.上海海洋大学 体育部,上海 201306)

【摘 要】目的:探讨4周可变阻力训练在复合式训练中对大学生篮球运动员深蹲最大力量和爆发性运动表现的干预效果。方法:招募23名身体健康的男性篮球专项大学生,随机分为实验组和对照组,训练干预4周,每周2次。训练内容包括深蹲、跳深、下蹲跳、立定跳远和20 m冲刺,深蹲强度为80%~85% 1RM。实验组和对照组的训练内容和负荷量均相同。实验组采用占总强度40%的弹力带负荷取代部分自由重量。比较4周训练前后身体成分、深蹲最大力量、下蹲跳、蹲跳、立定跳远、20 m冲刺的变化。结果:4周训练后,①实验组和对照组的体重、去脂体重以及体脂率均未出现显著性差异($P>0.05$);②深蹲相对力量存在组别和时间的交互效应(VRT vs CRT: +18.99% vs +14.38%, $P=0.019$, $\eta^2=0.247$),实验组和对照组的深蹲最大力量($P<0.001$,效应量(ES)=0.82-0.88)和相对力量($P<0.001$, ES=0.98-1.05)均出现了极其可能的中等程度提高;③蹲跳高度的组别和时间交互效应趋向显著(VRT vs CRT: +6.43% vs +0.58%, $P=0.052$, $\eta^2=0.177$),实验组的蹲跳高度相比对照组出现了非常可能的中等程度提高($P=0.013$, ES=1.16);下蹲跳高度仅实验组出现了可能的小程度提高($P=0.007$, ES=0.33);④实验组和对照组的立定跳远与20 m冲刺表现均未出现显著性差异($P>0.05$)。结论:与恒定阻力训练相比,4周可变阻力训练对深蹲相对力量表现的提升效果更明显,且运用复合式训练方式能更有效地提高蹲跳高度。

【关键词】可变阻力训练;弹力带;复合式训练;最大力量;爆发力

【中图分类号】G841;G808.1 **【文献标志码】**A **【文章编号】**2096-5656(2022)04-0098-10

DOI: 10.15877/j.cnki.nsic.20220719.001

篮球运动员在比赛中需要频繁地进行跳跃、冲刺和身体对抗,具备良好的力量和速度素质是篮球运动员高效发挥技战术水平的重要保障^[1]。抗阻训练是发展力量和速度素质的重要途径^[2]。近年来,可变阻力训练(Variable Resistance Training, VRT)作为一种新兴的抗阻训练方法受到国内外学者的广泛关注^[3-4]。在传统的恒定阻力训练(Constant Resistance Training, CRT)基础上结合弹力带或铁链以改变运动范围内(Range of Motion)的外部负荷是VRT的主要特征。研究表明,VRT较CRT能够显著地提高运动员向心阶段的速度^[5]和力量^[6],进而产生更大的功率输出^[7]。不仅如此,VRT产生更快的离心速度同样得到研究的证实^[8],更快的离心速

度可能通过提高牵拉缩短周期(Stretch Shortening Cycle)效率来提升向心阶段的力量表现。随着VRT的急性干预效益得到验证,训练干预研究^[9-11]进一步表明,4~7周的VRT干预能够较CRT更有效地提高最大力量表现。

然而,近期的Meta分析^[4]指出,VRT和CRT对最大力量表现的影响没有显著差异($P=0.88$)。一项干预长达24周的研究结果^[12]显示,VRT组与CRT组在不同速度下的等速伸膝峰值力矩、卧推1RM

收稿日期:2022-05-01

作者简介:石 林(1991—),男,河南平顶山人,博士,讲师,研究方向:体能训练。

通信作者:韩 冬(1965—),男,黑龙江双鸭山人,博士,教授,研究方向:运动训练。

(Repetition Maximum)以及深蹲1RM均无显著差异。研究^[13]认为,VRT的方法学是影响其训练效益的重要因素之一,如VRT的强度设计方式以及可变阻力的大小等。此外,训练周期是另一个不容忽视的因素。训练初期力量的增强更多地来自机体神经层面的适应,肌肉层面的适应(如肌肉横断面积增大等)则需要通过多周的训练得以实现^[14]。研究^[15]显示,在一次6RM的深蹲干预中,VRT对肌肉的激活水平较CRT更高,且在向心中后期的效果更明显。综上所述,由于VRT在向心阶段渐增的外部负荷更有利于提高中枢神经系统的兴奋性,猜测运动员更有可能在VRT干预初期产生较大的力量表现适应。相比之下,近期的Meta分析^[4]仅纳入了 ≥ 7 周的研究,两种训练方式对最大力量表现的干预效果无显著差异可能说明了运动员随干预周期的延长逐渐适应了VRT方式,进而降低了训练效益。因此,有必要进一步探究短周期VRT对最大力量表现的影响,从而为实践中合理安排训练周期提供证据支持。

VRT对爆发力表现的干预效果是否优于CRT同样存在争议。前人研究^[16-19]显示,VRT和CRT之间没有显著差异;此外,尽管部分研究证实了VRT组在4~6周训练后对最大力量表现的增益较CRT组更显著($P < 0.05$),但两组的爆发力表现没有显著差异^[9,11]。由此提示,单一的VRT干预可能不是发展爆发力的最佳方式。近年来,科研人员尝试将VRT作为干预手段探究其诱导的激活后增强效应(Postactivation Potentiation, PAP)。调查显示^[20-21],VRT能够在干预后30 s~12 min产生比CRT更大的PAP。在训练实践中,教练员通常将PAP理论运用在复合式训练中以实现爆发力表现的最大化。该训练方式已被证实比单一的高强度抗阻训练产生更大的爆发力适应^[22]。国内学者^[23]已证实了气阻训练(VRT的一种类型,器械产生的气体压力与肌肉克服阻力的能力相适应)在6周复合式训练后较CRT更显著地提高立定跳远(Standing Broad Jump, SBJ)表现和下蹲跳(Countermovement Jump, CMJ)峰值功率。有理由认为,将弹力带与杠铃深蹲结合的VRT在复合式训练中可能同样产生较CRT更好的爆发力适应,但目前尚缺乏相关研究结果支持。因此,本研究在总结VRT方法学基础上,采用占总负荷40%的可变阻力以及两种训练方式相对强度

相同的设计方式,探究短周期的VRT干预对最大力量表现的影响以及在复合式训练中对爆发性运动表现的干预效果。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

受试者为来自两个篮球专项班的23名男性大学生,均具有篮球二级以上运动等级,平均6年专业篮球训练经历,在本研究开始前半年均接受了系统的篮球训练(两个专项班的训练内容相似),但大部分受试者无系统的力量训练经历。所有受试者均身体健康,且近3个月内无下肢关节损伤、无心血管疾病。受试者均自愿参加本研究,在研究开始前均被告知训练可能带来的益处和潜在的风险,并签署了知情同意书,本研究已通过上海体育学院科学研究伦理委员会的批准。受试者基本信息如下(表1)。在实验阶段,任课教师实施相同的训练计划,没有增加额外的课外训练。除专项课外,受试者的其余训练活动安排相似。将干预前深蹲的1RM成绩由高到低进行排列,就近两两配对,然后通过抽签的方式随机选择其中一个为VRT组(12人),另一个为CRT组(11人)^[16],CRT组的1名受试者在实验开始1周后因个人原因退出。

表1 受试者基本信息
Tab.1 Basic information of the subjects

组别	人数	年龄 / 岁	身高 / cm	体重 / kg
VRT	12	20.75 ± 1.36	186.48 ± 7.88	78.03 ± 12.21
CRT	10	20.60 ± 1.51	187.10 ± 6.04	87.15 ± 11.74

1.2 研究方法

1.2.1 实验设计和训练方案

本研究共持续8周,正式干预4周,每周2次。训练干预前后1周对受试者的身体成分、深蹲最大力量、CMJ、蹲跳(Squat Jump, SJ)、SBJ以及20 m冲刺进行测试。正式干预前2周,受试者对深蹲技术、爆发力训练动作以及测试流程进行熟悉。前测周的周一进行身体成分和深蹲最大力量测试,周四进行CMJ、SJ、SBJ以及20 m冲刺测试,每种测试间歇10~15 min。深蹲最大力量测试后一天,VRT组的运动员基于深蹲最大力量成绩测量个人的弹力带负荷,并熟悉VRT。每次测试和训练课开始时都进行相同的热身方案,即5 min慢跑热身以及10 min下

肢动态拉伸。在测试和训练干预过程中要求运动员以最大努力完成动作,研究人员口头激励。在正式干预前,告知运动员两种训练方式都能有效提高肌肉力量,避免实验组出现“霍桑效应”。每次训练课持续1 h,包括动态拉伸、45 min训练干预以及课后5 min静态拉伸。训练干预采用复合式训练,即一组深蹲训练后进行一组爆发力训练。深蹲动作要求:受试者控制离心速度,下蹲至大腿与小腿呈90°,随即快速有力地完成向心阶段。研究人员在训练过程中对深蹲的动作质量进行监控。针对篮球专项特征,爆发力训练方式选择跳深、CMJ、SBJ以及20 m冲刺。VRT组和CRT组训练流程完全一致,不同

的是,VRT组的深蹲使用弹力带取代一部分自由重量。基于文献研究^[15]发现,较大的可变阻力对中枢的激活水平更高,本研究采用占总负荷40%的可变阻力(34% 1RM)。另外,对球类运动员力量训练研究的总结^[24-25]以及以最大力量为目标的周期训练负荷强度的建议^[26],深蹲训练前两周的负荷为80% 1RM(6次重复),后两周为85% 1RM(4次重复);爆发力训练前两周为4组(CMJ、跳深、SBJ、20 m冲刺各一组),后两周多增加一组跳深。深蹲训练后间歇3 min进行爆发力训练,每个复合组之间间歇4 min。训练干预结束后1周进行后测,测试流程与前测相同。具体训练方案如下(表2)。

表2 复合式训练方案

Tab.2 Complex training programs

时长/周	复合组	深蹲负荷(次×强度)	爆发力训练安排
第1~2周	4组	6×80% 1RM	5次下蹲跳、5次30 cm跳深、5次立定跳远、2次20 m冲刺
第3~4周	5组	4×85% 1RM	4次45 cm跳深、5次下蹲跳、4次45 cm跳深、5次立定跳远、2次20 m冲刺

1.2.2 弹力带的设置和测量方法

使用RISING公司蓝、黄、红等3种颜色的弹力带,不同颜色弹力带长度均为208 cm,张力不同。弹力带两端分别固定在地面哑铃以及杠铃杆两侧(图1)。本研究中弹力带负荷在深蹲直立位置为34% 1RM,为确保两组深蹲的相对强度相同,VRT组的自由重量部分减掉17% 1RM,该方法同以往研究^[20-21]。弹力带的测量方法:受试者负重空杠铃

杆站立在Kistler测力台上(采样频率1 000 Hz,瑞士产),记录深蹲最高和最低位置的力值,通过改变弹力带颜色和数量获得目标负荷。由于招募的受试者身高较高,8名受试者在深蹲底部的弹力带未完全松弛。VRT组的深蹲最低和最高位置实际测量的弹力带负荷为2%~33% 1RM。

1.2.3 身体成分测量

使用韩国Jawon身体成分测试仪对受试者体重、去脂体重、体脂百分比等身体成分指标进行测量。要求受试者在测量前2 h禁止饮食。

1.2.4 深蹲最大力量测试

考虑到大部分受试者在本研究前没有系统的力量训练经历,为保证测试的安全性,采用3RM测试方法。在正式测试前,根据受试者的体重和训练经历预估1RM。在一般热身后,受试者在自由重量训练器上以50%、70%、80%的预估1RM分别进行7—10、5—7、3—5次的3组热身,组间歇2 min。随后进行3~4次3RM的最大力量测试,组间歇4 min。若最后一组测试仅成功蹲起一次,则记为1RM成绩。测试中要求受试者下蹲至膝关节约90°。根据美国国家体能协会指南^[27],用3RM成绩推算1RM。

1.2.5 垂直跳测试

在SMARTJUMP测力垫上进行CMJ和SJ测试,跳跃高度基于腾空时间计算。受试者先进行2

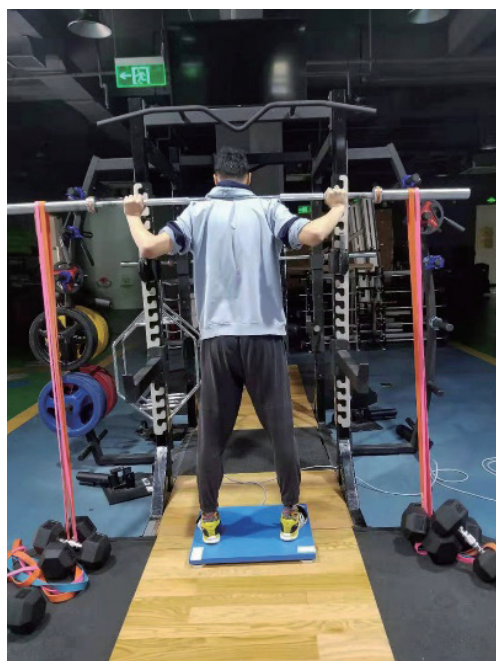


图1 弹力带设置方法

Fig.1 The set-up method of elastic bands

次最大强度的跳跃热身,然后进行3次全力测试,间歇2 min,将最好的一次跳跃成绩作为数据进行分析。CMJ动作要求:受试者在测力垫上双手叉腰保持直立姿势站立,双脚开立与肩同宽,快速下蹲紧接着全力起跳,空中保持双腿伸直。SJ动作要求:受试者双手叉腰且膝关节屈膝90°,保持2 s,尽全力起跳(无肉眼可见的下蹲动作),空中保持双腿伸直。CMJ和SJ测试的组内相关系数(Intraclass Correlation Coefficient, ICC)分别为0.957和0.909,变异系数(Coefficient of Variation, CV)分别为2.6%和3.9%,最小有意义变化值分别为2.09 cm和1.48 cm。

1.2.6 立定跳远测试

在室内塑胶跑道进行SBJ测试,使用卷尺测量。受试者先进行1次试跳,然后进行3次全力测试,间歇2 min,脚后跟位置为成绩,将最好的一次跳跃成绩作为数据进行分析。SBJ测试的ICC为0.918,CV为1.7%,最小有意义变化值为6.18 cm。

1.2.7 20 m冲刺测试

在室内塑胶跑道进行20 m冲刺测试,使用SMARTSPEED计时门,在起点、10 m、20 m处分别放置3对计时门,放置高度在0.75 m。受试者先进行1次试跑,然后进行2次全力冲刺,间歇2 min,将最好的一次成绩作为数据进行分析。10 m和20 m测试的ICC分别为0.763和0.773,CV分别为2.2%和1.5%,最小有意义变化值分别为0.03 s和0.05 s。

1.3 统计分析

在SPSS 25.0软件上对数据进行统计学处理,结果均以“平均数±标准差”表示,对测量数据进行正态分布和方差齐性检验。采用变异系数(CV)和组内相关系数(ICC)分析前测中运动表现的重测信度。采用单因素方差分析(ANOVA)比较各指标前测的组间差异,对存在差异的指标采用协方差分析,以基线值作为协变量判断后测的组间差异。采用两因素(组别×时间)重复测量ANOVA检验组别和时间的交互效应和主效应,使用 η^2 计算方差分析的效应量(Effect Size, ES)。当出现显著效应时,采用Bonferroni校正检验分析组间和组内的差异,用95%的置信区间(Confidence Interval, CI)表示差值的范围,并用Cohen d 计算效应量。计算公式^[28]分别为:

$$ES_{\text{组间}} = \frac{M_{\text{干预组}} - M_{\text{对照组}}}{\sqrt{\frac{(N_{\text{对照组}} - 1)SD^2 + (N_{\text{干预组}} - 1)SD^2}{N_{\text{对照组}} + N_{\text{干预组}} - 2}}}$$

$$ES_{\text{组内}} = \frac{M_{\text{后测}} - M_{\text{前测}}}{\sqrt{\frac{SD_{\text{后测}}^2 + SD_{\text{前测}}^2}{2}}}$$

M表示平均数,SD表示标准差,N表示样本量。根据Rhea^[29]提出的力量训练研究的干预效果大小,采用<0.35,0.35~0.8,0.8~1.5,>1.5作为极小、小、中等、大效应量的临界值。显著性水平 α 取0.05。另外,运用数据级数推断法(Magnitude-based Inferences)对前后测结果进行统计学推断,通过概率的计算以确定前后测的差异大小是否小于或大于最小有意义变化(0.35乘以基线标准差),当ES值的95%置信区间同时包含-0.35和0.35时,效果被认定为不明确,可能性大小的标准衡量如下^[30]:25%~75%,可能;75%~95%,很可能;95%~99.5%,非常可能;>99.5%,极其可能。

2 研究结果

身体成分和运动表现的具体结果见表3,运动表现的数据级数推断结果见表3和图2。前测两组除体脂率有显著差异外($P=0.037$),其余指标均没有显著差异($P>0.05$)。

2.1 干预前后身体成分变化

体重和去脂体重均未出现组别与时间的交互效应($F=0.335, P=0.569, \eta^2=0.016$; $F=0.051, P=0.824, \eta^2=0.003$)以及组别的主效应($F=3.185, P=0.09, \eta^2=0.137$; $F=0.538, P=0.472, \eta^2=0.026$);体重的时间主效应有显著差异($F=4.951, P=0.038, \eta^2=0.198$),去脂体重的时间主效应的差异性趋向显著($F=3.926, P=0.061, \eta^2=0.164$)。事后检验结果显示,VRT组:-0.53 kg [-1.44, 0.38], $P=0.236$, ES=-0.05和CRT组:-0.91 kg [-1.91, 0.09], $P=0.072$, ES=-0.08的体重与前测相比均没有显著差异。

对体脂率采用协方差分析,结果显示:两组干预后的体脂率无显著性差异($F=0.554, P=0.466, \eta^2=0.028$)。

表3 4周干预后身体成分、最大肌力和爆发力各指标变化

Tab.3 The changes of body composition, maximum muscular strength, and power parameters after 4 weeks intervention

指标	VRT 组 (n=12)				CRT 组 (n=10)			
	前测	后测	变化率	推断概率 (有害 / 最小 / 有益)	前测	后测	变化率	推断概率 (有害 / 最小 / 有益)
体重/kg	78.03 ± 12.21	77.49 ± 11.85	-0.69%	—	87.15 ± 11.74	86.24 ± 10.9	-1.04%	—
去脂体重/kg	66.88 ± 9.24	67.59 ± 9.44	+1.06%	—	69.54 ± 6.69	70.11 ± 6.87	+0.82%	—
体脂率/%	13.93 ± 5.02 [#]	12.5 ± 4.45	-10.27%	—	19.59 ± 6.84	18.21 ± .76	-7.04%	—
深蹲 1RM/kg	122.5 ± 26.48	143.67 ± 25.17**	+17.28%	0/0/100%&&&&	126.6 ± 19.00	142.5 ± 16.93**	+12.56%	0/0.1/99.9%&&&&
深蹲 1RM 相对力量	1.58 ± 0.29	1.88 ± 0.32**	+18.99%	0/0/100%&&&&	1.46 ± 0.19	1.67 ± 0.21**	+14.38%	0/0/100%&&&&
下蹲跳/cm	49.43 ± 6.25	51.68 ± 7.21*	+4.55%	0/46.6/53.4%&	45.58 ± 5.18	46.81 ± 5.03	+2.7%	0.1/76.5/23.4%&&
蹲跳/cm	42.31 ± 4.31	45.03 ± 4.82* §	+6.43%	0/6/94%&&	39.56 ± 3.77	39.79 ± 4.04	+0.58%	5.2/83.1/11.7%&&&&
立定跳/cm	269.17 ± 15.90	271.83 ± 17.59	+0.99%	0/93.2/6.7%&&	257.2 ± 18.19	259.80 ± 17.68	+1.01%	0.4/89.8/9.8%&&&
20 m 冲刺/s	3 ± 0.13	3.06 ± 0.13	+2%	60.5/39.5/0%&	3.11 ± 0.13	3.13 ± 0.16	+0.64%	28.2/65.8/6.1%&&&&
10 m 冲刺/s	1.73 ± 0.08	1.75 ± 0.10	+1.16%	33.8/63.5/2.7%&	1.79 ± 0.08	1.79 ± 0.10	0%	无差异

注：数据为平均数 ± 标准差；[#]表示与CRT组的前测相比有显著性差异($P < 0.05$)；*表示与前测相比有显著性差异($P < 0.05$)；**表示与前测相比有非常显著性差异($P < 0.01$)；§表示与CRT组的后测相比有显著差异($P < 0.05$)；&表示可能；&&表示很可能；&&&表示非常可能；&&&&表示极其可能；&&&&&表示不明确

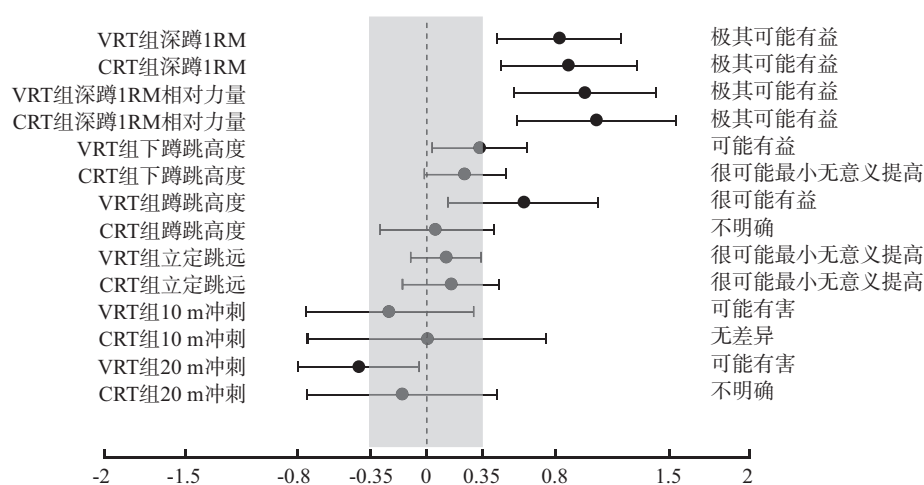


图2 干预前后运动表现差异性的推断

Fig.2 Inferences of difference in athletic performance in comparison to pre-intervention

注：灰色区域为最小有意义变化的阈值，黑点代表前后测差异的效应量，误差线代表95%置信区间

2.2 干预前后深蹲 1RM 变化

深蹲 1RM 表现未出现组别与时间的交互效应 ($F=3.436, P=0.079, \eta^2=0.147$) 以及组别的主效应 ($F=0.023, P=0.88, \eta^2=0.001$), 时间主效应则有显著差异 ($F=170.213, P<0.001, \eta^2=0.895$)。事后检验结果显示, VRT 组: 21.17 kg [17.17, 25.16], $P<0.001$, ES=0.82 和 CRT 组: 15.9 kg [11.52, 20.28], $P<0.001$, ES=0.88 的深蹲 1RM 表现与前测相比出

现了极其可能的中等程度提高(图2)。

深蹲 1RM 相对力量存在组别与时间的交互效应 ($F=6.573, P=0.019, \eta^2=0.247$) 以及时间的主效应 ($F=212.478, P<0.001, \eta^2=0.941$), 组别主效应无显著差异 ($F=2.291, P=0.146, \eta^2=0.103$)。事后检验结果显示, VRT 组: 0.29 [0.25, 0.34], $P<0.001$, ES=0.98 和 CRT 组: 0.21 [0.15, 0.26], $P<0.001$, ES=1.05 的深蹲 1RM 相对力量与前测相比均出现

了极其可能的中等程度提高(图2)。

2.3 干预前后垂直跳高度变化

CMJ高度未出现组别与时间的交互效应($F=0.863, P=0.364, \eta^2=0.041$)和组别的主效应($F=2.956, P=0.101, \eta^2=0.129$),时间主效应则有显著差异($F=9.813, P=0.005, \eta^2=0.329$)。事后检验结果显示,与前测相比,VRT组的CMJ高度可能出现小程度提高:2.25 cm[0.69, 3.81], $P=0.007$, $ES=0.33$,而CRT组的CMJ高度则很可能出现最小无意义提高:1.22 cm[-0.49, 2.93], $P=0.151$, $ES=0.24$ (图2)。

SJ高度的组别与时间交互效应趋向显著($F=4.288, P=0.052, \eta^2=0.177$)。组别($F=5.307, P=0.032, \eta^2=0.21$)和时间($F=6.057, P=0.023, \eta^2=0.232$)的主效应有显著差异。事后检验结果显示,与前测相比,VRT组的SJ高度很可能出现小程度提高:2.72 cm[1.03, 4.4], $P=0.003$, $ES=0.6$,而CRT组的SJ表现的训练效应不明确:0.23cm[-1.61, 2.08], $P=0.794$, $ES=0.06$ (图2)。4周干预后,VRT组的SJ高度较CRT组出现非常可能的中等程度提高:5.24 cm[1.23, 9.25], $P=0.013$, $ES=1.16$ 。

2.4 干预前后立定跳远表现变化

SBJ表现未出现组别与时间的交互效应($F < 0.001, P=0.983, \eta^2 < 0.001$)以及组别($F=2.748, P=0.113, \eta^2=0.121$)和时间($F=2.804, P=0.11, \eta^2=0.123$)的主效应。另外,VRT组和CRT组的SBJ表现均出现很可能最小无意义的提高(ES 分别为0.12和0.15)(图2)。

2.5 干预前后20 m冲刺表现变化

10 m和20 m冲刺表现均未出现组别与时间的交互效应($F=0.249, P=0.623, \eta^2=0.012$; $F=0.475, P=0.499, \eta^2=0.023$)以及组别($F=1.825, P=0.192, \eta^2=0.084$; $F=2.648, P=0.119, \eta^2=0.117$)和时间($F=0.249, P=0.623, \eta^2=0.012$; $F=2.985, P=0.099, \eta^2=0.13$)的主效应。另外,VRT组的10 m和20 m冲刺表现分别出现可能极小和小程度下降(ES 分别为-0.23和-0.42),而CRT组的20 m冲刺表现的训练效应不明确,10 m冲刺表现则无差异(图2)。

3 讨论

本研究发现,与CRT组相比,VRT组的深蹲

1RM相对力量提高幅度更大(VRT: +18.99% vs CRT: +14.38%),且运用在复合式训练中能更显著地提高蹲跳高度($P=0.013$; $ES=1.16$);其次,VRT组的深蹲1RM和CMJ高度的提高幅度均高于CRT组,但未出现显著性差异;两组的身体成分、SBJ以及20 m冲刺均无显著变化。

3.1 可变阻力训练对最大力量表现的影响

一项关于VRT和CRT对最大力量表现影响的Meta分析^[4]显示,两种训练方式在不低于7周的训练后没有出现显著性差异($P=0.88$)。由于纳入Meta分析的部分研究中没有具体报告VRT的设计策略且缺乏相关负荷强度数据,尚不清楚该结果是否由于研究中采用不适宜的VRT设计策略导致。通过对急性干预研究的总结,发现VRT采用相对强度相同的设计方式能够较CRT产生更大的峰值力量^[7]和肌电活动^[15],猜测该设计方式可能更有利于肌肉力量的提升。在本研究中,VRT组深蹲在向心末期的负荷为97%~102% 1RM,高于CRT组的80%~85% 1RM,结果证实,经过4周训练,VRT组的深蹲1RM绝对力量和相对力量提高幅度均高于CRT组,且相对力量指标出现组别和时间的交互效应($P=0.019$)。在采用相似干预方案的研究中,Ataee等^[11]对有一定抗阻训练经历的大学生进行为期4周,每周3次的训练,CRT组的深蹲强度为85% 1RM,VRT组的深蹲强度在运动范围内为85%~100% 1RM,结果发现,VRT显著地提高了深蹲最大力量表现(组间 $P=0.04$)。Joy等^[31]对有至少1年抗阻训练经历的NCAA篮球运动员进行为期5周的干预,且仅在每周4次训练的1次课中运用VRT,VRT组在向心末期的强度较CRT组高15%1RM,结果显示,结合VRT的深蹲和卧推1RM表现较CRT显著提高,而未结合VRT的硬拉1RM则未出现显著变化。此外,国内学者^[23,32]探究了气阻训练与CRT的差异,结果同样发现,4~6周干预后气阻训练能更有效地提高最大力量表现。综上所述并结合本研究结果认为,4~6周或5~12次的VRT干预即能够较CRT产生更明显的最大力量增益,与此同时,应采用向心中后期更大负荷的设计策略,这种方式能更有效地提高机体的中枢激活水平^[15]。中枢兴奋性的提高能够增加参与兴奋的运动神经元数量以及神经元发放的动作电位频率,

最终通过募集更多的运动单位以增强肌肉的收缩力量。因此,机体神经层面更大的改善可能导致了VRT组更明显地提升深蹲1RM相对力量表现,这一结果与训练初期力量表现的增强更多地源于神经层面适应的训练规律相符^[14]。

近年来,科研人员对VRT改善力量表现的作用机制进行了研究。普遍认为,VRT优于CRT的主要原因在于向心阶段的渐增负荷能够适应肌肉在不同关节角度的发力能力,进而可以最大化力量表现^[13]。通常,肌肉收缩通过骨的杠杆作用产生力量,力量表现主要受生物力学和生理学等方面的影响,基于此,Kulig^[33]将肌肉力量与关节角度的关系归纳为3种“力量曲线”模型(图3)。基于“长度—张力”关系,大部分单关节运动属于“钟形力线”;在多关节运动中,由于作用于不同关节的肌群具有各自的“力量曲线”,因而较难准确定义多肌肉群共同参与收缩时的曲线类型^[33]。尽管如此,仍然可以容易地确定深蹲是具备“上升力线”的特征。生物力学上,深蹲屈曲至最低位置时,外部负荷在髋和膝关节处的力臂最大,此时各关节需要产生较大的内力矩以对抗最大的外力矩,而骨骼肌在这一位置的杠杆效率最低,肌肉的发力难度最大,这也被称为“粘滞点”现象^[34]。随着下肢关节的伸展,髋和膝关节处的外力矩逐渐减小(在完全伸展时外力矩接近于0)以及肌肉达到最佳收缩长度,肌肉的发力能力逐渐增大,且在关节完全伸展时能够承受最大的外部负荷。因此,在设计VRT时,根据运动员的力量水平调整可变阻力大小(弹力带的数量或尺寸)并使用相适宜的自由重量强度,这能够一定程度上弥补CRT对肌肉刺激的不足。

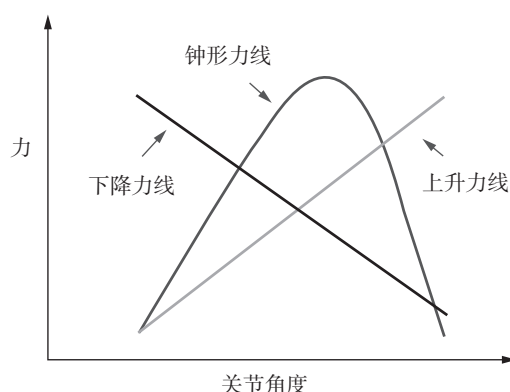


图3 3种“力量曲线”模型^[33]

Fig.3 Three strength curves model^[33]

3.2 可变阻力训练在复合式训练中对爆发性运动表现的影响

跳跃高度是影响篮球运动员在进攻(投篮)和防守(篮板、封盖)端竞技表现发挥的一个重要因素^[35]。本研究结果显示,经过4周的复合式训练,VRT能够小程度地提高SJ和CMJ高度,且SJ高度较CRT有中等程度地显著提高;而CRT组仅CMJ高度出现了最小无意义提高。因此,将VRT运用在复合式训练中能够较传统的复合式训练更高效地提高篮球运动员的SJ高度。篮球运动员的大部分下肢爆发性运动通常都采用在半蹲姿态下直接蹬伸,如封盖、接球后快速突破、篮板球的快速起跳等,更习惯于在屈曲状态下的快速发力可能是受试者在SJ测试中有更好表现的主要原因。目前,鲜见VRT运用在复合式训练的纵向干预效果报道,但采用与本研究相同设计方式的研究均证实了VRT能够较CRT更有效地诱导跳跃表现的PAP^[20-21],且采用较大可变阻力诱导的PAP效果更佳^[21]。由此可见,本研究中实验组的SJ高度出现显著性提高的原因很大程度上与VRT诱导更大的PAP有关。研究^[36]指出,肌球蛋白调节轻链磷酸化的加强以及高阈值运动单位募集能力的提高是PAP的主要机制。本研究中VRT组的深蹲在向心末期的负荷较CRT组高17% 1RM,且在后两周干预中的负荷达到102% 1RM。更大的负荷刺激能够促使肌质网释放更多的Ca²⁺,经过一系列分子结构的变化加快肌球蛋白调节轻链的磷酸化;另外,根据肌纤维募集原理,高强度负荷能够募集更多兴奋阈值较高的快肌纤维参与收缩,这在Anderson等^[15]研究中得到了证实。因此,以上二者的共同作用最终导致了SJ表现的增强。另外,受深蹲向心初期“粘滞点”的影响,肌肉发力能力的受限可能会导致神经元间的动作电位传递减弱,从而降低高阈值运动单位的募集效率。而VRT组在深蹲向心初期更低的负荷能够减轻“粘滞点”的影响,通过产生与肌肉发力能力相适应的可变阻力能够使运动员产生更快的蹬伸速度,速度的提高能进一步募集更多的高阈值运动单位。

SBJ和20 m冲刺测试常被用来检验篮球运动员水平方向的爆发力能力^[35],本研究并未发现两种训练方式的显著差异。分析认为,深蹲与SBJ和冲刺在动作发力特征上的差异可能导致了深蹲诱导

的PAP不能对后续的爆发性运动表现产生积极影响^[36]。此外,本研究将SBJ和20 m冲刺训练以固定的顺序安排在最后两个复合组,猜测多组训练后机体由于积累较多的疲劳而掩盖了后两组诱导的PAP效应。

4 结论与训练建议

4.1 结论

4周可变阻力训练对男性大学生篮球运动员深蹲1RM相对力量的提高幅度较恒定阻力训练更明显,且基于可变阻力训练的复合式训练对蹲跳高度的影响效果显著优于传统的复合式训练,但立定跳远和20 m冲刺表现没有发生显著变化。

4.2 训练建议

在发展最大力量训练中,教练员可将可变阻力训练作为优化机体神经肌肉表现的方法嵌入到训练计划的小周期中,以突破当前力量表现的“瓶颈”。建议安排至少4周,每周2次的训练,设计策略应以恒定阻力训练的强度为标准,将部分自由重量替代可变阻力,采用相对较大的可变阻力,尤其在向心中后期。在发展爆发力训练中,教练员可将可变阻力训练作为诱导练习运用在复合式训练中,并根据爆发性运动表现的动作特征选择生物力学相似的诱导方式。

参考文献:

- [1] ZIV G, LIDOR R. Physical attributes, physiological characteristics, on-court performances and nutritional strategies of female and male basketball players[J]. *Sports Medicine*, 2009, 39(7): 547-568.
- [2] SUCHOMEL T J, NIMPHIUS S, BELLON C R, et al. The importance of muscular strength: Training considerations[J]. *Sports Medicine*, 2018, 48(4): 765-785.
- [3] 林奕贯, 叶卫兵. 可变阻力训练对爆发力影响的系统综述[J]. *中国体育科技*, 2021, 57(4): 56-63.
- [4] NILO DOS SANTOS W D, GENTIL P, LIMA DE ARAÚJO RIBEIRO A, et al. Effects of Variable Resistance Training on Maximal Strength: A Meta-analysis[J]. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 2018, 32(11): e52-e55.
- [5] GALPIN A J, MALYSZEK K K, DAVIS K A, et al. Acute effects of elastic bands on kinetic characteristics during the deadlift at moderate and heavy loads[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2015, 29(12): 3271-3278.
- [6] KUBO T, HIRAYAMA K, NAKAMURA N, et al. Effect of accommodating elastic bands on mechanical power output during back squats[J]. *Sports (Basel)*, 2018, 6(4): 151.
- [7] WALLACE B J, WINCHESTER J B, MCGUIGAN M R. Effects of elastic bands on force and power characteristics during the back squat exercise[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2006, 20(2): 268-272.
- [8] BAKER D G, NEWTON R U. Effect of kinetically altering a repetition via the use of chain resistance on velocity during the bench press[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2009, 23(7): 1941-1946.
- [9] KATUSHABE E T, KRAMER M. Effects of combined power band resistance training on sprint speed, agility, vertical jump height, and strength in collegiate soccer players[J]. *International Journal of Exercise Science*, 2020, 13(4): 950-963.
- [10] ANDERSON C E, SFORZO G A, SIGG J A. The effects of combining elastic and free weight resistance on strength and power in athletes[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2008, 22(2): 567-574.
- [11] ATAEE J, KOOZEHCHIAN M S, KREIDER R B, et al. Effectiveness of accommodation and constant resistance training on maximal strength and power in trained athletes[J]. *PeerJ*, 2014, 2(1): e441.
- [12] SHOEPE T C, RAMIREZ D A, ROVETTI R J, et al. The effects of 24 weeks of resistance training with simultaneous elastic and free weight loading on muscular performance of novice lifters[J]. *Journal of Human Kinetics*, 2011, 29, 93-106.
- [13] WALLACE B J, BERGSTROM H C, BUTTERFIELD T A. Muscular bases and mechanisms of variable resistance training efficacy[J]. *International Journal of Sports Science and Coaching*, 2018, 13(6): 1177-1188.
- [14] FOLLAND J P, WILLIAMS A G. The adaptations to strength training: Morphological and neurological contributions to increased strength[J]. *Sports Medicine*, 2007, 37(2): 145-168.
- [15] ANDERSEN V, FIMLAND M S, KOLNES M K, et al. Electromyographic comparison of squats using constant or variable resistance[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2016, 30(12): 3456-3463.
- [16] LOTURCO I, PEREIRA L A, REIS V P, et al. Traditional Free-Weight Vs. Variable Resistance Training Applied to Elite Young Soccer Players During a Short Preseason: Effects on Strength, Speed, and Power Performance[J]. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 2021, publish ahead of print.
- [17] ANDERSEN V, FIMLAND M S, KOLNES M K, et al. Elastic bands in combination with free weights in strength training: neuromuscular effects[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2015, 29(10): 2932-2940.
- [18] RIVIÈRE M, LOUIT L, STROKOSCH A, et al. Variable resistance training promotes greater strength and power adaptations than traditional resistance training in elite

- youth rugby league players[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2017, 31(4): 947-955.
- [19] RHEA M R, KENN J G, DERMODY B M. Alterations in speed of squat movement and the use of accommodated resistance among college athletes training for power[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2009, 23(9): 2645-2650.
- [20] MINA M A, BLAZEVIČ A J, TSATALAS T, et al. Variable, but not free-weight, resistance back squat exercise potentiates jump performance following a comprehensive task-specific warm-up[J]. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 2019, 29(3): 380-392.
- [21] KRČMÁR M, KRČMÁROVÁ B, BAKALÁR I, et al. Acute performance enhancement following squats combined with elastic bands on short sprint and vertical jump height in female athletes[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2021, 35(2): 318-324.
- [22] LIM J J H, BARLEY C I. Complex training for power development: Practical applications for program design[J]. *Strength and Conditioning Journal*, 2016, 38(6): 33-43.
- [23] 龙灯有. 气阻和传统杠铃复合式训练对下肢爆发力效果的对比研究[D]. 北京: 北京体育大学, 2019.
- [24] HAMMAMI M, GAAMOURI N, SHEPHARD R J, et al. Effects of contrast strength vs. plyometric training on lower-limb explosive performance, ability to change direction and neuromuscular adaptation in soccer players[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2019, 33(8): 2094-2103.
- [25] FREITAS T T, CALLEJA-GONZÁLEZ J, CARLOS-VIVAS J, et al. Short-term optimal load training vs a modified complex training in semi-professional basketball players[J]. *Journal of Sports Sciences*, 2019, 37(4): 434-442.
- [26] 邦帕. 周期训练理论与方法[M]. 曹晓东, 黎涌明, 杨东汉, 等, 译. 6 版. 北京: 人民邮电出版社, 2019.
- [27] HAFF G G, TRIPLETT N T. *Essentials of Strength Training and Conditioning* [M]. Champaign, IL: Human kinetics, 2016.
- [28] CUMMING G. *Understanding the New Statistics: Effect Sizes, Confidence Intervals, and Meta-Analysis* [M]. New York: Routledge, 2012: 286-292.
- [29] RHEA M R. Determining the magnitude of treatment effects in strength training research through the use of the effect size[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2004, 18(4): 918-920.
- [30] HOPKINS W G, MARSHALL S W, BATTERHAM A M, et al. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science[J]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2009, 41(1): 3-13.
- [31] JOY J M, LOWERY R P, DE SOUZA E O, et al. Elastic bands as a component of periodized resistance training[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2016, 30(8): 2100-2106.
- [32] 贾清秀, 卞金佳. KEISER 气阻训练对羽毛球专项大学生下肢爆发力的影响[C]//第十二届全国体育科学大会论文摘要汇编. [出版者不详], 2022: 573-575.
- [33] KULIG K, ANDREWS J G, HAY J G. Human strength curves[J]. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 1984, 12(1): 417-466.
- [34] KOMPFF J, ARANDJELOVIĆ O. The sticking point in the bench press, the squat, and the deadlift: similarities and differences, and their significance for research and practice[J]. *Sports Medicine*, 2017, 47(4): 631-640.
- [35] WEN N, DALBO V J, BURGOS B, et al. Power testing in basketball: Current practice and future recommendations[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2018, 32(9): 2677-2691.
- [36] TILLIN N A, BISHOP D. Factors modulating post-activation potentiation and its effect on performance of subsequent explosive activities[J]. *Sports Medicine*, 2009, 39(2): 147-166.

作者贡献声明:

石林: 设计实验方案, 招募运动员, 测试并记录数据, 撰写论文; 韩冬: 提出论文选题, 审核、指导论文; 郭炜: 调研文献, 统计数据; 陈贞祥: 核实数据, 校对文字; 张宏杰、张铭鑫、马晓蔚: 招募运动员, 测试并记录数据。

Effects of Variable Resistance Training within Complex Training on Lower Extremity Athletic Performance in Collegiate Basketball Players

SHI Lin¹, HAN Dong¹, GUO Wei¹, CHEN Zhenxiang^{1,2}, ZHANG Hongjie¹, ZHANG Mingxin¹, MA Xiaowei³

(1. School of Elite Sport, Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China; 2. Shanghai Research Institute of Sports Science (Shanghai Anti-Doping Agency), Shanghai 200030, China; 3. Department of Sport, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Objective: To explore the effect of 4 weeks variable resistance training within complex training on back squat

maximum strength and powerful athletic performance in college basketball players. Methods: 23 healthy male collegiate basketball players were recruited and randomly divided into the control group and experimental group. The participants completed a twice weekly training program over a 4-week period. The training programs were the same between two groups, including back squats, drop jumps, countermovement jumps, standing broad jumps and 20 meters sprinting. The intensity of back squat was 80-85% 1RM. The experimental group included elastic band of 40% of the total load to replace the free-weight. Before and after 4 weeks training, back squat maximum strength, countermovement jump, squat jump, standing broad jump and 20 meters sprinting were compared. Results: After 4 weeks training, 1) The body mass, the amount of muscle, and body fat were not significantly different within-and between-groups ($P > 0.05$); 2) A significant group $\times$ time interaction effect was observed for back squat relative strength (VRT vs CRT: 18.99% vs 14.38%, $P=0.019$, $\eta^2=0.247$), and the back squat maximum strength ($P < 0.001$, $ES=0.82-0.88$) and relative strength ($P < 0.001$, $ES=0.98-1.05$) showed most likely moderate magnitude improvements within groups; 3) The group $\times$ time interaction effect for squat jump height tended to be significant (VRT vs CRT: +6.43% vs +0.58%, $P=0.052$, $\eta^2=0.177$). The experimental group showed a very likely moderate magnitude improvement ($P=0.013$, $ES=1.16$) for the squat jump height compared with the control group; the countermovement jump height ($P=0.007$, $ES=0.33$) was shown possibly small magnitude improvement in experimental group; 4) The standing broad jump and 20 meters sprinting performance were shown not significantly different within-and between-groups ($P > 0.05$). Conclusions: Compared with constant resistance training, variable resistance training greatly improved the back squat relative strength after 4 weeks intervention, and utilizing complex training was an optimal method to significantly improve squat jump height.

Key words: variable resistance training; elastic band; complex training; maximum strength; power

(上接第19页)

The Value, Dilemma and Path of Integrating Olympic Education into School Physical Education in the Post Olympic Era

SHI Guosheng¹, LIU Donghua², ZHOU Mingyang³, WU Ying⁴, HUANG Tao², MIAO Lyu²

(1.College Office, Nanjing Sport Institute, Nanjing 210014, China; 2.Department of Physical Education, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China; 3.School of Physical Education, Shandong University, Jinan 2500613, China; 4.School of Physical Education and Training, Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China)

Abstract: School physical education is a basic project to accelerate the modernization of education and realize the fundamental task of building morality and cultivating people. It is an important field for Olympic education. The integration of Olympic education into school physical education conforms to the trend of school physical education reform in the new era and meets the demands of sustainable development of Olympic education. Olympic education is the booster of school physical education reform, strengthening school physical education, enhancing students' sense of responsibility, and giving full play to the comprehensive educational value of sports. The dilemma of integrating Olympic education into school physical education in China is reflected in: vulnerability to the "valley effect" in the post Olympic era, incomplete recognition of the significance of Olympic education, lack of commitment in practice of Olympic education and so on. Based on this, our paper puts forward the path of integrating Olympic education into school physical education: deepen the strategic synergy in the post Olympic era, enhance the awareness of Olympic education, strengthen the practice model of Olympic education, improve the supervision and evaluation of Olympic education.

Key words: Olympic education; school physical education reform; integration of sports and education; modernization of education; comprehensive education