# 短跑途中跑支撑阶段影响水平速度因素 的运动学分析

沈士达1,李 群2

**摘 要:**运用激光测速系统、运动学分析系统以及多参数同步触发系统,在上海2名优秀 短跑运动员的100m跑训练过程中进行测试,将运动员100m途中跑支撑阶段的运动学参数与 人体运动的水平速度进行同步分析,来揭示短跑运动员100m途中跑速度的变化规律,讨论 和分析短跑运动员100m途中跑支撑阶段的不同运动学参数的变化与人体速度的关系,为教练 员和运动员提高短跑途中跑的速度和改进技术动作提供一定的数据参考和理论依据。 关键词: 短跑;支撑;速度;运动学

中图分类号: G804.6 文献标识码: A

文章编号: 1006-1207(2010)06-0061-04

Kinetic Analysis of the Factors Affecting Horizontal Velocity during the Support Phase of Sprint Running SHEN Shi-da, LI Xi

(Shanghai Secondary Sports School, Shanghai 201100 China)

**Abstract:** Adopting laser velocimetry system, kinematic analysis system and multi-parameter synchronization trigger system, the author made a test in 100m training of 2 elite sprinters of Shanghai. The article makes a synchronized analysis of the kinematic parameters in the support phase of 100m running and the horizontal velocity of human body movement so as to reveal the speed variation law of sprinter's 100m running. The article discusses the relations between the variation of the different kinematic parameters and the speed of human body in the support phase of 100m running in order to provide data reference and theoretical basis for helping coaches and athletes improve speed and technical movements in running. **Key words:** sprint; support; velocity; kinematics

短跑是世界体育史上最古老的竞赛项目之一,它是速度 力量型、以无氧供能方式跑完全程的周期性极限强度项目,其 成绩主要取决于运动员完成动作的功率和长时间保持最高跑 速的能力。随着体育竞技水平和科学分析水平的提高、运动 技术的日趋合理与完善,短跑的世界纪录在不断的被刷新,人 类的极限也在一次又一次被打破。牙买加运动员博尔特在北 京奥运会上跑出了9'69"的好成绩,而在2009年世界田径锦 标赛又有了新的100 m世界记录:9'58"。相比世界短 跑而言,我国的短跑水平仍存在着很大的差距。目前我国男 子短跑100 m的全国记录只有10'17", 而200 m全国记 录也只有20'54",所以对于我国男子田径项目而言要想有大 的突破,必须从运动员洗材、训练方法和技术上有所改进,在 科研上仍需要不断地探索,寻找一种适合我国运动员特点的 技术方法。德国 LDM 300C SPORT, LAVEG-SPORT 激光测速 系统是目前世界上先进的直线运动测速系统之一,系统结合 激光技术、计算机技术,可以50 Hz 频率测量200 m 范围内 直线运动速度,速度测量精度达到0.01 m/s,非常有利于短 跑、跨栏、跳远助跑、三级跳助跑、撑杆跳助跑等项目的训练 指导。本文从上海田径队2名运动员100 m跑训练过程中途中 跑的速度变化情况入手,并与运动解析的方法相结合,将2名 短跑运动员途中跑单步过程中支撑阶段的运动学参数与身体

速度进行同步分析。来揭示短跑运动员途中跑速度的变化规 律,讨论和分析短跑运动员途中跑支撑阶段不同运动学参数 的变化与人体速度的关系,为教练员和运动员提高短跑途中 跑的速度和改进技术动作提供一定的数据参考和理论依据。

1 对象与方法

# 1.1 研究对象

上海男子田径队2名优秀短跑运动员。

- 1.2 研究方法
- 1.2.1 测试法

使用德国LDM 300C SPORT,LAVEG-SPORT激光测速系 统、索尼摄像机以及上海体育科学研究所和同济大学共同开 发的同步触发系统,在短跑运动员杨×和黄×100 m 跑训 练过程中进行同步测试。激光测试系统的系统采样频率为 50 Hz,摄像机速度为50场/s。其中激光测速为全程测试, 录像拍摄则是在途中跑50 m 处。将所测试的激光测试数据 导入电脑,使用激光测试系统自带 das3e 软件进行数据整理。 通过 Edius 非编视频编辑软件进行视频采集,用 Aerial 运动 学分析软件进行二维运动解析,获取关键环节运动学参数。 使用LaserVideo2.0同步数据分析软件将激光速度数据和运动 学参数进行同步分析。

**收稿日期**: 2010-10-26 第一作者简介: 沈士达, 男, 中级教练员. 主要研究方向: 运动训练. 作者单位: 1. 上海市第二体育运动学校, 上海 201100; 2. 华东师范大学, 上海 20006 41

运动训练与人体科

#### 1.2.2 分析法

将所得的人体速度曲线进行分析,并通过查阅相关文 献,与教练员进行交流来探讨短跑运动员在途中跑中水平速 度的变化规律。将人体速度数据与运动学参数同步分析, 了解短跑运动员在支撑过程中身体速度的变化情况,以及不 同运动学参数的变化对人体速度的影响,为教练员和运动员 提供一定的数据参考和理论依据。

# 2 结果与分析

# 2.1 短跑运动员途中跑身体速度变化规律

传统的测量人体速度的方法一般都是采用图像解析,图 像解析是人工打关节点并进行计算得到,需要花费较多的时 间。激光测速是对被测物体进行两次有特定时间间隔的激光 测距,取得在该时段内被测物体的移动距离,从而得到该被 测物体的移动速度,相比而言激光所得身体运动的水平速度 较为准确,而且能在现场得到速度曲线和数据,快速反馈。如 图1所示,短跑运动员的速度曲线随着跑动水平距离的增加 呈现周期性规律性变化。图2为短跑运动员途中跑速度曲线 与视频同步图,从视频与激光速度曲线的速度同步中发现, 短跑运动员在途中跑速度变化的一个周期即短跑的一步,短 跑运动员水平速度在支撑离地结束后开始减小,到与地面接 触到最大缓冲阶段身体水平速度达到最低,最大缓冲结束后 支撑腿蹬地过程中身体重心速度开始增加,蹬离地面过程中 达到身体水平速度的峰值。这说明短跑运动员在单步周期 中,蹬地过程是短跑过程中速度增加的过程,腾空到着地 缓冲为短跑过程中减速的过程。



图 1 短跑运动员途中跑身体速度变化曲线 Figure 1 Speed Variation Curve of Sprinter in Running



图 2 短跑运动员途中跑速度曲线与视频同步图 Figure 2 Synchronization of the Speed Curve and Video of Sprinter in Running

#### 2.2 短跑支撑阶段影响水平速度的原因

支撑阶段是每一个跑动周期的重要阶段,其技术动作直 接影响到身体重心速度的快慢。本文把支撑阶段分为两个部 分:前支撑阶段和后支撑阶段,即从着地脚的脚尖前缘着 地瞬间到垂直支撑(身体重心的投影在支撑点上)成为前 支撑阶段,从垂直支撑到脚尖前缘离地瞬间称为后支撑阶 段。

### 2.2.1 前支撑阶段影响水平速度的原因

表1中缓冲距离是指在前支撑阶段身体重心沿水平方向移动 的水平距离 着地距离是指在着地脚着地瞬间重心的地面的投影 点离脚尖的距离。根据生物力学的理论和运动实践,前蹬制动力 是短跑的主要阻力之一,这种阻力的大小取决于脚着地瞬间相对 于地面的水平速度[2]。运动员在脚着地时应增大着地角、减小 着地距离,以减小水平方向的阻力及作用时间。因此,短跑项目 的教练员在技术训练中特别强调,运动员在脚着地时应尽量靠近 身体重心的投影点,以增大着地角、减小着地距离,加大摆动腿 的下压速度。表1为杨×和黄×在单步周期过程中支撑阶段的运 动学参数表,从中我们可以看出:杨×和黄×的着地角分别为 69.5° 和71.7°,着地距离分别为0.418 m和0.348 m,着地 前大腿下压的角速度分别是863°/ s和970°/s,小腿的角速 度分别是 493°/s 和 630°/s。通过数据对比可以得出杨×的着 地角度小于黄×,着地距离大于黄×,着地前大、小腿下压的角 速度小于黄×,积极主动"扒地"的能力相对不足,这说明杨× 在着地过程受到的阻力相对较大,人体水平速度损失较大。

表 1 短跑运动员的前支撑阶段运动学参数对比 Table I Comparison between the Kinematic Parameters in Sprinter's Support Phase

	美国运动员	杨×	黄×
缓冲时间/s	0.034	0.04	0.03
缓冲距离/m	0.38	0.41	0.34
水平速度/(m/s)	11.176	9.26	10.22
着地角/ 。		69.5	71.7
着地距离/m	0.389	0.418	0.348
大腿角速度 / (゜/s)		863	970
小腿角速度 / (゜/s)		493	630

注; 美国运动员参数来源于廖爱萍[1]

如表2所示,从膝关节角度大小和变化,杨×和黄×与 美国运动员相比无论着地瞬间还是最大缓冲阶段膝关节角度 均比较大。从变化幅度来看,黄×膝关节角度变化幅度大于 杨×,且缓冲速度快,缓冲速度达到了29.7°/s,杨×膝关 节缓冲速度只有19°/s,这说明杨×在前支撑阶段缓冲能力 相对较差,根据运动学原理,在途中跑中运动员摆动腿脚着 地瞬间,形成支撑反作用力,此是阻力。同时脚的"扒地"动 作产生的作用力,是动力。其不但有利于身体重心向水平方 向快速位移,而且能提高进入缓冲阶段的速度<sup>(3)</sup>。前支撑缓 冲能力差将增加缓冲时间,使人体与地面接触的阻力作用时 间增加,导致身体水平速度下降,建议杨×在训练中注重前 支撑缓冲能力的训练,以减少缓冲过程中的阻力。

表 2 着地到最大缓冲阶段膝关节角度变化 Table II Knee Joints Variations from Landing to Maximum Buffer Stage

-			
	美国运动员	杨×	黄×
	144.4	147.2	147.5
最大缓冲/°	134.2	139.6	137.1
变化幅度/°	10.2	7.6	10.4
着地点到最大缓冲时间/s		0.4	0.35

注;美国运动员参数来源于廖爱萍[1]

由表3可以看出:杨×身体重心水平速度的最大值和最 小值分别为10.14 m/s、9.17 m/s,差值为0.97 m/s;而 黄×分别为10.65 m/s、10.12 m/s,差值为0.53 m/s。由 此可知:黄×的重心水平最大速度比杨×的高,重心水平最 大和最小速度的差值比杨×的小,这说明,黄×在支撑阶段 的着地阻力较小,速度损失较小,着地缓冲阶段的技术要好 于杨×。

综上所述:杨×着地距离偏大,着地角偏小,缓冲距 离过大,大、小腿下压角速度较小,缓冲能力较差,使前支 撑阶段克服阻力的能力较小,造成了身体重心水平速度偏 小;黄×着地距离和着地角适宜,大、小腿下压角速度较 大,缓冲能力较好,其身体重心的水平速度较杨×大,但 是与美国运动员还存在一定的差距。因此可以得出:短跑 支撑过程中减小着地距离、增大着地角、较快的下压速度 以及较强的缓冲能力有利于提高身体向前运动的水平速度。

表3 身体重心水平速度的比较(单位:m / s) Table III Comparison between the Body Weight Horizontal Velocity (m/s)

	美国运动员	杨×	黄×
身体重心水平最大速度	144.4	10.14	10.65
身体重心水平最小速度	134.2	9.17	10.12
速度差值	10.2	0.97	0.53

#### 2.2.2 后支撑阶段影响水平速度的原因

后支撑阶段是支撑阶段的关键部分,因为后支撑阶段的 技术不仅直接影响到支撑阶段的时间还直接影响腾空时间。 如果后支撑阶段的技术较好就会产生一个较适宜的腾起角和 较大的腾起初速度,提高人体向前的水平速度。

在表4中后蹬角为后蹬结束瞬间,重心与着地支撑点连 线与跑进方向水平线的夹角。后蹬距离是指在后支撑阶段身 体重心沿水平方向移动的水平距离。由表4可知,杨×和黄 ×在后支撑阶段,后蹬角分别为61.8°和65.9°,均高于美 国运动员后蹬脚56.6°,根据生物力学原理,后蹬角过大, 将导致在后蹬过程中水平方向的分速度减小,垂直方向的分 速度增大,造成腾空时的抛物线过高,腾空时间增长。所以 建议杨×和黄×应尽量减小在后蹬离地瞬间的蹬地角,以提 高后蹬过程中的水平速度。

后蹬距离就是短跑过程中人体发力的主要工作距离,后 蹬时间是人体主要用力时间,运动员要在尽可能长的后蹬距 离中,用尽可能短的后蹬时间髋、膝、踝关节进行发力蹬 伸,使人体获得向前运动的速度。表4表明:美国运动员的 后蹬距离为0.73 m,杨×和黄×的后蹬距离分别为0.628 m 和0.545 m,与美国运动员相比较杨×和黄×的后蹬距离较 短,而他们的后蹬时间都较美国运动员长。从后蹬阶段身体重 心的水平速度的对比中可以发现,无论是黄×还是杨×在后蹬 阶段,水平速度与美国运动员相比较均相差很大。根据激光测 速与视频的同步中发现,后支撑蹬地过程是速度开始增加的过 程,所以后支撑的加速能力对于短跑运动员至关重要。总体而 言,杨×和黄×在后支撑阶段,身体重心水平速度与美国运动 员差距明显,主要原因是杨×和黄×在后蹬过程中支撑腿蹬伸 能力相对较差,导致后蹬距离短,后蹬时间较长,另外后蹬角 度较小也会造成一定的水平分速度降低,造成后蹬阶段身体水 平速度较低。

摆动腿应与支撑腿紧密配合,尽量快速摆动,只有加强 摆动腿每个动作的实用性,才能做到以摆促蹬,增加身体重 心的水平速度,提高短跑动作技术水平和运动成绩<sup>[5]</sup>。表4 表明,杨×在后支撑阶段的摆动腿角速度为591°/s,低于 黄×的631°/s。所以建议杨×进一步加快摆动腿摆动速 度,充分结合支撑腿的后蹬以及摆动腿的摆动,以提高在后 支撑阶段的水平速度。

表4显示:杨×的支撑时间和腾空时间为0.11 s和 0.13 s,时间比为1/1.182;黄×的支撑时间和腾空时 间分别为0.085 s和0.13 s,时间比为1/1.529;而美 国运动员的支撑时间和腾空时间分别为0.095 s和0.113 s, 时间比为1/1.189。从支撑时间和腾空时间的对比中可以看 出,杨×在单步周期中支撑阶段所占比重较大,且支撑时间 比美国运动员长。这一方面是由于杨×在支撑阶段的着地距 离偏大、着地角偏小使得克服阻力不足而造成的,另一方面 是由于其踝关节或小腿快速蹬伸力量能力较差所造成的。而 黄×在单步周期中腾空阶段所占比重较大,支撑时间较美国 运动员短,但是腾空时间较美国运动员长,这是由于黄×的 后蹬角大于美国运动员所造成的。

表4 后支撑阶段运动学参数对比

Table IV	Comparison	between	the	Kinematic	Parameters	in
Latter Sup	port Phase					

	美国运动员	杨×	黄×
后蹬角/°	56.6	61.8	65.9
后蹬距离/m	0.73	0.578	0.545
后蹬时间/s	0.044	0.07	0.055
身体重心水平速度/ (m/s)	14.6	10.14	10.65
摆动腿角速度 /(° / s)		591	631
支撑总时间/s	0.095	0.110	0.085
腾空时间/s	0.113	0.130	0.130

注;美国运动员参数来源于廖爱萍<sup>[6]</sup>

综上所述:杨×后蹬角较大、摆动腿的角速度较慢、踝 关节的角速度也较慢、后蹬距离偏短、后蹬时间偏长,导 致了支撑时间和腾空时间过长,不利于人体运动速度的提 高;黄×后蹬角也偏大,后蹬距离偏短、后蹬时间偏长, 但是其摆动腿的角速度较快,所以其身体重心的水平速度大 于杨×,但是与美国运动员相比仍存在较大差距。所以后 支撑阶段较小的后蹬角、较快的摆动腿角速度、合适的后 Шł

运动训练与人体利

蹬距离、较短的后蹬时间可以使人体获得较大的水平速度。

## 3 结论与建议

3.1短跑运动员的速度曲线随着跑动水平距离的增加呈现周期 性规律性变化,以每一个单步为一个周期,短跑运动员途中 跑水平速度在支撑离地结束后开始减小,到与地面接触到最 大缓冲阶段身体水平速度达到最低,最大缓冲结束后支撑腿 蹬地过程中身体重心速度开始增加,到蹬离地面过程中达到 身体水平速度的峰值。这说明短跑运动员在单步周期中,蹬 地过程是短跑过程中速度增加的过程,腾空到着地缓冲为短 跑过程中速度减小的过程。后支撑的加速能力对于短跑运动 员至关重要,所以建议短跑运动员在训练中注意短跑后支撑 阶段支撑腿蹬伸能力的培养。

3.2 通过与美国运动员的数据相比较,杨×相对着地缓冲过 程中,前支撑时间和前支撑距离相对长,且在前支撑阶段膝 关节缓冲能力相对较差,建议其在训练过程中注意前支撑过 程的缓冲能力,提高支撑腿踝关节积极主动"扒地"的能力。 黄×则是前支撑阶段时间较短,但是在距离上与美国运动员 相比较短,建议前支撑阶段在保证前支撑时间较短的情况下, 适当地提高后蹬距离。

#### 参考文献:

- [1] 廖爱萍. 对中外100m 优秀运动员途中跑技术的分析[j] 广州 体育学院学报,2003,23(2):44-47.
- [2] 柳方祥, 吴翠娥. 短跑落地缓冲时伸髋高摆扒地技术的生物力
  学分析[J]. 徐州师范大学学报(自然科学版),2004,22(2):
  60-62.
- [3] 刘洪俊. 短跑途中跑技术诊断与调控[J]. 北京体育大学学报, 2002, 25(4):164-265.
- [4] 刘子水. 短跑运动员落地缓冲阶段水平速度变化分析[j]. 内蒙 古师范大学学报, 2009, 38(3). 何爱红, 吴玮, 鞠年群. 短跑途中跑摆动腿动作技术对速度影响
- [5] 的分析[j]. 柳州职业技术学院学报, 2007, 7(1):94-98.刘绮红. 从短跑途中跑支撑与腾空时间之比谈蹬摆技术能力训
- [6] 练谈蹬摆技术能力训练[J]. 体育科技, 2006, 27(2): 41-43.

(责任编辑: 何聪)

# (上接第57页)

训练时,前两圈跟骑时的训练强度很难达到竞速赛的专项要求。

**3.4** 在短距离自行车专项训练中,专项耐力应当作为训练的 重点常抓不懈。采用科学准确的监测手段摸索项目规律,评 价专项耐力训练,改进训练方法,使训练强度与比赛更加贴 近,是提高1 km 计时赛和竞速赛成绩的核心。

# 参考文献:

- [1] 钟添发,田麦久,王路德等. 运动员竞技能力模型与选材标准[M]. 北京:人民体育出版社,1994: 140-141.
- [2] 李之俊,马国强,苟波. SRM系统在短距离自行车专项能力测试与评定中的应用研究[J]. 体育科研,2007; 28(4): 55-58.

- [3] Burke ER.(1996). SRM training system[J]. *Winning bicycling illustrated*, 150: 62.
- [4] [4]Ingersoll J. (19960. Just look who's using the SRM[J]. VeloNews, 25(10): 31-33.
- [5] Paton CD, Hopkins WG. (2001). Tests of cycling performance[J]. Sports medicine, 31(7): 489-496.
- [6] 张百鸣, 沈金康, 朱柏强. 场地自行车在直弯道之间的速度波动研究[J]. 体育科研, 2005; 26(1): 57-60.
- [7] 苟波, 李之俊, 严金慧等. SRM 功率自行车模拟场地原地起动 训练的研究[J]. 体育科学, 2007; 27(5): 52-56.

(责任编辑: 何聪)