



我国优秀男子标枪运动员从交叉步到出手技术的转动力学分析

王星明¹, 陈斌²

摘要: 对我国部分优秀男子标枪运动员从交叉步到出手过程中的动作技术进行了转动力学分析, 计算出了人体表现出的各种能量、转动惯量、动量矩等动力学参数, 对一些参数与运动员的成绩进行了相关分析, 提出了最大“满弓”瞬间的动力学判断标准, 发现了人体总体转动的节奏特征。

关键词: 男子; 转动力学; 掷标枪

中图分类号: G804.6 文献标识码: A 文章编号: 1006-1207(2009)02-0071-03

Rotational Dynamic Analysis of the Cross-Stride to Release Technique of Elite Chinese Male Javelin Throwers

WANG Xing-ming¹, CHEN Bin²

(Collage of physical education, Hebei Normal University, Hebei Shijiazhuang, 050016, China)

Abstract: Rotational dynamic analysis of the cross-stride to release technique of some elite Chinese male javelin throwers was made to calculate the different dynamic parameters of human body such as energy, moment of inertia, moment of momentum, etc. The article makes relative analysis of the parameters and the throwers' results. It puts forward the dynamic judgment criteria for the moment of "full bow" and the rhythmic characteristics of body rotation.

Key words: male; rotational dynamics; javelin throwing

1 前言

标枪投掷技术对运动成绩有非常重要的作用, 对掷标枪技术的运动学分析方面, 平面分析和三维分析的研究发现了一些基本的运动学规律, 对标枪投掷技术的发展做出了贡献。对标枪投掷技术实质的深入分析和研究一直是人们追求的目标, 理论上的突破对运动实践的重要性是不言而喻的。本文综合运用人体所有关节和环节的运动学参数, 利用人体模型提供的环节质量、转动惯量等数据, 计算了投掷过程中人体的转动惯量、动量矩、转动动能、机械能等动力学参数。这些转动力学参数能综合反映运动员的姿态特征、运动状态和转动特性, 分析和研究掷枪过程中这些参数的特征以及与动作技术的关系, 对完善和丰富标枪投掷技术理论将起到积极的推动作用。

2 研究对象与研究方法

2.1 研究对象

研究对象为8名优秀运动员, 反映目前我国男子标枪运动水平, 运动员的基本情况以及比赛成绩见表1。

2.2 研究方法

2.2.1 三维录像分析法

利用两台JVC9800摄像机(摄像机的拍摄频率为每秒50场, 电子快门的速度为1/1000 s), 多次对男子国内标枪

表1 运动员基本情况

Table 1 Basic Information of the Throwers

姓名	比赛成绩 (m)	身高 (m)	体重 (kg)	出生年月
LRX	80.01	1.80	80	1972, 1
DQM	71.59	1.83	75	1982, 3
GWX	73.69	1.92	86	1973, 9
MY	70.62	1.84	79	1983, 2
WYG	64.31	1.80	77	1980, 1
YXB	76.25	1.88	82	1982, 1
ZHHX	77.14	1.80	92	1981, 1
ZHQ	72.24	1.83	85	1980, 4

比赛现场进行了拍摄。一台摄像机放置于助跑道右侧后方, 另一台摄像机放置于投掷区右侧限制线旁, 摄像机镜头中心距地面高度为1.25 m。两台摄像机主光轴相交于助跑道中心线的位置, 距投掷弧后沿3.5 m处, 两台摄像机主光轴夹角接近90°。拍摄的现场情况见图1。解析时将投掷方向定为x轴, 向前为正; 与x轴垂直的左右方向定为y轴; 垂直于地面的轴定为z轴, 向上为正; 采用爱捷运动图象解析系统得到所需的运动学参数, 对所得数据采用低通滤波进行平滑处理, 截断频率为8.0赫兹。

2.2.2 转动物理量的计算方法

(1) 运动员在某一动作瞬间对外表现能量的计算公式^[3]

$$E_w = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} I_i \omega_i^2 + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} m_i v_i^2 + \sum_{i=1}^n m_i g h_i$$

收稿日期: 2008-11-14

论文说明: 第十二届全国运动生物力学大会入选论文

第一作者简介: 王星明(1968-), 男, 讲师, 主要研究方向: 运动生物力学. E-mail: wxm668@163.com

作者单位: 1. 河北师范大学体育学院, 石家庄 050016 河北. 2. 上海闵行中学, 上海 200240



(2) 人体整体的转动惯量与动量矩的计算方法:

人体整体对某一轴的转动惯量的计算公式:

$$I = \sum I_i = \sum I_{ci} + m_i d_i^2$$

人体各环节转动动量矩的计算公式

$$L_i = I_i \times \omega_i$$

人体整体动量矩的计算公式

$$L = \sum L_i$$

3 结果与分析

从交叉步到标枪出手分为交叉步和最后用力两个阶段,交叉步阶段关键动作瞬间包括:左脚着地交叉步开始、交叉步左脚离地、交叉步结束右脚着地。右脚着地后进入最后用力阶段,关键动作瞬间包括:最后用力左脚着地、最大“满弓”、标枪出手^[2]。

运动员的身体体重越大,完成同样投掷动作时表现出的机械能就越大,为了反映动作的动力学状态,需要消除体重对输出能量的影响,相对能量用 $\frac{\text{机械能}}{\text{体重}}$ 、 $\frac{\text{动能}}{\text{体重}}$ 、 $\frac{\text{转动动能}}{\text{体重}}$ 来表示,用相对能量值可以更好地反映人体的整体运动状态。

另外转动惯量与身高、体重也有显著的数学关系,为了反映动作的动力学特征和姿态特征,需要用相对量来分析。姿势一定时转动惯量与体重呈正比,与长度指标的平方成正比,因此转动惯量、动量矩的相对量采用 $\frac{\text{转动惯量}}{\text{体重} \times \text{身高}^2}$ 、 $\frac{\text{动量矩}}{\text{体重} \times \text{身高}}$ 分别称为相对转动惯量和相对动量矩,相对转动惯量和相对动量矩可以消除体重、身高对转动惯量、动量矩值的影响,更好的反映人体整体的姿态特征和转动特征。

3.1 交叉步阶段人体的转动力学特征

通过分析发现,左脚着地交叉步开始瞬间运动员的转动惯量与运动成绩呈显著的负相关,相关系数为($r = -0.60$, $p < 0.05$) 也就是说转动惯量越大,运动成绩相对越差。这一技术现象的解释是,转动惯量大与人体的弯曲度,人体重心的高度,支撑腿的膝角髋角有关。人体的弯曲度较大,重心高度相对较小,膝角、髋角比较合理时人体的转动惯量较小。在以后的技术训练中应加以重视,进一步探索其中的关系,为技术训练和改进提供有价值的建议。

表2 8名运动员在不同动作瞬间人体整体对外表现的平均相对转动参数表

Table II Average Relative Rotation Parameters of Human Body of 8 Throwers at the Instant of Different Movements

动作瞬间	相对转动动能	相对动能	相对机械能	相对转动惯量	相对动量矩
左着交叉步开始	0.10	23.62	32.04	0.38	0.91
交叉步左离	0.25	20.97	29.19	0.31	1.10
右脚着地	0.12	19.86	27.06	0.33	0.96
最后用力左着	0.22	18.22	23.14	0.34	1.64
满弓	0.17	15.86	20.47	0.30	1.35
标枪出手	0.51	7.68	12.34	0.25	2.03

3.2 最后用力阶段运动员技术的转动力学分析

3.2.1 最后用力阶段从右脚着地到左脚着地过程中运动员技术的转动力学分析

此过程用时较长平均达0.2 s,人体完成的动作包括右腿的缓冲和“跪蹬”,右腿的蹬地动作和左腿积极前摆能

较好保持人体的水平速度和动能,还使得躯干与地面夹角减小,为在快速运动中完成“满弓”动作提供支持。躯干与地面的夹角不断的减小,是一个主动的过程,表现为右腿主动“跪蹬”和左腿的积极向前下运动^[2],正是由于下肢环节的主动运动使得躯干与地面的夹角减小。为形成“满弓”动作做充分的准备。在此过程中人体也表现出了一些与技术动作有关的转动力学特性。

8名运动员均表现出右脚着地后动能都下降,随着右腿的主动蹬伸和左腿的积极前摆人体的动能有显著增加,基本达到了着地瞬间的水平,但在右腿着地前动能又下降。

3.2.2 “满弓”动作的分析

在这次对动作技术的转动力学分析中,发现8名运动员的相对转动动能在最后用力左脚着地后都有下降,并且出现最后用力阶段的最小值,只是不同运动员出现的时间不同。这一瞬间出现的原因是,交叉步结束右脚着地后躯干与地面的夹角(后倾角即髋点在肩点的前方)逐渐减小直至形成最大“满弓”,最大“满弓”正好处在身体向后和向前转动的临界点上,此瞬间的转动角速度是最小的,转动动能也最小。因此最后用力左脚着地后出现转动动能最小值的瞬间,就是最大“满弓”瞬间。

“满弓”时相对转动惯量与运动成绩呈显著负相关($r = -0.65$, $P < 0.05$)。“满弓”时对左脚跟点的转动惯量小说明,人体和躯干的弯曲度大,人体重心位置低,LRX、ZHHX、DQM3名运动员的“满弓”动作充分,转动惯量小。身体相关部位的肌肉得到了恰当的拉伸,为最后用力的爆发性收缩奠定了基础,也是他们获得较好成绩的主要原因之一。

与最后用力阶段左脚着地瞬间相比,运动员的动能、势能、转动动能都下降,尤其是转动动能在最后用力阶段是最小值。“满弓”时身体的姿态比身体的运动状态更重要,8名运动员在最大“满弓”时的动能、机械能与运动成绩之间无相关关系,但是转动惯量与运动成绩呈显著性负相关,“满弓”的技术要求应是保持一定的运动状态(速度、动能)的基础上,尽可能的使“满弓”充分,使相应部位的肌肉得到预先拉伸。

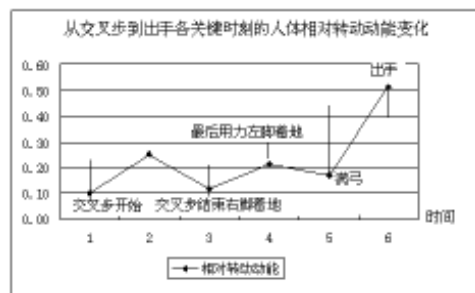


图1 从交叉步到标枪出手人体相对转动动能变化曲线图
Figure 1 Kinetic Energy Change Curve of Body Relative Rotation from Cross-Stride to Release

3.2.3 最后用力左脚着到标枪出手过程中运动员技术的转动力学特征分析

3.2.3.1 人体绕Y轴(人体对冠状轴)转动力学分析

人体对外表现的转动动能,从左脚着地到最大“满弓”明显减小,从最大“满弓”开始躯干的转动动能急剧增加,在0.02 s内达到了最大值,这需要最大“满弓”的动作必

须充分有效，腹部的腹直肌、腹内外斜肌有非常好的伸展性、弹性，并且有非常好的力量和爆发力，这种爆发力更强调速度，由于肌肉收缩的速度与肌肉的幅度成正比，所以腹部肌肉以及相关韧带（如脊柱上的前纵韧带和髋关节上的髂股韧带）的伸展性是非常重要的，是标枪运动员非常重要的身体素质。

动作的技术特点也表现的很明显，最大“满弓”后躯干的转动急剧增加，当达到最大值时上肢的转动开始急剧增加，到出手时上肢的转动动能达到最大值。符合关节运动的顺序性原则，大环节首先加速运动，小关节随后再加速，速度合成的结果是标枪获得尽可能大的出手速度。

从动量矩变化的曲线图可以看出（图2横轴表示动作瞬间、纵轴表示动量矩的绝对值，单位是 $kg \cdot m^2/s$ ），从左脚着地到最大“满弓”，前臂和上臂的动量矩无明显变化，躯干的动量矩显著下降。从最大“满弓”开始，首先是躯干的动量矩达到最大值，接着上臂的动量矩达到最大值，到标枪出手时前臂的动量矩达到了最大值。明显可以看出人体不同环节的发力顺序，最大“满弓”开始首先是躯干运动加速达到最大值，躯干的动量矩达到最大值时上臂的动量矩开始显著增加并达到最大值，上臂运动的动量矩达到最大值时前臂的动量矩开始急剧增加，到出手时达到最大值。明显可以看出躯干、上臂、前臂逐步加速发力的运动顺序。

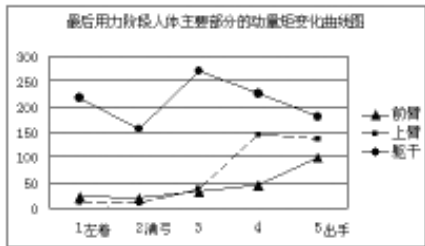


图2 LRX 最后用力阶段人体主要环节动量矩变化图
Figure 2 Variation of the Moment of Momentum of the Main Parts of Body at LRX Final Thrust Phase

3.2.3.2 人体绕Z轴（垂直轴）的转动情况分析

躯干绕Z轴转动的平均角速度与运动成绩呈正相关($r=0.59, p<0.05$)，躯干转动是上肢转动的基础，躯干转动角速度的增大将进一步拉伸上肢和胸部的相关肌肉，为上肢的加速提供条件，从而提高出手的速度。从图3看出（图3横轴表示动作瞬间、纵轴表示角速度的绝对值，单位是 rad/s ），从最后用力左脚着地开始LRX的躯干绕Z轴的转动已经表现出一个较高的水平，上臂的转动速度在左脚着地开始就加速上升，几乎达到最大值时前臂的转动速度开始急剧增加，到标枪出手时达到最大值。环节的发力顺序为躯干、上臂、前臂，这种变化非常明显。LRX的成绩较好一个主要原因是在最后用力过程中，躯干绕Z轴转动的角速度明显大于其他运动员。

4 结论

4.1 计算分析了从交叉步到标枪出手，各个瞬间及过程中人体的各种能量、转动惯量、动量矩等动力学参数。发现相

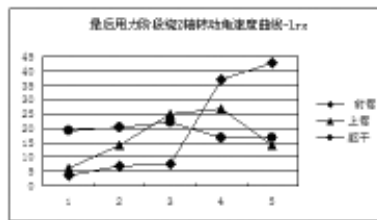


图3 LRX 最后用力阶段人体主要环节绕Z轴转动角速度变化图
Figure3 Angular Velocity Variation of the Rotation around the Z-Axis of the Main Parts of Body at LRX Final Thrust Phase

对脚点平行于人体冠状轴的相对转动惯量能较好地反映运动员技术动作姿态特征，相对转动动能较好反映运动员的转动技术特征，相对平动能反映运动员整体运动的快慢。发现相对脚点平行于人体冠状轴的动量矩、相对动量矩也能反映环节的转动特性，但大小与运动成绩之间无相关关系。

4.2 提出了最大“满弓”瞬间的判断标准，最后用力开始左脚着地到标枪出手过程中人体转动动能的最小值出现瞬间，为最大“满弓”瞬间。

4.3 从交叉步到标枪出手，人体的机械能、平动能逐渐下降。人体的转动动能在波动中逐渐增加，到出手时增加到最高点。最后用力过程中，躯干绕垂直轴（Z轴）的转动非常重要，成绩好的运动员，转动角速度较大。

参考文献

- [1] 郑亚平、张健. 对掷标枪最后用力阶段制动动作的转动力学分析[J]. 北京: 北京体育师范学院学报, 1998, 10 (1)
- [2] 卢竞荣. 我国优秀男子标枪运动员从交叉步到出手技术生物力学分析[J]. 体育科学, 2000 (5): 36-45
- [3] Shiniji Sakurai 等. 人跑步时的能量分析 // 运动生物力学译文集[M]. 清华大学出版社, 1987年
- [4] 曲淑华、杜超、刘世华. 中国与世界优秀运动员投掷步技术对比分析[J]. 体育科技, 1997, 17 (6): 47-51
- [5] 阎国强. 关于女子标枪最后用力一步技术中运动参数的研究[J]. 中国体育科技, 1990, 6: 7-12
- [6] 王林. 对我国优秀女子标枪运动员最后用力过程中左腿技术的研究[J]. 北京体育大学学报, 1997, 20 (3): 73-77
- [7] (澳) 罗杰·巴特利特等, 严波涛译. 不同技术水平标枪运动员运动学出手参数的三维评定[J]. 田径科技信息, 1996 (1): 30-38
- [8] 文超. 田径运动高级教程[M]. 北京: 人民体育出版社
- [9] (德) 古特·狄都, 周强译. 现代标枪投掷技术分析[J]. 田径科技信息, 1996, 14 (4): 28-39
- [10] (德国) P·伯尔纳. 最后用力前的延缓动作—最佳标枪技术的特征[J]. 国外体育科技, 1991 (2): 44-49

(责任编辑: 何聪)