

卧推最大力量与轻负荷末端释放输出表现的相关性研究

李俊¹ 胡雯雯¹ 刘圣泽^{1,2*}

1. 陕西师范大学, 陕西 西安 710119

2. 新疆师范大学, 新疆 乌鲁木齐 830054

[摘要] 本研究探讨了卧推最大力量与 30% 1RM 末端释放爆发力表现之间的相关性, 主要指标为峰值功率(PP)和峰值速度(PV)。通过对 14 名大学体育专业男性学生进行测试, 结果表明, 卧推最大力量与峰值功率之间存在显著的正相关关系 ($r=0.814$, $p<0.01$), 而与峰值速度的相关性则较弱且无统计学意义 ($r=0.119$, $p=0.685$)。研究表明, 在轻负荷条件下, 最大力量主要影响峰值功率, 而对峰值速度影响较小。

[关键词] 卧推最大力量; 末端释放; 峰值功率; 峰值速度; 爆发力

DOI: 10.33142/jscs.v5i3.16932

中图分类号: G808

文献标识码: A

Research on the Correlation between the Maximum Force of Bench Press and the Output Performance of Light Load End Release

LI Jun¹, HU Wenwen¹, LIU Shengze^{1,2*}

1. Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi, 710119, China

2. Xinjiang Normal University, Urumqi, Xinjiang, 830054, China

Abstract: This study investigated the correlation between the maximum power of bench press and the performance of 30% 1RM end release explosive force, with the main indicators being peak power (PP) and peak velocity (PV). Through testing 14 male students majoring in physical education at universities, the results showed that there was a significant positive correlation between the maximum strength of bench press and peak power ($r=0.814$, $p<0.01$), while the correlation with peak speed was weak and not statistically significant ($r=0.119$, $p=0.685$). Research has shown that under light load conditions, maximum force mainly affects peak power and has a relatively small impact on peak speed.

Keywords: maximum power of bench press; end release; peak power; peak speed; explosiveness

引言

在现代竞技体育中, 运动员在瞬息之间产生巨大机械功率(即爆发力)的能力, 往往是决定胜负的关键。在众多涉及推、掷、击打以及格挡的运动项目中, 上肢爆发力是运动员的核心身体素质之一^[1-2]。无论是篮球运动员的传球与投篮、排球运动员的扣杀, 还是拳击运动员的出拳等动作, 都要求上肢肌肉群在极短时间内产生高功率输出。从生物力学角度看, 爆发力通常被定义为肌肉在短时间内产生的最大机械功率(Power), 其计算公式为 $P=F \times V$, 即力与速度的乘积, 代表单位时间内所做的功^[3]。因此, 提升爆发力要求运动员优化其力量与速度的协同输出能力。

大量研究证实, 最大力量(1RM)是发展爆发力的重要基础。更高的最大力量水平通常与更高的力量发展速率(Rate of Force Development, RFD)及峰值功率输出相关^[4]。Cormie 等(2011)的研究指出, 对于力量水平较低的个体, 通过大负荷训练提升最大力量是提高爆发力的有效途径^[5]。这表明, 坚实的最大力量基础为高功率输出提供了必要的前提。然而, 最大力量向爆发力表现的转化效果并非在所有条件下都同样显著, 两者之间的关系存在明显的

负荷依赖性。一些研究揭示了这种关系的复杂性。Argus 等(2014)针对精英运动员的研究发现, 卧推 1RM 与卧推最佳功率输出的相关性在不同水平的运动员中存在差异, 仅在部分组别中达到显著水平^[6]。这表明, 当运动员的最大力量水平达到一定高度后, 继续提升最大力量对爆发力的增益效果可能出现递减。在训练和评估中, 负荷的选择是决定力量与速度输出特性的关键变量。López 等(2020)对职业拳击手的研究发现, 较大负荷卧推时的杠铃速度能有效预测其出拳速度, 这表明在较高力量输出区域, 最大力量与特定运动速度的关联性较强^[7]。与此相反, Fernandes 等(2018)的研究报告称, 在年轻受训男性中, 特定负荷下的杠铃速度与卧推功率输出之间无显著相关性^[8]。这些看似矛盾的研究结果, 恰恰凸显了在探讨最大力量与爆发力关系时, 考虑不同负荷区间的重要性。为更准确地评估上肢爆发力, 卧推末端释放(Bench Press Throw, BPT)作为一种有效的测试方法被广泛采用^[9]。与传统卧推在向心收缩末期存在减速阶段不同, 末端释放测试要求受试者在整个向心收缩过程中持续加速杠铃, 最终将其抛出, 这被认为能更真实地反映受试者在无制动需求

条件下的最大爆发力输出能力^[10]。

因此,本研究旨在探讨大学体育专业学生群体中,卧推最大力量(1RM)与30% 1RM卧推末端释放(BPT)的输出表现(以峰值功率和峰值速度为指标)之间的相关性。尽管力-速(F-V)关系曲线已得到广泛认可,但在特定人群(如大学体育生)的轻负荷、高速度区间,最大力量与该区间爆发力表现(峰值功率、峰值速度)的具体关系尚需进一步探究与澄清。基于以上背景,本研究假设:卧推1RM与30% 1RM负荷下卧推末端释放的峰值功率(PP)之间存在显著的正相关关系;而卧推1RM与峰值速度(PV)之间不存在统计学上显著的相关性。本研究通过分析上述关系,旨在为深入理解特定负荷区间(轻负荷高速度)最大力量与爆发力表现的关联提供实证依据与理论参考。

1 研究方法

1.1 研究对象

本研究招募了14名男性大学体育专业学生作为受试对象。所有受试者均自愿参与本研究,并在测试前签署了书面知情同意书。纳入标准为:(1)目前正积极参与专项体育训练;(2)具有系统抗阻训练经历 ≥ 1 年,且熟练掌握标准卧推技术;(3)测试前6个月内无任何累及上肢的肌肉骨骼系统损伤史。受试者基本信息(年龄、身高、体重)以均值 \pm 标准差(M \pm SD)表示:年龄 20.50 ± 1.23 岁,身高 178.69 ± 5.23 cm,体重 76.28 ± 4.96 kg。

1.2 研究设计

为避免疲劳效应对测试结果的影响,所有测试分两天进行,两次测试间隔 ≥ 48 小时。第一天先测量身高、体重,随后按照标准化程序进行史密斯机架卧推1RM测试,评估上肢最大力量。第二天进行轻负荷(30% 1RM)爆发力测试,即卧推末端释放(BPT)测试。测试负荷根据个体在第一天测得的1RM值精确设定为其30%。该测试用于评估受试者在轻负荷、高速条件下的上肢爆发力水平。每次正式测试前,受试者均完成标准化的热身活动,包括:5分钟低强度有氧运动、针对上肢的动态拉伸,以及与特定测试项目相关的递增负荷热身组。例如,1RM测试前的热身组安排为:使用史密斯机架空载杆(约20kg) $\times 10$ 次,50%(基于受试者自我报告或近期训练记录的)预估1RM $\times 5$ 次,70%预估1RM $\times 3$ 次,90%预估1RM $\times 1$ 次;BPT测试前进行数次空载杆及30% 1RM负荷的卧推练习,专注于动作速度与发力感。

1.3 最大力量测试: 1RM卧推

卧推1RM测试在史密斯机架上进行,以保持杠铃运动轨迹一致性和测试安全性。测试开始时,受试者仰卧于卧推凳上,双脚平放地面,背部紧贴凳面。握距由受试者根据个人舒适度和利于最大力量输出的原则自行选择,并使用杠铃杆上的标记或测量工具记录,确保在整个测试过

程中保持恒定。受试者以可控速度将杠铃下放至胸部(允许轻触胸部但无反弹),然后尽最大努力向心收缩将杠铃推起至肘关节完全伸直。在完成标准化热身(见2.2)后,受试者开始进行1RM测试。每次试举后,无论成功与否,休息5分钟,以确保神经肌肉充分恢复再进行下一次尝试。负重增量由实验人员根据受试者主观感觉及上一轮尝试完成情况进行调整。当受试者按照标准动作完整推举起某一负重量且无法再完成更高重量时,该重量即记录为其卧推1RM值。

1.4 爆发力测试: 30% 1RM卧推投掷

爆发力测试采用30% 1RM负荷的卧推末端释放(BPT),用于评估上肢在轻负荷、高速度条件下的峰值功率与峰值速度。受试者的准备姿势与1RM测试相同。受试者以约1.5秒的可控节奏将杠铃垂直下放至胸骨中下部,允许轻触胸部但无反弹,短暂停顿后,以最快速度向心发力推举杠铃,并在肘关节即将完全伸展时将杠铃主动向上抛出,确保杠铃完全脱离双手。在30% 1RM BPT测试中,每名受试者共完成3次有效尝试,每次尝试间隔休息3分钟。为保证记录到受试者的最大爆发力输出,选取3次有效尝试中峰值功率最高的一次试验数据用于后续统计分析。

1.5 数据采集与统计分析

在史密斯机架杠铃杆上连接一台线性位置传感器,用于实时采集杠铃的运动学数据(如速度),并通过配套软件计算动力学数据(如功率)。本研究的主要观测变量包括:史密斯机架卧推1RM(kg)、30% 1RM负荷下卧推末端释放(BPT)的峰值功率(PP, W)和30% 1RM负荷下卧推末端释放(BPT)的峰值速度(PV, m/s)。所有统计分析均使用SPSS软件进行。首先,对各变量(1RM, PP, PV)进行描述性统计分析,计算均值(M)和标准差(SD)。其次,采用皮尔逊积矩相关(Pearson's product-moment correlation)分析检验以下变量对之间的相关性:显著性水平设定为 $\alpha=0.05$ 。此外,报告相关系数(r)及其95%置信区间(95% CI)。

2 结果

本研究主要对卧推最大力量(1RM)与30% 1RM卧推末端释放(BPT)爆发力指标(峰值功率、峰值速度)之间的相关性分析。

如图1所示,史密斯机架卧推1RM与30% 1RM BPT的峰值功率之间存在高度显著的正相关关系($r=0.814$, $p < 0.01$, 95% CI[0.518, 0.938])。该结果表明,在本研究样本中,卧推最大力量水平较高的个体,在30% 1RM轻负荷条件下进行末端释放动作时,产生的峰值功率也更高。图1展示了1RM与PP之间的散点图及其线性回归拟合线。图中数据点呈现明显的线性递增分布模式,与高度显著的正相关统计结果一致,提供了直观支持。

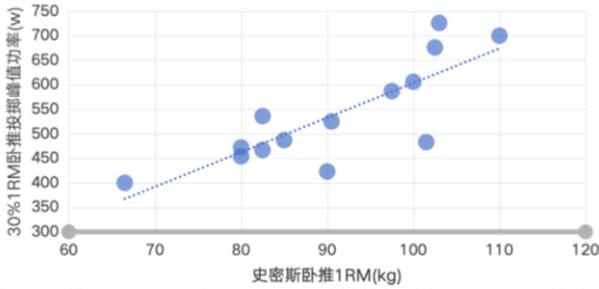


图 1 卧推 1RM (kg) 与 30% 1RM 卧推投掷峰值功率 (W) 的散点图及线性趋势线

注: $r=0.814, p<0.01$

然而, 分析卧推 1RM 与 30% 1RM BPT 峰值速度之间的相关性时, 结果呈现出截然不同的模式。具体而言, 卧推 1RM 与 30% 1RM BPT 峰值速度之间仅存在极弱且无统计学意义的相关性 ($r=0.119, p=0.685, 95\% \text{ CI}[-0.463, 0.630]$)。该结果表明, 在本研究样本中, 个体的卧推最大力量水平并不能有效预测其在 30% 1RM 末端释放条件下所能达到的峰值速度。图 2 展示了 1RM 与 PV 之间的散点图及其线性回归拟合线。图中数据点分布离散, 未显示出明显的线性趋势, 无统计学显著相关性。

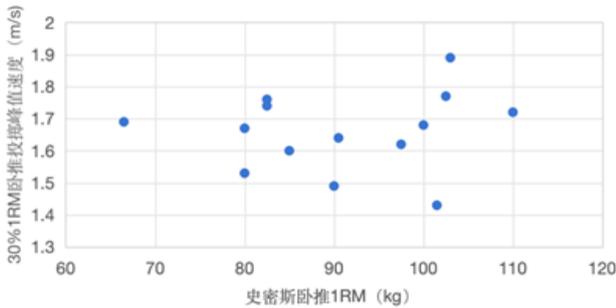


图 2 卧推 1RM (kg) 与 30% 1RM 卧推投掷峰值速度 (m/s) 的散点图

注: $r=0.119, p=0.685$

3 讨论

本研究的主要发现是: 在 30% 1RM 负荷的卧推末端释放 (BPT) 测试中, 大学体育专业男性学生的卧推最大力量 (1RM) 与峰值功率 (PP) 呈高度显著的正相关 ($r=0.814, p<0.01$), 而与峰值速度 (PV) 的相关性则较弱且无统计学意义 ($r=0.119, p=0.685$)。换言之, 在本研究样本中, 最大力量更强的个体在轻负荷 (30% 1RM) 末端释放动作中能够产生显著更高的峰值功率, 但未必能达到更高的峰值速度。这一结果模式不仅支持了本研究的初始假设, 也为深入理解在特定轻负荷条件下最大力量与爆发力表现的不同指标 (峰值功率 vs. 峰值速度) 之间关系的复杂性提供了依据。

3.1 1RM 与峰值功率 (PP) 高度正相关的解释

本研究结果显示, 在 30% 1RM 负荷的卧推末端释放

(BPT) 测试中, 受试者的卧推 1RM 与峰值功率 (PP) 之间确实存在高度显著的正相关关系 ($r=0.814, p<0.01$)。这一发现与部分既往研究结果一致。Munayer 等 (2013) 的研究指出, 在自由重量卧推测试中, 1RM 力量与特定负荷下的峰值功率也存在高度相关, 1RM 可解释峰值功率约 70% 的变异^[11]。根据功率公式 $P=F \times V$, 在给定的次最大负荷下, 最大力量更强的个体通常能够在该负荷下产生更大的瞬时力 (F)。即使其运动速度 (V) 与其他个体相近, 更大的 F 值也直接导致更高的峰值功率输出。即使他们的运动速度 (V) 与其他个体相近, 根据功率公式, 更大的作用力也直接导致其能够输出更高的峰值功率。这意味着, 较高的最大力量水平为个体在次最大负荷 (特别是轻至中等负荷) 下产生高功率输出奠定了重要的基础。这印证了运动训练学中“力量是爆发力之母”的观点, 表明扎实的最大力量有助于运动员在特定次最大负荷任务中实现更高的功率输出。需要指出的是, 本研究采用的 30% 1RM 负荷通常处于上肢卧推动作产生峰值功率的最优范围 (约在 30%~50% 1RM 之间)^[12]。在这一接近峰值功率的负荷区间内, 力量与速度达到相对平衡。最大力量更强的个体能够利用其力量优势, 在该负荷下产生相对更高的瞬时力 (F), 从而最终产生更高的峰值功率 (PP)。因此, 对于本研究涉及的人群和负荷条件 (30% 1RM), 增强最大力量是提升其在轻负荷末端释放动作中峰值功率输出能力的有效途径。

3.2 1RM 与峰值速度 (PV) 相关性弱且不显著的原因分析

与 1RM 和 PP 之间存在的高度显著正相关形成鲜明对比, 本研究发现 1RM 与 PV 之间仅存在极弱且无统计学意义的相关性 ($r=0.119, p>0.05$)。这表明, 在本研究条件下 (30% 1RM BPT), 最大力量更强的个体未必能达到更高的峰值速度。这一现象的可能解释在于: 在 30% 1RM 这样的相对轻负荷下, 所有受试者都能相对“轻松”地克服阻力。此时, 决定动作峰值速度 (PV) 的关键因素更多地转向肌肉本身的生理特性, 如肌纤维类型组成所决定的最大缩短速度。以及神经肌肉系统的快速动员能力, 如高阈值运动单位募集速率和放电频率、肌肉间的协调, 而非单纯依靠最大力量。经典的力-速关系曲线理论为此提供了理论框架。该理论表明, 随着外部负荷趋近于零, 肌肉收缩速度趋近于其最大理论速度 (V_{max})^[13]。 V_{max} 主要由肌纤维类型 (如快肌纤维比例) 及其固有的收缩特性 (如肌球蛋白 ATP 酶活性) 决定^[14-15], 与肌肉能够产生的最大等长张力 (F_{max} , 通常与 1RM 相关) 之间并无直接的线性关联。因此, 在本研究采用的轻负荷 (30% 1RM) 末端释放卧推条件下, 受试者可能已接近或达到其肌肉在当前神经激活状态下的最大收缩速度潜力。由于 V_{max} 主要由肌纤维类型等固有特性决定, 且个体间这些特性存在差异, 这导致了不同最大力量水平的个体间峰值

速度 (PV) 差异较小, 且与 1RM 缺乏显著关联。综上, 本研究结果表明, 在类似 30% 1RM 的轻负荷、高速动作条件下, 单纯提高最大力量可能不足以显著提升运动员的峰值速度表现。

3.3 生物力学机制: 力-速度关系与功率-速度“分离”

从生物力学视角看, 本研究所的结果, 1RM 与 PP 高度相关而与 PV 无显著相关, 可以用经典的力-速(F-V) 关系原理进行阐释。根据 F-V 关系曲线理论, 肌肉在向心收缩时, 其产生的力 (F) 与收缩速度 (V) 呈双曲线反比关系: 外部负荷 (阻力) 越小, 肌肉收缩速度越快; 外部负荷越大, 收缩速度越慢^[13]。在本研究条件下 (30% 1RM BPT), 运动员的肌肉工作点位于 F-V 曲线的高速、低力区域^[16]。在此区域, 肌肉收缩速度已接近其最大理论速度 (Vmax)。Vmax 主要由肌纤维类型等固有特性决定。因此, 即使个体拥有更大的最大力量潜力, 只要其 Vmax 没有相应提升, 在轻负荷下也难以显著提高其峰值速度^[17]。相反, 在此轻负荷高速区, 瞬时功率输出 (P) 的大小主要取决于在该特定速度下肌肉所能产生的力 (F) 的大小。力量更大的个体能够在该高速下产生更大的 F, 从而导致更高的 P (PP)。简言之, 在给定的次最大负荷下 (特别是轻至中等负荷), 个体的最大力量水平 (Fmax) 在很大程度上决定了其在该负荷下所能达到的功率输出上限, 因为限制了可产生的 F^[18]。而个体能达到的最大速度 (Vmax) 则主要受限于肌肉的固有收缩特性 (决定了 F-V 曲线的形状和渐近线), 与 Fmax 相对独立。这一生物力学机制很好地解释了本研究的主要发现: 在 30% 1RM 轻负荷 BPT 下, 1RM (反映 Fmax) 对 PP 有显著影响, 而对 PV 影响甚微。它也强调了在训练设计中, 需要根据目标 (提升功率或速度) 分别侧重发展最大力量或速度能力, 并进行有效整合, 才能全面优化爆发力表现。

3.4 神经生理学机制: 神经肌肉适应的特异性

从神经生理学角度分析, 最大力量与轻负荷下快速爆发能力 (特别是峰值速度) 之间的差异, 反映了其背后不同的神经肌肉适应机制^[19]。最大力量的提高通常伴随着肌肉横截面积增大和神经适应, 后者包括更充分、更同步地募集高阈值 (快肌) 运动单位, 以及可能增强的运动单位放电率^[20]。这些适应共同提高了肌肉产生最大自主张力的能力 (Fmax)。然而, 这些适应主要提升了在相对较长时间窗内 (如 >300ms) 产生最大力量的能力, 而对于在极短时间内 (如 <100~200ms) 产生高力量 (即高 RFD) 和达到高速度的能力的提升效果则相对有

限^[21]。Aagaard 等 (2002) 研究短期 (数周) 的大负荷力量训练 (>80% 1RM) 通常能显著提高最大力量 (1RM), 但对肌肉发力率 (RFD) 的改善, 尤其是在发力初期 (<100ms), 效果往往较小或不显著^[22]。Del

Vecchio 等 (2022) 的研究利用高密度表面肌电技术进一步揭示, 传统力量训练后, 运动单位 (MU) 在快速收缩时的最大募集速度几乎没有变化^[19]。这表明, 尽管力量训练提高了最大力量和 MU 的募集程度, 但它并未显著改善神经系统在收缩起始阶段极短时间内 (毫秒级) 快速动员高阈值 MUs 的能力。这为力量训练对早期 RFD 改善有限提供了直接的神经生理学解释。这意味着, 促进最大力量提升的神经肌肉适应与优化快速发力 (特别是初期 RFD 和速度) 所需的神经适应存在本质差异^[14]。因此, 个体在进行传统大负荷力量训练后, 虽然最大力量显著提高, 但其神经系统在收缩起始阶段极短时间内瞬时激活肌肉的能力并未得到有效改善, 除非训练中包含针对爆发性用力的专门刺激。这解释了为什么在本研究的轻负荷 BPT 条件下, 最大力量更强的个体并未表现出更高的峰值速度 (PV)。这一神经生理学机制为本研究中 1RM 与 PV 无显著相关性的发现提供了有力支持, 并凸显了在训练计划中加入专门旨在发展快速神经动员能力 (如高速度、低负荷的爆发力训练) 的训练手段的必要性^[23], 以有效弥补传统力量训练在提升动作初始速度和峰值速度方面的不足。

3.5 研究局限性

尽管本研究为理解卧推最大力量与轻负荷末端释放功率及速度的关系提供了有价值的见解, 但仍存在若干局限性, 需要在未来研究中予以关注和改进。首先, 本研究样本量较小 (n=14), 且受试者均来自大学体育专业男性学生这一特定群体。这一局限一方面限制了统计检验力, 另一方面降低了结论的外部效度。未来研究应纳入更大样本量, 并扩展受试者范围, 涵盖不同性别、年龄组、训练水平以及专项背景的群体, 以系统检验本研究发现的普适性。其次, 本研究仅在单一负荷 (30% 1RM) 下考察了卧推末端释放的峰值功率和峰值速度与 1RM 的关系, 未能探究在轻负荷区间之外 (如更低负荷: 0-20% 1RM; 或更高负荷: 80% 1RM 以上), 1RM 与 PP、PV 关系的动态变化规律, 以及 30% 1RM 是否确实处于个体最佳功率区间。最后, 本研究所得结论及其分析讨论主要基于推论和已有文献, 缺乏直接的生理学机制验证数据。本研究推测肌纤维类型组成、运动单位募集与放电特性、肌腱刚度等生理因素可能是导致最大力量与最大速度潜力相对独立的关键机制, 但这些因素在本研究中均未进行直接测量。未来研究需结合肌肉活检、高密度肌电、超声成像等技术对此进行直接验证。

4 结论

本研究以 14 名大学体育专业男性学生为受试者, 系统探讨了卧推最大力量 (1RM) 与 30% 1RM 末端释放 (BPT) 动作中爆发力表现 (峰值功率、峰值速度) 之间的相关性。主要研究结论如下: (1) 在 30% 1RM 负荷的

卧推末端释放 (BPT) 测试中, 卧推最大力量 (1RM) 与峰值功率 (PP) 存在高度显著的正相关关系 ($r=0.814$, $p < 0.01$), 表明 1RM 是预测 PP 的强有力指标。这表明, 在本研究样本中, 最大力量水平较高的个体, 在轻负荷末端释放动作中能够产生更高的峰值功率。(2) 在相同的 30% 1RM BPT 测试条件下, 卧推 1RM 与峰值速度 (PV) 之间仅存在极弱且无统计学意义的相关性 ($r=0.119$, $p=0.685$)。这表明, 个体的最大力量水平并不能有效预测其在轻负荷末端释放动作中所能达到的峰值速度。综上所述, 在轻负荷末端释放动作情境下, 最大力量与高速运动能力是相对独立的神经肌肉素质。两者不能简单等同, 也不能相互替代。因此, 为全面、高效地提升运动员在类似动作模式下的上肢爆发力 (尤其需兼顾功率和速度表现时), 训练计划应系统整合 F-V 曲线两端的刺激: (1) 发展最大力量: 通过大负荷 ($>85\%$ 1RM)、低速度的力量训练。(2) 发展最大速度与发力率: 通过轻负荷 ($\leq 30\% \sim 40\%$ 1RM)、高速度的训练, 如末端释放 BPT、弹射式训练或增强式训练。这两种训练刺激相辅相成, 共同构成优化整体爆发力表现的完整策略。

[参考文献]

[1]Haff G G,Nimphius S.Training Principles for Power[J].Strength and Conditioning Journal,2012,34(6):2-12.
 [2]闫琪.爆发力训练全书[M].北京:人民邮电出版社,2023.
 [3]Stone M H,Sato K.Power and Explosiveness:First Step(s)[A].Proceedings of the 31st Conference of the International Society of Biomechanics in Sports[C].Taipei:Proceedings of the International Symposium on Biomechanics in Sports,2013.
 [4]Wisloff U,Castagna C,Helgerud J,et al.Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players [J].British Journal of Sports Medicine,2004,38(3):285-288.
 [5]Cormie P,McGuigan M R,Newton R U.Developing maximal neuromuscular power:part 2-training considerations for improving maximal power production[J].Sports Medicine,2011,41(2):125-146.
 [6]Argus C K,Gill N D,Keogh J W,Hopkins W G.Assessing the variation in the load that produces maximal upper-body power[J].Journal of Strength and Conditioning Research,2014,28(1):240-244.
 [7]López-Laval I,Sitko S,Muñiz-Pardos B,et al.Relationship between bench press strength and punch performance in male professional boxers [J].J Strength Cond Res,2020,34(2):308-312.
 [8]Fernandes J F T,Lamb K L,Twist C.A Comparison of

Load-Velocity and Load-Power Relationships Between Well-Trained Young and Middle-Aged Males During Three Popular Resistance Exercises[J].Journal of Strength and Conditioning Research,2018,32(5):1440-14.
 [9]Soriano M A,Suchomel T J,Marín P J.The Optimal Load for Maximal Power Production During Upper-Body Resistance Exercises: A Meta-Analysis[J].Sports Medicine,2017,(4):757-768.
 [10]Baker D,Nance S,Moore M.The load that maximizes the average mechanical power output during explosive bench press throws in highly trained athletes[J].Journal of Strength and Conditioning Research,2001,15(1):20-24.
 [11]Munayer I K,Stock M S,Luera M J,et al.Relationship Between One Repetition Maximum Strength and Peak Power Output for the Free-Weight Bench Press Exercise[J].International Journal of Exercise Science: Conference Proceedings,2013,2(5):71.
 [12]Lockie R G,Callaghan S J,Orjalo A J,Moreno M R. Loading Range for the Development of Peak Power in the Close-Grip Bench Press versus the Traditional Bench Press[J].Sports, Basel,2018,6(3):97.
 [13]Hill A V.The heat of shortening and the dynamic constants of muscle[J].Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences,1938,126(843):136-195.
 [14]Barany M.ATPase activity of myosin correlated with speed of muscle shortening[J].Journal of General Physiology,1967,50(6):197-218.
 [15]Bottinelli R,Canepari M, Pellegrino M A,Reggiani C. Force-velocity properties of human skeletal muscle fibres: Myosin heavy chain isoform and temperature dependence[J].Journal of Physiology,1996,495(02):573-586.
 [16]Jaric S.Muscle strength testing:Use of normalisation for body size[J].Sports Medicine,2002,32(10):615-631.
 [17]Ziv G,Lidor R.Vertical jump in female and male basketball players—A review of observational and experimental studies[J].Journal of Science and Medicine in Sport,2010,13(3):332-339.
 [18]Zaras N D,Spiliopoulou P,Methenitis S K,Krase A A,Terzis G D.Rate of force development,muscle architecture,and performance in young competitive track and field throwers[J].J Strength Cond Res,2013,27(2):615-622.
 [19]Del Vecchio A,Casolo A, Dideriksen J L,Aagaard P,Felici F, Falla D, Farina D.Lack of increased rate of force development after strength training is explained by specific neural,not muscular, motor unit adaptations[J].J Appl

Physiol,2022,132(1):84-94.

[20]Del Vecchio A,Casolo A,Negro F, Scorcelletti M, Bazzucchi I,Enoka R, Felici F, Farina D. The increase in muscle force after 4 weeks of strength training is mediated by adaptations in motor unit recruitment and rate coding[J].J Appl Physiol,2019,597(7):1873-1887.

[21]Andersen L L,Andersen J L,Zebis M K,Aagaard P.Early and late rate of force development:Differential adaptive responses to resistance training?[J].Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports,2010,20(1):162-169.

[22]Aagaard P, Simonsen E B, Andersen J L, Magnusson P,Dyhre-Poulsen P.Increased rate of force development and

neural drive of human skeletal muscle following resistance training[J].J Appl Physiol,2002,93(4):1318-1326.

[23]Rodríguez-López C,Alcazar J,Sánchez-Martín C, Baltasar-Fernández I,Ara I,Csápo R, Alegre L M. Neuromuscular adaptations after 12 weeks of light-vs.heavy-load power-oriented resistance training in older adults[J].Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports,2022,32(2):324-337.

作者简介：李俊（2000—），男，汉族，安徽阜阳人，硕士在读，陕西师范大学，研究方向：体能训练；*通讯作者：刘圣泽（1993—），男，汉族，安徽阜阳人，博士，讲师，陕西师范大学，研究方向：运动训练理论与实践。