



第32届夏季奥运会女子铅球冠军巩立姣投掷技术影响因素的研究

Study on the Influencing Factors of the Throwing Technique of Gong Lijiao, the Women's Shot Put Champion in the 32nd Summer Olympic Games

巩立姣¹, 董海军^{2*}, 张 建¹, 丁晨光³, 郝勇霞², 丛玉珍⁴

GONG Lijiao¹, DONG Haijun^{2*}, ZHANG Jian¹, DING Chenguang³,
HAO Yongxia², CONG Yuzhen⁴

摘 要:目的:对影响巩立姣成绩和技术的关键因素进行研究。方法:选取巩立姣在第32届夏季奥运会备战周期内的重要比赛中的32次19.20 m以上试投,采用运动生物力学测试法、生物力学解析法对投掷技术影响因素与成绩进行相关性分析研究。结果:巩立姣投掷技术的主要影响因素为滑步距离、用力时间、滑步结束后右着地角、两大腿摆动的最大角度、滑步过程中左膝速度、用力距离、器械出手瞬间垂直速度、出手角度、过渡阶段身体重心位移距离、两脚着地距离和过渡时间。结论:第32届夏季奥运会备战周期内,巩立姣投掷技术存在滑步距离过短、过渡阶段身体重心前移幅度大、用力阶段上肢加速时机偏早、器械出手瞬间在垂直和水平方向的速度分配比例不理想等问题。经过针对性的训练及技术改进完善,巩立姣投掷技术已发生较大改变,并逐渐趋于合理。2024年巴黎奥运会备战周期内巩立姣投掷技术的改进方向建议为:稳定滑步距离和提高滑步速度,减小身体上下起伏的程度;控制过渡阶段身体重心向前移动幅度,加快左脚着地速度;用力阶段延迟上肢,特别是右肩和投掷臂对器械加速时机,提高在垂直方向的用力效果,减小水平方向用力幅度,适当增加器械出手角度,提高身体“鞭打”用力的效果;研究巩立姣投掷技术在2017—2022年的技术改进和变化过程,形成符合其自身特点的个性化技术特征,进一步提高运动成绩。

关键词:奥运会;女子铅球;投掷技术;影响因素

Abstract: Objective: The research on the key factors affecting Gong Lijiao's performance and throwing techniques. Methods: In the important competitions during the preparation period of the 32nd Summer Olympic Games, 32 attempts of Gong Lijiao over 19.20 m were selected, and the correlation between the factors affecting throwing technique and performance was analyzed by using the methods of sports biomechanical test and biomechanical analysis. Results: The main influencing factors of Gong Lijiao's throwing technique are sliding distance, exertion time, landing angle of right foot after the end of sliding stage, maximum angle of thighs swing, speed of left knee during sliding, exertion distance, vertical speed of instrument shot, hand-out angle, distance of body's center of gravity in transition stage, landing distance between feet, and transition time. Conclusions: During the preparation period of the 32nd Summer Olympic Games, Gong Lijiao's throwing technique had some problems, such as the short sliding distance, the large forward movement of the body's center of gravity in the transition stage, the early acceleration of the upper limbs in the exertion stage, and unsatisfactory speed distribution ratio between vertical and horizontal direction of the instrument. After the targeted training and improvement of throwing techniques, Gong Lijiao's throwing technique has changed greatly and gradually become more reasonable. The suggestions for the improvement of Gong Lijiao's throwing techniques during the preparation period of the Paris 2024 Summer Olympics are as follows: Stabilizing the sliding distance, increasing the sliding speed, and reducing the degree of body movement up and down; control the forward movement range of the body's center

基金项目:

国家体育总局科技创新项目(2022KJCX065);国家体育总局科技服务项目(2021TJ01005);中国田径协会科技服务项目(TJBZ-FW-20230303)

第一作者简介:

巩立姣(1989-),女,高级教练员,硕士,主要研究方向为运动训练, E-mail:260908729@qq.com。

*通信作者简介:

董海军(1978-),男,教授,博士,博士研究生导师,主要研究方向为田径技术理论与实践, E-mail: dhjxaty@126.com。

作者单位:

1. 河北省体育局,河北 石家庄 050011;
 2. 河北体育学院,河北 石家庄 050041;
 3. 河北中医药大学,河北 石家庄 050200;
 4. 中国田径协会,北京 100763
1. Hebei Province Sports Bureau, Shijiazhuang 050011, China;
 2. Hebei Sport University, Shijiazhuang 050041, China;
 3. Hebei University of Chinese Medicine, Shijiazhuang 050200, China;
 4. Chinese Athletics Association, Beijing 100763, China.

of gravity during the transition stage, and speed up the landing speed of the left foot; delay the acceleration time of the upper limb, especially the right shoulder and the throwing arm to the instrument during the exertion stage, improve the force effect in the vertical direction, reduce the force amplitude in the horizontal direction, appropriately increase the angle of the instrument, and improve the effect of the body whipping force; study on the technical improvement and change process of Gong Lijiao's throwing technique from 2017 to 2022 to form personalized technical characteristics in line with her own characteristics and further improve sports performance.

Keywords: *Olympic Games; women's shot put; throwing technique; influencing factors*

中图分类号:G824.1 **文献标识码:**A

女子铅球是我国的传统优势项目(文超,2003)。在第32届夏季奥运会(以下简称“东京奥运会”)上,巩立姣以20.58 m的个人最好成绩获得女子铅球冠军,实现了我国投掷项目奥运会金牌的历史性突破。与国外优秀女子铅球运动员相比,巩立姣在身体形态、体能等指标不占优势的情况下获得东京奥运会冠军,表明其专项技术方面存在优势,并且有明显的个性化特征,研究巩立姣的滑步技术具有一定的代表性,同时对形成自身个性化技术特征、提高运动成绩、指导运动训练实践、丰富和发展滑步推铅球理论具有重要的意义。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

选取2017—2022年巩立姣参加的重要赛事中32次19.20 m以上试投为研究对象,探索技术变化的特征和规律,为进一步完善技术和提高竞技能力提供理论和数据支撑。

1.2 研究方法

1.2.1 运动生物力学测试法

采用2台松下DC-GH5S高清摄像机,1台摄像机位于投掷圈右侧,1台位于投掷圈后侧,2台摄像机主光轴夹角约为90°,拍摄距离约10 m,机高1.20 m,拍摄采样频率为100帧/s。在比赛前对三维框架进行1次拍摄标定,比赛后再进行1次标定,保证所拍比赛视频的有效性。

1.2.2 生物力学解析法

采用美国ARIEL公司APAS运动录像分析系统,对比赛技术视频进行剪辑和解析,人体模型DLT引导图像测量系统,模型采用日本的松井秀治人体模型。首先,把运动员比赛视频导入框架进行标定,并根据项目要求选取身体的20个关节以及1个附加点(器械)逐幅解析,最后对解析数据进行低滤波平滑处理,平滑系数为8,获取所需参数的原始数据。

1.2.3 数理统计法

采用SPSS 26.0对所获得的所有技术数据参数与成绩进行相关性分析,获取各参数的相关系数。 $|r| < 0.3$ 为微弱相关, $0.3 \leq |r| < 0.5$ 为低度相关, $0.5 \leq |r| < 0.8$ 为中等程度相关, $|r| \geq 0.8$ 为高度相关。 $P > 0.05$ 表示无显著性差异; $0.01 < P < 0.05$ 表示显著性差异, $P < 0.01$ 表示极显著性差异。通过GraphPad Prism 9计算影响因素的拟合优度,并绘制图表。

2 结果与分析

2.1 巩立姣身体形态和专项能力特征分析

巩立姣在备战东京奥运会周期内,部分专项力量指标超越了历史最高水平(表1),如坐蹲、卧拉等;卧推等达到了历史最高水平;但也存在部分指标(斜推、抓举、颈后挺)未达到预期。这也为2024年巴黎奥运会的备战提供了思路,使整体专项力量达到自身最高水平。

表1 巩立姣专项力量指标

	卧推/ kg	坐蹲/ kg	颈后挺/ kg	斜推/ kg	抓举/ kg	卧拉/ kg	基础 体能/分
历史最高	140	240	155	105	100	105	80
东京奥运会前	140	250	150	100	90	110	85

巩立姣基础体能水平在东京奥运会前达到了最高水平,但存在明显的缺陷能力,主要体现为速度和柔韧素质较强,跑、跳等运动能力较差。与国外优秀运动员相比,巩立姣基础力量方面并不占优,特别是卧推、抓举等指标(表1),由于膝关节伤病原因,深蹲等无法正常训练。与世界优秀运动员维利专项力量指标相比(表2),巩立姣在颈后挺、坐蹲等方面有较大优势,在抓举、深蹲、斜推等方面还存在较大差距(表1)。

表2 维利专项力量指标

	卧推/ kg	深蹲/ kg	颈后挺/ kg	斜推/ kg	抓举/ kg	卧拉/ kg	30 m 跑/s	纵跳/ cm
指标	155	160	120	120	105	110	4.45	50

注:表中数据为维利在2016年里约奥运会前的专项力量指标数据,能够反映其最高水平。

从专项能力的结构分析,巩立姣重器械能力不占优势,在东京奥运会周期未达到预期效果,特别是7.26 kg原地投掷能力;但轻器械能力较强,反映专项速度的3.50 kg和3.00 kg轻器械能力基本达到了历史最高水平(表3),表明速度力量是巩立姣的优势能力,也是其在身体条件、基础力量等方面并不占优势的情况下(表4),能够达到世界级水平的主要原因之一,同时与其自身技术特点和技

术优势存在一定关联。

表 3 巩立姣专项能力指标

Table 3 Special Capacity Indicators of Gong Lijiao m

	铅球/kg						原地
	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	6.00	7.26 kg
历史最高	22.00	21.00	19.60	19.00	18.00	16.20	13.00
东京奥运会前	21.80	21.00	19.58	18.97	17.80	16.17	12.60

2.2 巩立姣成绩的主要影响因素分析

通过对影响巩立姣成绩的 229 个技术参数进行统计分析, 呈正相关关系的影响因素主要有滑步距离、用力时间、右着地角、两大腿摆动的最大角度(大腿夹角)、滑步过程

中左膝速度(左腿摆动速度)、用力距离以及器械出手瞬间垂直速度和出手角度; 呈负相关关系的影响因素主要有过渡阶段重心位移距离、两脚着地距离和过渡时间(表 5)。

表 4 世界级优秀运动员基本情况

Table 4 Basic Information of World-Class Elite Athletes

运动员	国籍	技术	身高/m	体重/kg	最好成绩/m
维利	新西兰	滑步	1.96	120	21.24
奥斯塔普丘克	白俄罗斯	滑步	1.80	90	21.90
施瓦尼茨	德国	滑步	1.80	108	20.77
巩立姣	中国	滑步	1.75	110	20.58
李梅素	中国	滑步	1.76	93	21.76
黄志红	中国	滑步	1.74	100	21.28
隋新梅	中国	滑步	1.72	100	21.66
丛玉珍	中国	滑步	1.75	105	20.47

表 5 巩立姣成绩的主要影响因素

Table 5 Main Influencing Factors of Gong Lijiao's Performance n=32

影响因素	M	SD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
成绩/m	19.39	0.63	1										
滑步距离/m	0.76	0.05	0.557**	1									
两脚着地距离/m	1.26	0.16	-0.547**	-0.448*	1								
重心位移距离/m	0.40	0.03	-0.703**	-0.443*	0.291	1							
过渡时间/s	0.17	0.01	-0.445*	-0.344	0.151	0.801**	1						
用力时间/s	0.22	0.01	0.391*	-0.115	-0.193	-0.600**	-0.569**	1					
右着地角/(°)	98	10	0.741**	0.470*	-0.575**	-0.560**	-0.349*	0.409*	1				
大腿夹角/(°)	113	7	0.992**	0.512*	-0.493**	-0.693**	-0.450**	0.444*	0.801**	1			
左膝速度/(m·s ⁻¹)	4.29	0.38	0.781**	0.291	-0.593**	-0.445**	-0.191	0.309	0.656**	0.715**	1		
用力距离/m	1.26	0.06	0.375*	0.146	0.572**	0.375*	-0.351*	0.300	0.213	0.337	0.436*	1	
器械垂直速度/(m·s ⁻¹)	7.73	0.60	0.379*	0.413*	-0.303	0.128	0.027	-0.115	0.421*	0.407*	0.015	-0.129	1
出手角度/(°)	38	2	0.826**	0.649**	-0.560**	-0.553**	-0.347	-0.170	0.693**	0.827**	0.659**	0.295	0.475**

注: *P<0.05, **P<0.01, 下同。

巩立姣滑步距离为(0.76±0.05)m, 滑步距离与成绩之间存在中等程度正相关(r=0.557, P<0.01), 表明在一定范围内增加滑步距离可以提高运动成绩, 巩立姣 20 m 以上的试投中, 滑步距离均大于 0.75 m(R²=0.318, P<0.01; 图 1)。这是教练员团队从 2017 年备战东京奥运会周期开始时提出延长滑步距离的主要原因, 滑步距离已由 0.65 m 增加到东京奥运会前的 0.80 m, 通过改变右脚蹬地和着地方式延长滑步距离, 虽取得了一定的效果, 但目前还不够稳定。滑步距离是影响巩立姣成绩进一步提高的主要因素之一, 在巴黎奥运周期争取能够稳定在 0.85 m 左右较为理想。

用力阶段两脚着地距离为(1.26±0.16)m, 与成绩之间存在中等程度负相关(r=-0.547, P<0.01; R²=0.337, P<0.01)。在一定范围内, 两脚着地距离越长, 成绩越低(董海军等, 2021), 如果能稳定控制在 1.20 m 左右较为理想(图 1)。两脚着地距离偏长主要与左脚着地过程中左腿前伸幅度过大有直接关系, 也是影响巩立姣成绩进一步突破的关键因

素, 训练中强调左脚快速着地, 缩短两脚着地距离。

过渡阶段身体重心在水平方向位移距离为(0.40±0.05) m, 是影响巩立姣成绩突破的关键因素之一, 与成绩之间存在中等程度负相关(r=-0.703, P<0.01; R²=0.519, P<0.01)。在一定程度上, 重心位移距离越长成绩越低, 与左脚着地位置远有直接关系, 造成身体重心离开右侧支撑腿, 用力阶段右侧下肢不能充分用力, 影响成绩的进一步提高, 是巩立姣备战巴黎周期需要重点解决的问题, 重心位移距离控制在 0.35 m 以下有利于成绩提高(图 1)。

过渡阶段时间[(0.17±0.01)s]与成绩之间存在低度负相关(r=-0.445, P<0.05; R²=0.201, P<0.05; VIF 值为 5.718)。在一定程度上, 过渡时间越长, 成绩越低, 延长过渡时间会直接造成身体重心位移距离延长, 因此加快左脚着地速度和缩短着地距离是缩短过渡时间及重心位移距离的重要前提, 因素之间存在相互影响和制约的关系。适当缩短过渡阶段时间, 有利于左脚快速着地进入用力阶段, 充分发挥右侧下肢参与用力的效果。

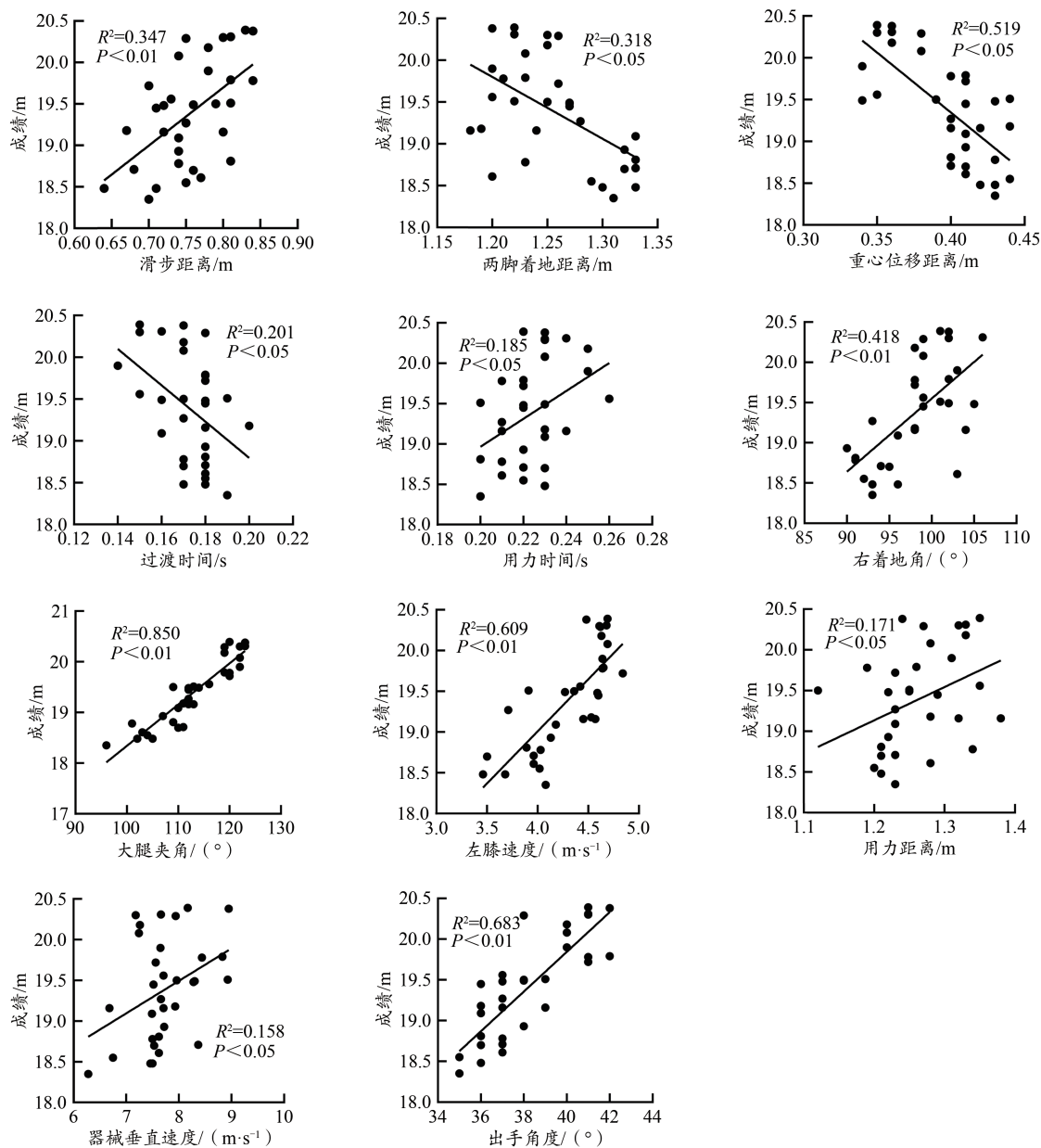


图1 与成绩相关的因素

Figure 1. Factors Related to Performance

右着地角为滑步结束瞬间右踝和右膝的连线在水平平面形成的夹角,角度越大说明右腿收腿效果越好,躯干向后倾斜幅度越大(董海军等,2009a)。巩立姣右着地角为 $98^\circ \pm 10^\circ$,与成绩之间存在中等程度正相关($r=0.741$, $P<0.01$; $R^2=0.418$, $P<0.01$),表明右脚着地瞬间右腿的收腿效果对成绩有较大影响,也是增加滑步距离的有效途径,主要受滑步过程中左、右腿之间的蹬摆配合程度影响,适当提高右腿蹬伸幅度和左腿向后摆动幅度可以提高右着地角(董海军等,2009b),成绩在20 m以上的试投右着地角均大于 100° (图1),适当增加右着地角度有利于提高成绩。

大腿夹角为滑步过程中左、右大腿与左、右髋连线的中点所形成的最大夹角,反映了左腿向后摆动幅度,对滑步距离和身体重心位移速度具有重要影响(刘凤英,2020)。

巩立姣大腿夹角为 $113^\circ \pm 7^\circ$,与成绩之间呈高度正相关($r=0.992$, $P<0.01$; $R^2=0.850$, $P<0.01$),成绩在20 m以上试投的大腿夹角均为 120° 左右(图1),需要在训练中进一步强调左腿向后摆动幅度,有利于增加滑步距离和提高身体重心位移速度,这也是影响巩立姣滑步距离的主要因素(董海军等,2022)。

左膝速度为滑步过程中左腿向后摆动的速度,速度越大说明左腿摆动越积极(苑廷刚等,2017)。巩立姣左膝速度为 (4.29 ± 0.38) m/s,与成绩之间存在中等程度正相关($r=0.781$, $P<0.01$; $R^2=0.609$, $P<0.01$),表明在一定程度上,左膝速度越大,成绩越好,成绩在20 m以上的试投中左膝速度大于 4.50 m/s(图1)。适当提高左膝速度是改进滑步技术的关键(郭章杰等,2018)。

用力距离是左脚着地后到器械出手瞬间对器械加速的工作距离,主要受用力技术的合理性及动作姿势的影响(Howard et al., 2017)。巩立姣用力距离为(1.26±0.06)m,与成绩之间存在低度正相关($r=0.375, P<0.01; R^2=0.171, P<0.01$; VIF 值为 3.301)。研究发现,李梅素、黄志红等运动员用力距离能够达到 1.38 m(刘相蓉, 2018),造成用力距离偏短的主要原因是下肢用力不充分,特别是左侧下肢没有充分伸展,造成左肩位置降低,左侧轴出现回撤等现象。训练中需要改进左侧下肢主要环节的用力姿势,特别是提高腰、髋核心部位参与“鞭打”用力幅度,有效提高用力效果。

用力时间是左脚着地后对器械做功时间(Błażkiewicz et al., 2019)。巩立姣用力时间为(0.22±0.01)s,与成绩之间存在低度正相关($r=0.391, P<0.01; R^2=0.185, P<0.05$; VIF 值为 2.350)。成绩在 20 m 以上试投用力时间为 0.22~0.25 s(图 1),需要提高用力阶段对器械加速的工作效率。最后用力阶段延长用力距离、控制用力时间是提高做功效果的关键。

器械垂直速度是器械出手瞬间在垂直方向的分速度,反映了用力的方向,决定了出手角度(Saliner et al., 2022)。巩立姣器械垂直速度为(7.73±0.60)m/s,与成绩之间存在低度正相关($r=0.379, P<0.05; R^2=0.158, P<0.05$; VIF 值为 2.387),器械垂直速度越大,成绩越好。器械垂直速度决定了用力的方向和形式,也符合推铅球最后用力的技术

原理。通过观察发现,依靠腰、髋和身体核心部位参与的用力形式,器械垂直速度相对较大;而过多依靠投掷臂推球的用力形式,器械垂直速度偏小,水平速度偏大(刘桃娟, 2019)。因此,适当提高器械垂直速度,增加髋关节等核心部位参与“鞭打”用力的程度,克服投掷臂主动推球的动作是巩立姣完善用力动作的方向。

出手角度是影响成绩的主要因素之一(王泽赫, 2017),反映了用力过程中垂直和水平方向的用力比例。出手角度越大,说明垂直方向用力比例越大,水平方向的用力比例越小(Lyson-Uklanska et al., 2021)。巩立姣出手角度为 $38.0^{\circ}\pm 0.6^{\circ}$,与成绩之间存在高度正相关($r=0.826, P<0.05; R^2=0.618, P<0.01$),表明在一定范围内,适当增加出手角度有利于提高运动成绩,需要在用力中提高身体参与“鞭打”用力效果,通过提高垂直速度比例,降低水平速度比例,达到增加出手角度的目的。巩立姣成绩在 20 m 以上的试投中只有 1 投的出手角度为 38° ,其他均大于 40° (图 1),这与在垂直方向的用力效果较好有直接关系,训练中需要克服投掷臂主动推球的动作,依靠身体的“鞭打”将铅球弹射出去是用力动作的核心。

2.2.1 巩立姣滑步距离的影响因素分析

巩立姣滑步距离的主要影响因素包括滑步阶段右腿离地蹬地角、大腿夹角、右着地角、右膝速度、左膝速度、腾空时间(表 6)。

表 6 滑步距离的影响因素
Table 6 Influencing Factors of Sliding Distance

$n=32$

	两脚着地距离/m	重心位移距离/m	腾空时间/s	右膝速度/ ($m\cdot s^{-1}$)	右髋速度/ ($m\cdot s^{-1}$)	左膝速度/ ($m\cdot s^{-1}$)	滑步右离蹬地角/ ($^{\circ}$)	右着地角/ ($^{\circ}$)	大腿夹角/ ($^{\circ}$)
<i>M</i>	1.27	0.40	0.14	3.65	3.57	4.30	55	98	113
<i>r</i>	-0.448*	-0.443*	0.406*	-0.480**	-0.443*	0.413*	0.557**	0.470**	0.512**
<i>SD</i>	0.24	0.03	0.01	0.36	0.66	0.45	4	4	9

影响因素中,右蹬地角与滑步距离的相关性最大($r=0.557, P<0.01$),在一定程度上增加右蹬地角可以提高滑步距离,反映了右腿蹬伸效果。滑步距离与大腿夹角的相关性 $r=0.512(P<0.01)$,与左膝速度的相关性 $r=0.413(P<0.05)$,表明滑步过程中左膝速度越高,滑步距离越长,与上述蹬地角共同反映了左、右腿之间的蹬摆配合效果,因此提高蹬摆配合效果,特别是左膝速度是提高巩立姣滑步距离的主要措施,需要在训练中强化。

滑步距离与右膝(右腿收腿)速度($r=0.480, P<0.01$)和右着地角($r=0.470, P<0.01$)存在低度相关,反映了滑步过程中右腿收腿速度及着地姿势,表明收腿越积极,右腿收腿幅度越大,滑步距离越长,这也是训练中延长滑步距离的有效途径之一。

腾空阶段时间是获得滑步距离和速度的必要条件,但需要尽量控制身体重心上下起伏程。巩立姣平均腾空

时间约为 0.14 s,与滑步距离之间存在低度相关($r=0.406, P<0.05$),相比其他世界优秀运动员偏短,李梅素在投掷 21.76 m 时的腾空时间达到了 0.16 s,因此适当延长滑步腾空时间是增加滑步距离的前提,也是进一步完善滑步技术的方向,训练中通过提高蹬摆效果延长腾空距离。

滑步距离和两脚着地距离之间存在低度负相关($r=-0.448, P<0.05$),同时与身体重心位移距离为低度负相关($r=-0.443, P<0.05$),表明两脚着地距离越长,滑步距离越短,重心位移距离也越长,训练中应该适当控制或缩短身体重心在过渡阶段的位移距离及左脚着地位置,对延长滑步距离也有一定意义。

2.2.2 巩立姣两脚着地距离的影响因素分析

两脚着地距离与成绩之前存在负相关,影响巩立姣两脚着地距离的主要因素包括右着地角、躯干后倾角、左着地角、用力距离和出手角度等(表 7),均存在负相关;与

左膝速度存在正相关。

虽然两脚着地距离与大腿(最大)夹角之间不存在直

接关系,但也存在低度负相关($r=-0.493, P<0.01$),表明大

腿夹角越大,两脚着地距离越短,反映了左腿的摆动幅度。

表7 两脚着地距离的影响因素

Table 7 Influencing Factors of the Landing Distance between Feet

$n=32$

	右着地角/(°)	左着地角/(°)	右着躯干角/(°)	大腿夹角/(°)	滑步距离/m	左膝速度/(m·s ⁻¹)	用力距离/m	出手角度/(°)
<i>M</i>	98	65	31	113	0.76	4.30	1.26	38
<i>r</i>	-0.575**	-0.416*	-0.458**	-0.493**	-0.448*	0.593**	-0.572**	-0.560**
<i>SD</i>	4	10	4	7	0.06	0.45	0.14	2

右着地角与躯干后倾角($r=-0.575, P<0.01$)、两脚着地距离($r=-0.458, P<0.01$)之间存在负相关,右着地角越大,两脚着地距离越短,符合上述研究结果。因此,在右脚着地瞬间提高右腿收腿效果,在一定程度上能够提高下肢对上肢的超越效果,反映了右脚在着地瞬间右腿和躯干的姿势。

左着地角与两脚着地距离之间也存在低度负相关($r=-0.416, P<0.05$),表明左着地角越大,两脚着地距离越短,这也说明左脚着地位置越近,右着地角越小,而躯干后倾幅度越大,反映了在过渡阶段身体重心位移距离对技术具有重要影响。

用力阶段器械做功距离(用力距离)与两脚着地距离之间存在中等程度负相关($r=-0.572, P<0.01$),在一定范围内用力距离越短,两脚着地距离越长,用力距离短反映了左脚着地速度快,着地位置近,这也是训练中强调左脚快速着地的原因,与身体重心位移距离也有直接关系,因此控制身体重心位移距离,能够使左脚快速着地,用力距离相应缩短,提高身体参与“鞭打”用力的幅度。

出手角度与两脚着地距离之间存在中等程度负相关($r=-0.560, P<0.01$),表明出手角度越大,两脚着地距离越短,与上述用力距离缩短的研究结果相符。通过前期研究发现,巩立姣适当提高器械出手角度,增加垂直方向的用力效果有利于提高运动成绩,也是巩立姣备战巴黎奥运会用力技术改进方向之一。

2.2.3 巩立姣过渡阶段身体重心位移距离的影响因素分析

在过渡阶段的身体重心位移距离是影响巩立姣技术和成绩突破的关键因素之一,影响身体重心位移距离的直接因素有右着地角($r=-0.530, P<0.01$)、左着地角($r=-0.766, P<0.01$)、过渡阶段时间($r=0.801, P<0.01$)、器械位移距离($r=0.567, P<0.01$)、右脚着地瞬间躯干后倾角($r=-0.415, P<0.05$)等,与重心位移距离存在间接关系的影响因素有用力距离($r=-0.600, P<0.01$)、用力时间($r=-0.600, P<0.01$)、大腿夹角($r=-0.693, P<0.01$)、出手角度($r=-0.553, P<0.01$)、过渡阶段右脚离地瞬间的蹬地角度($r=-0.530, P<0.01$)和右脚离地瞬间的躯干后倾角($r=-0.415, P<0.05$;表8)。

滑步阶段身体姿势对身体重心位移距离影响较大,特别是右脚蹬地角和躯干后倾幅度,决定了身体重心位移方向和下肢对上肢超越效果,训练中强调右腿蹬地和左腿摆动(大腿夹角),有利于提高滑步速度,同时为右脚着地瞬间创造良好的身体姿势。右着地角越大,躯干后倾幅度越大,相应的身体重心位移越短,因此缩短过渡阶段重心位移距离首要条件是注意控制右脚着地瞬间的身体姿势。过渡阶段应该适当缩短过渡时间,控制左脚着地过程中肩横轴转动幅度,通过加快左脚着地速度和缩短着地距离来完善过渡阶段技术,是备战巴黎周期技术完善的关键环节,也是影响巩立姣成绩达到21 m的主要因素。

表8 身体重心位移距离的影响因素

Table 8 Influencing Factors of the Displacement Distance of Body's Center of Gravity

$n=32$

	过渡右离地蹬地角/(°)	右着地角/(°)	左着地角/(°)	滑步距离/m	用力距离/m	过渡时间/s	用力时间/s	过渡器械距离/m	右离躯干角/(°)	右着躯干角/(°)	大腿夹角/(°)	出手角度/(°)
<i>M</i>	65	98	65	0.76	1.27	0.17	0.22	0.39	29	31	113	38
<i>r</i>	-0.530**	-0.560**	-0.766**	-0.443*	-0.600**	0.801**	-0.600**	0.567**	-0.415*	-0.415*	-0.693**	-0.553**
<i>SD</i>	10	10	10	0.05	0.14	0.01	0.11	0.06	4	4	7	2

2.2.4 巩立姣过渡时间的影响因素分析

过渡时间是过渡阶段从右脚着地开始至左脚着地结束所需的时间。过渡时间与重心位移距离有直接关系,呈高度正相关($r=0.801, P<0.01$;表8)。影响过渡时间的因素

主要包括右、左脚着地瞬间的身体姿势,其中右着地角($r=-0.349, P<0.05$)、左脚着地瞬间躯干后倾角($r=0.420, P<0.05$)、过渡阶段器械距离($r=0.668, P<0.01$),存在相关性的技术参数主要有过渡阶段右脚离地瞬间的蹬地角

($r=-0.445, P<0.01$)、右脚离地瞬间的躯干角($r=-0.354, P<0.05$)、大腿夹角($r=-0.450, P<0.01$)、用力时间($r=-0.569, P<0.01$)和用力距离($r=-0.351, P<0.05$;表 9)等。

巩立姣过渡时间偏长主要原因是左脚着地位置偏远(这也是将提高滑步距离作为首要关键技术环节来完善

的主要原因),身体重心位移距离偏长。根据研究结果,巩立姣训练中在滑步阶段需要控制蹬地方向上体和抬起幅度,提高右腿收腿效果,减小右脚着地瞬间角,同时控制过渡阶段左脚着地位置,减小左着地角,有利于缩短重心位移距离。

表 9 过渡时间的影响因素

Table 9 Influencing Factors of the Transition Time

$n=32$

	过渡右离蹬地角/(°)	右着地角/(°)	左着地角/(°)	右离躯干角/(°)	左着躯干角/(°)	大腿夹角/(°)	过渡器械距离/m	用力时间/s	用力距离/m
<i>M</i>	65	98	65	29	51	113	0.39	0.22	1.27
<i>r</i>	-0.445**	-0.349**	-0.609**	-0.354*	0.420*	-0.450**	0.668**	-0.569**	-0.351*
<i>SD</i>	10	10	10	4	5	7	0.06	0.11	0.14

2.2.5 巩立姣用力时间的影响因素分析

最后用力阶段对器械加速的时间是影响用力效果的主要因素之一,加速距离和加速度构成了用力效果的三要素。

研究发现,巩立姣用力时间与成绩之间存在正相关,但在用力时间的影响因素中,过渡阶段的技术参数对用力时间具有重要影响,用力时间与过渡阶段重心位移距离($r=-0.600, P<0.01$;表 10)、过渡时间($r=-0.569, P<0.01$)和过渡阶段器械位移距离($r=-0.632, P<0.01$)之间存在中等程度负相关,左着地角与用力时间之间存在中等程度正相关($r=0.557, P<0.01$)。虽然蹬地角、右着地角、大腿夹角与用力时间之间有一定关系,但并不是直接影响因素。过渡阶段右脚着地瞬间躯干倾角($r=0.420, P<0.05$)、左脚着地瞬间躯干倾角($r=0.441, P<0.05$)与用力时间存在低度正相关。

用力阶段技术主要受到过渡阶段技术参数影响,这也是将过渡阶段纳入最后用力技术整体研究的原因,在训练中通过改进过渡阶段技术可以有效提高用力效果。通过缩短过渡阶段身体重心位移距离和过渡时间,有效降低过渡阶段对器械加速距离、减小左着地角,可以延长最后用力阶段对器械的加速时间。

2.2.6 巩立姣右着地角的影响因素分析

右着地角对成绩有直接影响,影响右着地角大小的直接因素主要有滑步距离($r=0.470, P<0.01$)、大腿夹角($r=0.801, P<0.01$)、左膝速度($r=0.656, P<0.01$)、滑步器械距离($r=-0.781, P<0.01$)以及右脚离地瞬间躯干后倾角($r=0.467, P<0.01$)和右脚着地瞬间躯干后倾角($r=0.664, P<0.01$;表 11),其他因素虽然与右着地角之间有一定关系,但并不是直接影响因素。

表 10 用力时间的影响因素

Table 10 Influencing Factors of the Exertion Time

$n=32$

	滑步右离蹬地角/(°)	右着地角/(°)	左着地角/(°)	右着躯干角/(°)	左着躯干角/(°)	大腿夹角/(°)	重心位移距离/m	过渡时间/s	过渡器械距离/m
<i>M</i>	55	98	65	31	51	113	0.40	0.17	0.39
<i>r</i>	0.435*	0.409*	0.557**	0.420*	0.441*	0.444**	-0.600**	-0.569**	-0.632*
<i>SD</i>	4	10	10	3	5	7	0.38	0.11	0.06

表 11 右着地角的影响因素

Table 11 Influencing Factors of Landing Angle of Right Foot

$n=32$

	左着地角/(°)	右离躯干后倾角/(°)	右着躯干后倾角/(°)	重心位移距离/m	过渡时间/s	过渡器械距离/m	滑步器械距离/m	大腿夹角/(°)	滑步距离/m	左膝速度/($m \cdot s^{-1}$)
<i>M</i>	65	29	31	0.40	0.17	0.39	0.76	113	0.76	4.30
<i>r</i>	0.576**	0.467*	0.664**	-0.612**	-0.582**	-0.444*	-0.781**	0.801**	0.470**	0.656**
<i>SD</i>	10	4	5	0.38	0.01	0.06	0.06	7	0.05	0.45

右着地角越大,成绩越好,反映了滑步阶段右腿收腿效果,在一定程度上,通过提高左膝速度和摆动幅度,以及

延长滑步距离都可以增加右着地角,增加上肢(躯干)后倾幅度,有利于提高超越效果。但滑步阶段器械运行距离与

右着地角之间中等程度呈负相关,造成滑步阶段器械运行距离增加的主要原因是上肢提前转动加速,因此滑步阶段控制上肢的提前转动有利于增加右着地角。

2.2.7 巩立姣大腿夹角的影响因素分析

大腿夹角是巩立姣成绩的主要影响因素之一,也是影响滑步效果的直接因素。由表12可知,巩立姣大腿夹角的直接影响因素主要有:右脚离地瞬间躯干后倾角($r=0.716, P<0.01$)、左膝速度($r=0.715, P<0.01$)以及右

着地角($r=0.801, P<0.01$)等。

训练中提高左膝速度和摆动幅度来增加大腿夹角是提高滑步效果的有效途径,已通过技术改进取得了一定效果。右脚离地、着地瞬间躯干后倾幅度也是影响大腿夹角的因素,在一定程度上,右脚离地瞬间躯干后倾角度增加会限制左腿摆动幅度,因此在滑步过程中需要强调左腿向后摆动,同时还需要注意控制上体抬起幅度,对超越器械效果有一定影响。

表12 大腿夹角的影响因素

Table 12 Influencing Factors of the Angle between Thighs

$n=32$

	右着地角/ (°)	两脚着地距离/ m	重心位移距离/ m	过渡时间/ s	用力时间/ s	出手角度/ (°)	用力距离/ m	右离躯干后 倾角/(°)	右着躯干后 倾角/(°)	左膝速度 /(m·s ⁻¹)
<i>M</i>	98	1.26	0.40	0.17	0.22	38	1.26	29	31	4.30
<i>r</i>	0.801**	-0.493**	-0.693**	-0.450**	0.444**	0.827**	-0.643**	0.635*	0.716**	0.715**
<i>SD</i>	10	0.05	0.38	0.01	0.11	2	0.14	4	5	0.45

2.2.8 巩立姣左膝速度的影响因素分析

研究表明,左膝速度是巩立姣成绩的关键影响因素,直接影响滑步距离和滑步速度,对滑步效果具有重要意义。左膝速度的主要影响因素为右着地角($r=0.656, P<0.01$),左着地角($r=0.606, P<0.01$),右脚离地、着地瞬间躯干角($r=0.396,$

$P<0.05; r=0.649, P<0.01$),以及滑步阶段的器械运行距离($r=0.538, P<0.01$)等。技术参数中除大腿夹角是影响左膝速度的直接因素外,其他因素虽然也表现出显著的相关性,但并不是左膝速度的直接影响因素(表13)。在训练中主要通过增加左腿摆动幅度来提高左膝速度、滑步速度和距离。

表13 左膝速度的影响因素

Table 13 Influencing Factors of the Left Knee Speed

$n=32$

	右着地角/(°)	左着地角/(°)	右离躯干后倾角/(°)	右着躯干后倾角/(°)	大腿夹角/(°)	滑步器械距离/m
<i>M</i>	98	65	29	31	115	0.76
<i>r</i>	0.656**	0.606**	0.396*	0.649**	0.715**	-0.538**
<i>SD</i>	10	10	4	5	8	0.06

2.2.9 巩立姣用力距离的影响因素分析

影响巩立姣用力距离的主要因素为左着地角($r=-0.643, P<0.01$)、两脚着地距离($r=-0.572, P<0.01$)、过渡阶段重心位移距离($r=-0.375, P<0.05$)、过渡阶段器械位移距离($r=-0.371, P<0.05$)、过渡时间($r=-0.351, P<0.05$)以及左膝速度($r=0.436, P<0.05$;表14)等。研究发现,最后

用力距离与过渡阶段的技术参数有直接关系,这也是在训练中重视过渡技术的原因,在训练中应提高左脚着地速度、缩短两脚着地距离,以及缩短身体重心位移距离和器械位移距离,诸多因素中加快左脚着地速度和控制身体重心位移距离是技术的核心,也是巴黎奥运会周期内需要重点解决的关键技术环节。

表14 用力距离的影响因素

Table 14 Influencing Factors of the Exertion Distance

$n=32$

	左着地角/(°)	两脚着地距离/m	重心位移距离/m	过渡时间/s	左膝速度/(m·s ⁻¹)	过渡器械距离/m
<i>M</i>	65	1.26	0.40	0.17	4.30	0.39
<i>r</i>	-0.643**	-0.572**	-0.375*	-0.351*	0.436**	-0.371*
<i>SD</i>	10	0.05	0.38	0.01	0.45	0.06

2.2.10 巩立姣器械垂直速度的影响因素分析

研究发现,影响器械垂直方向速度的直接因素为出手角度($r=0.475, P<0.05$)和水平速度($r=-0.425, P<0.05$;

表15),呈低度正相关,其他技术参数虽然与器械垂直速度有一定相关性,但并不是直接影响因素。在训练中应该适当降低水平速度,增加器械的出手角度,达到提高最

后用力效果的目的。

2.2.11 巩立姣出手角度的影响因素分析

器械出手角度是影响最后用力效果的重要因素之一, 巩立姣出手角度与成绩之间呈高度相关性, 影响出手角度的主要因素有右着地角($r=0.693, P<0.01$)、右脚着地瞬间躯干后倾角($r=0.522, P<0.01$)、大腿夹角($r=0.827, P<0.01$)、滑步距离($r=0.649, P<0.01$)、两脚着地距离($r=-0.560, P<0.01$)、身体重心位移距离($r=-0.553, P<0.01$)、左膝速度($r=0.659, P<0.01$)、器械垂直速度($r=0.475, P<0.01$; 表 16)。其中, 滑步距离与出手角度之间也存在

低度正相关, 与两脚着地距离、身体重心位移距离呈负相关, 这也是前期训练中缩短这 2 个技术指标的关键原因。而右着地角和右脚着地瞬间躯干后倾角与出手角度之间存在正相关, 也是增加右脚着地瞬间下肢超越上肢幅度的前提条件。大腿夹角与出手角度也存在高度正相关, 是影响滑步距离的关键因素, 训练中增加左腿摆动效果, 以达到延长滑步距离和增加出手角度的目的。影响出手角度的直接因素主要为器械垂直速度和水平速度, 训练中适当提高垂直速度比例有利于增加出手角度, 使用力技术更为合理。

表 15 器械垂直速度的影响因素

Table 15 Influencing Factors of the Vertical Speed of Instruments

$n=32$

	右着地角/(°)	大腿夹角/(°)	滑步距离/m	水平速度/(m·s ⁻¹)	出手角度/(°)
<i>M</i>	98	115	0.76	10.05	38
<i>r</i>	0.421*	0.407*	0.413*	0.425*	0.475**
<i>SD</i>	10	8	0.05	4.00	2

表 16 出手角度的影响因素

Table 16 Influencing Factors of the Angle of Hand-Out

$n=32$

	右着地角/(°)	右着躯干后倾角/(°)	大腿夹角/(°)	滑步距离/m	两脚着地距离/ m	重心位移距离/ m	左膝速度/ (m·s ⁻¹)	器械垂直速度/ (m·s ⁻¹)
<i>M</i>	98	31	115	0.76	1.26	0.40	4.30	7.73
<i>r</i>	0.693**	0.522**	0.827**	0.649**	-0.560**	-0.553**	0.659**	0.475**
<i>SD</i>	10	5	8	0.05	0.05	0.38	0.45	0.60

3 结论与建议

3.1 结论

1) 滑步距离偏短是影响巩立姣成绩进一步突破的关键因素, 通过改变滑步阶段右脚蹬地和着地方式, 提高右腿收拉的幅度等方式提高滑步距离。经过多年的技术改进后, 滑步距离得到了一定程度延长。

2) 过渡阶段身体重心向前移动的幅度是影响巩立姣成绩突破的关键因素, 通过强调滑步结束瞬间控制上肢转动幅度和加快左脚着地速度和缩短着地距离, 克服左脚着地过程中向抵趾板前伸幅度过大问题, 为良好用力姿势的形成创造条件。

3) 最后用力阶段上、下肢用力时机和用力方向是影响巩立姣最后用力效果的关键因素, 也是提高成绩的决定性因素。通过延迟用力阶段上肢, 特别是右肩和投掷臂对器械加速时机, 强调用力阶段上肢的延迟用力和加快右侧下肢用力时机来增加上、下肢之间的扭紧效果, 提高身体参与“鞭打”用力效果。

4) 器械出手瞬间在垂直和水平方向的速度分配比例是影响巩立姣成绩的关键因素, 通过多个赛季的改进, 一定程度上增加垂直方向的用力效果和速度, 减小在水平方向的用力效果和速度, 现阶段的用力技术更加适合其

技术特点, 适当提高器械出手角度是未来一段时间技术完善的方向。

3.2 建议

1) 对于滑步技术的改进需要在逐渐提高滑步速度的基础上形成动力定型, 减小滑步阶段身体重心向上运动幅度, 通过改变右腿蹬伸和左腿摆动方向达到减小身体重心上下起伏的目的, 进一步提高滑步技术的整体和连贯性, 使身体重心获得较大向投掷方向运动的速度, 达到稳定效果。

2) 过渡阶段的技术对最后用力效果有直接影响, 后续训练中需要进一步强调加快左脚着地时机, 减小过渡阶段身体重心位移距离, 缩短过渡阶段时间, 加快右侧下肢, 特别是右髋的用力时机, 推动左脚快速着地。

3) 用力阶段需要进一步强化上肢延迟用力动作, 这也是世界级优秀运动员用力动作中必须具备的技术特征, 为增加身体“鞭打”用力幅度创造条件。

4) 训练中根据运动员个人技术特点, 分析成绩的影响原因, 探索适合运动员个性技术特点的训练方法, 一定程度上通过增加器械垂直速度、减小水平速度来提高出手角度, 对提高其用力效果具有一定帮助, 器械速度分配比例更适合其现在的技术特点。

参考文献:

- 董海军,马屹,丛玉珍,等,2021.中国与世界优秀男子铅球运动员旋转投掷技术对比[J].医用生物力学,6(3):534-539.
- 董海军,史东林,巩立姣,等,2022.第32届夏季奥运会女子铅球冠军巩立姣成绩突破的关键技术研究[J].中国体育科技,58(11):7-12.
- 董海军,苏明理,王琨,等,2009a.我国女子铅球优秀运动员投掷技术分析[J].体育学刊,16(6):85-90.
- 董海军,苏明理,严波涛,等,2009b.我国优秀女子铅球运动员最后用力技术特征研究[J].中国体育科技,45(4):37-41.
- 郭章杰,张洁,周浩祥,等,2018.女子铅球运动员不同场次比赛准备滑步阶段的运动学分析[J].济宁师范学院学报,6(3):65-69.
- 刘凤英,2020.世界优秀青年女子铅球运动员竞技表现的特征分析[J].广州体育学院学报,40(1):91-95.
- 刘桃娟,2019.我国优秀女子铅球运动员投掷过程中肩、髋运动特征的研究[D].西安:西安体育学院.
- 刘相蓉,2018.我国优秀女子铅球运动员技术特征分析[D].天津:天津师范大学.
- 王泽赫,2017.我国部分优秀女子铅球运动员最后用力技术的三维运动学分析[D].天津:天津体育学院.
- 文超,2003.田径运动高级教程(第二版)[M].北京:人民体育出版社:540-553.
- 苑廷刚,王国杰,郑富强,等,2017.我国优秀女子铅球运动员竞技能力状态的综合监测和研究[J].北京体育大学学报,40(9):97-104.
- BŁAŹKIEWICZ M, ŁYSON B, WIT A, 2019. Mechanical energy flows between body segments in ballistic track-and-field movements (shot put, discus, javelin) as a performance evaluation method[J]. Acta Bioeng Biomech, 21(1): 31-36.
- HOWARD R M, CONWAY R, HARRISON A J, 2017. Muscle activation sequencing of leg muscles during linear glide shot putting[J]. Sports Biomech, 16(4): 463-484.
- LYSON-UKLANSKA B, BŁAZKIEWICZ M, KWACZ M, et al., 2021. Muscle force patterns in lower extremity muscles for elite discus throwers, javelin throwers and shot-putters: A case study[J]. J Hum Kinet, 7(8): 5-14.
- SALINERO J J, DEL COSO J, 2022. Rotational versus glide technique in elite shot put: Trend analysis in the 21st century[J]. J Hum Sport Exerc, 17(4): 732-739.

(收稿日期:2023-09-14; 修订日期:2023-11-09; 编辑:尹航)

(上接第13页)

- SUNDSTRÖM D, CARLSSON P, STÅHL F, et al., 2013. Numerical optimization of pacing strategy in cross-country skiing [J]. Struct Multidiscip O, 47(6): 943-950.
- SWARÉN M, ERIKSSON A, 2019. Power and pacing calculations based on real-time locating data from a cross-country skiing sprint race[J]. Sports Biomech, 18(2): 190-201.
- TALSNES R K, SOLLI G S, KOCBACH J, et al., 2021. Laboratory- and field-based performance-predictions in cross-country skiing and roller-skiing[J]. PLoS One, 16(8): e256662.
- THOMPSON K G, HALJAND R, MACLAREN D P, 2000. An analysis of selected kinematic variables in national and elite male and female 100 m and 200 m breaststroke swimmers [J]. J Sports Sci, 18(6): 421-431.
- THOMPSON K, MACLAREN D P, LEES A, et al., 2003. The effect of even, positive and negative pacing on metabolic, kinematic and temporal variables during breaststroke swimming [J]. Eur J Appl Physiol, 88(4-5): 438-443.
- VAN INGEN SCHENAU G J, DE KONING J J, DE GROOT G, 1992. The distribution of anaerobic energy in 1 000 and 4 000 metre cycling bouts[J]. Int J Sports Med, 13(6): 447-451.
- WELDE B, STÖGGL T L, MATHISEN G E, et al., 2017. The pacing strategy and technique of male cross-country skiers with different levels of performance during a 15 km classical race[J]. PLoS One, 12(11): e187111.

(收稿日期:2023-06-27; 修订日期:2023-11-03; 编辑:尹航)