

文章编号: 1004-7220(2021)04-0534-06

中外优秀男子铅球运动员旋转投掷技术对比

董海军¹, 马屹², 丛玉珍³, 隋新梅⁴, 李翰君^{5a}, 刘卉^{5b}, 于冰^{3,6}

(1. 河北体育学院, 石家庄 050041; 2. 西安体育学院, 西安 710068; 3. 中国田径协会, 北京 100763;
4. 上海市体育局, 上海 200001; 5. 北京体育大学 a 人体运动科学院, b 中国运动与健康研究院, 北京 100084;
6. 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 对比中国和世界优秀男子铅球运动员使用的旋转投掷技术, 为中国铅球运动员提高运动表现水平和国际比赛成绩提供科学依据。方法 获得中国男子铅球运动员在实际比赛中的三维运动学数据, 计算并比较中国和世界优秀男子铅球运动员在右脚离地、左脚离地、右脚落地、左脚落地、铅球出手 5 个关键时刻的铅球速度、髋-肩超越角, 以及在第 1 单支撑阶段、腾空阶段、第 2 单支撑阶段、最后用力阶段的时间和铅球运动距离。结果 与世界优秀男子铅球运动员相比, 使用旋转投掷技术中国男子铅球运动员的垂直出手速度显著低, 腾空阶段显著长, 左脚离地和左脚落地时刻髋-肩超越角显著小, 腾空阶段铅球运动距离显著长, 最后用力阶段铅球运动距离显著短。结论 下肢力量体能差异是中国与世界优秀男子铅球运动员在运动表现上的主要原因。中国与世界优秀男子铅球运动员的技术差异主要表现在时间节奏和铅球在不同技术阶段运动距离的差异上。

关键词: 铅球投掷; 旋转投掷技术; 运动表现; 运动学

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2021.04.006

Comparison of Rotational Techniques between Chinese and World Elite Men's Shot Put Athletes

DONG Haijun¹, MA Yi², CONG Yuzhen³, SUI Xinmei⁴, LI Hanjun^{5a}, LIU Hui^{5b}, YU Bing^{3,6}

(1. Hebei Sport College, Shijiazhuang 050041, China; 2. Xi'an Sport College, Xi'an 710068, China; 3. China Athletics Association, Beijing 100763, China; 4. Shanghai Sport Administration, Shanghai 200001, China; 5a. College of Human Movement Science, 5b. China Research Institute of Sport and Health, Beijing Sport University, Beijing 100084, China; 6. University of North Carolina at Chapel Hill, Chapel Hill, North Carolina 27599, USA)

Abstract: Objective To compare rotational techniques used by Chinese and world elite men's shot put athletes, so as to provide scientific references for Chinese male shot putters to improve their sports performance and results in international competitions. **Methods** Three-dimensional (3D) kinematics data from Chinese male shot putters in actual competitions were obtained, and kinematic parameters of Chinese and world elite men's shot put athletes were calculated and compared. Namely, shot velocities and hip-shoulder separation angles at five critical instants of rotational techniques: right foot off, left foot off, right foot touchdown, left foot touchdown and release, as well as phase durations and shot travel distances during four critical phases: first single support, air-

收稿日期: 2021-04-30, 修回日期: 2021-05-12

通信作者: 于冰, 教授, E-mail: byu@med.unc.edu

born flight, second single support and final delivery. **Results** Compared with world elite athletes, Chinese male shot putters using rotational techniques had significantly lower vertical release velocity, longer air-borne duration, smaller hip-shoulder separation angles at left foot off and touchdown instant, and longer shot travel distance during air-borne flight, but shorter shot travel distance during final shot delivery. **Conclusions** The difference in lower extremity strength is a primary cause leading to different sports performance between Chinese and world elite male shot putters. The technique differences in Chinese and world elite male shot putters mainly lie in different phase timing and shot travel distances during different technique phases.

Key words: shot put; rotational techniques; sport performance; kinematics

铅球投掷是田径中4个投掷项目之一。铅球运动员需要极高的体能和技术水平才能在比赛中取得好成绩。为提高铅球投掷的成绩,运动员和教练员在不断地尝试新的投掷技术。1970年之前,几乎所有铅球运动员都使用滑步投掷技术。1970年后,越来越多的男子铅球运动员开始使用旋转投掷技术。旋转推铅球技术有5个关键时刻,以右手投掷的运动员为例:①右脚离地,②左脚离地,③右脚落地,④左脚落地,⑤铅球出手(见图1)。这5个关键时刻将旋转推铅球技术划分为4个关键阶段,以右手投掷运动员为例:①第1单支撑阶段,从右脚离地到左脚离地

地时间阶段;②腾空旋转阶段,从左脚离地到右脚落地的时间阶段;③第2单支撑阶段,从右脚落地到左脚落地的时间阶段;④最后用力阶段,从左脚落地到铅球出手的时间阶段(见图1)。目前,旋转投掷技术已经成为大多数优秀男子铅球运动员使用的投掷技术^[1-2]。但是,中国男子铅球运动员在最近几年刚刚开始使用旋转投掷技术。深入理解旋转投掷技术的生物力学细节,对于提高投掷技术的训练水平至关重要。明确目前使用旋转投掷技术中国与世界优秀男子铅球运动员的技术差异,对提高中国男子铅球项目水平有重要意义。

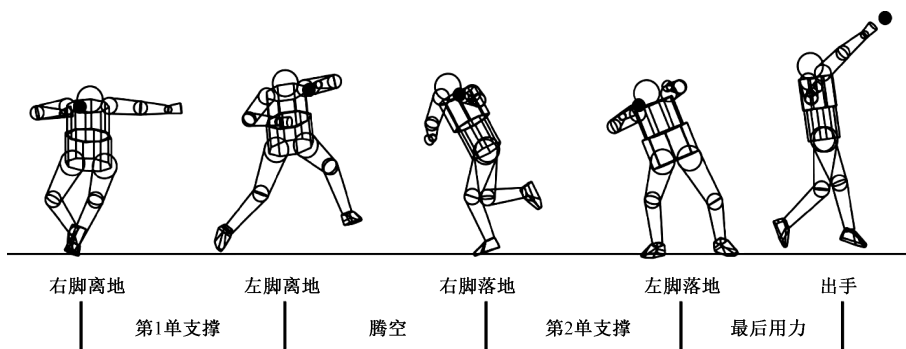


图1 旋转投掷铅球技术示意图

Fig.1 Schematic for rotational techniques of shot put

本文对使用旋转投掷技术中国与世界优秀男子铅球运动员的主要技术参数进行对比,确定中国男子铅球运动员的技术短板,为提高中国男子铅球的技术水平提供参考。根据铅球投掷技术的生物力学原理^[3],本研究做出如下5个假设:①使用旋转投掷技术中国男子铅球运动员的出手速度(水平速度、垂直速度、合速度)和角度小于使用同一技术的世界优秀男子铅球运动员的出手速度和角度;②使用旋转投掷技术中国男子铅球运动员在右脚离地、左脚离地、右脚落地和左脚落地4个关键时刻的铅球速度低于

使用同一技术世界优秀男子铅球运动员铅球在相应时刻的速度;③使用旋转投掷技术中国男子铅球运动员的阶段时间不同于使用同一技术世界优秀男子铅球运动员的阶段时间;④使用旋转投掷技术中国男子铅球运动员在4个关键时刻躯干的扭紧程度低于使用同一技术世界优秀男子铅球运动员在相应时刻的躯干扭紧程度;⑤使用旋转投掷技术中国男子铅球运动员在4个关键阶段中的铅球运行距离短于使用同一技术世界优秀男子铅球运动员在相应阶段中的铅球运行距离。

1 方法

1.1 实验对象

本研究包括参加2020年中国田径协会全国田径锦标赛男子铅球决赛中采用旋转投掷技术的4名中国优秀男子铅球运动员,以及在2017年世界田径锦标赛男子铅球决赛中获得前6名的世界优秀男子铅球运动员^[1]。6名世界优秀男子铅球运动员全部使用旋转投掷技术。本文采用每名运动员在比赛中最好试投的数据(见表1)。本研究获得北京体育大学科研伦理委员会批准。

表1 实验对象基本数据

Tab.1 Basic information of the subjects

参数	中国男子铅球运动员(n=4)	世界优秀男子铅球运动员(n=6)	P
身高/m	1.89±0.06	1.90±0.07	0.430
体质量/kg	136.0±8.6	126.7±7.3	0.050
试投成绩/m	18.66±0.51	21.53±21.53	0.001

1.2 数据采集

使用两台 Sony AX 700 高清晰度录像机以60 帧/s 拍摄频率和 1 ms 快门速度拍摄4名使用旋转投掷技术中国男子铅球运动员在实际比赛中的技术录像。其中1台设置在投掷圈的右侧,另外1台设置在投掷圈的后方。两台录像机主光轴的夹角约为90°。使用直接线性转换(direct linear transformation, DLT)方法^[4]和1个有32个标定点的标定框架对两台录像机进行标定,标定误差为(3.44±2.13) mm。比赛后,使用 FastMove Post Create 人工智能录像解析系统(大连锐动体育科技有限公司)解析比赛录像,获得4名中国男子铅球运动员最好成绩试投中身体21个关节^[3]和铅球中心的二维视频坐标数据,继而使用多重关键帧方法对两台录像机二维视频坐标数据进行时间同步^[5-7],然后使用 DLT 方法将时间同步的二维坐标数据合成为三维坐标数据。本文使用 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^[8-9]。世界优秀运动员数据来自英国运动生物力学研究人员在2017年世界田径锦标赛男子铅球决赛中以相似方法采集的数据^[1]。

1.3 数据计算

使用文献[1,6]中的方法计算中国男子铅球运动员每次试投的出手水平速度、垂直速度、合速度、角度,铅球在5个关键时刻的合速度,4个关键阶段的阶段时间,5个关键时刻运动员髋带相对于肩带围绕躯干长轴的角度,以及铅球在4个阶段的运行距离。出手水平速度包括铅球中心在出手时刻的向前和向左右方向的水平速度。出手合速度为铅球中心在出手时刻出手水平速度和垂直速度的矢量合。抛射角度为出手合速度矢量与水平面的夹角。关键阶段的阶段时间表示投掷动作的时间节奏。铅球在每个关键阶段中的运行距离是铅球在给定阶段中经过的路线长度。铅球中心在关键时刻的合速度表示铅球的速度节奏。运动员髋带相对与肩带围绕躯干长轴的角度表示躯干绷紧程度。

1.4 数据分析

使用独立样本 t 检验比较中国男子铅球运动员和世界优秀男子铅球运动的运动表现和技术参数的差异,验证本文的5个研究假设。为验证第1个假设,对比中国和世界优秀男子铅球运动员的出手水平速度、垂直速度、合速度、角度。为验证第2个假设,对比中国和世界优秀男子铅球运动员在4个关键时刻铅球的合速度。为验证第3个假设,对比中国和世界优秀男子铅球运动员各关键阶段的时间长度。为验证第4个假设,对比中国和世界优秀男子铅球运动员在4个关键时刻的髋-肩超越角。为验证第5个假设,对比中国和世界优秀男子铅球运动员在各关键阶段中的铅球运行距离。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 软件的数据分析功能完成。

2 结果

使用旋转投掷技术中国男子铅球运动员的出手垂直速度(P=0.001)、合速度(P=0.001)、角度(P=0.016)显著高于使用同一技术世界优秀男子铅球运动员的相应出手参数(见表2)。

使用旋转投掷技术中国男子铅球运动员在4个关键时刻的铅球合速度(P≥0.188)均与使用同一技术世界优秀男子铅球运动员无显著性差异(见表3)。

表2 使用旋转投掷技术中国与世界优秀男子铅球运动员出手速度和出手角度对比

Tab.2 Comparison of release velocities and angle between Chinese and world elite male shot putters using rotational techniques

参数	世界优秀男子		P
	中国男子铅球运动员 (n=4)	铅球运动员 (n=6)	
水平出手速度/(m·s ⁻¹)	10.86±0.45	10.96±0.40	0.364
垂直出手速度/(m·s ⁻¹)	7.14±0.59	8.42±0.32	0.001
出手合速度/(m·s ⁻¹)	13.01±0.18	13.82±0.18	0.001
出手角度/(°)	33.33±3.18	37.48±1.96	0.016

表3 使用旋转投掷技术中国与世界优秀男子铅球运动员投掷动作关键时刻铅球合速度对比

Tab.3 Comparison of shot velocities at critical instants between Chinese and world elite male shot putters using rotational techniques 单位:m/s

时刻	世界优秀男子		P
	中国男子铅球运动员 (n=4)	铅球运动员 (n=6)	
右脚离地	1.79±0.49	2.00±0.27	0.198
左脚离地	2.08±0.40	1.95±0.59	0.358
右脚着地	1.46±0.57	1.78±0.50	0.188
左脚着地	1.94±1.01	2.01±0.56	0.439

使用旋转投掷技术中国男子铅球运动员的腾空旋转时间 ($P=0.036$) 显著短于使用同一技术世界优秀男子铅球运动员 (见表4)。

表4 使用旋转投掷技术中国与世界优秀男子铅球运动员关键技术动作阶段的阶段时间对比

Tab.4 Comparison of phase durations between Chinese and world elite male shot putters using rotational techniques 单位:s

阶段	世界优秀男子铅球		P
	中国男子铅球运动员 (n=4)	运动员 (n=6)	
第1单支撑	0.46±0.03	0.45±0.07	0.417
腾空	0.12±0.04	0.08±0.02	0.036
第2单支撑	0.20±0.02	0.20±0.02	0.362
最后用力	0.20±0.03	0.20±0.02	0.470

使用旋转投掷技术中国男子铅球运动员铅球在左脚离地进入腾空旋转 ($P=0.036$) 和左脚落地开始最后用力时 ($P=0.039$) 的髋-肩超越角显著小于使用同一技术世界优秀男子铅球运动员在该时刻的髋-肩超越角 (见表5)。

使用旋转投掷技术中国男子铅球运动员在腾空阶段中铅球运行距离 ($P=0.042$) 显著长于使用同一技术世界优秀男子铅球运动员在相应阶段中铅球运行距离,但是在最后用力阶段中,铅球运行距离 ($P=0.016$) 显著短于使用同一技术世界优秀

表5 使用旋转投掷技术中国与世界优秀男子铅球运动员关键时刻髋-肩超越角对比

Tab.5 Comparison of hip-shoulder separation angles between Chinese and world elite male shot putters using rotational techniques 单位:(°)

时刻	世界优秀男子铅球		P
	中国男子铅球运动员 (n=4)	运动员 (n=6)	
右脚离地	-8±3	5±16	0.086
左脚离地	14±7	35±19	0.036
右脚落地	36±7	46±17	0.145
左脚落地	37±7	50±12	0.039
出手	-15±6	-13±7	0.318

男子铅球运动员在相应阶段中铅球运行距离 (见表6)。

表6 使用旋转投掷技术中国与世界优秀男子铅球运动员关键技术动作阶段中铅球运行距离对比

Tab.6 Comparison of shot travel distances between Chinese and world elite male shot putters 单位:m

阶段	世界优秀男子铅球		P
	中国男子铅球运动员 (n=4)	运动员 (n=6)	
第1单支撑	0.83±0.05	0.89±0.12	0.205
腾空	0.20±0.04	0.14±0.05	0.042
第2单支撑	0.27±0.03	0.29±0.06	0.292
最后用力	1.38±0.11	1.53±0.08	0.016

3 讨论

本文结果部分支持本研究的第1个假设:使用旋转投掷技术中国男子铅球运动员的出手速度(水平速度、垂直速度、和合速度)和出手角度小于使用同一技术世界优秀男子铅球运动员的出手速度和角度。本文结果表明,使用旋转投掷技术中国男子铅球运动员的垂直出手速度、出手合速度和出手角度显著低于使用同一技术世界优秀男子铅球运动员的相应出手参数,但是中国男子铅球运动员水平出手速度与世界优秀男子铅球运动员水平出手速度无显著差异。该结果表明,中国与世界优秀男子铅球运动员垂直出手速度的差异是两者出手速度差异的主要原因,也是两者成绩差异的直接原因。

本文结果不支持本研究的第2个假设:使用旋转投掷技术中国男子铅球运动员在右脚离地、左脚离地、右脚落地和左脚落地4个关键时刻铅球速度低于使用同一技术世界优秀男子铅球运动员在相应时刻的速度。本文结果表明,中国男子铅球运动员在4个关键时刻的铅球速度与世界优秀男子铅

球运动员的铅球速度无显著差异。该结果表明,中国与世界优秀男子铅球运动员出手速度差异的主要原因是最后用力过程中铅球速度增量的差异,特别是铅球垂直速度增量的差异。使用旋转投掷技术男子铅球运动员的垂直出手速度几乎全部是在最后用力过程中获得。在最后用力过程中获得垂直出手速度的能力反映了运动的体能水平,特别是下肢的力量水平。因此,本文结果表明,使用旋转投掷技术中国男子铅球运动员的体能水平,特别是下肢力量水平与使用同一技术世界优秀男子铅球运动员有显著差异。这一体能差异是中国与世界优秀男子铅球运动员成绩差异的根本原因。

本文结果部分支持本研究的第3个假设:使用旋转投掷技术中国男子铅球运动员的阶段时间不同于使用同一技术世界优秀男子铅球运动员的阶段时间。本文结果表明,使用旋转投掷技术中国男子铅球运动员第1单支撑阶段、第2单支撑阶段和最后用力阶段的时间与使用同一技术世界优秀男子铅球运动员无显著差异,但是腾空阶段的阶段时间显著长于世界优秀运动员的腾空阶段时间。腾空时间长说明中国男子铅球运动员的腾空高度大于世界优秀男子铅球运动员的腾空高度,即中国男子铅球运动员左脚离地进入腾空阶段时比世界优秀男子铅球运动员跳得高,左腿在垂直方向的蹬伸幅度过大,造成身体重心上下起伏的程度增加,不利于快速进入第2单支撑阶段。在腾空阶段,运动员的腾空高度受两个因素的影响:①左腿在第1单支撑阶段蹬伸的方向;②右腿摆动的方向以及和左腿之间的蹬摆配合效果^[10]。中国男子铅球运动员腾空高度过高,说明他们在第1单支撑阶段右腿摆动的摆动幅度比较大,而且比较向上,从而造成身体重心起伏过大和腾空时间长。

本文结果部分支持本研究的第4个假设:使用旋转投掷技术中国男子铅球运动员在4个关键时刻躯干的扭紧程度低于使用同一技术世界优秀男子铅球运动员在相应时刻的躯干扭紧程度。本文结果表明,使用旋转投掷技术中国男子铅球运动员在右脚离地、右脚落地和出手3个关键时刻髌-肩超越角与世界优秀男子铅球运动员的相应参数无显著区别,但是在左脚离地和左脚落地时刻的髌-肩超越角显著小于世界优秀男子铅球运动员在同一时

刻的髌-肩超越角。该结果说明,中国男子铅球运动员进入腾空阶段和左脚落地开始最后用力时躯干扭紧程度低于世界优秀男子铅球运动员在同一时刻的躯干扭紧程度。左脚落地时,躯干的扭紧程度会影响到最后用力阶段中躯干力量的发挥程度,对最后用力阶段对器械的做功距离和效果具有重要的影响,这可能是造成中国男子铅球运动员垂直出手速度比较低的技术原因之一。左脚落地时,髌-肩超越角受两个动作的影响:①第2单支撑阶段对肩带转动的控制,②右腿向投掷方向转蹬^[11]。右腿向投掷方向转蹬不够积极,有可能是中国男子铅球运动员左脚落地时髌-肩超越角比较小的主要原因。

本文结果部分支持本研究的第5个假设:使用旋转投掷技术中国男子铅球运动员铅球在4个关键阶段中铅球运行的距离短于使用同一技术世界优秀男子铅球运动员铅球在相应阶段中运行的距离。本文结果表明,使用旋转投掷技术中国男子铅球运动员在腾空阶段中铅球运行的距离明显长于使用同一技术世界优秀男子铅球运动员在这一阶段中铅球的运行距离;但是在最后用力阶段中,铅球运行的距离显著短于世界优秀男子铅球运动员在这一阶段中铅球的运行距离。这些结果结合本文其他结果说明,中国男子铅球运动员在腾空阶段中右肩的向前转动比较积极,过早地释放了一部分躯干扭转聚集的势能^[12]。在最后用力阶段,器械运行距离长短反映了器械最后加速的距离长短,直接影响接器械的加速效果。器械运行距离越短,器械加速效果越差。

本文通过对比使用旋转投掷技术中国和世界优秀男子铅球运动员铅球出手的运动学参数、速度节奏、时间节奏、躯体扭紧程度和铅球运动距离,确定了中国与世界优秀男子铅球运动员在运动表现和技术上的差距。本文结果表明,下肢力量体能差异是使用旋转投掷技术中国男子铅球运动员与使用这一技术世界优秀男子铅球运动员在运动表现上的主要原因。中国与世界优秀男子铅球运动员的技术差异主要表现在时间节奏和铅球在不同技术阶段运动距离的差异上。这些技术差异影响了中国男子铅球运动员的运动表现,但不是中国和世界优秀运动员运动表现差异的主要原因。本文对中国和世界优秀男子铅球运动员的技

术比较仅限于所获世界优秀运动员的有限技术参数。后续研究需要获得更多世界优秀铅球运动员的技术参数,对中国和世界优秀铅球运动员的技术进行更全面的比较,并使用其他研究方法量化各技术参数对运动表现的影响,为提高中国男子铅球运动员旋转投掷技术水平提供更详细的技术参数参考。

4 结论

(1) 使用旋转投掷技术中国男子铅球运动员的下肢力量水平欠缺,是中国与世界优秀男子铅球运动员成绩差异的主要原因。

(2) 使用旋转投掷技术中国男子铅球运动员在技术上与世界优秀男子铅球运动员有显著差异,主要表现在:腾空阶段身体重心上下起伏较大,不利于快速进入第2单支撑阶段;髋-肩超越角较小,不利于最后用力中器械的加速。

参考文献:

- [1] DINSDALE A, THOMAS A, BISSAS A, et al. Biomechanical report for the IAAF World Championships London 2017 Shot Put Men's [EB/OL]. <http://centrostudilombardia.com/wp-content/uploads/2018/10/19-Lancio-del-martello-uomini.pdf>.
- [2] SCHOFIELD M, CRONIN JB, MACADAM P, et al. Rotational shot put: A phase analysis of current kinematic knowledge [J]. Sports Biomech, 2019, DOI: 10.1080/14763141.2019.1636130.
- [3] HAY JG. Biomechanics of sports techniques [M]. USA: Prentice-Hall, 1993.
- [4] 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.
- [5] DAPENA J, HARMAN EA, MILLER JA. Three-dimensional cinematography with horizontally panning cameras [J]. J Biomech, 1982, 15(1): 11-19.
- [6] HAY JG, YU B. Critical characteristics in discus throwing techniques used by elite athletes [J]. J Sports Sci, 1995, 13(2): 125-140.
- [7] 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.
- [8] WINTER DA. Biomechanics and motor control of human movement. USA: John Wiley & Sons, 2009.
- [9] 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.
- [10] 董海军. 我国优秀男子铅球运动员张俊旋转推铅球技术的研究 [J]. 山东体育科技, 2016, 38(3): 31-40.
- [11] 张瞻铭, 王倩. 男子铅球旋转技术最后用力阶段的身体重心速度与铅球速度分析 [J]. 体育学刊, 2013, 20(4): 116-119.
- [12] BLAZKIEWICZ M, LYSON B, CHMIELEWSKI A. Transfer of mechanical energy during the shot put [J]. J Hum Kinet, 2016, 52: 139-146.