

文章编号: 1004-7220(2021)04-0546-07

影响标枪空气动力学距离技术因素的配对对比研究

吕 钢^{1,2}, 买毅娜³, 李翰君⁴, 于 冰^{1,5}(1. 中国田径协会, 北京 100763; 2. 武汉体育学院, 武汉 430079; 3. 湖北省体育局田径管理中心, 武汉 430200;
4. 北京体育大学 运动人体科学学院, 北京 100084; 5. 美国北卡罗来纳大学教堂山分校, 北卡罗来纳州 27599)

摘要:目的 确定实际比赛试投中与空气动力学有关的技术参数对标枪投掷空气动力学距离和成绩的影响。方法 通过三维摄像方法获得22名中国和美国优秀女子标枪运动员每人在1次比赛中获得最长、最短空气动力学距离试投的生物力学数据,对比长、短空气动力学距离试投中与空气动力学有关的技术参数。结果 与短空气动力学距离试投相比,长空气动力学距离试投的真空飞行距离显著短,但成绩显著长;长空气动力学距离试投出手速度显著低,标枪出手时的攻角和侧弯角显著小,水平方向角更偏向右侧。长、短空气动力学距离试投中右脚和左脚落地时标枪的仰角和水平指向角无显著差异。结论 女子标枪运动员适当减小最后的用力程度有利于控制与空气动力学有关的出手参数,从而有利于获得空气动力学距离,并取得比较好的成绩。女子标枪运动员获得比较长的空气动力学距离需要减小标枪出手时的攻角,并且向右侧5°左右投出标枪。

关键词:标枪投掷; 空气动力学距离; 出手速度; 攻角; 侧分角; 水平方向角

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2021.04.008

Paired Comparison of Technical Factors Influencing Javelin Aerodynamic Distance

LÜ Gang^{1,2}, MAI Yina³, LI Hanjun⁴, YU Bing^{1,5}

(1. Chinese Athletics Association, Beijing 100763, China; 2. Wuhan Sport College, Wuhan 430079, China; 3. Center of Athletics, Sports Administration of Hubei Province, Wuhan 430200, China; 4. School of Sport Science, Beijing Sport University, Beijing 100084, China; 5. University of North Carolina at Chapel Hill, Chapel Hill, North Carolina 27599, USA)

Abstract: Objective To determine the effects of javelin release parameters related to aerodynamics on aerodynamic distance and results in javelin throwing in actual competition environments. **Methods** Kinematic data from javelin throwing of 22 Chinese and American elite women javelin throwers were obtained using three-dimensional videographic method. The trial with the longest aerodynamic distance and the trial with the shortest aerodynamic distance for each thrower in the same competition were included in this study. Aerodynamics-related technical parameters in long and short aerodynamic distance trials were compared. **Results** Compared with short aerodynamic distance trials, the vacuum flight distances of long aerodynamic distance trials were significantly shorter, but the official distances were significantly longer. The release velocities of long aerodynamic distance trials were significantly lower, the attack angles and bending angles were significantly smaller. The horizontal direction angles at release of the long aerodynamic distance trials were more to the right side. The elevation angles and horizontal pointing angles during right/left foot landing in long aerodynamic distance trials were not

收稿日期: 2021-05-21; 修回日期: 2021-05-23

通信作者: 于冰, 教授, E-mail: byu@med.unc.edu

significantly different from those in short aerodynamic distance trials. **Conclusions** Throwing javelin with submaximal effort beneficiates the control of aerodynamics-related release parameters and thus increased chances to obtain long aerodynamic distance and better result in women javelin throwing. Reducing attack angle and releasing javelin about 5° to the right will assist women javelin throwers to obtain longer aerodynamic distance.

Key words: javelin throwing; aerodynamic distance; release velocity; attack angle; side split angle; horizontal direction angle

标枪作为田径运动中的 4 个投掷项目之一,投掷技术比较复杂,原因是标枪投掷成绩受空气的影响比较大。标枪投掷成绩由出手损失距离、真空飞行距离和空气动力学距离 3 个部分组成。其中,出手损失距离是标枪出手点到标枪落地点的水平距离中没有被计入投掷成绩的部分;真空飞行距离是在不考虑空气作用的情况下,标枪按照抛物物体运动模式计算得到的飞行距离;空气动力学距离是标枪受空气动力学因素影响比在真空环境中增加或减少的飞行距离(见图 1)。在这 3 个组成部分中,真空飞行距离和空气动力学距离是影响标枪投掷成绩的主要部分^[1]。

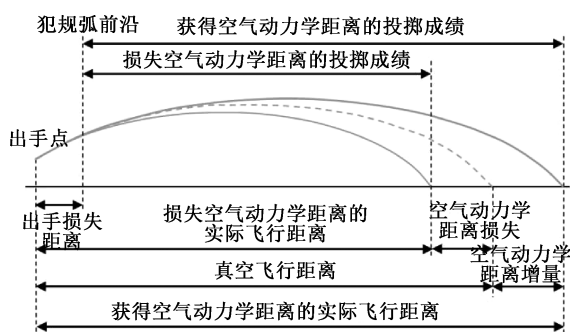


图 1 标枪投掷成绩示意图

Fig.1 Schematic diagram of javelin throwing results

已有力学理论和对标枪投掷技术的研究表明,出手速度是影响标枪成绩最为重要的因素。出手速度越大,真空飞行距离越远,越有利于提高投掷成绩^[2-4]。除出手速度外,出手角度和出手高度也是导致投掷成绩发生变化的主要原因^[5-7]。

为了提高标枪投掷的成绩,研究人员还对标枪飞行的空气动力学距离进行大量基础空气动力学理论研究。标枪飞行过程中受到的空气作用力可分解为垂直于标枪长轴的升力和平行于标枪长轴的阻力。这两个力的大小与标枪飞行的攻角有关。

标枪飞行的攻角是标枪长轴和标枪速度矢量在垂直平面内的夹角。一项针对女子标枪的空气动力学模拟研究表明,攻角为正值时,俯仰力矩均为负值,使标枪在飞行过程中向下旋转,缩短了标枪飞行的空气动力学距离^[8]。女子标枪飞行过程中所受使得枪尖向下旋转的俯仰力矩随着攻角的增大而增大,而标枪飞行过程中的攻角与标枪出手时的攻角密切相关^[8-10]。该结果表明,标枪运动员需要控制标枪出手时的攻角,进而控制标枪飞行过程中所受初始俯仰力矩引起标枪向下的旋转,增加空气动力学距离。Best 等^[8]研究提出,在女子标枪运动中最佳出手攻角为 7° 。

研究发现,标枪飞行的空气动力学距离还受到飞行过程中自身振动的影响。Bartlett 等^[1]研究认为,标枪自身的振动会增大标枪受到的阻力,并减小受到的升力。Hubbard 等^[11]研究发现,在较小的攻角以及较大的相对风速下,标枪较大的振动幅度会使升力和阻力均有所提升,而升力增加导致的飞行距离增加可能略大于因阻力增加导致的飞行距离减小,即标枪的自身振动可能有利于提高投掷成绩。Hubbard 等^[12]进一步研究标枪飞行过程中自身振动,结果发现,标枪在俯仰平面内的振动会使飞行距离增加,而左右方向上的振动则会使飞行距离降低。对女子标枪运动员投掷技术的研究表明,标枪出手时的侧弯角与标枪飞行中的震动有关^[13]。

虽然已有文献对影响标枪飞行的空气动力学因素进行了详细的理论描述,但是研究主要集中在标枪出手的攻角,而针对其他与标枪飞行有关的空气动力学因素鲜有报道,特别是标枪出手的角度、仰角、水平方向角、侧分角等;而上述出手参数对标枪的空气动力学距离可能有重要影响,从而影响标枪投掷成绩。研究与标枪投掷技术密切相关的标枪出手参数,特别是实际比赛中各参数对标枪空气

动力学距离和成绩的影响,能够为提高标枪投掷成绩提供有意义的参考。本文通过分析女子标枪运动员在1次比赛中获得的比较长和比较短空气动力学距离试投,并与空气动力学距离有关的出手参数进行比较,确定这些参数对女子标枪运动员空气动力学距离的影响。本文假设:①女子标枪运动员在获得比较长空气动力学距离试投中,也获得了比较长的真空飞行距离,因而成绩比较高;②女子标枪运动员在获得比较长空气动力学距离试投中,有比较高的出手速度、比较大的出手角度和比较高的出手高度;③女子标枪运动员在获得比较长空气动力学距离试投中,有比较小的攻角和侧分角;④女子标枪运动员在获得比较长空气动力学距离试投中,出手的水平方向角更偏向右侧;⑤女子标枪运动员在获得比较长和比较短空气动力学距离试投中,在右脚和左脚落地时标枪的仰角和水平方向角不同。

1 研究方法

1.1 研究对象

研究对象包括22名中国和美国女子标枪运动员,身高(1.74 ± 0.07) m,体质量(75.2 ± 2.7) kg。22名研究对象每人在1次中国或美国田径协会的全国比赛中有1次试投获得了比较长的空气动力学距离[(58.86 ± 5.12) m],以及1次试投获得了比较短的空气动力学距离[(56.42 ± 5.41) m],甚至损失了空气动力学距离。所有研究对象使用右手投掷。本研究使用这些优秀运动员数据,已获得北京体育大学科研伦理委员会的批准。

1.2 数据采集

使用两台JVC高清晰度录像机以60幅/s拍摄频率和1/1 000 s快门速度拍摄2006~2018年美国女子标枪运动员在美国田径协会全国竞标赛和奥运会代表队赛中的技术录像。其中,1台摄像机设置在标枪跑道的右侧,另1台设置在跑道后方。两台摄像机主光轴之间的夹角约为 90° ^[14]。使用直接线性转换(direct linear transformation, dlt)方法和1个有24个标定点的标定框架对两台录像机进行标定^[15]。标定空间为5 m × 2 m × 2.5 m(长×宽×高)。坐标系的原点设置在投掷弧心,X轴正方向为投掷方向,Y轴正方向为投掷方向的左侧,Z轴正

方向为上方。标定误差不大于5 mm。设置细节在文献[14]中有详细说明。比赛后,由有经验的研究人员手工解析所有美国运动员的录像,获得美国运动员身体21个关节点和标枪上3个点的二维视频坐标^[14,16];然后,使用多重关键帧方法对两台录像机的二维视频坐标数据进行时间同步^[17-19];最后,使用DLT方法将时间同步的二维坐标数据合成为三维坐标数据。

通过相同的拍摄程序,使用Sony AX 700高清晰度录像机以60幅/s拍摄频率和1/1 000 s快门速度拍摄中国女子标枪运动员在2018~2021年在中国田径协会全国比赛中的技术录像。标定误差不大于5 mm。比赛后,使用FastMove Post Create人工智能录像解析系统(大连锐动科技有限公司)解析中国运动员的比赛录像,获得中国运动员试投中身体21个关节点和标枪上3个点二维视频坐标数据^[20];然后,使用同样方法对二维视频坐标数据进行时间同步,并合成三维坐标数据;最后,使用Butterworth低通滤波方法以7.14 Hz截断频率对合成的三维坐标数据进行平衡处理,以减小随机误差对数据计算的影响^[21-22]。手工解析和人工智能系统解析的数据具有非常高的可比性^[20]。

1.3 数据处理

计算标枪出手时线把前端的垂直速度和水平速度以及线把前端的高度,并根据抛物体运动方程,计算每次试投中标枪的真空飞行距离。同时,计算标枪出手时标枪线把前端在水平面中的位置,并根据这一位置和出手速度的方向,计算出手损失距离。在已知出手损失距离和真空飞行距离的情况下,计算每次试投的空气动力学距离^[18]。

计算标枪出手高低角和水平方向角,以及出手时标枪的攻角、侧分角和侧弯角。标枪出手的高低角定义为标枪出手速度矢量与水平面的夹角,也称为出手角度。标枪出手的水平方向角定义为标枪的水平出手速度矢量与X轴的夹角。标枪出手的水平方向角为负值,表示标枪向右侧飞行;水平方向角为正值,表示标枪向左侧飞行。标枪出手时的攻角定义为标枪长轴与标枪出手速度矢量的夹角在标枪出手速度矢量和出手水平速度矢量定义的垂直平面中的投影。攻角为正值,表示标枪枪尖在出手速度矢量之上,在标枪技术中被称之为拉枪;

攻角为负值,表示标枪枪尖在出手速度矢量之下,在标枪技术中称之为顶枪。标枪出手时的侧分角定义为标枪出手时标枪长轴与标枪出手速度矢量之间的夹角在水平面上的投影。侧分角为负值,表示标枪枪尖在标枪出手速度矢量的右侧;侧分角为正值,表示标枪枪尖在标枪出手速度矢量的左侧。标枪出手时的侧弯角定义为标枪线把前端到枪尖的矢量与标枪枪尾到线把前沿的矢量之间的夹角。

计算研究对象在右脚着地时和左脚着地时标枪的仰角和水平指向角。标枪的仰角定义为标枪长轴与水平面的夹角。标枪的水平指向角定义为标枪长轴与 X 轴的夹角在水平面上的投影。

1.4 数据分析

使用配对 t 检验对比研究对象长、短空气动力学距离试投时标枪真空飞行距离、空气动力学距离和与空气动力学距离有关的出手角度参数,以及右脚和左脚着地时标枪的角度参数。为验证第 1 个假设,对比研究对象长、短空气动力学距离试投之间的成绩、真空飞行距离和空气动力学距离。为验

表 2 长、短空气动力学距离试投成绩、出手损失距离、真空飞行距离和空气动力学距离比较

Tab.2 Comparison of official distance, distance lost at release, vacuum flight distance and aerodynamics distance in long and short aerodynamic distance trials

试投	成绩	出手损失距离/m	真空飞行距离/m	空气动力学距离/m
长空气动力学距离试投 ($n=22$)	58.86±5.12	2.27±0.84	55.05±5.36	6.08±2.45
短空气动力学距离试投 ($n=22$)	56.42±5.41	2.23±0.81	60.73±5.95	-2.07±3.52
P	0.007	0.404	0.001	0.001

表 3 结果表明,女子标枪运动员长空气动力学试投的出手速度 ($P=0.001$) 显著低于短空气动力学距离试投的出手速度,出手角度 ($P=0.424$) 和高

表 3 长、短空气动力学距离试投出手速度、出手角度和出手高度比较

Tab.3 Comparison of release speed, angle and height in long and short aerodynamic distance trials

试投	出手速度/($m \cdot s^{-1}$)	出手角度/($^{\circ}$)	出手高度/m
长空气动力学距离试投 ($n=22$)	23.50±1.13	35±3	1.85±0.15
短空气动力学距离试投 ($n=22$)	24.72±1.17	35±3	1.88±0.09
P	0.001	0.424	0.126

表 4 结果表明,女子标枪运动员长空气动力学试投的攻角 ($P=0.030$)、水平方向角 ($P=0.001$) 和侧弯角 ($P=0.003$) 显著小于短空气动力学距离试投的攻角,侧分角与短空气动力学距离试投的侧分

证第 2 个假设,对比研究对象长、短空气动力学距离试投的出手速度、出手角度和出手高度。为验证第 3 个假设,对比研究对象长、短空气动力学距离试投中标枪出手时的攻角和侧分角。为验证第 4 个假设,对比研究对象长、短空气动力学距离试投中标枪出手时的水平方向角。为验证第 5 个假设,对比研究对象长、短空气动力学距离试投中右脚和左脚着地时标枪的仰角和水平指向角。本文定义统计学显著性意义为一类误差概率不大于 0.05。所有统计分析使用 Excel 办公软件的数据分析功能完成。

2 结果

表 2 结果表明,女子标枪运动员长空气动力学试投的成绩显著长于短空气动力学距离试投的成绩 ($P=0.007$),真空飞行距离显著长于短空气动力学距离试投的真空飞行距离 ($P=0.001$),空气动力学距离显著长于短空气动力学距离试投的空气动力学距离 ($P=0.001$)。

度 ($P=0.126$) 与短空气动力学距离试投的出手角度和高度无显著差异。

角无显著差异 ($P=0.232$)。

表 5 结果表明,女子标枪运动员长空气动力学试投中右脚着地时标枪的仰角 ($P=0.331$) 和水平方向角 ($P=0.457$) 与短空气动力学距离试投中右

表4 长、短空气动力学距离试投出手时标枪攻角、侧分角、水平方向角和侧弯角比较

Tab.4 Comparison of attack angle, side split angle, horizontal direction angle and bending angle in long and short aerodynamic distance trials

试投	攻角/(°)	侧分角/(°)	水平方向角/(°)	侧弯角/(°)
长空气动力学距离试投 ($n=22$)	4±5	-9±6	-5±3	1±1
短空气动力学距离试投 ($n=22$)	5±6	-10±9	0±5	4±2
<i>P</i>	0.030	0.232	0.001	0.003

表5 长、短空气动力学距离试投中右脚和左脚落地时标枪仰角和水平指向角比较

Tab.5 Comparison of avelin elevation and horizontal pointing angles during right/left foot landing in long and short aerodynamic distance trials

试投	右脚落地时		左脚落地时	
	仰角/(°)	水平指向角/(°)	仰角/(°)	水平指向角/(°)
长空气动力学距离试投 ($n=22$)	29±6	-27±17	36±5	-22±9
短空气动力学距离试投 ($n=22$)	29±8	-28±16	36±6	-21±10
<i>P</i>	0.331	0.457	0.274	0.122

脚着地时的相应角度无显著差异,左脚着地时标枪的仰角($P=0.274$)和水平方向角($P=0.122$)与短空气动力学距离试投中左脚着地时的相应角度无显著差异。

3 讨论

本文结果不支持本研究的第1个假设。本文发现,女子标枪运动员在获得比较长的空气动力学距离试投中获得的真空飞行距离比较短。该结果表明,长空气动力学距离试投的成绩比较高主要是因为空气动力学距离比较长,尽管长空气动力学距离试投的真空飞行距离比较短。女子标枪运动员取得的比较好的成绩主要是由于空气动力学距离比较长,体现了空气动力学距离对女子标枪成绩的重要影响。

本文结果不支持本研究的第2个假设。本文发现,与短空气动力学距离试投相比,女子标枪运动员在长空气动力学距离试投中表现出显著低的出手速度,但出手角度和出手高度无显著区别。在一次比赛中,运动员出手速度的变化与投掷技术有关,也与运动员的用力程度有关。长空气动力学距离试投中运动员的出手速度与短空气动力学距离试投相差比较大,导致这一差异的主要原因可能与用力程度有关。本文结果表明,用力程度差异是女子标枪运动员长、短空气动力学距离试投中真空飞行距离差异的主要原因。该结果进而说明,女子标枪运动员在

减小用力程度的情况下获得了比较长的空气动力学距离和比较好的成绩。

本文结果部分支持本研究的第3个假设。本文发现,女子标枪运动员在长空气动力学距离试投中标枪出手时的攻角显著小于短空气动力学距离试投中标枪出手时的攻角。虽然从平均值看,长、短空气动力学距离试投的平均攻角仅相差1°,但是本文使用了配对比较的研究设计,采用配对*t*检验进行数据分析。配对*t*检验出现显著性差异是因为差异在各配对之间的统一性,而不是因为差异的大小。因此,本文对标枪出手攻角的配对检验结果应该解释为绝大多数女子标枪运动员在长空气动力学距离试投中表现出比短空气动力学距离试投小的攻角。Best等^[8]研究认为,女子标枪出手的最佳攻角为7°,本文不支持该结果。本文结果表明,在实际比赛环境下,女子标枪出手时平均攻角为4°试投的空气动力学距离显著长于平均攻角为5°试投的空气动力学距离,提示女子标枪实际试投的最佳攻角应该小于5°。

本文结果支持本研究的第4个假设。本文发现,与获得比较短的空气动力学距离试投相比,女子标枪运动员在获得比较长的空气动力学距离试投中标枪出手时的水平方向角更趋于负值,即在长空气动力学距离试投中标枪飞行的方向更偏向右侧。根据马努斯定律,在无风条件下,当标枪以适当的负侧分角向右侧飞行时,空气相对于标枪的速度会产生

1个垂直于标枪长轴的分速度,这个分速度于标枪绕自己的长轴自转共同产生1个升力,有助于标枪增加空气动力学距离。研究发现,标枪出手飞行时的震动主要是由运动员拉枪造成^[13]。标枪出手时的侧弯角反映了运动员拉枪的程度^[13]。本文结果表明,女子标枪运动员在获得比较短的空气动力学距离试投中拉枪比较严重,这是这些试投空气动力学距离比较短的一个重要因素。

本文结果不支持本研究的第5个假设。本文发现,女子标枪运动员在长、短空气动力学距离试投中右脚和左脚落地时标枪的仰角和水平指向角没有显著差异。在右脚和左脚落地时,标枪的仰角和水平指向角可能会影响标枪出手时的攻角、侧分角和水平方向角。本文结果表明,女子标枪运动员右脚和左脚落地时标枪的仰角和水平指向角对运动员标枪出手时攻角、侧分角和水平方向角无显著影响,说明造成运动员标枪出手时攻角和水平方向角差异的主要原因是最后用力过程中对出手方向和标枪指向控制的差异。这一结果与验证第2个假设的结果相结合,说明女子标枪运动员在没有用全力投掷时,最好用力过程中控制好标枪出手方向和标枪指向,而且侧向拉枪比较小。适当减小用力程度,控制好标枪出手时的空气动力学角度,可能会出现比全力投掷更好多的成绩。加强全力投掷时,控制标枪空气动力学角度并避免侧向拉枪,是女子标枪运动员发挥自己最大潜力的关键。

本文使用了对比同一运动员在同一次比赛中长、短空气动力学距离试投对比的研究设计,最大限度地控制了环境对标枪投掷成绩和成绩的组成部分的影响,确保两次试投空气动力学距离差异是因为与空气动力学有关的技术参数差异所致,而不是环境差异所致。但是本研究包括的与空气动力学有关的技术参数都有最佳值,而且这些参数的最佳值很可能因人而异,本文的研究设计不能确定这些参数的最佳值。在今后的研究中,还需要使用其他合适的研究方法,确定这些参数的个体化最佳值。本文结果仅限于女子标枪运动员,男子标枪的空气动力学特点和投掷技术与女子标枪不同,与空气动力学有关的技术参数对空气动力学距离的影响也不同。后续可以开展对男子标枪运动员投掷技术的研究,确定与空气动力学有关的技术参数对男子标枪空气

动力学距离和投掷成绩的影响。

4 结论

女子标枪运动员适当控制最后用力的程度有助于控制与空气动力学有关的标枪出手参数,有利于增加空气动力学距离,从而获得比较好的成绩。女子标枪运动员将标枪出手时的攻角控制在 4° 以下,有利于获得空气动力学距离。女子标枪运动员使标枪向偏右 5° 左右飞行,有利于获得空气动力学距离。

参考文献:

- [1] BARTLETT RM, BEST RJ. The biomechanics of javelin throwing: A review [J]. *J Sports Sci*, 1988, 6(1): 1-38.
- [2] HUBBARD M. Optimal javelin trajectories [J]. *J Biomech*, 1984, 17(10): 777-787.
- [3] 王倩. 标枪飞行轨迹的计算机仿真及实际应用[J]. *体育科学*, 2001, 21(1): 73-78.
- [4] RICH RG, GREGOR RJ, WHITING WC, et al. Kinematic analysis of elite javelin throwers [C]//ISBS-Conference Proceedings Archive. USA: [s.n.], 2008.
- [5] BEST RJ, BARTLETT RM. Computer flight simulation of the men's new-rules javelin [C]//Communication to the XI International Congress of Biomechanics. Amsterdam: [s.n.], 1987.
- [6] 苑威威, 宋惠娟, 魏晓芸. 中外部分优秀女子标枪运动员最后用力技术的运动学比较研究[J]. *辽宁体育科技*, 2006, 28(2): 32-33.
- [7] 廖红, 张绪树, 陈维毅, 等. 考虑空气阻力时标枪最佳出手角度研究 [J]. *中国体育科技*, 2007, 43(1): 98-101.
- [8] BEST RJ, BARTLETT RM. Ladies' javelin; Aerodynamics, flight simulation and biomechanical considerations [C]//Communication to the Fifth International Symposium of Biomechanics in Sports. Athens: [s.n.], 1987.
- [9] 陶于, 李文辉. 对国际田联规定使用女子低重心标枪必要与否的商榷 [J]. *中国体育科技*, 2000, 36(5): 33-35.
- [10] SCHLICHTING H, TRUCKENBRODT E. Aerodynamics of the airplane [M]. New York: McGraw-Hill, 1979.
- [11] HUBBARD M, BERGMAN CD. Effect of vibrations on javelin lift and drag [J]. *Int J Sport Biomech*, 1989, 5(1): 40-59.
- [12] HUBBARD M, LAPORTE S. Damping of javelin vibrations in flight [J]. *J Appl Biomech*, 1997, 13(3): 269-286.
- [13] 吕钢, 孙凯扬, 买毅强, 等. 空气动力学距离对标枪运动员运动表现的影响: 优秀女子标枪运动员吕会会投掷技术的个案研究[J]. *中国体育科技*, 2021, 57(1): 52-57.

- [14] LIU H, LEIGH S, YU B. Sequences of upper and lower extremity motions in javelin throwing [J]. J Sports Sci, 2010, 28(13): 1459-1467
- [15] Abdel-Aziz YI, Karara HM. Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry [C]//Proceedings of ASP Symposium on Close Range Photogrammetry. Falls Church: American Society of Photogrammetry, 1971: 1-18.
- [16] HAY JG. Biomechanics of sports techniques [M]. USA: Prentice-Hall, 1993.
- [17] DAPENA J. Three-dimensional cinematography with horizontally panning cameras [J]. Sciences et Motricite', 1978, 3: 3-15.
- [18] HAY JG, YU B. Critical characteristics in discus throwing techniques used by elite athletes [J]. J Sports Sci, 1995, 13(2): 125-140.
- [19] LEIGH S, GROSS MT, LI L, *et al.* The relationship between discus throwing performance and combinations of selected technical parameters [J]. Sports Biomech, 2008, 7(2): 172-192.
- [20] 刘卉, 李翰君, 曲毅, 等. 无反光点人体运动自动捕捉人工智能系统的有效性[J]. 北京体育大学学报, 2021, 44(1): 125-133.
- [21] WINTER DA. Biomechanics and motor control of human movement [M]. USA: John Wiley & Sons, 2009.
- [22] YU B, ANDREWS JG. The relationship between free limb motions and performance in the triple jump [J]. J Appl Biomech, 1998, 14(2): 223-237.

• 简讯 •

《医用生物力学》入编 2020 版《中文核心期刊要目总览》

2021年3月,本刊编辑部收到《中文核心期刊要目总览》2020年版编委会通知:依据文献计量学的原理和方法,经研究人员对相关文献的检索、统计和分析,以及学科专家评审,《医用生物力学》入编《中文核心期刊要目总览》2020年版(即第9版)之(基础医学)类核心期刊。《医用生物力学》现为中文核心期刊(北大核心)、中国科技核心期刊(统计源期刊),以及《中国科学引文数据库》(CSCD)、荷兰《文摘与引文数据库》(Scopus)收录期刊,这些成绩是对本刊发表的论文学术价值和影响力的充分肯定。感谢广大作者、读者对本刊的支持与厚爱!感谢主编、编委会和审稿专家的辛勤付出!《医用生物力学》杂志将再接再厉,更好地服务于国内生物力学科研人员和工作,并向世界一流期刊看齐,不断实现期刊的新发展!

本刊编辑部