

纵跳测试评价方法的比较研究

张美珍^{1,2}, 刘瑞瑞¹, 郭浩¹, 王广宇¹, 刘卉³

(1. 太原理工大学 体育学院, 太原 030024;

2. 上海交通大学 生命科学技术学院, 上海 200240; 3. 北京体育大学 中国运动与健康研究院, 北京 100084)

摘要: [目的] 纵跳高度可以充分反映人体下肢爆发力。目的是比较不同纵跳测试方法的差异, 为更有效准确地评价下肢爆发力提供依据。[方法] 应用三种不同测试方法(重心法、纵跳带测试法、纵跳仪测试法)对 40 名(男女各 20 名)在校大学生进行摆臂纵跳和叉腰纵跳测试。采用 $2 \times 2 \times 3$ 混合设计的三因素方差分析(ANOVA)检验性别、测试方法和不同纵跳方式对纵跳高度的影响。使用偏相关(Partial Correlation)分析重心法与纵跳带测试法、重心法与纵跳仪之间的关系。应用线性回归确定纵跳带测试法、纵跳仪测试法预测重心法的纵跳高度的关系。[结果] 1) 三因素方差分析表明性别、动作和测试方法三者对纵跳高度没有交互作用($F_{[2,76]} = 2.02, P = 0.14$), 但性别与动作($F_{[1,38]} = 6.41, P = 0.02$)、动作与测试方法($F_{[2,76]} = 24.05, P < 0.001$)、性别与测试方法($F_{[2,76]} = 5.07, P = 0.01$)对纵跳高度均有交互作用; 2) 纵跳带测试法(H_{BelT})、纵跳仪测试法(H_{VJI})与重心法(H_{CM})均呈显著性正相关($P < 0.001$); 3) 测试方法的准确性不受性别的影响, 而与动作有关, 但测试动作在纵跳带测试法和纵跳仪测试法评价纵跳高度的贡献率分别仅有 0.3% 和 2.3%。[结论] 与纵跳仪测试法相比, 纵跳带测试法与重心法的结果误差更小, 更能准确评价受试者的下肢爆发力。且女性完成叉腰纵跳时, 纵跳带测试法比纵跳仪测试法的纵跳高度更精确。

关键词: 纵跳; 纵跳带; 纵跳仪; 重心

中图分类号: G804.62

文献标志码: A

纵跳在体育运动中是最常见的基本运动之一^[1], 也是评价人体下肢爆发力和弹跳能力的一种有效手段^[2-6], 不但被用于测量排球、田径、足球、篮球、游泳等项目运动员的运动潜力^[7-8], 也被广泛应用于体能评估^[9-12]和国民体质测试^[13]中。在《国民体质测定标准手册(成年人部分)》中明确提出, 通过纵跳测试, 可以充分反映出人体下肢爆发力。因此, 准确获取纵跳高度是进行下肢爆发力相关研究的前提。

目前, 获得纵跳高度的方法较多, 主要包括: 重心法^[14-15]、地面反力积分法^[16-17]、纵跳仪测试法^[17-18]、离地速度法^[16, 18]、纵跳带测试法^[19-20]、摸高跳测试法^[19-20]和光学系统测试法^[21]等。重心法是通过人体运动学测试方法获得人体重心, 进而计算纵跳高度, 是测试纵跳高度的“金标准”^[22-23]。但因其设备昂贵, 操作复杂, 无法普及到体质测试等研究中。因此, 有必要选择测试准确且能及时反馈结果的纵跳测试方法。从已有研究可以看出, 不同纵跳测试方法的研究结果具有差异。MOIR^[17]证实地面反力积分法的结果明显高于离地速度法。ATTIA 等^[18]得出纵跳仪测试法的纵跳高度明显小于地面反力积分法。KLAVORA^[20]的研究结果表明纵跳带测试法和纵跳仪测试法的纵跳高度明显高于摸高跳测试法。MARKOVIC 等^[21]研究表明, 纵跳仪测试法比摸高跳测试法和纵跳带测试法更有效。另外, BUI 等^[22]的研究得出纵跳仪测试法和光学系统测试的纵跳

收稿日期: 2020-04-24; **修回日期:** 2020-06-09.

基金项目: 国家自然科学基金(30870600; 11972242; 11632013); 教育部人文社会科学研究规划基金(18YJA890034); 中国博士后科学基金第 59 批面上项目(2016M591657); 山西省高等学校哲学社会科学研究项目(2017313; 201801015; 2019W025); 山西省回国留学人员科研资助项目(2020-032); 山西省研究生教育创新项目(2020SY501; 2020SY502); 2020 年太原理工大学学科建设经费; 太原理工大学教改和大创项目(202010112017).

作者简介(通信作者): 张美珍(1983-), 女, 山西吕梁人, 太原理工大学副教授, 博士, 研究方向为运动生物力学, E-mail: meizhen1116@163.com.

高度的平均值相差接近于零,而摸高跳测试法的纵跳高度显著高于这两种测试法的结果.万祥林等人^[19]的研究表明在同一纵跳方式情况下,与重心法相比的最大差值从小到大依次为地面反力积分法、纵跳仪测试法、离地速度法.

这些方法因测试设备、动作方式或计算方法的不同使获得的结果存在一定差异.目前,纵跳带测试法和纵跳仪测试法已应用于评价人体纵跳高度^[18],且这两种方法都能够快速反馈测试结果,操作简单.若能从横向比较重心法、纵跳带测试法和纵跳仪测试法分别获得的纵跳高度间的差异,并进行原因分析,将为测试人员根据实际情况对纵跳高度测试方法进行选择提供依据.

本研究主要内容是通过运用红外光点运动捕捉系统获得的纵跳高度为参照标准,比较叉腰纵跳和摆臂纵跳情况下重心法、纵跳带测试法和纵跳仪测试法测量纵跳高度的差异及其原因,从而对纵跳带测试法和纵跳仪测试法的有效性以及准确性进行评价.本研究结果可以为测试纵跳高度方法的选择提供依据,有助于体质健康工作者通过选择更精准且简易的纵跳高度测试法来评估被测者的下肢爆发力.本研究设立以下研究假设.假设 A:与重心法相比,纵跳带测试法和纵跳仪测试法所得纵跳高度有一定误差.假设 B:纵跳带测试法和纵跳仪测试法能有效评价纵跳高度.假设 C:对不同纵跳形式,纵跳带测试法和纵跳仪测试法的有效性和准确性不同.

1 研究对象

研究对象为 40 名太原理工大学在校大学生(男女各 20 名),年龄为(男:(21.8 ± 1.3)岁;女:(20.7 ± 1.3)岁),身高为(男:(174.3 ± 5.0)cm;女:(161.5 ± 5.2)cm),体质量为(男:(66.9 ± 7.3)kg;女:(53.6 ± 4.0)kg).所有实验对象要求半年内无下肢损伤症状,实验对象均为自愿参加,并签署知情同意书.

2 研究方法

2.1 实验法

实验前,受试者穿着实验室提供的紧身短裤及自己的运动鞋.测试前,在受试者身上贴 29 个反光标志点(头顶点,头前点,头后点,左/右肩峰,左/右肱骨外上髁,左/右尺骨茎突与桡骨茎突连线中点,右侧肩胛骨点,左/右髂前上棘,第 4、5 腰椎棘突中点,左/右大腿前侧,左/右股骨外侧髁,左/右股骨内侧髁,左/右胫骨粗隆,左/右腓骨外踝,左/右胫骨内踝,左/右二、三跖骨中点,左/右足跟).每名受试者完成原地摆臂和叉腰纵跳动作,分别要求受试者身体直立,进行摆臂下蹲立即垂直起跳以及双手叉腰下蹲立即垂直起跳,随后双脚同时落地.起跳过程中,身体尽量保持垂直姿势(以减小躯干动作对测验成绩的影响).每个动作各测三次,每次之间休息 1 min.通过 8 镜头红外光点运动捕捉系统(Nokov)、纵跳带、纵跳测试仪同步采集运动学数据.

应用 8 镜头红外光点运动捕捉系统 Nokov 自带数据处理软件对受试者测试动作过程中的体表标志点进行识别,后期采用 Butterworth 低通滤波进行数据平滑.使用三种方法分别对同一次纵跳的高度进行计算.

(1)重心法.受试者在测试区域做原地纵跳动作,使用 Cortex-64 5.5.0.1579(Motion Analysis Inc, USA)进行运动学数据采集,根据体表标志点坐标建立 15 个环节的人体多刚体模型,进而计算人体重心.重心算纵跳高度(H_{CM})即为垂直方向上重心最大高度与初始站立时高度的差值.

(2)纵跳带测试.受试者在进行测试前应做好准备活动,在测试时,要求受试者双脚开立与肩同宽,并与地面粘贴的胶带保持水平,受试者下蹲并缓慢站起直至身体直立,并记录腰带标尺与地面胶带结合处的刻度值.根据测试方案,要求受试者进行双手叉腰和摆臂两种不同姿势完成纵跳,动作结束后,再次记录标尺与胶带结合处的刻度值,两次刻度值之差即为纵跳高度(H_{Belt}).每个动作各测三次有效数据,用于统计分析的纵跳高度为受试者三次纵跳的平均值,精确到毫米,测试结束.

(3)纵跳仪测试.受试者在纵跳测试仪上做原地纵跳动作,其显示结果即为纵跳高度(H_{VJ1}).计算原理: $H_{VJ1} = 0.5(t_{fly}/2)^2g$,其中 g 为重力加速度,取 9.8 m/s^2 ^[18].

2.2 数据分析

对测试的结果,采用 $2 \times 2 \times 3$ 混合设计的三因素方差分析(ANOVA)检验性别、动作和测试方法对纵跳

高度的影响.性别(男、女)为独立变量,动作(摆臂、叉腰)为重复变量,测试方法(重心法、纵跳带测试法、纵跳仪测试法)为重复变量.具有交互作用的变量进行分组别后续简单效应检验.性别间采用独立样本 t 检验,动作间采用配对样本 t 检验,测试方法间采用单因素重复测量方差分析,后续两两比较采用 LSD 法.使用偏相关分析重心法与纵跳带测试法、重心法与纵跳仪之间的关系.应用多元回归方法确定性别(G :性别,1 为男,2 为女)、纵跳动作(T :动作,1 为摆臂,2 为叉腰)、纵跳带测试法(H_{Belt} :纵跳带纵跳高度)或纵跳仪测试法(H_{VJI} :纵跳仪纵跳高度)对重心法(H_{CM} :重心法纵跳高度)计算纵跳高度的影响.所有统计分析应用 SPSS 22.0(SPSS Inc,IL,USA)软件完成,统计分析的显著性标准定为一类误差概率不大于 0.05.

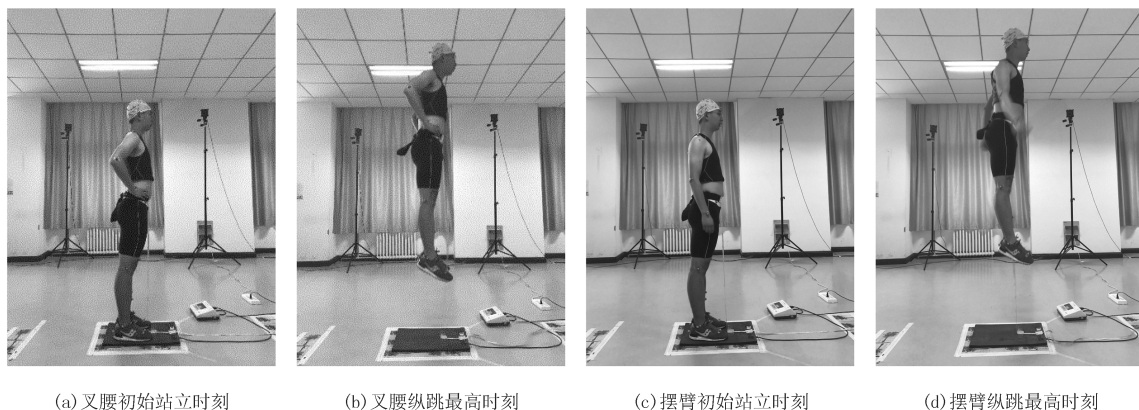


图1 两种纵跳动作下三种测试方法的测试图

Fig.1 Test diagram of three test methods during the vertical jump with and without arms

3 结 果

三因素方差分析表明性别、动作和测试方法对纵跳高度没有交互作用($F_{[2,76]} = 2.02, P = 0.14$),但性别与动作($F_{[1,38]} = 6.41, P = 0.02$)、动作与测试方法($F_{[2,76]} = 24.05, P < 0.001$)、性别与测试方法($F_{[2,76]} = 5.07, P = 0.01$)对纵跳高度均有交互作用.

由表 1 可知,无论哪种测试方法,男性受试者的纵跳高度均大于女性受试者($P < 0.001$),摆臂的纵跳高度均大于叉腰的纵跳高度($P < 0.001$).摆臂纵跳方式下,不论男女,纵跳带测试法($P = 0.02, P < 0.001$)、纵跳仪测试法($P < 0.001, P < 0.001$)均小于重心法的纵跳高度,且纵跳带测试法大于纵跳仪测试法的结果($P < 0.001, P < 0.001$).叉腰纵跳方式下,不论男女,纵跳带测试法与重心法的结果无显著性差异($P = 0.16, P = 0.73$),纵跳带测试法、重心法均大于纵跳仪测试法的结果($P < 0.001, P < 0.001$).

表 1 三种方法计算的纵跳高度

Tab. 1 Vertical jump height calculated by the three methods

cm

测试方法	男		女	
	摆臂	叉腰	摆臂	叉腰
H_{CM}	53.6±11.0 ^{abc}	45.4±9.2 ^b	38.8±7.3 ^{ac}	32.5±5.8
H_{Belt}	52.1±11.9 ^{abd}	46.0±8.9 ^{bd}	34.6±8.1 ^{ad}	32.3±6.6 ^d
H_{VJI}	46.3±12.0 ^{abe}	38.7±9.0 ^{be}	29.3±7.0 ^{ae}	24.3±5.7 ^e

注:a 不同纵跳动作间具有显著性差异($P < 0.01$);b 性别间具有极显著性差异($P < 0.01$);c H_{CM} 与 H_{Belt} 间具有极显著性差异($P < 0.05$);d H_{Belt} 与 H_{VJI} 间具有极显著性差异($P < 0.001$);e H_{VJI} 与 H_{CM} 间具有极显著性差异($P < 0.001$).

女性受试者完成摆臂和叉腰纵跳时,与纵跳仪测试法相比,重心法与纵跳带测试法(摆臂纵跳 24.5%与 10.8%;叉腰纵跳 25.2%与 0.6%)的相差结果更小.男性受试者完成摆臂和叉腰纵跳时,与纵跳仪测试法相

比,重心法与纵跳带测试法(摆臂纵跳 13.6%与 2.8%;叉腰纵跳 14.8%与 1.3%)的相差结果更小.不论男女,与纵跳仪测试法相比,纵跳带测试法的结果在叉腰纵跳方式下更准确,在摆臂纵跳下误差更大,女性尤为突出.

由表 2 偏相关分析结果可以看出纵跳带测试法、纵跳仪测试法均与重心法呈显著性正相关($P < 0.001$).由图 2 多元回归结果得出,纵跳高度不受性别影响,通过测试动作和纵跳带预测重心法纵跳高度的回归方程为: $H_{CM}/\text{cm} = 14.207 - 3.506T + 0.9(H_{Belt}/\text{cm})$ ($R^2 = 0.961, P < 0.001$),其中纵跳动作(T ,摆臂 $T = 1$,叉腰 $T = 2$)的 $R^2 = 0.023, P < 0.001$,纵跳带(H_{Belt})的 $R^2 = 0.938, P < 0.001$,性别(G ,男 $G = 1$,女 $G = 2$)的 $R^2 = 0.001, P = 0.672$.测试动作和纵跳仪预测重心法纵跳高度的回归方程为: $H_{CM}/\text{cm} = 14.717 - 1.475T + 0.911(H_{VJI}/\text{cm})$ ($R^2 = 0.945, P < 0.001$),其中纵跳动作的 $R^2 = 0.003, P = 0.021$,纵跳仪测试法(H_{VJI})的 $R^2 = 0.942, P < 0.001$,性别的 $R^2 = 0, P = 0.338$.可以看出,纵跳带能够更好地预测下肢纵跳高度,测试动作对纵跳高度的影响并不大.

表 2 重心法与其他方法计算纵跳高度的相关分析

Tab. 2 Correlation analysis of calculation of vertical jump height by COM Test Method and other methods

变量	零阶(Pearson)	偏相关	变量	零阶(Pearson)	偏相关
H_{CM} 与 H_{Belt}	$r = 0.969^{***}$	$r = 0.964^{***}$	H_{CM} 与 H_{VJI}	$r = 0.971^{***}$	$r = 0.950^{***}$

注:***表示 $P < 0.001$.

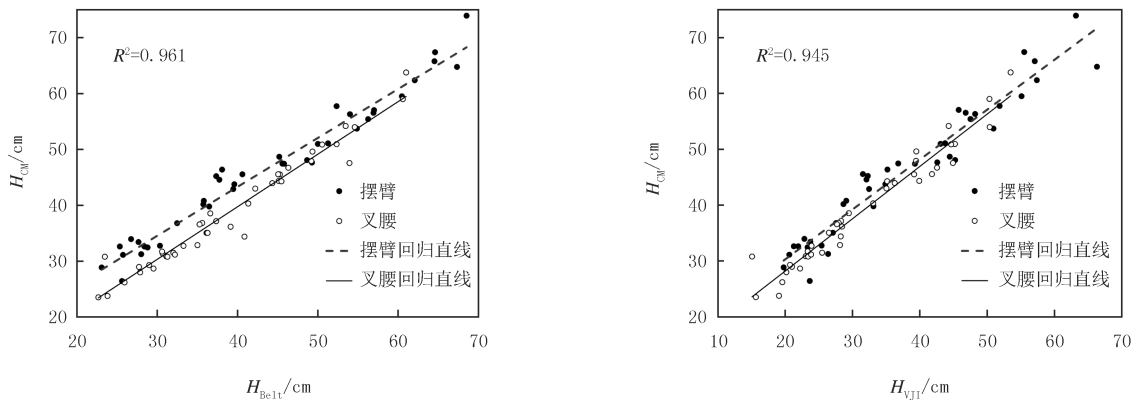


图2 重心法与纵跳带测试法、纵跳仪测试法计算纵跳高度的关系

Fig.2 Relationship between center of mass method and belt test method and Vertical Jump Instrument test method for calculating vertical jump height

4 讨论

本研究结果表明与纵跳仪测试法相比,纵跳带测试法更能够评价下肢纵跳高度,特别是在叉腰纵跳动作时与实际纵跳高度差异更小.这一结果支持本研究假设 A.

纵跳仪测试法的原理实际上是腾空时间法,即把人体看做一个质点,假设人体重心的离地时刻和着地时刻的高度相同,上抛时间与自由落体的时间相等.由于纵跳仪测试法没有考虑到离地高度的误差,即在实际纵跳时,在离地前整个身体的向上伸展,特别是提踵动作,会使离地瞬间重心高于直立状态.这是纵跳仪测试法计算纵跳高度误差较大的主要原因^[18].另外,纵跳仪测试法与重心法计算纵跳高度的结果相差较大.重心法与纵跳仪测试法的结果在男性受试者完成摆臂和叉腰纵跳中分别相差 13.6%和 14.8%;在女性受试者完成摆臂和叉腰纵跳中分别相差 24.5%和 25.2%.大量研究表明摆臂动作可以提高人体的纵跳高度^[1,24-29],且纵跳仪测试的要求动作就是叉腰纵跳,原因是避免受试者在测试过程中由于摆臂使重心上移,从而导致纵跳仪测试法与重心法的误差增大.虽然纵跳仪测试法已被广泛应用于纵跳高度的测试,能够快速反馈测试结果,但由于测试过程中易受受试者跳跃时身体动作姿态的影响,导致测试结果不够准确,误差较大.

纵跳带测试法是当人体处于直立姿势时,记录受试者身上纵跳带的刻度值(初始值),当受试者达到最高时刻时,纵跳带不再被拉长,此时的刻度值与初始值的差值即为纵跳高度.重心法虽然具有出色的测量精度,但它们需要昂贵且难以移动的测量工具,且一般都只能在实验室测量.相反,研究者更希望能在与实际体育活动相同条件下(例如相同的地表面)进行纵跳高度的实地评估^[30].与重心法计算纵跳高度的复杂过程相比,纵跳带测试法装置简单,易操作,而且与重心法的纵跳高度差距最小,重心法与纵跳带测试法的结果在男性受试者完成摆臂和叉腰纵跳中分别相差 2.8% 和 1.3%;在女性受试者完成摆臂和叉腰纵跳中分别相差 10.8% 和 0.6%.从研究结果发现,受试者在完成摆臂或叉腰纵跳时,重心法和纵跳带测试法的纵跳高度均显著大于纵跳仪测试法的结果.因此,与纵跳仪测试法相比,纵跳带测试法与重心法的测试结果误差较小,准确性更高.另外,在叉腰纵跳时,不论男女,纵跳带测试法与重心法均无差异,而在完成摆臂纵跳动作时重心法与纵跳带测试法的差距增大.这主要是由于手臂上摆导致重心上移更多造成的.这一结果表明与纵跳仪测试法相比,纵跳带测试法在叉腰纵跳方式下更能反映出重心的运动,即实际的纵跳高度.

结果还显示,纵跳带测试法、纵跳仪测试法与重心法均呈显著线性正相关关系.这一结果支持本研究假设 B.研究结果显示,将性别与动作作为类变量纳入相关分析后,纵跳带测试法、纵跳仪测试法与重心法的相关关系均减弱.纵跳带测试法($r=0.964$),纵跳仪测试法($r=0.950$)与重心法仍然高度相关,说明这两种方法均可有效地反映实际纵跳高度.尽管如此,纵跳带测试法比纵跳仪测试法计算纵跳高度的误差小,且与重心法的相关系数较大.因此,与纵跳仪相比,纵跳带测试的结果更为准确.另外,多元回归结果可知,虽然测试动作对测试方法的准确性具有显著影响,但测试动作在纵跳带测试法和纵跳仪测试法评价纵跳高度的贡献率分别仅有 0.3% 和 2.3%,而性别却对测试方法的贡献率分别为 0.0% 和 0.1%,对测试方法的准确性没有影响,这一结果支持本研究假设 C.

综上所述,本研究得出,纵跳带测试法在女性完成叉腰纵跳方式时更能有效且准确的测量实际纵跳高度,间接评价下肢爆发力.在考虑设备的局限性、较大的样本量和即时获取结果反馈的研究中,可以根据实际情况选择准确性更高的测试方法.本研究的结果为今后测试纵跳高度方法的选择提供依据,有助于体质健康工作者通过选择更精准且简易的纵跳高度测试法来评估被测者的下肢力量,进而可以在体质健康测试中推广其测试方法.

5 结论与建议

5.1 结论

1)与纵跳仪测试法相比,纵跳带测试法与重心法的结果误差更小,特别是在女性受试者完成叉腰纵跳动作时更能准确评价纵跳高度.在摆臂纵跳时,无论男女,纵跳带测试法和纵跳仪测试法都会低估纵跳高度,但纵跳带测试法的低估程度较小.2)纵跳带测试法和纵跳仪测试法均与重心法呈显著线性正相关,均可有效的测量实际纵跳高度.3)纵跳带测试法与重心法的相关系数略高于纵跳仪测试法,且测试方法的准确性因测试动作不同有所差异,但测试动作在纵跳带测试法和纵跳仪测试法评价纵跳高度的贡献率分别仅有 0.3% 和 2.3%.

5.2 建议

1)纵跳带测试法可用于测量实际纵跳高度,间接评价下肢爆发力.使用者可根据实验需求,在缺乏运动捕捉系统设备且进行大样本实验时,推荐使用纵跳带测试法计算纵跳高度.2)本研究的结果只探讨了纵跳带测试法的有效性和纵跳仪的误差来源,在今后的研究中应进一步探究如何矫正误差,并提出矫正公式,使测试的结果更加准确,为今后评估受试者的下肢爆发力提供依据.

参 考 文 献

- [1] FELTNER M E,FRASCHETTI D J,CRISP R J.Upper extremity augmentation of lower extremity kinetics during countermovement vertical jumps[J].J Spor Sci,1999,17(6):449-466.
- [2] 李世明,刘学贞.纵跳理论研究进展[J].北京体育大学学报,2004,27(1):65-67.
LI S M,LIU X Z.Theoretical Advancement in Vertical Jump Performance[J].Journal of Beijing University of Physical Education,2004,

- 27(1):65-67.
- [3] DOWLING J J. Identification of kinetic and temporal factors related to vertical jump performance[J]. *Journal of Applied Biomechanics*, 1993(9):95-110.
- [4] 郑亦华, 叶永延. 影响起跳效果诸因素的生物力学研究[J]. *体育科学*, 1983(2):68-73.
ZHENG Y H, YE Y Y. Biomechanical study on the factors affecting the vertical jump effect[J]. *China Sport Science*, 1983(2):68-73.
- [5] ARAGON-VARGAS L F, GROSS M M. Kinesiological factors in vertical jump performance: differences among individuals[J]. *Journal of Applied Biomechanics*, 1997, 13(1):24-44.
- [6] 赵西堂. 摆臂影响纵跳成绩的作用机制与理论假说比较[J]. *中国体育科技*, 2016, 52(2):115-121.
ZHAO X T. The mechanism theories of arms-swing in vertical jump[J]. *China Sport Science and Technology*, 2016, 52(2):115-121.
- [7] ANDREW N, DEREK K, CARLOS Z, et al. Comparison of methods for assessing vertical jump height performance[C]//32nd International Conference of Biomechanics in Sports.[s.l.:s.n.], 2014:681-684.
- [8] 赵海波, 周爱国. 游泳运动员核心稳定性、下肢爆发力与功能动作的相关性研究[J]. *河南师范大学学报(自然科学版)*, 2019, 47(4):117-124.
ZHAO H B, ZHOU A G. A correlation study on core stability, lower limb explosive strength and functional movement of swimmer[J]. *Journal of Henan Normal University(Natural Science Edition)*, 2019, 47(4):117-124.
- [9] 孙文琦. 青少年网球运动员体能评定方法的建立与应用研究[J]. *河南师范大学学报(自然科学版)*, 2015, 43(1):183-188.
SUN W Q. Establishment and application research on adolescent tennis players fitness evaluation method[J]. *Journal of Henan Normal University(Natural Science Edition)*, 2015, 43(1):183-188.
- [10] 周志雄, 王琛, 王泳超, 等. 优秀青少年击剑运动员功能性动作能力与下肢爆发力的相关性[J]. *首都体育学院学报*, 2016, 28(4):348-351.
ZHOU Z X, WANG C, WANG Y C, et al. Analysis on Relationship between Physical Functional Movement Ability and Lower Limb Explosive Strength of Elite Youth Fencers in China[J]. *Journal of Capital College of Physical Education*, 2016, 28(4):348-351.
- [11] SMIRNIOTOU A, KATSIKAS C, PARADISIS G, et al. Strength-power parameters as predictors of sprinting performance[J]. *J Spor Med Phys Fitn*, 2008, 48(4):447-454.
- [12] INGBRIGTSEN J, JEFFREYS I, RODAHL S. Physical characteristics and abilities of junior elite male and female handball players[J]. *J Stre Cond Res*, 2013, 27(2):302-309.
- [13] ACERO R M, SANCHEZ J A, FERNANDEZ-DEL-OLMO M. Tests of vertical jump: countermovement jump with arm swing and reaction jump with arm swing[J]. *J Stre Cond Res*, 2012, 34(6):87-93.
- [14] 国家体育总局. 国民体质测定标准手册(成年人部分)[M]. 北京:人民体育出版社, 2003.
General Administration of Sport. The adult section of the National Physical Fitness Standards Manual[M]. Beijing: People's Sports Publishing House of China, 2003.
- [15] 林长地, 程亮. 少年男篮运动员下肢等速肌力与纵跳高度、速度的相关性分析[J]. *山东体育科技*, 2015, 37(4):72-76.
LIN C D, CHENG L. Correlation analysis of isokinetic muscle strength of lower limbs and vertical jump height and speed of youth basketball players[J]. *Shandong Sports Science & Technology*, 2015, 37(4):72-76.
- [16] BLACKBURN J R, MORRISSEY M C. The relationship between open and closed kinetic chain strength of the lower limb and jumping performance[J]. *J Orth Spor Phys Ther*, 1998, 27(6):430-435.
- [17] MOIR G L. Three different methods of calculating vertical jump height from force platform data in men and women[J]. *Meas Phys Educ Exerc Sci*, 2008, 12(4):207-218.
- [18] ATTIA A, DHAHBI W, CHAOUACHI A, et al. Measurement errors when estimating the vertical jump height with flight time using photocell devices: the example of Optojump[J]. *Biol Spor*, 2017, 34(1):63-70.
- [19] 万祥林, 李秋捷, 杨辰, 等. 5种不同计算纵跳高度方法的比较[J]. *北京体育大学学报*, 2017, 40(11):62-66.
WAN X L, LI Q J, YANG C, et al. Comparison of Five Methods for Calculating Vertical Jump Height[J]. *Journal of Beijing University of Physical Education*, 2017, 40(11):62-66.
- [20] KLAVORA. Vertical-jump tests: a critical review[J]. *Strength and Conditioning Journal*, 2000, 22(5):70-75.
- [21] MARKOVIC G, DIZDAR D, JUKIC I, et al. Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2004, 18(3):551-555.
- [22] BUI H T, FARINAS M I, FORTIN A M, et al. Comparison and analysis of three different methods to evaluate vertical jump height[J]. *Clin Phys Func Imag*, 2015, 35(3):203-209.
- [23] ARAGON L F. Evaluation of four vertical jump tests: methodology, reliability, validity, and accuracy[J]. *Meas Phys Educ Exerc Sci*, 2000, 4(4):215-228.
- [24] LEARD J S, CIRILLO M A, KATSNELSON E, et al. Validity of two alternative systems for measuring vertical jump height[J]. *J Stre Cond Res*, 2007, 21(4):1296-1299.
- [25] HARMAN E A, ROSENSTEIN M T, FRYKMAN P N, et al. The effects of arm and countermovement on vertical jumping[J]. *Med Sci*

- Spor Exer,1990,22(6):825-833.
- [26] LEES A,VANRENTERGHEM J,DE CLERCQ D.The energetics and benefit of an arm swing in submaximal vertical jump performance[J].J Spor Sci,2006,24(1):51-57.
- [27] DOMIRE B J.A biomechanical analysis of maximum vertical jumps and sit to stand[D].State College:Pennsylvania State University,2004.
- [28] 刘卫国,刘学贞,李强.对普通人群几种不同形式纵跳的动力学分析[J].北京体育大学学报,2003,26(1):45-47.
LIU W G,LIU X Z,LI Q.Dynamic analysis of different forms of vertical jump in ordinary crowd[J].Journal of Beijing University of Physical Education,2003,26(1):45-47.
- [29] 赵西堂,孙平,葛春林.原地摆臂纵跳和抱头纵跳动力学特征的比较[J].体育学刊,2013,20(1):139-144.
ZHAO X T,SUN P,GE C L.A comparison of the dynamic characteristics of in situ arms-swinging vertical jumping and head-held vertical jumping[J].Journal of Physical Education,2013,20(1):139-144.
- [30] CASARTELLI N,MULLER R,MAFFIULETTI N A.Validity and reliability of the Myotest accelerometric system for the assessment of vertical jump height[J].J Str Cond Res,2010,24(11):3186-3193.

Comparison of three different vertical jump tests

Zhang Meizhen^{1,2}, Liu Ruirui¹, Guo Hao¹, Wang Guangyu¹, Liu Hui³

(1. College of Physical Education, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China;

2. School of Life Science and Biotechnology, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China;

3. Institute of China sport and health, Beijing Sport University, Beijing 100084, China)

Abstract: [Aims] Vertical jump is one of the most common basic movement in sports. Vertical jump height can be used to access the lower-extremity power. The purpose of this study is to compare the differences of three vertical jump test methods, and to provide the information for more effective and accurate evaluation of lower-extremity power ability. [Methods] 40 college students (20 male and 20 female) were collected in this study to accomplish vertical jump with and without armswing by three methods. The vertical jump height was calculated by COM Test Method (H_{CM}), Belt Test Method (H_{Belt}), Vertical Jump Instrument Test Method (H_{VJI}) individually. The influence of gender, task and test methods on the vertical jump height were analyzed by using mixed design $2 \times 2 \times 3$ three-way analysis of variance (ANOVA). Partial correlation analysis was used to analyze the relationship between the COM Test Method (H_{CM}) and the Belt Test Method (H_{Belt}), the COM Test Method (H_{CM}) and the Vertical Jump Instrument Test Method (H_{VJI}). Linear regression was used to determine the relationship between vertical jump height of the COM Test Method predicted by Belt Test Method and Vertical Jump Instrument Test Method. [Results] (1) The results of three-way variance analysis show that gender, task and test methods had no interaction ($F_{[2,76]} = 2.02, P = 0.14$) on the vertical jump height, but gender and task ($F_{[1,38]} = 6.41, P = 0.02$), task and test methods ($F_{[2,76]} = 24.05, P < 0.001$), gender and test methods ($F_{[2,38]} = 5.07, P = 0.01$) interact with vertical jump height; (2) The Belt Test Method (H_{Belt}), the Vertical Jump Instrument Test Method (H_{VJI}) and the COM Test Method (H_{CM}) showed significant positive correlation ($P < 0.001$); (3) The accuracy of the test method is not affected by gender, but is related to the task. However, the contribution rate of the task in the Belt Test Method and the Vertical Jump Instrument Test Method to evaluate the vertical jump height is only 0.3% and 2.3% respectively. [Conclusion] Compared with the Vertical Jump Instrument Test Method, the result error of the Belt Test Method and the COM Test Method is smaller, and the lower-extremity power of the subjects can be evaluated accurately. The Belt Test Method is more accurate than the vertical jump height of the Vertical Jump Instrument Test Method when the female completes the vertical jump without arms.

Keywords: vertical jump; vertical jump belt; vertical jump instrument; center of Gravity