

世界优秀女子铅球选手技术动作生物力学分析

——以2017年伦敦田径世锦赛女子铅球决赛为例

崔胜利¹, 秦雄²

(1. 三明学院体育学院, 福建 三明 365004;
2. 温州大学体育学院, 浙江 温州 325000)

摘要:运用录像解析和数理统计法对2017年伦敦世界田径锦标赛女子铅球决赛选手技术动作的运动学特征进行分析,旨在为教练员指导训练提供借鉴。结果表明:2017年伦敦田径世锦赛女子铅球决赛中,第1—3名与第4—12名选手在人体测量学参数、出手角度、出手高度、前出抵趾板距离以及不同技术阶段位移、时间和重心高度参数均无显著性差异($P > 0.05$),但出手速度差异性非常显著($P < 0.01$)。其中,第1—3名出手速度为 $(13.17 \pm 0.19 \text{ m/s})$,第4—12名选手出手速度为 $(12.46 \pm 0.10 \text{ m/s})$ 。出手速度是决定运动成绩好坏的主要因素,出手角度和出手高度则与运动员的技术特点存在一定关系。

关键词:女子;铅球;技术分析;生物力学

中图分类号:G824.1

文献标识码:A

文章编号:1007-7413(2019)03-0056-07

Biomechanical Analysis of the Technical Movements of the World's Outstanding Women Shot Putter ——Take the Women's Shot Put Finals of the 2017 World Athletics Championships for an Example

CUI Sheng-li¹, QIN Xiong²

(1. Institute of Physical Education, Sanming University, Sanming 365004, China;
2. Institute of Physical Education, Wenzhou University, Wenzhou 325000, China)

Abstract: The kinematics parameters of players in women's shot put finals of the 2017 world athletics championships in London were studied by means of video analysis and mathematical statistics, aiming to provide reference for coaches to guide and train. Main conclusion: there was no significant difference in anthropometric parameters, shooting angle, shooting height, displacement, time and height of center of gravity between the 1st to 3rd and 4th to 12th athletes in the current track and field championships ($P > 0.05$), but there was a significant difference in shooting speed ($P < 0.01$). Among them, the shooting speed of the 1st to 3rd players was $(13.17 \pm 0.19 \text{ m/s})$, and the shooting speed of the 4th to 12th players was $(12.46 \pm 0.10 \text{ m/s})$. The speed of shot is the leading factor to determine the performance of sports, while the angle and height of shot are related to the technical characteristics of athletes.

Key words: women; shot put; technology analysis; biomechanical

20世纪80年代中后期起,女子铅球开始成为我国在国际田径大赛中的优势项目,逐渐确立了在国际田坛中的优势地位^[1]。这期间,涌现出了黄志红、李梅菊、李梅素等大批优秀女子铅球运动员,为我国女

子铅球走向世界创造了辉煌。近年来,女子铅球技术水平突飞猛进,运动成绩不断被刷新。世界田径锦标赛作为顶级田径赛事代表了田径运动的最高水平^[2],已经成为世界优秀运动员竞相角逐的国际舞

收稿日期:2019-03-14

基金项目:2017年三明学院引进高层次人才科研启动经费支持项目(17YG04S);福建省中青年教育科研项目(JAS180461)

第一作者简介:崔胜利(1984—),男,河北保定人,讲师,博士。研究方向:学校体育学、客家民俗体育。

台。2017年伦敦田径世锦赛中,中国选手巩立姣克服大雨等不利因素以19.94 m夺冠,打破了六次世锦赛无冠魔咒。同时,年轻运动员高阳(第五名)、卞卡(第十二名)也在比赛中取得了优异成绩。笔者根据国际田联2017年世界田径锦标赛女子铅球生物力学报告中的相关运动参数对本届世锦赛女子铅球决赛12名选手进行研究,以期深入分析当今世界优秀女子铅球选手的技术规律、特征并为推动我国女子铅球项目进一步发展提供科学理论依据。

表1 2017年田径世锦赛女子铅球决赛选手基本情况表

姓名	出生日期	国家	成绩/m	名次
巩立姣	1989	中国	19.94	1
马顿	1989	匈牙利	19.49	2
卡特	1985	美国	19.14	3
托马斯	1992	牙买加	18.91	4
高阳	1993	中国	18.25	5
克鲁	1994	加拿大	18.21	6
莱特休克	1984	白俄罗斯	18.12	7
洛佩兹	1984	古巴	18.03	8
阿卡约	1986	巴西	18.03	9
桑德斯	1996	美国	17.86	10
博科尔曼	1989	荷兰	17.73	11
卞卡	1993	中国	17.60	12

1.2 研究方法

1.2.1 三维录像解析法

拍摄与解析方法:采用3台高速摄像机(型号:索尼PXW-FS7)记录女子铅球决赛中12名运动员的技术动作。其中,频率150 Hz,曝光时间设置1/1 250 s,FHD为1920×1080 px。三台摄像机安装在运动场上方设计的位置,且全程不停机。

为了准确分析技术动作,所有技术视频文件导入SIMI Motion (SIMI Motion version 9.2.2, SIMI Reality Motion)以获得科学的运动数据。同时,采用直接线性变换(DLT)算法从单个相机的X和Y图像坐标重建真实的铅球投掷技术动作三维坐标。采用递归二阶低通巴特沃斯数字滤波器(零相位滞后)对其进行滤波过滤原始坐标数据,用残差分析计算截止频率。采用释放参数对铅球投掷距离进行数学计算并将计算结果与官方数据进行比较。

1 研究对象与研究方法

1.1 研究对象

以2017年伦敦世界田径锦标赛女子铅球决赛中12名运动员为研究对象(表1),相关数据资料来自2018年国际田联发布的《2017年伦敦田径世锦赛女子铅球生物力学报告》。^[3]



图1 置于铅球投掷场地的标定框架

1.2.2 数据处理与分析

将参加决赛的12名运动员按成绩分成第1—3名和第4—12名两组并进行比较分析,运用

SPSS 17.0对所有相关数据进行整理和计算,并采用独立样本 *t* 检验的方法对每组数据进行统计学分析,显著性水平为 $P < 0.05$ 。同时,对个别运动员的技术特点进行分析,以深入探究运动员技术动作的运动学特征。

2 结果与分析

2.1 女子铅球决赛选手人体测量学指数与技术动作分析

项群理论认为,铅球属于体能主导类速度力量性项目,快速力量是运动成绩的决定性因素。因此,肌肉质量、快速收缩能力和专项技术水平将会直接影响运动员的最后成绩^[4]。铅球选手的人类测量学参数具有显著项目特征,包括身高、体重和克托莱指数等

三项基本指标。其中,克托莱指数是人体测量复合指标之一。投掷项目中,克托莱指数越大,则运动员的肌肉质量和肌力优势越好^[5]。表 2 表明,第 1—3 名与第 4—12 名运动员人体测量学参数无显著性差异 ($P > 0.05$)。其中,第 1—3 名选手身高为 $(173.33 \pm 2.08 \text{ cm})$,体重为 $(101.33 \pm 15.01 \text{ kg})$,克托莱指数为 (584 ± 80.55) ;第 4—12 名选手身高为 $(177 \pm 6.40 \text{ m})$,体重为 $(90.40 \pm 21.73 \text{ kg})$,克托莱指数为 (512.20 ± 129.39) 。从选材角度来看,我国选手巩立姣克托莱指数位列第一(632),第二位是美国选手卡特(629),荷兰选手博科尔曼最低(373)。此外,我国选手高阳(618)和卞卡(632)的克托莱指数也远远高于本次比赛选手的平均克托莱指数(543.6),说明我国女子铅球运动员已经具有优越的身体形态条件。

表 2 女子铅球决赛选手人体测量学参数与技术动作情况

姓名	身高/cm	体重/kg	克托莱指数	技术动作
巩立姣	174	110	632	滑步
马顿	171	84	491	旋转
卡特	175	110	629	滑步
托马斯	166	89	536	旋转
高阳	178	110	618	滑步
克鲁	178	111	624	旋转
莱特休克	185	80	432	滑步
洛佩兹	180	71	394	滑步
阿卡约	180	92	511	撤步
桑德斯	166	108	651	旋转
博科尔曼	177	66	373	滑步
卞卡	182	115	632	滑步
1—3($\bar{X} \pm S$)	173.33 ± 2.08	101.33 ± 15.01	584 ± 80.55	*
4—12($\bar{X} \pm S$)	177 ± 6.40	90.40 ± 21.73	512.20 ± 129.39	*
<i>P</i>	0.385	0.477	0.427	*

此外,在技术动作类型方面,7 名选手采用“背向滑步推铅球技术”,4 名选手采用“旋转式推铅球技术”,古巴选手阿卡约采用“撤步式推铅球技术”。与前几届田径世锦赛女子铅球项目技术运用情况相比,本次世锦赛选手技术动作运用更加多样化,尤其是旋转式推铅球技术开始在女子铅球比赛中普及。

2.2 女子铅球决赛选手出手瞬间运动学参数分析

铅球是以力量为基础、以速度为核心的速度力量型投掷项目^[1],出手速度、出手角度和出手高度是影响运动成绩的重要运动学指标,在科研和训练中引起了教练足够重视^[6]。出手速度是运动员取得好成绩的最重要决定因素,与运动成绩呈显著相关 ($R >$

0.99)^[6]。表3表明,第1—3名与第4—12名选手出手速度差异性非常显著($P < 0.01$),出手角度和出手高度参数无显著性差异($P > 0.05$)。其中,第1—3名出手速度为 13.17 ± 0.19 m/s,第4—12名出手速度为 12.46 ± 0.10 m/s。同时,“旋转式”与“滑步式”技术的出手速度参数表现出一定的差异性。采用旋

转式技术匈牙利选手马顿(13.31 m/s)和牙买加选手托马斯(13.34 m/s)的出手速度高于采用“滑步式”技术巩立姣(13.24 m/s)。出手速度是滑步、最后用力、技术环节和时序等综合作用的结果,因此,科研人员仍需对其机制原理进行深入研究。

表3 决赛选手出手瞬间运动学参数情况

姓名	成绩/m	出手速度/($m \cdot s^{-1}$)	出手角度/($^{\circ}$)	出手高度/m	前出抵趾板距离/m
巩立姣	19.94	13.24	37.0	2.08	0.09
马顿	19.49	13.31	35.0	1.91	-0.02
卡特	19.14	12.95	35.4	2.11	0.18
托马斯	18.91	13.34	33.0	1.89	0.00
高阳	18.25	12.64	38.1	2.00	-0.14
克鲁	18.21	12.63	39.3	1.98	0.13
莱特休克	18.12	12.44	37.7	2.11	0.08
洛佩兹	18.03	12.59	35.8	2.09	0.01
阿卡约	18.03	12.37	35.3	2.08	0.17
桑德斯	17.86	12.50	41.0	1.97	-0.03
博科尔曼	17.73	12.48	34.4	2.05	0.10
卜卡	17.60	12.35	36.6	2.05	-0.06
1—3($\bar{X} \pm S$)	19.52 ± 0.40	13.17 ± 0.19	35.80 ± 1.06	2.03 ± 1.08	0.14 ± 0.06
4—12($\bar{X} \pm S$)	17.85 ± 0.19	12.46 ± 0.10	36.62 ± 2.58	2.05 ± 0.05	0.09 ± 0.08
P	0.000	0.000	0.626	0.793	0.586

出手角度是影响铅球竞赛成绩的主要因素之一,学界对合理的出手角度标准仍存在较大的争议。一般认为世界优秀铅球选手的出手角度在 $34^{\circ} \sim 38^{\circ}$ 之间^[7]。从表3可以看出,第1—3名选手出手角度为 $35.80 \pm 1.06^{\circ}$,第4—12名选手出手角度为 $36.62 \pm 2.58^{\circ}$ 。其中,我国选手巩立姣出手角度为 37.0° 。数据表明,女子铅球选手的出手角度参数具有个体差异性。如何确定不同选手的最佳出手角度仍是相关理论研究的重点和难点。

出手高度与选手的形态指标、技术类型等因素密切相关。相关研究^[8]认为,优秀男子铅球选手出手高度在 $2.20 \sim 2.35$ m之间,女性选手出手高度则略低。但有研究指出^[9],铅球出手高度与运动员身高之间呈明显高度相关($r = 0.086$)^[6]。从表3可以看出,第1—3名选手出手高度为 2.03 ± 1.08 m,第4—

12名选手出手高度为 2.05 ± 0.05 m。由于选手身高差异,出手高度参数并不能完全反映出出手高度的合理性。有研究认为出手高度与身高百分比是反映出出手高度的有效参数指标^[2],也有研究认为出手高度与身高百分比与出手速度、出手角度之间无相关关系^[6]。二者之间关系仍有待深入研究。

前出抵趾板距离指由于身体左侧支撑作用,铅球出手时伸出抵趾板的距离。前出抵趾板距离会增加投掷距离,也一定程度上反映了运动员技术动作完成的熟练度和精确度。随着铅球技术的精细化,前出抵趾板距离参数也开始受到科研人员和教练员们的重视。图3表明,第1—3名选手前出抵趾板距离为 0.14 ± 0.06 m,第4—12名选手前出抵趾板距离为 0.09 ± 0.08 m。其中,我国选手巩立姣(0.09 m)远远低于美国选手卡特(0.18 m)和白俄罗斯选手莱特

休克(0.13 m),另外两名中国年轻选手则均为负值:高阳(-0.14 m),卞卡(-0.06 m)。这说明我国运动员在训练中要重点关注技术动作细节练习,不断提高动作技术完成的熟练度和精确度。

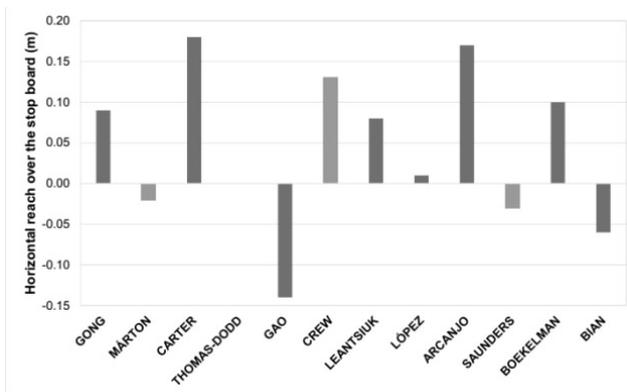


图 3 女子铅球决赛选手前出抵趾板距离示意图

2.3 女子铅球决赛选手不同阶段运动学参数情况

2.3.1 不同技术动作阶段选手位移参数分析

研究表明做功距离将会对铅球后续技术动作产生影响且做功距离与比赛成绩具有高度正相关关系($R=0.875, P<0.01$)^[6]。因此,运动员做功距离参数也成为教练员日常训练中重点关注的关键技术之一^[10]。表 4 表明,选手不同技术动作阶段的位移参数无显著性差异($P>0.05$)。第 1—3 名选手滑步/旋转位移为 0.87 ± 0.32 m,过渡阶段位移为 1.57 ± 0.25 m;第 4—12 名选手滑步/旋转位移为 0.72 ± 0.17 m,过渡阶段位移为 1.53 ± 0.10 m。其中,我国选手巩立姣做功距离(2.26 m)在参加决赛的 12 名选手中仅列第 8 名,与世界优秀选手相比仍存在较大差距。相关研究认为:随着做功距离的增加,巩立姣的比赛成绩呈增加趋势^[10]。结果表明,如何通过改善技术动作幅度等手段增加做功距离仍然是提高我国女子铅球选手比赛成绩的关键因素。

表 4 女子铅球决赛选手技术动作位移参数情况

姓名	滑步/旋转位移距离/m	过渡阶段位移距离/m	做功距离/m
巩立姣	0.83	1.43	2.26
马顿	1.20	1.42	2.62
卡特	0.57	1.85	2.24
托马斯	1.14	1.39	2.53
高阳	0.43	1.56	1.99
克鲁	1.42	1.47	2.89
莱特休克	0.67	1.76	2.43
洛佩兹	0.61	1.65	2.26
阿卡约	0.79	1.59	2.38
桑德斯	0.93	1.39	2.32
博科尔曼	0.75	1.57	2.32
卞卡	0.50	1.47	1.97
1—3($\bar{X} \pm S$)	0.87 ± 0.32	1.57 ± 0.25	2.37 ± 0.21
4—12($\bar{X} \pm S$)	0.72 ± 0.17	1.53 ± 0.10	2.25 ± 0.16
<i>P</i>	0.4	0.795	0.387

2.3.2 不同动作技术阶段选手重心高度参数情况

运动员身体重心高度能够反映铅球垂直位移情况,是对整个铅球投掷动作进行技术评价和技术诊断的重要指标。为了更加准确地研究铅球技术的重心高

度特征,现将铅球技术动作分为滑步/旋转开始阶段、过渡阶段、最后用力阶段和出手瞬间四个阶段^[11]。

表 5 表明,第 1—3 名选手滑步/旋转开始阶段身体重心初始高度为 1.11 ± 0.20 m,过渡阶段为

1.13 ± 0.17 m,最后用力阶段为 1.12 ± 0.17 m,出手瞬间为 2.03 ± 0.11 m,身体重心高度增量为 0.93 ± 0.29 m;第4—12名选手滑步/旋转开始阶段身体重心初始高度为 1.13 ± 0.16 m,过渡阶段为 1.17 ± 0.12 m,最后用力阶段为 1.18 ± 0.08 m,出手瞬间为 2.05 ± 0.05 m,身体重心高度增量为 2.05 ± 0.05 m。

从增量方面看,我国选手巩立姣(1.17 m)最大,马顿(0.61 m)最小。数据表明,虽然滑步阶段身体重心高度明显低于其他选手,但是由于巩立姣在最后用力阶段蹬伸动作幅度大,重心腾起高度较大,并因此获得了较好的出手高度(2.08 m)。

表5 女子铅球决赛选手技术动作重心高度参数(m)

姓名	滑步/旋转开始阶段	过渡阶段	最后用力阶段	出手瞬间	增量
巩立姣	0.91	0.97	1.06	2.08	1.17
马顿	1.30	1.30	1.19	1.91	0.61
卡特	1.11	1.11	1.10	2.11	1.00
托马斯	1.25	1.25	1.12	1.89	0.64
高阳	0.89	0.94	0.98	2.00	1.11
克鲁	1.22	1.26	1.15	1.98	0.76
莱特休克	0.98	1.00	1.00	2.11	1.13
洛佩兹	0.94	1.04	1.06	2.09	1.15
阿卡约	1.24	1.24	1.21	2.08	0.84
桑德斯	1.34	1.32	1.25	1.97	0.63
博科尔曼	1.03	1.05	1.13	2.05	1.02
卜卡	1.11	1.22	1.24	2.05	0.94
1—3($\bar{X} \pm S$)	1.11 ± 0.20	1.13 ± 0.17	1.12 ± 0.17	2.03 ± 0.11	0.93 ± 0.29
4—12($\bar{X} \pm S$)	1.13 ± 0.16	1.17 ± 0.12	1.18 ± 0.08	2.05 ± 0.05	0.92 ± 0.20
<i>P</i>	0.847	0.658	0.315	0.793	0.652

2.3.3 不同动作技术阶段时间参数情况

本届世界田径锦标赛女子铅球决赛12名选手中,有4名选手采用旋转技术,人数占有所有决赛选手的1/3,与前几届比赛相比采用旋转技术人数明显增加。由此可见,虽然滑步技术在女子铅球项目中依然占据主要地位,但是旋转技术已经不再是男子运动员的专利,并越来越受到高水平女子铅球运动员的青睐。

时间参数是铅球比赛中比较重要的运动学参数。运动成绩是正确的准备姿势、合理的用力顺序、适当的时间长短等因素综合作用的结果,因此时间并不是越短越好,在训练和比赛中也不能盲目地追求缩短时

间。表6表明,第1—3名与第4—12名选手技术动作的时间参数无显著性特征。其中,第1—3名选手滑步/旋转阶段时间为 0.427 ± 0.266 s,最后用力阶段为 0.240 ± 0.048 s,总时间为 0.667 ± 0.234 s;第4—12名选手滑步/旋转阶段时间为 0.356 ± 0.190 s,最后用力阶段为 0.233 ± 0.019 s,总时间为 0.589 ± 0.180 s。最后用力阶段是铅球投掷技术中最重要阶段,时间参数与铅球出手瞬间初速度存在密切联系。从最后用力阶段时间来看,巩立姣(0.227 s)所用的时间略长于马顿(0.200 s)。此外,女子铅球时间参数也表现出一定的技术和个体差异性。

表 6 女子铅球决赛选手不同技术阶段时间参数特征

姓名	滑步/旋转阶段/s	最后用力阶段/s	总时间/s
巩立姣	0.273	0.227	0.500
马顿	0.734	0.200	0.934
卡特	0.274	0.293	0.567
托马斯	0.660	0.186	0.846
高阳	0.167	0.246	0.413
克鲁	0.687	0.240	0.927
莱特休克	0.267	0.280	0.547
洛佩兹	0.246	0.254	0.500
阿卡约	0.334	0.226	0.560
桑德斯	0.686	0.220	0.906
博科尔曼	0.300	0.214	0.514
卞卡	0.213	0.253	0.466
1—3($\bar{X} \pm S$)	0.427 ± 0.266	0.240 ± 0.048	0.667 ± 0.234
4—12($\bar{X} \pm S$)	0.356 ± 0.190	0.233 ± 0.019	0.589 ± 0.180
<i>P</i>	0.671	0.785	0.613

3 结论

(1)第 1—3 名选手与第 4—12 名选手的人体测量学参数无显著性差异($P > 0.05$)。同时,从选材角度看,我国铅球运动员具有较优越的身体形态条件。

(2)第 1—3 名选手与第 4—12 名选手的出手速度差异性非常显著($P < 0.01$),而出手角度、出手高度则无显著性差异($P > 0.05$)。同时,“旋转式”与“滑步式”技术相比出手速度较快。

(3)前出抵趾板距离方面,第 1—3 名为 0.14 ± 0.06 m,第 4—12 名为 0.09 ± 0.08 m。我国铅球运动员前出抵趾板距离参数与世界优秀选手相比仍存在一定差距。

(4)本次比赛中,第 1—3 名与第 4—12 名选手不同技术阶段的位移、重心高度及时间参数无显著性差异($P > 0.05$)。

参考文献

- [1]李建英,王晓刚.对我国优秀女子铅球运动员背向滑步推铅球技术的研究[J].中国体育科技,2004,40(6):7-12.
- [2]温杰,王艺.世界优秀女子铅球运动员背向滑步推铅球技

术的生物力学分析[J].河北体育学院学报,2013,27(3):74-78.

- [3]International Association of Athletics Federations. Biomechanical Report For The IAAF World Championships LONDON 2017 Women's Shot Put [EB/OL]. [2019-01-02]. <https://www.iaaf.org/development/research/index.html>.
- [4]田麦久.运动训练学[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [5]曾凡辉.运动员选材[M].北京:人民体育出版社,1992:46-60.
- [6]王东升,郑富强.中外女子铅球优秀运动员关键运动技术参数的比较研究[J].中国体育科技,2014,50(5):22-28.
- [7]文超.田径高级运动教程[M].北京:人民体育出版社,2003.
- [8]LINTHORNE N P. Optimum release angle in the shot put [J]. Journal of sports sciences,2001,19(5):359-372.
- [9]范秦海.对我国新老两代女子铅球运动员最后用力技术的对比分析[J].北京体育大学学报,2006,29(11):572-573.
- [10]郑富强,郭元奇.巩立姣背向滑步推铅球关键运动技术参数分析[J].北京体育大学学报,2013,36(12):121-126.
- [11]张少伟,张浩.我国优秀男子铅球运动员投掷技术的运动学研究[J].天津体育学院学报,2013,28(3):274-276.

[责任编辑 江国平]