

# 等长大腿中部拉测试在下肢肌肉力量诊断中的应用

路 恒<sup>1</sup>, 许贻林<sup>2</sup>, 王 然<sup>1</sup>

**摘 要:**等长大腿中部拉(Isometric Mid-thigh Pull, IMTP)是一种多关节等长测试,常用于评价运动员的下肢力量和爆发力水平。近年来,随着测试设备的便携化,IMTP 测试在国际竞技体育领域的广泛应用。对国外相关文献的梳理与总结表明,IMTP 测试相较于传统动态测试与单关节等长测试有着简单高效且不易疲劳的特点,通过分析 IMTP 测试力—时间曲线得到的峰值力、发力率和冲量等指标信度较高,并与力量、爆发力、冲刺与变向等动态运动能力之间呈中度至高度相关关系。教练员和科研人员可以通过 IMTP 测试评价运动员的运动能力并监控其训练过程,准确掌握运动员的身体状态和对训练刺激的适应程度,并据此优化训练方案以进一步提升运动员的运动能力。

**关键词:**等长大腿中部拉;神经肌肉功能;力量;爆发力;训练监控;运动员;运动训练

**中图分类号:**G804.5

**文献标志码:**A

**文章编号:**1001-9154(2022)01-0129-07

在竞技体育中,肌肉力量是影响运动员运动能力的基本素质,其大小取决于肌纤维长度、收缩速度、收缩类型、肌肉横截面积、运动单位募集等因素<sup>[1]</sup>。最大力量是指肌肉收缩时产生的最大张力,通常使用一次最大重复重量(One Repetition Maximum, 1 RM)或峰值力(Peak Force, PF)表示,其大小与爆发力密切相关<sup>[2]</sup>。爆发力指肌肉收缩时快速产生力或力矩的能力,通常表达为力与速度的乘积,可以代表一段运动过程中的平均功率或特定时刻的瞬时功率<sup>[3]</sup>。然而爆发力的传统定义并不符合经典力学的牛顿第二定律及其衍生的动量定理,由于物体运动状态的改变仅与其受到的合外力有关,因此爆发力本质上是力在时间维度上的积累,即冲量(Impulse, IMP)<sup>[1]</sup>。此外,衡量运动员单位时间内发力能力的发力率(Rate of Force Development, RFD)也是反映运动员爆发力的重要指标<sup>[2]</sup>。研究表明,运动员纵跳、加速、变向等运动能力与其快速发力能力高度相关<sup>[1]</sup>。因此,定期、准确地评估最大力量与爆发力对运动员训练适应的量化十分重要。近年来,等长大腿中部拉(Isometric Mid-thigh

Pull, IMTP)测试在国内外运动训练实践中越发流行,通过分析 IMTP 测试的力—时间曲线可以获得峰值力、发力率和冲量等指标<sup>[4-5]</sup>。本综述的目的在于回顾传统肌肉力量测试的优缺点,探讨 IMTP 测试与运动能力之间的关系及其在竞技体育中的应用。

## 1 肌肉力量诊断的发展

通过训练提升肌肉力量的重要前提在于对特定肌肉的力量进行评估,常用动态或等长测试评估运动员的力量与爆发力。

### 1.1 动态测试

使用动态测试评估最大力量最常用的是等张测试,通过克服外部最大负荷的重复次数计算,如一次或多次最大重复重量(1 RM 或  $n$  RM)<sup>[6]</sup>。然而 1 RM 测试的方法学因素对其最大力量的测试效度有一定影响,如深蹲时下蹲的深度、在大重量外部负荷下完成测试动作所需的技术以及反复尝试 1 RM 造成的疲劳等<sup>[7]</sup>。使用动态测试评估发力率常使用纵跳等爆发式动作,但研究表明此类动作与外部负荷的重量有关<sup>[1]</sup>。因此,在体能训练领域,通过深蹲 1 RM 和负重蹲跳等方式监控动态最大力量和发力率既费时费力又容易引发运动员过度疲劳,很难达成预期的测试目标。

相比之下,多关节等长测试安全高效且不容易产生过度疲劳,常被用来评价肌肉力量、监控训练适应、潜在损伤和神经肌肉疲劳<sup>[7-8]</sup>。此外,在检验运动训练干预效果时,虽然深蹲 1 RM 等动态测试在实践中简便易行且可以提供准确而可靠的评估<sup>[9]</sup>,但最大力量这一测试指标可能不够敏感,无法准确评估肌肉力量的具体变化<sup>[6]</sup>。而等长测试的技术要求相对简单,可以消除所测试的动作技能熟练与否对测试结果造成的潜在影响。因此,需要结合动态测试和等长测试

**基金项目:**国家重点研发计划“科技冬奥”重点专项课题“冬季竞速类和团体球类项目专项国际化训练平台关键技术研究与应用”(2018YFF0300903);上海市科委项目“科技助力大球类项目运动表现提升关键技术研究”(21010503500);上海市科委项目“青少年抗阻训练后肌肉力量改善的生理适应机制”(19YF1445800);上海市海外高层次人才计划(TP2018057)。

**第一作者简介:**路恒,硕士,实验员,研究方向:体能训练测试与评估。

E-mail: luheng@sus.edu.cn。

**通信作者:**王然,博士,教授,研究方向:体能训练生理适应机制。E-mail: wangran@sus.edu.cn。

**作者单位:**1. 上海体育学院体育教育训练学院,上海 200438;2. 江苏省体育科学研究所生物力学实验室,江苏 南京 210033

**收稿日期:**2021-03-08 **修回日期:**2021-10-10

准确评估运动员的肌肉力量。

## 1.2 等长测试

等长测试区别于动态测试的地方在于运动员需要在特定关节角度下进行最大程度自主收缩,以对抗无法移动的物体,并通过测力台、拉力传感器或等速肌力测试系统获得力——时间曲线以量化峰值力、发力率和冲量等指标<sup>[10]</sup>。在实验室环境下,通常使用等速肌力测试系统获得单关节等长测试获得的力——时间曲线<sup>[11]</sup>。虽然单关节等长测试测得的峰值力和发力率较好,但是其与实际运动环境下的动态多关节协同动作模式(如跳跃、冲刺和变向等)之间缺乏力学特征上的相似性,既无法反映力在动力链中的传递,也不能模拟动态运动中的身体姿势和关节角度,因此单关节等长测试指标与动态运动能力之间的相关性通常不高<sup>[11-12]</sup>。此外,单关节等长测试往往需要等速肌力测试系统这类设备,操作复杂、费时费力。在实践环境下更适合使用多关节等长测试来获得力——时间曲线,如等长深蹲(Isometric Squat, ISQ)<sup>[4]</sup>、等长大腿中部拉(IMTP)<sup>[3, 13-14]</sup>、等长倒蹬腿(Isometric Leg Press, ILP)<sup>[15]</sup>,这些测试相对于等速测试来说操作简单、省时高效,仅需 1 块一维测力台和 1 个力量训练架便可完成,而且上述测试比动态测试更容易采用标准化测试流程<sup>[4]</sup>。通过 IMTP 与 ISQ 等多关节等长测试获得的力——时间曲线指标与动态运动能力之间的相关性较高<sup>[16-17]</sup>,可以更好地解释动态运动能力的变化。与传统的动态力量测试(深蹲、卧推、硬拉 1 RM 测试)或爆发力测试(跳跃动作)相比,多关节等长测试可以更准确地评估训练干预的效果<sup>[6]</sup>。

通过多关节等长测试获得的峰值力和发力率等指标与动态运动能力指标之间高度相关<sup>[18]</sup>。ISQ 的峰值力与深蹲 1 RM 呈中高度正相关( $r = 0.58 \sim 0.86$ )<sup>[4, 19]</sup>。但 Bazyler 等人<sup>[4]</sup>报道膝关节 90° 时 ISQ 峰值力与深蹲 1 RM 之间的相关性( $r = 0.86$ )高于膝关节 120° 时 ISQ 峰值力与深蹲 1 RM 之间的相关性( $r = 0.6$ ),ISQ 力——时间曲线与动态运动能力之间的相关性很大程度上取决于特定关节角度<sup>[4]</sup>。ISQ 测试中运动员向上对抗固定杠铃时产生的压力和剪切力可能导致脊柱不稳的运动员产生不适甚至损伤,影响运动员最大用力程度,导致评估准确性下降<sup>[20]</sup>。Wilson 等人<sup>[21]</sup>在研究中报道训练中期测试时有运动员因受伤而未完成 ISQ 测试。ILP 也仅在特定关节角度下才与某些跳跃动作之间具有显著相关,Marcora 和 Miller<sup>[22]</sup>报道膝关节 120° 时 ILP 峰值力和发力率与静蹲跳(Squatjump, SJ)和反向跳(Counter-movement Jump, CMJ)呈中高度正相关( $r = 0.5 \sim 0.71$ ),但这种正相关在膝关节 90° 时下降到 0.27 ~ 0.42。此外,ILP 还存在动力链过短的问题,无法反映力在全身动力链中的传递效果。综上所述,由于 ILP 和 ISQ 力——时间曲线指标与动态表现之间的低相关性以及潜在的损伤风险,因此不适用于诊断动态多关节协同动作模式的肌肉力量。相比之下,IMTP 测试既能反映力在全身动力链中的传递效果,也不

会对腰椎产生过大的压力和剪切力,运动员更容易尽全力测试,保证了评估的准确性。

## 2 IMTP 测试及其信度

### 2.1 IMTP 测试

IMTP 测试是一种多关节闭链等长测试,最早由 Haff 和 Stone 等人<sup>[23]</sup>于 20 世纪 90 年代提出并用于监控举重运动员的发力能力。IMTP 测试时运动员的身体姿态与高翻或抓举动作中二次提拉时的身体姿态一致<sup>[16]</sup>。在举重运动中,二次提拉位置时的髋关节和膝关节角度最适合发力并给杠铃加速<sup>[24]</sup>。进行 IMTP 测试时通常在力量训练架上加装固定装置,并在地面放置测力台记录测试过程中的垂直方向地面反作用力(见图 1),运动员站在测力台上,双手握住固定于力量训练架中间且位于大腿中上部的横杆,调整身体姿态使膝关节呈 120° ~ 145° 且髋关节呈 140° ~ 150°,躯干保持紧绷,在听到“3, 2, 1, 开始”的口令时快速用力向下蹬地同时向上提拉横杆并保持 5 s<sup>[23]</sup>。

通过对等长测试力——时间曲线中峰值力、发力率和冲量等指标的量化可以评价运动员的肌肉力量<sup>[10, 23]</sup>。例如,动作时长小于 250 ms 的运动能力通常取决于发力率<sup>[23]</sup>,它代表收缩开始时肌肉力量上升的早期阶段,而在大负荷或动作持续时间大于 250 ms 的动作中,峰值力则是非常重要的影响因素,其代表运动员的最大力量<sup>[10]</sup>。目前 IMTP 测试已被用于橄榄球<sup>[13, 17]</sup>、摔跤<sup>[18]</sup>、场地自行车<sup>[1]</sup>、田径<sup>[3, 8]</sup>、高尔夫<sup>[25]</sup>、足球<sup>[26]</sup>、篮球<sup>[14, 27]</sup>等不同项目运动员的肌肉力量评价,以及长期训练过程中的疲劳监控<sup>[28-29]</sup>等。

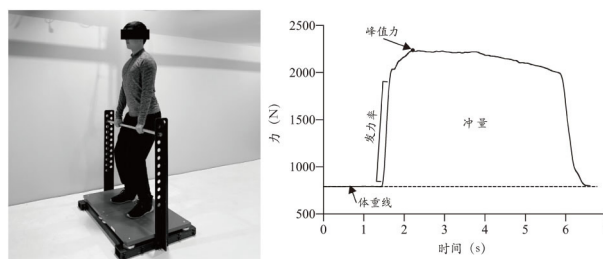


图 1 IMTP 测试时的站姿与力-时间曲线

Figure 1 Standing posture and force-time curve for IMTP test

### 2.2 IMTP 测试的信度

衡量一项测试的信度通常使用组内相关系数(Intraclass Correlation Coefficient, ICC)、变异系数(Coefficient of Variation, CV)以及置信区间(Confidence Interval, CI)<sup>[5]</sup>。对于 IMTP 测试来说,早期研究通常集中于测试者内信度,近期研究逐渐转为确定测试者间信度<sup>[26, 30]</sup>。

早期研究中对于 IMTP 测试峰值力仅使用 ICC 衡量信度,研究表明 IMTP 测试峰值力在不同专项运动员样本中均具有较高的重测信度( $ICC > 0.93$ )<sup>[1, 3, 16-18, 23, 25]</sup>。Beckham 等人<sup>[31]</sup>首次同时报道了 ICC 和 CV,结果表明 IMTP 测试峰

值力具有较高的重测信度和较低的 CV ( $ICC = 0.92$ ,  $CV = 5\%$ )。随后的研究均表明 IMTP 测试峰值力 CN 较低 ( $CV \leq 6.4\%$ )<sup>[27, 32-34]</sup>。此外,对于特定时间的力值, Kraska 等人<sup>[35]</sup>报道  $F_{90\text{ ms}}$  与  $F_{250\text{ ms}}$  信度较高 ( $ICC \geq 0.94$ ), 而  $F_{50\text{ ms}}$  信度相比欠佳 ( $ICC = 0.79$ )。

早期研究在计算 IMTP 测试发力率时通常使用力——时间曲线上最陡峭位置的发力率,即峰值发力率 (Peak RFD, pRFD)。虽然一系列研究均表明 IMTP 测试峰值发力率重测信度较高 ( $ICC > 0.8$ )<sup>[1, 3, 16, 25, 36]</sup>,但现有文献大都只报道了 ICC 而忽略了 CV 与 CI,仅有少量文献同时报道了 ICC、CV 与 90% CI<sup>[5, 32]</sup>。且近期部分研究中报道的 CV 超过了可接受范围 ( $CV > 10\%$ )<sup>[32-33]</sup>。此外,上述研究中平滑力——时间曲线时使用简单平均平滑的采样窗口从 2 ms ~ 20 ms 不等,这可能会影响峰值发力率的信度。Haff 等人<sup>[5]</sup>对比了不同采样窗口时长 (2、5、10、20、30、50 ms) 平滑力——时间曲线对峰值发力率信度的影响,发现使用 20 ms 时得出的峰值发力率信度较高 ( $ICC = 0.90$ ),但 12.9% 的变异系数表明其测量误差也较大。此外,Haff 等人<sup>[5]</sup>还计算了不同时间段的发力率 ( $RFD_{0 \sim 30/50/90/100/150/200/250\text{ ms}}$ ),结果表明上述指标信度较高 ( $ICC > 0.8$ ,  $CV < 10\%$ ),而从动作开始到峰值力出现期间的平均发力率信度欠佳 ( $ICC = 0.74$ ,  $CV > 10\%$ ),这与 Khamoui 等人<sup>[37]</sup>所计算的平均发力率信度不佳 ( $ICC = 0.75$ ) 的结果相一致,产生这种低信度的原因是不同受试者达到峰值力的时间不一致。考虑到不同研究中所用计算方法的差异会影响指标的信度,因此推荐研究人员在报道峰值发力率时应注明所使用的计算方法。

IMTP 测试不同时间段的冲量 ( $IMP_{0 \sim 100/200/300\text{ ms}}$ ) 均表现出较高的信度 ( $ICC \geq 0.86$ ,  $CV \leq 6.2\%$ )<sup>[32-33, 38]</sup>, Beckham 等人<sup>[38]</sup>也报道  $IMP_{0 \sim 200\text{ ms}}$  信度较好 ( $ICC = 0.93$ ,  $CV = 8.4\%$ )。Comfort 等人<sup>[30]</sup>的研究中,除髋关节  $130^\circ$  与膝关节  $125^\circ$  时信度欠佳外 ( $ICC = 0.73 \sim 0.74$ ),其余不同髋关节与膝关节角度下的冲量 ( $IMP_{0 \sim 100/200/300\text{ ms}}$ ) 均表现出较高的信度 ( $ICC = 0.87 \sim 0.99$ )。具体数据信息见数据库中电子版的附表。

总体看来,IMTP 测试指标在不同年龄、性别和训练水平的运动员中均具有较高的信度。此外,推荐研究人员今后报道 IMTP 测试指标时注明计算方法并同时报道 ICC、CV、90% CI 以更全面地报道信度,在对不同年龄段、性别、训练水平的运动员进行测试时更需要注意这一点。

### 3 IMTP 测试与运动能力

目前 IMTP 测试已被用于评价不同项目运动员的运动能力,许多研究表明 IMTP 测试的力——时间曲线特征与下肢力量、爆发力、冲刺、变向能力以及专项运动能力之间具有较高的相关性,下文将对相关文献进行总结并探讨其应用。

#### 3.1 应用 IMTP 测试评价下肢力量

许多运动项目的成绩取决于运动员的最大力量水平,

McGuigan 等人<sup>[18]</sup>和 Wang 等人<sup>[13]</sup>的研究报道了 IMTP 测试峰值力与深蹲 1 RM 之间有极高的正相关 ( $r = 0.87 \sim 0.96$ ),而不同时间段发力率 ( $RFD_{0 \sim 90/100/150/200/250\text{ ms}}$ ) 与深蹲 1 RM 之间存在中高度的正相关 ( $r = 0.6 \sim 0.75$ ),但发力率早期 ( $RFD_{0 \sim 30/50\text{ ms}}$ ) 与深蹲 1 RM 之间的相关性较低 ( $r = 0.16 \sim 0.26$ )。这可能是由于发力率早期 (0 ~ 100 ms) 主要受肌纤维类型等神经因素和内在特征影响,而发力率后期 (> 100 ms) 则主要受肌肉横截面积与最大力量等结构因素和外在特征影响<sup>[39]</sup>。在 Wang 等<sup>[13]</sup>的研究中,发力率时段越长,其与深蹲 1 RM 之间的相关性越高,且在 250 ms 时达到最高 ( $r = 0.75$ ),这表明发力率后期与深蹲 1 RM 之间关系密切。因此,在分析 IMTP 测试力——时间曲线时,峰值力与后期阶段发力率 ( $RFD_{\geq 250\text{ ms}}$ ) 均可以作为评价下肢肌肉力量的指标。

#### 3.2 应用 IMTP 测试评价下肢爆发力

对于大多数力量与爆发力类型项目来说,运动员短时间内快速生成高水平力的能力比最大力输出能力更为重要,发力率是力变化幅度与力变化用时之间的比值 ( $RFD = \Delta F / \Delta t$ ),代表了神经系统募集运动单位的能力<sup>[1]</sup>。包括静蹲跳与反向跳在内的垂直纵跳是反映下肢爆发力的常用评价指标之一,分析垂直纵跳的力——时间曲线 (如纵跳高度、峰值功率等) 有助于全面了解运动员下肢神经肌肉系统的功能<sup>[40]</sup>。Haff 等人<sup>[16, 23]</sup>对举重运动员的研究表明 IMTP 测试峰值力与纵跳峰值功率之间呈极高的正相关 ( $r = 0.88 \sim 0.92$ ),峰值发力率与纵跳峰值功率之间呈高度相关 ( $r = 0.81 \sim 0.84$ ),这与 Kawamori<sup>[41]</sup>、Secomb<sup>[42]</sup>和 Nuzzo 等人<sup>[43]</sup>的研究一致 ( $r = 0.75 \sim 0.95$ )。然而,峰值力与纵跳高度之间关系尚存在分歧,Haff<sup>[16, 23]</sup>、Stone<sup>[3]</sup>、Townsend 等人<sup>[14]</sup>的研究报道了专业举重和自行车运动员 IMTP 测试峰值力与纵跳高度中高度相关 ( $r = 0.59 \sim 0.87$ );但是 Kraska<sup>[35]</sup>、West<sup>[17]</sup>、Secomb 等<sup>[42]</sup>对大学生运动员、业余运动员和青少年冲浪运动员的研究则表明 IMTP 测试峰值力以及不同时间段力值与纵跳高度之间仅中低相关 ( $r = 0.33 \sim 0.48$ )。此外 Thomas 等<sup>[33]</sup>对柔道、橄榄球等专项运动员的研究表明 IMTP 测试中 300 ms 以内的冲量与纵跳高度之间无相关 ( $r < 0.1$ ),但与纵跳峰值功率和峰值力之间存在中高度相关 ( $r = 0.49 \sim 0.64$ )。产生这种差异的原因可能是专业举重和自行车运动员的力量与爆发力水平较高,在日常训练中经常使用不同强度的高翻或上挺等爆发式用力动作,使用这些动作进行训练不仅可以改善神经肌肉特性,提高力生成能力和功率输出水平,也更能适应 IMTP 测试所需的快速用力要求。此外,根据牛顿第二定律及其衍生出的动量定理,跳跃的离地速度、腾空高度和功率输出均取决于短时间内的力输出能力<sup>[1]</sup>,力量水平越高的运动员在纵跳过程中力的生成越快,冲量积累越大,功率输出也越高。因此,IMTP 测试的峰值力、峰值发力率和冲量等指标可用于评价运动员的下肢爆发力。



### 3.3 应用 IMTP 测试评价冲刺能力

IMTP 测试力——时间曲线指标与冲刺能力之间也具有相关关系,Thomas<sup>[32]</sup>和 Townsend 等<sup>[14]</sup>报道 IMTP 测试峰值力与 5 m( $r = -0.57 \sim -0.62$ )、10 m( $r = -0.67$ )、15 m( $r = -0.70$ )、20 m( $r = -0.69 \sim -0.69$ )冲刺时间呈中高度负相关。然而,West 等人<sup>[17]</sup>在研究中并未报道 IMTP 测试峰值力与 10 m 冲刺时间之间存在类似的相关关系,仅报道 100 ms 时的力值( $F_{100\text{ms}}$ )与 10 m 冲刺时间中度负相关( $r = -0.54$ ),对体重标准化后的  $F_{100\text{ms}}$  与 10 m 冲刺时间也呈中度负相关( $r = -0.68$ ),这与 Brady 等<sup>[34]</sup>报道的  $F_{100\text{ms}}$  和  $F_{150\text{ms}}$  与 5 m 冲刺时间之间的负相关( $r = -0.59 \sim -0.62$ )类似。上述研究表明冲刺动作的触地时间与触地时的地面反作用力对冲刺快慢具有至关重要的作用,即短时间内的高力值输出的能力决定着冲刺的快慢。此外,峰值发力率、平均发力率和不同时间段发力率与不同距离(5、10、15、20 m)冲刺时间之间存在较为一致的中高度负相关( $r = -0.43 \sim -0.71$ )<sup>[13, 14, 17, 32, 34]</sup>。目前应用 IMTP 测试评价冲刺能力的研究涉及橄榄球<sup>[13, 17, 32]</sup>、足球<sup>[32]</sup>、板球<sup>[44]</sup>、篮球<sup>[14, 27]</sup>以及短跑<sup>[34]</sup>运动员。上述研究结果中 IMTP 测试力——时间曲线指标与冲刺能力之间相关性不一致的原因可能在于不同项目运动员对冲刺技术的掌握不同,技术因素限制了冲刺能力,因此在应用 IMTP 测试评价冲刺能力时需考虑冲刺技术的影响。

### 3.4 应用 IMTP 测试评价变向能力

在涉及多方向移动的运动项目中,变向能力对运动员在比赛中的表现至关重要,主要体现在变向能力好的运动员可以根据情况及时拉开或缩小与对手的距离<sup>[45]</sup>。在运动过程中有效地进行变向需要运动员先离心收缩减速制动,再等长收缩发力支撑,同时改变身体姿态后朝向新方向加速<sup>[46]</sup>。通过分析 IMTP 测试力——时间曲线,Spiteri 等<sup>[46]</sup>发现女子篮球运动员优势侧 505 变向测试时间与标准化的峰值力(峰值力/体重)之间高度负相关( $r = -0.79$ ),Thomas 等<sup>[32]</sup>报道改良 505 变向测试时间与峰值力( $r = -0.57$ )、峰值发力率( $r = -0.57$ )、100 ms 和 300 ms 冲量( $r$  分别为  $-0.58$  和  $-0.62$ )之间同样呈中高度负相关。变向过程中克服体重进行减速后再加速的能力取决于运动员的力量水平,Peterson 等<sup>[47]</sup>的研究发现大学生运动员变向能力与绝对力量高度相关( $r = 0.78$ ),Spiteri 等<sup>[46]</sup>的研究同样也发现女子篮球运动员 505 变向时间与深蹲最大力量高度负相关( $r = -0.8$ ),表明下肢力量水平越高的运动员下肢蹬伸支撑效率越高,变向速度越快。因此,IMTP 测试力——时间曲线指标可以用于评价运动员的变向能力,但与冲刺能力一样,运动员变向能力也受到技术因素影响。

### 3.5 应用 IMTP 测试评价专项运动能力

现有报道 IMTP 测试评价专项运动能力的研究主要集中在举重、场地自行车和投掷类项目,上述项目关键技术动作中大都涉及髋关节和膝关节伸肌的同时快速发力,与

IMTP 测试动作具有相似的动作模式与力学特征<sup>[23]</sup>。Beckham 等<sup>[36]</sup>发现举重运动员 IMTP 测试峰值力绝对值与挺举重量( $r = 0.84$ )、抓举重量( $r = 0.83$ )以及总重量( $r = 0.84$ )高度相关。Haff 等<sup>[16]</sup>报道精英女子举重运动员 IMTP 测试峰值力与抓举重量( $r = 0.93$ )、挺举重量( $r = 0.64$ )、以及总重量( $r = 0.8$ )之间也具有类似的正相关。此外,Haff 等人<sup>[23]</sup>的研究表明不同强度(80%、90%、100% 1 RM)高拉动作的发力率与 IMTP 测试发力率( $r = 0.84 \sim 0.88$ )之间以及不同强度(90%、100% 1 RM)高拉动作的峰值力与 IMTP 测试峰值力( $r = 0.77 \sim 0.8$ )之间均高度相关,表明 IMTP 测试与动态大腿中部拉之间具有相似的力学特征。Beckham 等<sup>[36]</sup>报道 IMTP 测试后期发力率( $RFD_{0-250\text{ms}}$ )与抓举重量( $r = 0.78$ )、挺举( $r = 0.72$ )以及总重量( $r = 0.75$ )之间高度相关,而早期发力率( $RFD_{0-100/150\text{ms}}$ )与上述举重运动能力之间仅低中度相关( $r = 0.37 \sim 0.49$ ),表明后期阶段发力率可以较好的反映举重运动能力。Stone 等人<sup>[3]</sup>对于场地自行车运动员的研究发现 IMTP 测试峰值力与不同速度档位冲刺时间之间中高度负相关( $r = -0.49 \sim -0.55$ ),表明绝对力量是自行车运动员冲刺能力的重要影响因素,对于不同体型自行车运动员而言,绝对力量较大的运动员往往更具优势。此外,Stone 等<sup>[1]</sup>发现投掷运动员 IMTP 测试峰值力与投掷距离( $r = 0.67 \sim 0.75$ )以及抛实心球距离( $r = 0.70 \sim 0.79$ )呈中高度相关,表明了绝对力量对投掷运动能力的重要性。但 Leary 等<sup>[25]</sup>的研究发现 IMTP 测试中 150 ms 相对力与高尔夫运动员专项挥杆速度之间仅中度相关( $r = 0.46 \sim 0.48$ ),原因可能是高尔夫运动的发力模式与 IMTP 快速伸髋、伸膝的发力模式不相一致。因此,可以应用 IMTP 测试评价与其动作模式及力学特征相似的运动项目的专项运动能力。此外,在今后的研究中,仍需要继续关注 IMTP 测试与其他专项运动能力之间的相关性。

## 4 IMTP 测试与训练监控

运动员的运动能力是每一次训练刺激引发的应激与适应的积累,对运动员训练过程的监控有助于教练员深入了解运动员对不同训练刺激的应激与适应情况,并据此决定是否有必要对训练计划进行调整。IMTP 测试具有简便易行且不易疲劳的特点,适用于监测运动员的疲劳状况和适应水平。

### 4.1 应用 IMTP 测试监控疲劳

神经肌肉疲劳为完成特定任务时运动能力的急剧下降,包括在发力时疲劳程度的增加和发力能力的下降<sup>[48]</sup>。在体育运动中,疲劳表现为执行目标动作、练习或技术的能力下降,包括代谢、神经肌肉或认知层面的疲劳<sup>[49]</sup>。从疲劳监控角度出发,疲劳的量化对于训练计划的制定与训练负荷的调节具有重要作用。在高水平竞技运动中常使用疲劳量表、纵跳测试、冲刺速度、心率变异性、激素水平、免疫状态等指标评价疲劳水平<sup>[50-51]</sup>。虽然上述测试结果可以提供大量的信

息,但多数测试因成本较高或费时费力而无法在纵向监控过程中使用。相比之下,IMTP 测试作为一种新型肌肉力量测试具有易于执行以及疲劳与损伤风险较低的特点。此外,IMTP 测试指标敏感性高,可以较好反映运动员对训练负荷的适应程度<sup>[8]</sup>。作为 IMTP 测试主要指标之一的峰值力只有在产生严重过度训练的情况下才会明显下降,因此在疲劳监控方面作用较小<sup>[8]</sup>。相比之下,发力率在疲劳监控过程中具有较高的敏感性,由于早期阶段发力率主要受神经因素影响,因此使用 IMTP 测试早期阶段发力率有助于发现与神经肌肉疲劳有关的变化。

运动员经过高强度训练或比赛后其肌肉力量会明显下降,需要较长时间才能恢复到原有水平,IMTP 测试发力率可以用于监控大强度训练或比赛后的恢复情况。Bartolomei 等人<sup>[28]</sup>比较了中等训练强度高训练量(High Volume, HV)和高训练强度低训练量(High Intensity, HI)两种不同负荷结构抗阻训练后峰值力与发力率的急性变化,发现 HV 组训练后 30 min 时对峰值力和峰值发力率均出现一定程度的下降,但峰值力在运动后 24 h 左右便得到恢复,而发力率在运动后 72 h 尚未完全恢复至原有水平,其变化规律与纵跳功率、皮质醇和睾酮浓度等传统指标一致<sup>[28]</sup>,HV 组的血液指标变化表明高训练量引起对肌肉收缩时间增加可能导致更多的肌肉损伤以及更高的疲劳程度和代谢应激。HI 组训练量低于 HV 组,因而肌肉损伤程度、疲劳程度和代谢应激也低于 HV 组,HI 组运动后峰值力和不同时段发力率变化较小。因此,发力率可以用于监控运动员训练后肌肉力量的恢复水平,若运动员在很长一段时间内没有恢复到原有水平,那么教练员应当调整训练计划以使运动员得到更好的恢复,避免疲劳长期积累而导致过度训练。

#### 4.2 应用 IMTP 测试评估训练适应

对运动训练的适应进行量化评估不仅可以有效衔接训练计划与运动能力<sup>[8]</sup>,更有利于优化训练过程和提升运动能力<sup>[49]</sup>。IMTP 测试的峰值力和发力率在评价运动训练适应方面有一定的应用价值。Suarez 等人<sup>[29]</sup>使用 IMTP 测试对大学生举重运动员两个连续 4 周的板块周期训练阶段后的训练适应情况进行了研究,第一阶段为力量耐力板块,负荷结构为中低训练强度高训练量;第二阶段为力量功率板块,负荷结构为高强度中等训练量,在每个板块周期训练前后测量不同时段发力率( $RFD_{0-50/100/150/200/250\text{ ms}}$ )。结果表明,在力量耐力板块中,高训练量导致大量疲劳积累,发力率出现一定程度的下降,但在随后的力量功率板块中,训练量减少后疲劳积累下降,运动员适应良好,发力率恢复并超过原有水平。而峰值力在整个训练周期并未出现明显变化。综上所述,IMTP 测试峰值力可以监控运动员在长期训练过程中最大力量的变化,而不同时段发力率在一定程度上可以反映运动员在短期或长期训练过程中的疲劳累积以及对训练刺激的适应情况。因此通过 IMTP 测试峰值力与发力率监控运动员训练效果有利于教练员及时调整训练计划,进而

优化运动员的运动能力,最终提升其比赛成绩。

## 5 总结与展望

IMTP 测试作为下肢肌肉力量省时高效的新型测试方法,能够准确评估不同项目运动员的力量与爆发力水平。通过对 IMTP 测试力——时间曲线峰值力、发力率以及冲量等指标进行分析可以诊断和评估运动员的肌肉力量。此外,IMTP 测试可用于运动训练过程中对运动员进行短期和长期训练监控,以评价其疲劳程度和适应水平,进而帮助教练员及时调整训练计划,提升运动员的运动能力。对于现有研究结果不一致的情况,仍需选取更加合适的测试方法并通过标准化的测试步骤以提高测试结果的信效度。IMTP 测试的后续研究需要关注适用于不同性别、年龄、运动水平和运动专项的测试指标的确定以及常模数据的积累以提高 IMTP 测试诊断运动员下肢肌肉力量的针对性。

## 参 考 文 献

- [1] STONE M, SANBORN K, O'BRYANT H, et al. Maximum strength – power – performance relationships in collegiate throwers [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2003, 17(4): 739 – 745.
- [2] 卢志泉,夏正亮,李玉章,等. 肌肉力量的神经生物力学基础及诊断 [J]. *上海体育学院学报*, 2019, 43(3): 113 – 120.
- [3] STONE M, SANDS W, CARLOCK J, et al. The importance of isometric maximum strength and peak rate of force development in sprint cycling [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2004, 18(4): 878 – 884.
- [4] BAZYLIER C D, BECKHAM G K, SATO K. The use of the isometric squat as a measure of strength and explosiveness [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2015, 29(5): 1386 – 1392.
- [5] HAFF G G, RUBEN R P, LIDER J, et al. A comparison of methods for determining the rate of force development during isometric midhigh clean pulls [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2015, 29(2): 386 – 395.
- [6] BUCKNER S L, JESSEE M B, MATTOCKS K T, et al. Determining strength: A case for multiple methods of measurement [J]. *Sports Medicine*, 2017, 47(2): 193 – 195.
- [7] MCMASTER D T, GILL N, CRONIN J, et al. A brief review of strength and ballistic assessment methodologies in sport [J]. *Sports Medicine*, 2014, 44(5): 603 – 623.
- [8] HORNSBY G, HAFF G, SANDS W, et al. Alterations in strength characteristics for isometric and dynamic mid – thigh pulls in collegiate throwers across 11 weeks of training [J]. *Gazzetta Medica Italiana*, 2013, 172(1): 929 – 940.
- [9] COMFORT P, MCMAHON J J. Reliability of maximal back squat and power clean performances in inexperienced athletes [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2014, 29(11): 3089

- 3096.
- [10] STONE M H, MOIR G, GLAISTER M, et al. How much strength is necessary? - physical therapy in sport [J]. *Physical Therapy in Sport*, 2002, 3(2): 88-96.
- [11] MURPHY A J, WILSON G J. The ability of tests of muscular function to reflect training - induced changes in performance [J]. *Journal of Sports Sciences*, 1997, 15(2): 191-200.
- [12] MAFFIULETTI N A, AAGAARD P, BLAZEIVICH A J, et al. Rate of force development: Physiological and methodological considerations [J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2016, 116(6): 1091-1116.
- [13] WANG R, HOFFMAN J R, TANIGAWA S, et al. Isometric mid - thigh pull correlates with strength, sprint, and agility performance in collegiate rugby union players [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2016, 30(11): 3051-3056.
- [14] TOWNSEND J R, BENDER D, VANTREASE W, et al. Isometric mid - thigh pull performance is associated with athletic performance and sprinting kinetics in division i men and women's basketball players [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2017, 33(10): 2665-2673.
- [15] ZARAS N D, STASINAKI A N, METHENITIS S K, et al. Rate of force development, muscle architecture, and performance in young competitive track and field throwers [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2016, 30(1): 81-92.
- [16] HAFF G G, CARLOCK J M, HARTMAN M J, et al. Force - time curve characteristics of dynamic and isometric muscle actions of elite women olympic weightlifters [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2005, 19(4): 741-748.
- [17] WEST D J, OWEN N J, JONES M R, et al. Relationships between force - time characteristics of the isometric midthigh pull and dynamic performance in professional rugby league players [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2011, 25(11): 3070-3075.
- [18] MCGUIGAN M, WINCHESTER J, ERICKSON T. The importance of isometric maximum strength in college wrestlers [J]. *Journal of Sports Science & Medicine*, 2006, 5(CSSI): 108-113.
- [19] BLAZEIVICH A J, GILL N, NEWTON R U. Reliability and validity of two isometric squat tests [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2002, 16(2): 298-304.
- [20] HANSSON T H, BIGOS S J, WORTLEY M K, et al. The load on the lumbar spine during isometric strength testing [J]. *Spine*, 1984, 9(7): 720-724.
- [21] WILSON G, NEWTON R, MURPHY A, et al. The optimal training load for the development of dynamic athletic performance [J]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 1993, 25(11): 1279-1286.
- [22] MARCORA S, MILLER M K. The effect of knee angle on the external validity of isometric measures of lower body neuromuscular function [J]. *Journal of Sports Sciences*, 2000, 18(5): 313-319.
- [23] HAFF G, STONE M, O'BRYANT H, et al. Force - time dependent characteristics of dynamic and isometric muscle actions [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 1997, 11(4): 269-272.
- [24] GARHAMMER J. A review of power output studies of olympic and powerlifting: Methodology, performance prediction, and evaluation tests [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 1993, 7(2): 76-89.
- [25] LEARY B K, STATLER J, HOPKINS B, et al. The relationship between isometric force - time curve characteristics and club head speed in recreational golfers [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2012, 26(10): 2685-2697.
- [26] DOSSANTOS T, THOMAS C, COMFORT P, et al. Between - session reliability of isometric mid - thigh pull kinetics and maximal power clean performance in male youth soccer players [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2018, 32(12): 3364-3372.
- [27] THOMAS C, COMFORT P, JONES P A, et al. A comparison of isometric mid - thigh pull strength, vertical jump, sprint speed, and change of direction speed in academy netball players [J]. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 2017, 12(1): 916-921.
- [28] BARTOLOMEI S, SADRES E, CHURCH D D, et al. Comparison of the recovery response from high - intensity and high - volume resistance exercise in trained men [J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2017, 117(7): 1287-1298.
- [29] SUAREZ D, MIZUGUCHI, HORNSBY G, et al. Phase - specific changes in rate of force development and muscle morphology throughout a block periodized training cycle in weightlifters [J]. *Sports*, 2019, 7(1): 129.
- [30] COMFORT P, JONES P A, MCMAHON J J, et al. Effect of knee and trunk angle on kinetic variables during the isometric midthigh pull: Test - retest reliability [J]. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 2015, 10(1): 58-63.
- [31] BECKHAM G, LAMONT H, SATO K, et al. Isometric strength of powerlifters in key position of the conventional deadlift [J]. *Journal of Trainology*, 2012, 1(2): 32-35.
- [32] THOMAS C, COMFORT P, CHIANG C - Y, et al. Relationship between isometric mid - thigh pull variables and sprint and change of direction performance in collegiate athletes [J]. *Journal of Trainology*, 2015, 4(1): 6-10.
- [33] THOMAS C, JONES P, ROTHWELL J, et al. An investigation into the relationship between maximum isometric strength and vertical jump performance [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2015, 29(8): 2176-2185.
- [34] BRADY C, HARRISON A, FLANAGAN E, et al. The relationship between isometric strength and sprint acceleration in sprinters [J]. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2019, 15(5): 38-45.
- [35] KRASKA J M, RAMSEY M W, HAFF G G, et al. Relationship between strength characteristics and unweighted and weighted

- vertical jump height [J]. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 2009, 4(4): 461–473.
- [36] BECKHAM G, MIZUGUCHI S, CARTER C, et al. Relationships of isometric mid – thigh pull variables to weightlifting performance [J]. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 2013, 53(5): 573–581.
- [37] KHAMOUI A V, BROWN L E, NGUYEN D, et al. Relationship between force – time and velocity – time characteristics of dynamic and isometric muscle actions [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2011, 25(1): 198–204.
- [38] BECKHAM G K, SUCHOMEL T J, BAILEY C A, et al. The relationship of the reactive strength index – modified and measures of force development in the isometric mid – thigh pull [Z]. 32nd International Conference of Biomechanics in Sports. Johnson City, TN, USA. 2014: 12–16
- [39] ANDERSEN L L, ANDERSEN J L, ZEBIS M K, et al. 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.
- [40] MCMAHON J, MURPHY S, REJ S, et al. Countermovement – jump – phase characteristics of senior and academy rugby league players [J]. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2017, 12(6): 803–811.
- [41] KAWAMORI N, ROSSI S J, JUSTICE B D, et al. Peak force and rate of force development during isometric and dynamic mid – thigh clean pulls performed at various intensities [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2006, 20(3): 483–491.
- [42] SECOMB J L, LUNDGREN L E, FARLEY O R L, et al. Relationships between lower – body muscle structure and lower – body strength, power, and muscle – tendon complex stiffness [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2015, 29(8): 2221–2228.
- [43] NUZZO J L, MCBRIDE J M, CORMIE P, et al. Relationship between countermovement jump performance and multijoint isometric and dynamic tests of strength [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2008, 22(3): 699–707.
- [44] THOMAS C, DOSSANTOS T, COMFORT P, et al. Relationship between isometric strength, sprint, and change of direction speed in male academy cricketers [J]. *Journal of Trainology*, 2016, 5(2): 18–23.
- [45] GREEN B S, BLAKE C, CAULFIELD B M. A comparison of cutting technique performance in rugby union players [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2011, 25(10): 2668–2680.
- [46] SPITERI T, NEWTON R U, BINETTI M, et al. Mechanical determinants of faster change of direction and agility performance in female basketball athletes [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2015, 29(8): 2415–2423.
- [47] PETERSON M, BA A, MR R. The contribution of maximal force production to explosive movement among young collegiate athletes [J]. *Strength and Conditioning Research*, 2006, 20(4): 867–873.
- [48] ENOKA R M, STUART D G. Neurobiology of muscle fatigue [J]. *Journal of Applied Physiology*, 1992, 72(5): 1631–1648.
- [49] HUGHES S, CHAPMAN D W, HAFF G G, et al. The use of a functional test battery as a non – invasive method of fatigue assessment [J]. *PloS One*, 2019, 14(2): e0212870.
- [50] BOUAZIZ T, MAKNI E, PASSELERGUE P, et al. Multifactorial monitoring of training load in elite rugby sevens players: Cortisol/cortisone ratio as a valid tool of training load monitoring [J]. *Biology of Sport*, 2016, 33(3): 231–239.
- [51] 赵海涛,曹庆雷,刘鑫,等. 肌肉运动疲劳的生物标志物研究进展[J]. *成都体育学院学报*, 2021, 47(02): 128–135.

## Applications of Isometric Mid – thigh Pull Test in Lower Body Muscular Strength Evaluation

LU Heng<sup>1</sup>, XU Yilin<sup>2</sup>, WANG Ran<sup>1</sup>

(1. *School of Physical Education and Sport Training, Shanghai University of Sport, Shanghai 200438*; 2. *Biomechanics Laboratory, Jiangsu Research Institute of Sports Science, Nanjing Jiangsu, 210033*)

**Abstract:** As a multi – joint isometric test, the isometric mid – thigh pull (IMTP) is commonly used to evaluate athletes' lower body strength and power. With the portability of the testing device, IMTP has been used in high – performance sports worldwide. However, its application in China has never been reported before. Existing literature shows that the IMTP is more efficient and less fatigable compared with traditional dynamic test and single – joint isometric test. Besides, peak force, rate of force development, and impulse derived from the IMTP force – time curve are highly reliable and correlated with strength, power, sprint, and change – of – direction. Coaches and researchers could use IMTP to evaluate performance profile and monitor the training process, understand the training status and adaptation, and optimize training programs to further improve athletes' performance.

**Key words:** isometric mid – thigh pull; neuromuscular function; strength; power; training monitoring; athletes; training

**CLC number:** G804.5 **Document code:** A **Article ID:** 1001 – 9154(2022)01 – 0129 – 07

(编辑 李新)



表 1 IMTP 测试力-时间曲线指标的信度及其与动态运动能力之间的相关性

Table 1 Reliabilities of IMTP force-time curve characteristics and their correlations with dynamic performance			
作者	受试者信息	测试指标	测试指标之间的相关性
IMTP 测试指标的 ICC 与 CV			
Haff 等人 <sup>[1]</sup>	8 名男子力量举训练经验运动员, 年龄 27 $\pm$ 3 岁	IMTP DMTP CMI SJ	<b>PF:</b> SJ <sub>PF</sub> ( $r = 0.76$ ) <b>pRFD:</b> SJ <sub>PF</sub> : ( $r = 0.76$ ), SJ <sub>H</sub> ( $r = 0.82$ )
Stone 等人 <sup>[2]</sup>	5 名男子和 6 名女子投掷运动员, 训练年限 1~6 年不等, 年龄 18~21 岁	IMTP	<b>PF:</b> 抓举( $r = 0.94 \sim 0.98$ ), 投掷 ( $r = 0.67 \sim 0.75$ ), 抛实心球 ( $r = 0.70 \sim 0.79$ )
			<b>ICC:</b> $PF = 0.98, pRFD = 0.81$
Stone 等人 <sup>[3]</sup>	16 名男子和 4 名女子自行车运动员, 年龄 33 $\pm$ 9 岁	IMTP CMI SJ 自行车专项测试	<b>PF:</b> CMI <sub>H</sub> ( $r = 0.59, 0.67$ ), CMI <sub>PP</sub> ( $r = 0.79, 0.85$ ), SJ <sub>H</sub> ( $r = 0.51, 0.66$ ), SJ <sub>PP</sub> ( $r = 0.78, 0.86$ ), PP <sub>Wingate</sub> ( $r = 0.74, 0.90$ ), LG <sub>25 m</sub> ( $r = -0.49$ ), LG <sub>C1</sub> ( $r = -0.54$ ), LG <sub>B</sub> ( $r = -0.52$ ), LG <sub>C2</sub> ( $r = -0.50$ ), LG <sub>F</sub> ( $r = -0.50$ ), HG <sub>25 m</sub> ( $r = -0.50$ ), HG <sub>C1</sub> ( $r = -0.51$ ), HG <sub>B</sub> ( $r = -0.54$ ), HG <sub>C2</sub> ( $r = -0.55$ ), HG <sub>F</sub> ( $r = -0.54$ ) <b>RPF:</b> CMI <sub>H</sub> ( $r = 0.45, 0.59$ ), SJ <sub>H</sub> ( $r = 0.61$ ), PP <sub>Wingate</sub> ( $r = 0.51$ ) <b>PF<sub>allio</sub>:</b> CMI <sub>H</sub> ( $r = 0.67$ ), CMI <sub>PP</sub> ( $r = 0.60, 0.64$ ), SJ <sub>H</sub> ( $r = 0.48, 0.68$ ), SJ <sub>PP</sub> ( $r = 0.59, 0.61$ ), PP <sub>Wingate</sub> ( $r = 0.53, 0.66$ )
Stone 等人 <sup>[4]</sup>	16 名女子举重运动员, 年龄 23 $\pm$ 4 岁	IMTP 抓举 挺举	<b>PF:</b> 抓举 ( $r = 0.83$ ), 挺举 ( $r = 0.84$ )
			<b>ICC:</b> $PF = 0.99$
Haff 等人 <sup>[5]</sup>	6 名女子精英举重运动员, 年龄 22 $\pm$ 3 岁	IMTP CMI SJ	<b>PF:</b> CMI <sub>PP</sub> ( $r = 0.88$ ), SJ <sub>PP</sub> ( $r = 0.92$ ), 1 RM <sub>抓举</sub> ( $r = 0.93$ ), 总重量( $r = 0.80$ ) <b>pRFD:</b> CMI <sub>PP</sub> ( $r = 0.81$ ), SJ <sub>PP</sub> ( $r = 0.84$ ), 总重量( $r = 0.84$ )
Kavannori 等人 <sup>[6]</sup>	8 名男子大学举重运动员, 年龄 21 $\pm$ 2 岁	IMTP DMTP CMI SJ	<b>PF:</b> CMI <sub>PF</sub> ( $r = 0.87$ ), CMI <sub>pRFD</sub> ( $r = 0.85$ ), CMI <sub>PP</sub> ( $r = 0.95$ ), CMI <sub>H</sub> ( $r = 0.82$ ), SJ <sub>H</sub> ( $r = 0.87$ )
			<b>ICC:</b> $PF = 0.97, pRFD = 0.96$
McGuigan 等人 <sup>[7]</sup>	8 名男子大学摔跤运动员, 年龄 20 $\pm$ 0.4 岁	IMTP 深蹲/高翻 1 RM	<b>PF:</b> 1 RM <sub>高翻</sub> ( $r = 0.97$ ), 1 RM <sub>深蹲</sub> ( $r = 0.96$ )
Nuzzo 等人	12 名男子 NCAA 一级联赛足球运动员,	IMTP ISQ	<b>PF:</b> CMI <sub>PP</sub> ( $r = 0.75$ ), 1 RM <sub>高翻</sub> ( $r = 0.74$ ), PF <sub>ISQ</sub> ( $r = 0.79$ ) <b>RPF:</b> CMI <sub>H</sub> ( $r = 0.59$ )
			<b>ICC:</b> $PF \geq 0.98$



[8] 年龄 20±1 岁		高翻/深蹲	
		1 RM	<b>pRFD:</b> CMJ <sub>pp</sub> ( $r = 0.65$ )
		CMJ	
Kraska 等人 [9]	22 名男子和 41 名女子大学生运动员，年龄 20±1 岁	IMTP CMJ SJ	<b>PF:</b> SJ <sub>H0 Kg</sub> ( $r = 0.4$ ), SJ <sub>H20 Kg</sub> ( $r = 0.55$ ), CMJ <sub>H0 Kg</sub> ( $r = 0.36$ ), CMJ <sub>H20 Kg</sub> ( $r = 0.55$ )
			<b>PF<sub>allo</sub>:</b> SJ <sub>H0 Kg</sub> ( $r = 0.47$ ), SJ <sub>H20 Kg</sub> ( $r = 0.52$ ), CMJ <sub>H0 Kg</sub> ( $r = 0.41$ ), CMJ <sub>H20 Kg</sub> ( $r = 0.52$ )
			<b>F<sub>50 ms</sub>:</b> SJ <sub>H0 Kg</sub> ( $r = 0.33$ ), SJ <sub>H20 Kg</sub> ( $r = 0.52$ ), CMJ <sub>H0 Kg</sub> ( $r = 0.27$ ), CMJ <sub>H20 Kg</sub> ( $r = 0.50$ )
			<b>F<sub>50 ms</sub>Allo:</b> SJ <sub>H0 Kg</sub> ( $r = 0.33$ ), SJ <sub>H20 Kg</sub> ( $r = 0.48$ ), CMJ <sub>H20 Kg</sub> ( $r = 0.45$ )
			<b>F<sub>90 ms</sub>:</b> SJ <sub>H20 Kg</sub> ( $r = 0.37$ ), CMJ <sub>H20 Kg</sub> ( $r = 0.33$ )
			<b>F<sub>90 ms</sub>Allo:</b> CMJ <sub>H20 Kg</sub> ( $r = 0.48$ )
			<b>F<sub>250 ms</sub>:</b> SJ <sub>H0 Kg</sub> ( $r = 0.39$ ), SJ <sub>H20 Kg</sub> ( $r = 0.56$ ), CMJ <sub>H0 Kg</sub> ( $r = 0.34$ ), CMJ <sub>H20 Kg</sub> ( $r = 0.54$ )
			<b>F<sub>250 ms</sub>Allo:</b> SJ <sub>H0 Kg</sub> ( $r = 0.42$ ), SJ <sub>H20 Kg</sub> ( $r = 0.51$ ), CMJ <sub>H0 Kg</sub> ( $r = 0.34$ ), CMJ <sub>H20 Kg</sub> ( $r = 0.48$ )
			<b>pRFD:</b> SJ <sub>H0 Kg</sub> ( $r = 0.48$ ), SJ <sub>H20 Kg</sub> ( $r = 0.66$ ), CMJ <sub>H0 Kg</sub> ( $r = 0.43$ ), CMJ <sub>H20 Kg</sub> ( $r = 0.62$ )
			<b>ICC:</b> $PF = 0.99$ , $RFD = 0.86$ , $F_{50\ ms} = 0.79$ , $F_{90\ ms} = 0.98$ , $F_{250\ ms} = 0.94$
McGuigan 等人 [10]	26 名男子业余运动员，22±1 岁	IMTP 深蹲/卧推 1 RM	<b>PF:</b> 1 RM <sub>深蹲</sub> ( $r = 0.97$ ), 1 RM <sub>卧推</sub> ( $r = 0.99$ ), VJ <sub>H</sub> ( $r = 0.70$ )
West 等人 [11]	39 名橄榄球运动员，年龄 24±5 岁	IMTP CMJ 10 m 冲刺	<b>PF:</b> CMJ <sub>CP</sub> ( $r = 0.52$ )
			<b>RPF:</b> T <sub>10 m</sub> ( $r = -0.37$ ), CMJ <sub>H</sub> ( $r = 0.45$ ) <b>pRFD:</b> T <sub>10 m</sub> ( $r = -0.66$ ), CMJ <sub>H</sub> ( $r = 0.39$ ) <b>F<sub>100 ms</sub>:</b> T <sub>10 m</sub> ( $r = -0.54$ ), CMJ <sub>CP</sub> ( $r = 0.55$ ) <b>RF<sub>100 ms</sub>:</b> T <sub>10 m</sub> ( $r = -0.68$ ), CMJ <sub>H</sub> ( $r = 0.43$ ), CMJ <sub>CP</sub> ( $r = 0.38$ ) <b>RPF:</b> VJ <sub>PV</sub> ( $r = 0.62$ ), VJ <sub>H</sub> ( $r = 0.61$ ), HP <sub>PV</sub> ( $r = -0.60$ ) <b>RFD<sub>50 ms</sub>:</b> HP <sub>PV</sub> ( $r = 0.56$ ), HP <sub>RVD</sub> ( $r = 0.52$ ) <b>RFD<sub>100 ms</sub>:</b> HP <sub>PV</sub> ( $r = 0.56$ ), HP <sub>RVD</sub> ( $r = 0.49$ )
Khamoui 等人 [12]	19 名男子业余运动员，年龄 24±3 岁	IMTP 高拉 VJ	<b>ICC:</b> $PF \& RFD = 0.94$ ,
Leary 等人 [13]	12 名男子业余高尔夫运动员，年龄 20±1 岁	IMTP CMJ SJ CHV	<b>ICC:</b> $PF \geq 0.98$ , $RFD \geq 0.81$
Beckham 等人 [14]	10 名男子和 2 名女子国家级与校级举重运动员	IMTP 抓举/挺举 1 RM	<b>ICC:</b> $PF = 0.94$ , $F_{100\ ms} = 0.84$ , $F_{150\ ms} = 0.89$ , $F_{200\ ms} = 0.94$ , $F_{250\ ms} = 0.95$ , $RFD_{0-100\ ms} = 0.86$ , $RFD_{0-150\ ms} = 0.92$ ,

Beckham 等人 [15]	106 名 NCAA 一级联 赛运动员	IMTP RSI	$RFD_{0 \sim 200\text{ ms}}: 1\text{ RM}$ 肌率( $r = 0.65$ ), $1\text{ RM}_{\text{CT}}(r = 0.6)$ $RFD_{0 \sim 250\text{ ms}}: 1\text{ RM}$ 肌率( $r = 0.78$ ), $1\text{ RM}$ 肌率( $r = 0.72$ ), $1\text{ RM}$ 总重量( $r = 0.75$ )	$RFD_{0 \sim 200\text{ ms}} = 0.95$ , $RFD_{0 \sim 250\text{ ms}} = 0.95$ , $pRFD_{5\text{ ms}} = 0.97$
			$PF_{\text{Alto}}: RSI_{\text{mod}}(r = 0.54)$ $PF: RSI_{\text{mod}}(r = 0.51)$ $F_{200\text{ ms}}: RSI_{\text{mod}}(r = 0.45)$ $\text{avg}RFD_{0 \sim 200\text{ ms}}: RSI_{\text{mod}}(r = 0.44)$ $IMP_{0 \sim 200\text{ ms}}: RSI_{\text{mod}}(r = 0.43)$ $F_{200\text{ msAlto}}: RSI_{\text{mod}}(r = 0.34)$	$ICC:$ $PF = 0.98$ , $RFD_{0 \sim 200\text{ ms}} = 0.90$ , $PF_{\text{Alto}} = 0.97$ , $F_{200\text{ ms}} = 0.94$ , $IMP_{200\text{ ms}} = 0.93$ $CV:$ $PF = 4.1\%$ , $RFD_{0 \sim 200\text{ ms}} = 16.9\%$ , $PF_{\text{Alto}} = 4.1\%$ , $F_{200\text{ ms}} = 9.4\%$ , $IMP_{200\text{ ms}} = 8.4\%$
Secomb 等人 [16]	23 名男子和 7 名女 子青少年冲浪运动 员, 年龄 $15 \pm 2$ 岁	IMTP、 CMI、 SJ	$PF: CMI_{\text{PF}}(r = 0.87)$ , $CMI_{\text{PV}}(r = 0.56)$ , $CMI_{\text{H}}(r = 0.48)$ , $SJ_{\text{PF}}(r = 0.80)$ , $SJ_{\text{H}}(r = 0.48)$ $RPF: CMI_{\text{PF}}(r = 0.39)$ , $CMI_{\text{PV}}(r = 0.54)$ , $CMI_{\text{H}}(r = 0.46)$ , $SJ_{\text{H}}(r = 0.40)$ , $PF(r = 0.69)$	$ICC:$ $PF = 0.98$
Thomas 等人 [17]	14 名男子大学足球/ 橄榄球运动员, 年龄 $21 \pm 3$ 岁	IMTP T20 m 505 测试	$PF: T_{5\text{ m}}(r = -0.57)$ , $T_{20\text{ m}}(r = -0.69)$ , $505(r = -0.57)$ $pRFD: T_{5\text{ m}}(r = -0.58)$ , $T_{20\text{ m}}(r = -0.71)$ , $505(r = -0.57)$ $IMP_{100\text{ ms}}: T_{5\text{ m}}(r = -0.71)$ , $T_{20\text{ m}}(r = -0.75)$ , $505(r = -0.58)$ $IMP_{300\text{ ms}}: T_{5\text{ m}}(r = -0.74)$ , $T_{20\text{ m}}(r = -0.78)$ , $505(r = -0.62)$	$ICC:$ $PF = 0.96$ , $pRFD = 0.93$ , $IMP_{100\text{ ms}} = 0.97$ , $IMP_{300\text{ ms}} = 0.96$ $CV:$ $PF = 4.3\%$ , $pRFD = 11.1\%$ , $IMP_{100\text{ ms}} = 3.2\%$ , $IMP_{300\text{ ms}} = 3.1\%$
Sptieri 等人 [18]	12 名女子篮球运动 员, 年龄 $24 \pm 3$ 岁	IMTP T 测试 505 测试	$RPF: T$ 测试( $r = -0.85$ ), $505(r = -0.79)$	 
Thomas 等人 [19]	22 名男子大学板球/ 柔道/橄榄球/足球运 动员, 年龄 $21 \pm 2$ 岁	IMTP CMI SJ	$PF: CMI_{\text{PF}}(r = 0.45)$ , $SJ_{\text{PF}}(r = 0.46)$ $IMP_{100\text{ ms}}: CMI_{\text{PF}}(r = 0.64)$ , $SJ_{\text{PF}}(r = 0.57)$ , $CMI_{\text{PP}}(r = 0.51)$ , $SJ_{\text{PP}}(r = 0.60)$ $IMP_{200\text{ ms}}: CMI_{\text{PF}}(r = 0.63)$ , $SJ_{\text{PF}}(r = 0.56)$ , $CMI_{\text{PP}}(r = 0.50)$ , $SJ_{\text{PP}}(r = 0.59)$ $IMP_{300\text{ ms}}: CMI_{\text{PF}}(r = 0.63)$ , $SJ_{\text{PF}}(r = 0.58)$ , $CMI_{\text{PP}}(r = 0.49)$ , $SJ_{\text{PP}}(r = 0.60)$	$ICC:$ $PF = 0.97$ , $pRFD = 0.81$ , $IMP_{100\text{ ms}} = 0.87$ , $IMP_{200\text{ ms}} = 0.86$ , $IMP_{300\text{ ms}} = 0.87$ $CV:$ $PF = 4.2\%$ , $pRFD = 15.1\%$ , $IMP_{100\text{ ms}} = 6.1\%$ , $IMP_{200\text{ ms}} = 6.2\%$ , $IMP_{300\text{ ms}} = 5.7\%$
Wang 等人 [20]	15 名大学生橄榄球 运动员, 年龄 $21 \pm 1$	IMTP 深蹲 1 RM	$PF: 1\text{ RM}_{\text{SQ}}(r = 0.87)$ , $F_{90\text{ ms}}: 1\text{ RM}_{\text{SQ}}(r = 0.76)$ , $F_{100\text{ ms}}: 1\text{ RM}_{\text{SQ}}(r = 0.79)$ ,	 

	40 m 冲刺 专业灵敏 T-测试	<p><b>F</b><sub>150 ms</sub>: 1 RM<sub>SQ</sub> (<math>r = 0.78</math>),  <b>F</b><sub>250 ms</sub>: 1 RM<sub>SQ</sub> (<math>r = 0.82</math>),  <b>pRFD</b>: 灵敏 (<math>r = -0.52</math>), <b>T</b><sub>5 m</sub> (<math>r = -0.54</math>)  <b>RFD</b><sub>30 ms</sub>: 灵敏 (<math>r = -0.52</math>), <b>T</b><sub>5 m</sub> (<math>r = -0.57</math>)  <b>RFD</b><sub>50 ms</sub>: 灵敏 (<math>r = -0.53</math>), <b>T</b><sub>5 m</sub> (<math>r = -0.53</math>)  <b>RFD</b><sub>90 ms</sub>: 1 RM<sub>SQ</sub> (<math>r = 0.6</math>), Pro-agility (<math>r = -0.53</math>),  <b>RFD</b><sub>100 ms</sub>: 1 RM<sub>SQ</sub> (<math>r = 0.66</math>), Pro-agility (<math>r = -0.52</math>)  <b>RFD</b><sub>150 ms</sub>: 1 RM<sub>SQ</sub> (<math>r = 0.68</math>)  <b>RFD</b><sub>200 ms</sub>: 1 RM<sub>SQ</sub> (<math>r = 0.66</math>)  <b>RFD</b><sub>250 ms</sub>: 1 RM<sub>SQ</sub> (<math>r = 0.75</math>)</p>	
De Witt 等人 <sup>[21]</sup>	9 名男子业余运动 员, 年龄 40±8  IMTP 硬拉 1 RM	<p><b>PF</b>: 1 RM<sub>硬拉</sub> (<math>r = 0.88</math>)</p>	<p><b>ICC</b>:  <b>PF</b><sub>相同测试者</sub> = 0.97,  <b>PF</b><sub>不同测试者</sub> = 0.89,  <b>F</b><sub>250 ms</sub> = 0.80</p>
Thomas 等人 <sup>[22]</sup>	18 名男子板球运动 员, 年龄 17±1 岁  IMTP CMJ SJ 20 m 冲刺 505 变向	<p><b>RPF</b>: 505 L (<math>r = -0.49</math>)  <b>RPF</b><sub>L</sub>: <b>T</b><sub>20 m</sub> (<math>r = -0.5</math>), 505<sub>L</sub> (<math>r = -0.65</math>), 505<sub>R</sub> (<math>r = -0.47</math>)  <b>RPF</b><sub>R</sub>: <b>T</b><sub>5 m</sub> (<math>r = -0.52</math>), <b>T</b><sub>10 m</sub> (<math>r = -0.49</math>), <b>T</b><sub>20 m</sub> (<math>r = -0.53</math>), 505<sub>L</sub> (<math>r = -0.65</math>),  505<sub>R</sub> (<math>r = -0.48</math>)</p>	<p><b>ICC</b>:  <b>PF</b> = 0.9, <b>PF</b><sub>R</sub> = 0.92, <b>PF</b><sub>L</sub> = 0.95  <b>CV</b>:  <b>PF</b> = 6.4%, <b>PF</b><sub>R</sub> = 6.1%,  <b>PF</b><sub>L</sub> = 4.5%</p>
Thomas 等人 <sup>[23]</sup>	26 名女子无板篮球 运动员, 年龄 16±1 岁  IMTP	<p><b>RPF</b>: 505<sub>R</sub> (<math>r = -0.66</math>), <b>T</b><sub>5 m</sub> (<math>r = -0.49</math>)</p>	<p><b>ICC</b>:  <b>PF</b> = 0.91  <b>CV</b>:  <b>PF</b> = 5.3%</p>
Townsend 等人 <sup>[24]</sup>	篮球运动员(男 8 女 15), 男子年龄 20±2 岁, 女子年龄 20±1 岁  IMTP CMJ 前蹲/悬垂 高翻 1 RM 专业灵敏 侧向灵敏 20m 冲刺	<p><b>PF</b>: 1 RM<sub>前蹲</sub> (<math>r = 0.71</math>), 1 RM<sub>MPC</sub> (<math>r = 0.89</math>), <b>CMJ</b><sub>H</sub> (<math>r = 0.81</math>),  专业灵敏 (<math>r = -0.66</math>), 侧向灵敏 (<math>r = -0.52</math>), <b>T</b><sub>5 m</sub> (<math>r = -0.62</math>),  <b>T</b><sub>10 m</sub> (<math>r = -0.67</math>), <b>T</b><sub>15 m</sub> (<math>r = -0.70</math>), <b>T</b><sub>20 m</sub> (<math>r = -0.69</math>)  <b>RFD</b><sub>0~200 ms</sub>: 1 RM<sub>悬垂高翻</sub> (<math>r = 0.67</math>), <b>CMJ</b><sub>H</sub> (<math>r = 0.56</math>), <b>T</b><sub>10 m</sub> (<math>r = -0.45</math>),  <b>T</b><sub>15 m</sub> (<math>r = -0.47</math>), <b>T</b><sub>20 m</sub> (<math>r = -0.47</math>)  <b>RFD</b><sub>0~250 ms</sub>: 1 RM<sub>悬垂高翻</sub> (<math>r = 0.7</math>), <b>CMJ</b><sub>H</sub> (<math>r = 0.57</math>), <b>T</b><sub>10 m</sub> (<math>r = -0.43</math>),  <b>T</b><sub>15 m</sub> (<math>r = -0.45</math>), <b>T</b><sub>20 m</sub> (<math>r = -0.45</math>)</p>	/
DosSanto S 等人 <sup>[25]</sup>	36 男子和 7 名女子 赛艇、足球、自行 车、曲棍球运动员, 年龄 20±2 岁  IMTP VJ 高翻 1 RM	<p><b>PF</b>: <b>RSImod</b> (<math>r = 0.39</math>), 1 RM<sub>高翻</sub> (<math>r = 0.67</math>)  <b>F</b><sub>100 ms</sub>: <b>PC</b> (<math>r = 0.63</math>)  <b>F</b><sub>150 ms</sub>: <b>RSImod</b> (<math>r = 0.43</math>), <b>PC</b> (<math>r = 0.57</math>)  <b>F</b><sub>200 ms</sub>: <b>RSImod</b> (<math>r = 0.45</math>), <b>PC</b> (<math>r = 0.63</math>)  <b>F</b><sub>250 ms</sub>: <b>CMJ</b><sub>H</sub> (<math>r = 0.35</math>), <b>RSImod</b> (<math>r = 0.42</math>), <b>PC</b> (<math>r = 0.66</math>)</p>	<p><b>ICC</b>:  <b>PF</b> = 0.99, <b>F</b><sub>100 ms</sub> = 0.96,  <b>F</b><sub>150 ms</sub> = 0.97, <b>F</b><sub>200 ms</sub> = 0.97,  <b>F</b><sub>250 ms</sub> = 0.97  <b>CV</b>:  <b>PF</b> = 3.7%, <b>F</b><sub>100 ms</sub> = 7.3%,</p>

Brady 等人 [26]	15 名男子和 10 名女 子短跑运动员，年龄 22±4 岁	IMTP 30 m 冲刺	PF: $T_{5m}$ ( $r = -0.63$ ), $T_{10-20m}$ ( $r = -0.53$ ) RPF: $T_{5m}$ ( $r = -0.53$ ) $F_{100\ ms}$ : $T_{5m}$ ( $r = -0.59$ ) $F_{150\ ms}$ : $T_{5m}$ ( $r = -0.62$ ), RFD <sub>0-200 ms</sub> : $T_{5m}$ ( $r = -0.56$ ), IMP <sub>0-200 ms</sub> : $T_{5m}$ ( $r = -0.58$ )	$F_{150\ ms} = 8.0\%$ , $F_{200\ ms} = 6.8\%$ , $F_{250\ ms} = 6.2\%$ ICC: $PF = 0.98$ , $RPF = 0.98$ , $F_{100\ ms} = 0.92$ , $F_{150\ ms} = 0.96$ , $F_{200\ ms} = 0.97$ , $RFD_{0-150\ ms} = 0.92$ , $RFD_{0-200\ ms} = 0.94$ , $IMP_{0-200\ ms} = 0.96$ CV: $PF = 4.7\%$ , $RPF = 4.7\%$ , $F_{100\ ms} = 9.1\%$ , $F_{150\ ms} = 5.6\%$ , $F_{200\ ms} = 5.3\%$ , $RFD_{0-150\ ms} = 8.8\%$ , $RFD_{0-200\ ms} = 7.2\%$ , $IMP_{0-200\ ms} = 6.1\%$
---------------------	--------------------------------------	-----------------	---	--

注：“r”表示未提及；DMTP：大腿中部拉；PF：峰值力；RPF：相对峰值力；PF<sub>Δ10</sub>：根据体型标准化的 PF；RPF<sub>L/R</sub>：左/右脚相对峰值力；pRFD：峰值发力率；F<sub>50/90/100/150/250 ms</sub>：50/90/100/150/250 ms 处力；F<sub>50/90/150/200/250 msΔ10</sub>：标准化 50/90/150/200/250 ms 处力；RF<sub>100 ms</sub>：100 ms 处相对力；RFD<sub>50/100/150/200/250/0 ~ 200 ms/0 ~ 250 ms</sub>：50/100/150/200/250/0 ~ 200 ms/0 ~ 250 ms 发力率；avgRFD<sub>0 ~ 200 ms</sub>：0 ~ 200 ms 平均发力率；IMP<sub>100/200/300/0 ~ 200 ms/100/200/300/0 ~ 200 ms</sub>：200 ms 冲量；T<sub>5/10/15/20 m</sub>：5/10/15/20m 冲刺时间；CMJ：反向纵跳；SJ：静蹲跳；VJ：垂直纵跳；CMJ/SJ<sub>pr</sub>：CMJ/SJ 峰值功率；CMJ/SJ<sub>prF</sub>：CMJ/SJ 峰值力；CMJ<sub>cp</sub>：CMJ 向心功率；CMJ/SJ<sub>pv</sub>：CMJ/SJ 峰值速度；CMJ/SJ/VJ<sub>H</sub>：CMJ/SJ/VJ 高度；CMJ/SJ<sub>H0 kg</sub>：无负重 CMJ/SJ 高度；CMJ/SJ<sub>H10/20 kg</sub>：负重 10/20kgCMJ/SJ 高度；PP<sub>Wingate</sub>：Wingate 峰值功率；L/HG<sub>25 mCI/B/C2F</sub>：场地自行车低/高速档第 25/83.3/166.6/249.9/333.3 m；HP<sub>pv/RVD</sub>：高拉峰值速度/速率；a/pCHV：高尔夫平均/峰值挥杆速度；RSL<sub>mod</sub>：改良反应力量指数；505<sub>L/R</sub>：左右脚 505 变向；ICC(90/95% CI)：组内相关系数（90/95%置信区间）；CV(90/95% CI)：变异系数（90/95%置信区间）



## 参考文献

- [1] HAFF G, STONE M, O'BRYANT H, et al. Force-time dependent characteristics of dynamic and isometric muscle actions [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 1997, 11(4): 269-272.
- [2] STONE M, SANBORN K, O'BRYANT H, et al. Maximum strength-power-performance relationships in collegiate throwers [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2003, 17(4): 739-745.
- [3] STONE M, SANDS W, CARLOCK J, et al. The importance of isometric maximum strength and peak rate-of-force development in sprint cycling [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2004, 18(4): 878-884.
- [4] STONE M H, SANDS W A, PIERCE K C, et al. Relationship of maximum strength to weightlifting performance [J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2005, 37(6): 1037-1043.
- [5] HAFF G G, CARLOCK J M, HARTMAN M J, et al. Force-time curve characteristics of dynamic and isometric muscle actions of elite women olympic weightlifters [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2005, 19(4): 741-748.
- [6] KAWAMORI N, ROSSI S J, JUSTICE B D, et al. Peak force and rate of force development during isometric and dynamic mid-thigh clean pulls performed at various intensities [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2006, 20(3): 483-491.
- [7] MCGUGAN M, WINCHESTER J, ERICKSON T. The importance of isometric maximum strength in college wrestlers [J]. *Journal of Sports Science & Medicine*, 2006, 5(CSSD): 108-113.
- [8] NUZZO J L, MCBRIDE J M, CORMIE P, et al. Relationship between countermovement jump performance and multijoint isometric and dynamic tests of strength [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2008, 22(3): 699-707.
- [9] KRASKA J M, RAMSEY M W, HAFF G G, et al. Relationship between strength characteristics and unweighted and weighted vertical jump height [J]. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 2009, 4(4): 461-473.
- [10] MCGUGAN M R, NEWTON M J, WINCHESTER J B, et al. Relationship between isometric and dynamic strength in recreationally trained men [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2010, 24(9): 2570-2573.
- [11] WEST D J, OWEN N J, JONES M R, et al. Relationships between force-time characteristics of the isometric midhigh pull and dynamic performance in professional rugby league players [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2011, 25(11): 3070-3075.
- [12] KHAMOUI A V, BROWN L E, NGUYEN D, et al. Relationship between force-time and velocity-time characteristics of dynamic and isometric muscle actions [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2011, 25(1): 198-204.
- [13] LEARY B K, STATLER J, HOPKINS B, et al. The relationship between isometric force-time curve characteristics and club head speed in recreational golfers [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2012, 26(10): 2685-2697.
- [14] BECKHAM G, MIZUGUCHI S, CARTER C, et al. Relationships of isometric mid-thigh pull variables to weightlifting performance [J]. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 2013, 53(5): 573-581.
- [15] BECKHAM G K, SUCHOMEL T J, BAILEY C A, et al. The relationship of the reactive strength index-modified and measures of force development in the isometric mid-thigh pull [Z]. 32nd International Conference of Biomechanics in Sports. Johnson City, TN, USA. 2014: 12-16
- [16] SECOMB J L, LUNDGREN L E, FARLEY O R L, et al. Relationships between lower-body muscle structure and lower-body strength, power, and muscle-tendon complex stiffness [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2015, 29(8): 2221-2228.
- [17] THOMAS C, COMFORT P, CHIANG C-Y, et al. Relationship between isometric mid-thigh pull variables and sprint and change of direction performance in collegiate athletes [J]. *Journal of Trainology*, 2015, 4(1): 6-10.
- [18] SPITERI T, NEWTON R U, BINETTI M, et al. Mechanical determinants of faster change of direction and agility performance in female basketball athletes [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2015, 29(8): 2415-2423.
- [19] THOMAS C, JONES P, ROTHWELL J, et al. An investigation into the relationship between maximum isometric strength and vertical jump performance [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2015, 29(8): 2176-2185.
- [20] WANG R, HOFFMAN J R, TANIGAWA S, et al. Isometric mid-thigh pull correlates with strength, sprint, and agility performance in collegiate rugby union players [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2016, 30(11): 3051-3056.

- [21] DE WITT J K, ENGLISH K L, CROWELL J B, et al. Isometric midthigh pull reliability and relationship to deadlift one repetition maximum [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2016, 32(2): 528-533.
- [22] THOMAS C, DOS SANTOS T, COMFORT P, et al. Relationship between isometric strength, sprint, and change of direction speed in male academy cricketers [J]. *Journal of Trainology*, 2016, 5(2): 18-23.
- [23] THOMAS C, COMFORT P, JONES P A, et al. A comparison of isometric mid-thigh pull strength, vertical jump, sprint speed, and change of direction speed in academy netball players [J]. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 2017, 12(1): 916-921.
- [24] TOWNSEND J R, BENDER D, VANTREASE W, et al. Isometric mid-thigh pull performance is associated with athletic performance and sprinting kinetics in division I men and women's basketball players [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2017, 33(10): 2665–2673.
- [25] DOS SANTOS T, THOMAS C, COMFORT P, et al. Relationships between isometric force-time characteristics and dynamic performance [J]. *Sports*, 2017, 5(3): 68.
- [26] BRADY C, HARRISON A, FLANAGAN E, et al. The relationship between isometric strength and sprint acceleration in sprinters [J]. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2019, 15(5): 38-45.