



我国优秀女子短跑运动员蒋兰步态特征分析

陆阿明, 王国栋, 蒋婷婷

摘要:目的:通过对我国优秀女子短跑运动员蒋兰短跑的生物力学分析,为教练员和运动员提高女子短跑训练效果提供参考。方法:采用视频资料法及运动解析法,计算下肢运动学数据,对备战第12届全运会中所测数据进行横向和纵向比较。结果:前后比较,蒋兰100 m步频从4.64 step/s增至4.69 step/s,而步长从1.82 m增加到1.85 m;200 m步频从4.42 step/s增至4.48 step/s,步长从1.89 m提高到1.91 m。在途中跑下肢着地瞬间,髋关节角度明显减小,而膝关节和踝关节则无明显变化($P>0.05$)。结论:通过专项力量与技术动作的训练与改进,步长增加的同时,步频也增加;步长的改变是人体跑动过程的综合性体现,而非单关节力量或运动结构的变化;步态参数变异性程度可能大于步长改变所带来的差异。

关键词:短跑;生物力学;步长;步频

中图分类号:G804.6 文献标志码:A 文章编号:1006-1207(2015)02-0028-04

Gait Characteristics Analysis of Jiang Lan, a Chinese Elite Woman Sprinter

LU A-ming, WANG Guodong, JIANG Tingting

(School of physical education and sports science, Soochow University, Suzhou 215021, China)

Abstract: Objective: The aim of this study is to provide reference for coaches and athletes to improve the training effect of women sprinters through the biomechanical analysis of Jiang Lan, a Chinese elite woman sprinter. Method: The lower extremity kinematic data obtained by means of video data and motion analysis were compared with those collected in the preparation for the National Games horizontally and longitudinally. Result: In 100m, Jiang Lan's step frequency increased from 4.64 step / s to 4.69 step / s and the step length increased from 1.82m to 1.85m. In 200m, step frequency increased from 4.42 step / s to 4.48 step / s and step length increased from 1.89m to 1.91m. The hip joint angle decreased significantly at the moment of foot landing. But no significant change was found in knee and ankle joints ($P>0.05$). Conclusion: Through the training and improvement of specific strength and technical movements, stride frequency increases along with step length. The change of step length is due to the comprehensive result of human body's running process, and not just the changes of joint force or movement structure. The variability of gait parameters may be greater than that of the step length change.

Key Words: sprint; biomechanics; step length; step frequency

1 研究目的

近年来,随着世界竞技体育水平的不断提高,短跑技术也得到了不断发展与完善,世界纪录被屡屡刷新。长期以来,短跑始终是我国田径的弱势项目之一,特别是女子短跑差距尤为显著^[1,2]。在世界女子短跑水平不断提升的大环境中,中国女子短跑水平整体落后的局面仍未改变,这一问题值得我们反思与深入思考。创新女子短跑训练模式、提高女子短跑成绩已成为中国田径运动发展中所面临的亟待解决的问题。

现阶段,蒋兰、陶宇佳基本能代表国内女子100 m的水平,在2013年9月结束的第12届全国运动会田径女子200 m决赛中,蒋兰以23.31 s的成绩夺得冠军。与世界先进水平仍有着较大的差距,究其原因是多方面的,但训练

方面的原因无疑是造成此现象的重要因素之一。

本研究拟通过对优秀短跑运动员蒋兰短跑的生物力学研究,分析步态特征,对相关训练方法进行总结归纳。为提高我国短跑的运动水平、为教练员和运动员提高女子短跑训练效果提供一定的参考。

2 研究方法

2.1 实验对象

蒋兰,女,身高1.70 m,体重56 kg,国家级健将运动员,多次获得全国大型运动会女子短跑项目冠军。

2.2 运动学测试

根据实际比赛过程中随队人员跟踪拍摄的视频资料,

收稿日期:2015-01-08

基金项目:2013江苏省高校自然科学基金(13KJB310020)。

第一作者简介:陆阿明,男,教授、博士生导师。主要研究方向:运动生物力学、体育工程。

作者单位:苏州大学体育学院,苏州 2150215



运用视频播放器对比赛全程录像进行逐帧翻看步数,并结合比赛成绩(用时)计算得出步频等参数。最后一步至终点的距离参照分道线的宽度计算。更多的运动学指标获取采用平面摄影解析法,用高速摄像机(加拿大 Megaspeed)对短跑途中跑的技术动作进行平面定点定焦拍摄,完整记录各阶段测试过程中途中跑的矢状面运动影像,现场布置说明如下。

在拍摄时,为增加拍摄场景,采用两台摄像机,摄像机放置在跑道的侧面,距跑道中心(运动员前进方向)的垂直距离为 10.6 m,摄像机拍摄频率 100 Hz,相机主光轴与运动平面(矢状面)垂直,相机离地高度 1.1 m。拍摄途中跑过程动作。采用二维标定框架进行平面标定(1 m×1 m),为使标定更为精确,在框架拐点贴上专用定标点。并将框架垂直放置于跑道中运动员被拍摄面处进行标定。两台摄像机在运动员入场地拍摄范围前开始拍摄,开始信号由手控触发器控制,确保拍摄过程中相机及镜头固定不动。

在训练或测试中,进行相关拍摄。对规定动作进行后期分析,解析软件采用德国 SIMI-motion 运动录像解析系统。运用郑秀媛中国成年女子惯性参数模型,构建人体棍图模型。对原始数据进行数字低通滤波平滑处理,采用 Butterworth 滤波器,截止频率 8 Hz^[3]。运动学指标包括人体重心或环节位移、速度、关节角度等。

2.3 统计处理

实验数据采用 Excel 2000 和 SPSS 11.5 统计软件进行统计和分析。其中,重复测量数据均用平均值±标准差的形式表示;对前后测量数据比较采用 T 检验,P<0.05 表示差异具有显著性。

3 结果与分析讨论

3.1 蒋兰 100 m 步长步频参数特征

从蒋兰在 2012 年到 2013 年大赛中的数据统计分析可以看出,随着成绩的提高,100 m 平均步频与步长总体呈上升趋势,从 2012 年到 2013 年,100 m 步频从 4.64 step/s 到 4.69 step/s,而步长从 1.82 m 增加到 1.85 m,总体表现为步长和步频的同步增长(见表 1)。

表 1 2012-2013 年蒋兰 100 m 步长步频变化特征
Table I Characteristics of the Step Length and Step Frequency of Jiang Lan's 100m in 2012-2013

比赛	全国田径	全国田径	全国田径	全运会
	大奖赛	大奖赛	锦标赛	
地点	武汉	肇庆	苏州	沈阳
日期	2012.4	2013.4	2013.5	2013.9
成绩/s	11.84	11.66	11.65	11.53
步频/(step/s)	4.64	4.65	4.69	4.69
步长/m	1.82	1.85	1.83	1.85

3.2 蒋兰 200 m 步幅步频参数特征

从蒋兰在 2012 年到 2013 年大赛中的数据统计分析

可以看出,伴随着成绩的提高,平均步频与步长均在提高,从 2012 年到 2013 年,200 m 步频从 4.42 step/s 增加到 4.48 step/s;步长从 1.89 m 增加到 1.91 m。步长和步频的同步增长(见表 2)。

表 2 2012-2013 年蒋兰 200 m 步长步频变化特征
Table II Characteristics of the Step Length and Step Frequency of Jiang Lan's 200m in 2012-2013

比赛	全国田径	全国田径	全国田径	全运会
	大奖赛	大奖赛	锦标赛	
地点	武汉	肇庆	苏州	沈阳
日期	2012.4	2013.4	2013.5	2013.9
成绩/s	24.02	23.75	23.68	23.31
步频/(step/s)	4.42	4.45	4.46	4.48
步长/m	1.89	1.89	1.89	1.91

从中外优秀女子短跑运动员 100 m 最好成绩下步长步频特征对比可以看出,国外优秀选手的步长在 2.10 m 左右,蒋兰在 100 m 跑的步频高于总体水平,接近我国短跑名将李雪梅的 4.74 step/s,两人身高相同,属于典型的“步频型”选手。相比于乔伊娜,虽然后者身高只有 1.69 m,但步长达到 2.10 m,可以说是较典型的“步长型”技术风格,进一步比较可以发现,蒋兰的步长不但小于国外优秀运动员,在国内优秀运动员中也较低。同期选手陶宇佳和韦永丽身高均不及蒋兰,分别为 1.65 m 和 1.68 m,但平均步长均大于 1.9 m,韦永丽甚至达到 2.06 m,而蒋兰只有 1.85 m(见表 3)。

3.3 中外优秀女子短跑运动员步长步频参数比较(见表 3)

表 3 中外优秀女子短跑运动员 100 m 最好成绩下步长步频特征
Table III Characteristics of the Step Length and Step Frequency of the Domestic and Foreign Elite Women Sprinters in their Best Performance of 100m

姓名	乔伊娜	琼斯	奥蒂	李雪梅	陶宇佳	韦永丽	蒋兰
身高/m	1.69	1.81	1.76	1.70	1.65	1.68	1.70
成绩/s	10.49	10.65	10.74	10.79	11.54	11.32	11.53
步频/(step/s)	4.54	4.46	4.45	4.74	4.51	4.29	4.69
步长/m	2.10	2.11	2.09	1.96	1.92	2.06	1.85

3.4 蒋兰短跑步幅步频改进与调整

步长为跑步中左右足跟(或趾尖)间的前后距离^[4]。步长的大小与运动员跑步时蹬地力量的大小、蹬地速度的快慢、技术合理性及运动员的身高、腿长和柔韧性发展程度均有关系。而在这些因素中,力量因素对步幅的影响最大。前世界纪录保持者乔伊娜身高仅有 1.69 m,柔韧性也并不突出,技术也并非完美,但她依靠强大的肢体力量最大限度地增大了步幅,100 m 全程仅用 47.6 步,平均步长为 2.10 m,考虑起跑阶段的小步对平均步长的影响,其途中跑的步长甚至要大于 2.10 m。研究表明,世界前 6 名优秀女子 100 m 跑运动员的平均步长为 2.06 m。而 2000 年全



国田径锦标赛女子 100 m 跑前 8 名运动员的平均步长仅为 1.88 m^[5]。

针对我国女子短跑运动员进行研究,李汀比较了我国第 7 届、第 8 届全运会短跑选手和国外短跑选手的相关参数^[6],研究指出我国女子 100 m 选手和世界优秀选手的主要差距是步长能力的差距^[7];李竹青等^[8]研究指出我国运动员步长能力较弱,是导致 100 m 落后的主要原因。实际上,把步长和步频能力综合起来考虑才更有意义,即步长与步频的协调能力。从与世界优秀运动员的步长、步频参数比较可以看出。世界选手不但步幅大,步频也快。100 m 跑的速度取决于步长与步频,只有大步幅和高步频的结合,才有可能跑出高水准的速度,而步长在一定程度上取决于运动员的身高和腿长,当然也与肌肉的力量、韧性以及主动肌与对抗肌的协调放松用力有关。

步长的影响因素,除了力量外,着地缓冲技术也起着关键作用,可以说缓冲技术是步长保持能力的枢纽。Johnson 和 Buckley 认为,短跑功率输出主要产生于髋关节,而在支持期,膝关节应保持足够的高度来支撑人体重心,从而使推进动力得以从髋关节有效地转移到踝关节,发挥作用,而任何膝关节屈曲均会扰乱这一进程^[9]。也有观点认为,需要强调下肢刚度在支撑阶段的重要性,在步频和步长方面,因为在步伐转换过程中,为了保持前进速度,下肢肌肉承受非常大的力,下肢刚性减弱将导致关节屈曲程度增加,身体重心下降,这虽然增加了身体的稳定性,但在接下来的过程中,身体又必须产生更大的力量来推动自身向上和向前的运动,同时也直接影响步长和步频。

脚踝屈曲在小腿运动中将预拉伸小腿的肌肉与肌腱,增加下肢刚度,也促进地面接触时拉长缩短周期(SSC)的实现,从而帮助小腿存储更多的弹性能量,减少离心和向心之间的耦合时间,有利于动量的转移^[10],这种预激活可以通过在适当的超等长训练中得到增强。在训练中,需要注意神经募集的性质。为获得最佳的训练效率,需让训练中的神经通路接近实际项目技术动作。根据蒋兰在训练周期前的技术分析总结,步长明显偏短,并且已成为个体成绩突破的瓶颈,在考虑个体身高因素对步长的影响外,从蒋兰身体素质 and 运动技术掌握程度两方面入手,分析其原因。实际训练时,考虑下肢各环节的专项力量、蹬摆腿技术等因素,在众多因素中,首先注重专项力量的提高,以期在原有基础上取得步长的突破。除了最大力量相关的斜板力量训练、各种器械的力量训练、各种形式的跳深、最大力量的深蹲、半蹲、橡皮条阻抗牵拉和静力性力量练习外,采用行进跑、起跑练习(含阻抗)、下坡跑和跳、各种跳跃练习(含短跳)和快速力量练习,在动作技术要求的范围内强化力量。

针对技术动作训练,采用特定方式来增加身体对于大步幅的感知,在约束步长同时形成良好的训练适应,蒋兰的训练形式包括:加速挥臂、加速跑、快速高抬腿、跨步跳、高抬送髋、快速橡皮条摆腿、高步频海绵格、大步幅海绵格。这些训练贯穿于整个训练之中,渐进性地改变身体对其反应。与此同时,专项摆动练习也是短跑运动员在训

练中必须训练的科目之一,训练中采用多种摆动练习来加强技术动作训练,如高抬腿、单腿支撑摆跨栏架等。

经过从力量和专项动作两个方面的训练,备战全运会周期后阶段,从大型比赛测试的结果看,蒋兰 100 m 总步数减少近 1 步,200 m 总步数减少近 2 步,结合全运会比赛的数据分析,步长的增加并不是以步频的减少为代价,而是同时增加。可以说实现了大周期训练前的目标,及在保持步频的情况下,通过专项力量和技术动作训练增加步长。与国内优秀运动员相比,蒋兰的身高与李雪梅相同,后者 100 m 平均步长 1.96 m,相比之下蒋兰的 1.85 m,应该还有进一步提高的空间。当然,跑的速度取决于步长和步频。因此跑步技术本身就力求达到尽可能大的步长和步频,或者是两者的合理搭配。所以,作为水平位移类运动项目,有必要进一步弄清跑速与步长、步频之间的内在联系,而不是盲目地发展步长或步频。有研究指出^[11]:影响步长的因素较多,如后蹬角的大小、下肢长度、大腿的前摆高度等等,运动员根据自身体能状态和现场环境都可能做出调整^[12]。同时,从运动生物力学的角度看,减小步长、增加步频会使得耗能增加、肌力下降、肌肉的工作效率降低。因此,步频和步长对提高跑速的关系应在保持步频的基础上进一步增大步长,是最科学、最合理的。

3.5 蒋兰短跑步幅步频改进与调整

从蒋兰训练周期前后的运动数据统计分析来看,在途中跑下肢着地瞬间,只有髋关节着地角度明显减小($P < 0.05$),均值从 138.7° 减少到 136.6°,而膝关节和踝关节则无明显变化($P > 0.05$)(见表 4)。

表 4 途中跑着地时刻下肢运动学参数

Table IV Kinematic Parameters of the Lower Extremity at the Moment of Foot Landing during the Race

指标	训练周期前	训练周期后	P 值
髋关节角/°	138.7±5.3	136.6±5.1	0.04
膝关节角/°	146.5±6.2	147.7±5.8	0.21
踝关节角/°	114.5±8.7	113.0±7.4	0.18

从蒋兰训练周期前后的运动数据统计分析来看,在途中跑下肢离地瞬间,髋、膝、踝关节着地角度均无明显变化($P > 0.05$)(见表 5)。

表 5 途中跑蹬伸离地时刻下肢运动学参数

Table V Kinematic Parameters of the Lower Extremity at the Moment of Foot Pushing and Stretching during the Race

指标	训练周期前	训练周期后	P 值
髋关节角/°	184.1±4.0	185.2±4.2	0.13
膝关节角/°	150.6±5.6	151.1±6.8	0.54
踝关节角/°	127.6±6.1	128.0±6.1	0.27

着地瞬间,髋关节角度减小,说明下肢在着地瞬间,大腿与躯干之间的角度变小,即以更为大的步幅着地,导致此变化的原因可能是大腿股四头肌快速力量的增加,增强了大腿的前摆能力,而与之对应膝关节在着地瞬间的关节角度,在训练前后虽然没有出现显著的差异($P > 0.05$),



但着地时膝关节角度也有增加的趋势,均值从 146.5° 增加到 147.7° ,即以更为伸直的膝关节体位着地。这可能是步幅调整在跑动作结构上最为直观的运动学体现。着地时下肢角度的变化可能直接体现为步幅的增加,仅髌关节角度出现明显变化的原因可从如下两个方面考虑:首先,对于运动员个体而言,短跑全程步数增加或减少一步,都被视为动作幅度的较大调整,但此步幅的改变对于单步来说其实是很小的变化,而此变化还不足以体现出关节运动学的变化,如对于平均步长接近2 m的运动员,100 m步数减少1步,每步步长的改变一般也不足2 cm,变化还不到1%;其二,由于个体在运动过程中,关节角度的变异性较大,而此运动学参数变异性的程度可能超过由于步幅调整而带来的变化。因此,步长的改变是人体跑动过程的综合性体现,而非单关节力量或运动结构的变化。

4 结论

针对蒋兰个体动作速率快、技术轻巧、动作幅度偏小的特点,整个周期训练的重点是在保持其他训练形式不变的情况下,解决保持高步频状况下逐步加大步长。100 m平均步长从1.82 m增加到1.85 m,200 m平均步长从1.89 m增加到1.91 m,通过专项力量和技术动作的训练与改进,步长增加的同时,步频也增加(100 m平均步频从4.64 step/s增加到4.69 step/s,200 m平均步频从4.42 step/s增加到4.48 step/s)。

随着蒋兰专项力量和短跑技术的改变,步长增加,途中跑过程除着地时刻髌关节角度出现变化外 $[P < 0.05]$,训练前 $(138.7 \pm 5.3)^{\circ}$,训练后 $(136.6 \pm 5.1)^{\circ}$,其他运动学参数均无变化,说明步长的改变是人体跑动过程的综合性体现,而非单关节力量或运动结构的变化,步态参数变异性程度可能大于步长改变所带来的差异。

参考文献:

- [1] 李宇航. 世界优秀女子短跑运动员200m速度分配的特征分析[J]. 浙江体育科学, 2004, 24(2): 11-13.
- [2] 王桂女, 李玉章. 世界优秀男子100m跑运动员的比赛节奏分析[J]. 体育科研, 2010 (4): 82-85.
- [3] 陆阿明, 王国栋, 王芳. 运动性疲劳对跑运动学与下肢肌电的影响[J]. 体育科学, 2012, 32(6): 44-49.
- [4] 黄达武, 余晓芳. 短跑运动生物力学——运动学研究现状[J]. 体育科研, 2007, 28(4): 65-68.
- [5] 路瑜, 黄贝君. 柏林田径世锦赛女子百米决赛的竞技特征分析[J]. 广西体育科技, 2010 (2): 78-81.
- [6] 李汀. 从八运会女子100米决赛看短跑技术现状[J]. 田径, 2001 (1).
- [7] 刘诺, 杨伟堂. 中外优秀100m运动员步频与步幅的对比研究[J]. 体育科学研究, 2005, 8(4): 53-56.
- [8] 李竹青, 徐信. 中外男子100m跑优秀运动员技术特征的比较分析[J]. 广州体育学院学报, 2001, 21(1): 100-103.
- [9] D. Johnson M, Buckley J G. (2001). Muscle power patterns in the mid-acceleration phase of sprinting[J]. *Journal of sports sciences*, 19(4): 263-272.
- [10] Enoka R M. (1997). Neural adaptations with chronic physical activity[J]. *Journal of biomechanics*, 30(5): 447-455.
- [11] 李子焯, 余其刚. 跑速与步长步频的内在联系[J]. 四川体育科学, 2004, 9, 13(3): 87-89.
- [12] Owings T M, Grabiner M D. (2004). Step width variability, but not step length variability or step time variability, discriminates gait of healthy young and older adults during treadmill locomotion[J]. *Journal of biomechanics*, 37(6): 935-938.

(责任编辑:何聪)

(上接第27页)

参考文献:

- [1] 闫琪. 功能性体能训练在我国的发展[J]. 中国体育教练员, 2011, 19(4): 34-36.
- [2] 闫琪. 论竞技体育中功能性体能训练的特点及其应用[J]. 山东体育科技, 2012, 34(3): 1-4.
- [3] 闫琪. 中国女子曲棍球队备战第30届夏季奥运会过程中体能训练的实证研究[J]. 中国体育科技, 2014, 50(5): 73-78.
- [4] BOYLE M. (2003). *Functional Training for Sports* [M]. Champaign IL: Human Kinetics.

- [5] BOYLE M. (2010). *Advance in Functional Training*. [M]. Champaign IL: Human Kinetics.
- [6] COOK G. (2003). *Athletic body in balance* [M]. Human Kinetics.
- [7] COOK G. (2009). *Movement* [M]. Human Kinetics.
- [8] SANTANA J C. (2004). *The Essence of Program Design* [M]. Human Kinetics.

(责任编辑:何聪)