



短跑跨栏摆动训练的运动传感器监测 和能力评价研究

刘伟民, 袁 鹏, 吴翠娥

摘 要: 田径短跨运动是许多竞技运动的基础, 是典型的周期性运动。运动员肢体的高速摆动能力是一个重要的专项能力。训练现场的实时量化的测试评价和监控, 对当前高水平运动训练有迫切需求。运动传感器检测技术的发展为运动训练的测试分析提供了有效的工具。本研究探讨了力学传感器对短跨运动员摆动训练的定量检测方法, 建立了训练过程的专项能力与力学参数之间的联系, 实现了运动能力的定量评价和训练效果的实时反馈, 初步创建了“信号回馈”式辅助训练的方法。

关键词: 田径训练; 加速度传感器; 力学测量; 能力评价

中图分类号: G804.6 文献标志码: A 文章编号: 1006-1207(2014)01-0054-04

Acceleration Sensor Monitoring of the Swing Training of Sprint Hurdlers and Performance Ability Evaluation

LIU Weimin, YUAN Peng, WU Cui-e

(Jiangsu Research Institute of Sports Science, Nanjing 210033, China)

Abstract: Sprint hurdle race is the basis of many other sports. It is a typical periodic sport. High-speed swing of athlete's arms is an important specific ability. The high-level training at present needs real-time quantitative evaluation and monitoring urgently. The development of motion sensor detection technology provides efficient means for the test and analysis of training. The research explores the way of using mechanical sensor to measure quantitatively athlete's swing training. It establishes the connection between the specific ability in the course of training and the mechanical parameters. It realizes the quantitative evaluation of performance ability and real-time feedback of training effect and creates tentatively an assistance training method of signal feedback style.

Key words: athletic training; acceleration sensor; mechanical measurement; ability evaluation

田径短跨运动是许多竞技运动的基础, 为提高短跑和跨栏运动员的成绩, 众多教练员摸索了很多训练方法^[1-3], 教练员对训练效果的经验和判断起了很好的决定性作用。

短跑和跨栏运动是典型的周期性运动, 其项目专项能力包含多种因素, 其中一个重要因素是运动员的肢体高速摆动能力。有研究者利用传感器技术在步态和部分运动项目分析中做过一些定量测试研究^[4-9]。然而, 对短跨专项训练现场的实时量化的测试评价和监控有大量的内容有待研究。

目前运动生物力学在运动技术分析方面主要以录像为载体, 分析周期比较长, 很难实时地运用到训练现场的监控研究中。传感器等力学检测手段对训练过程进行实时的检测跟踪和监控反馈, 是对训练过程的重要支持, 对当前高水平运动训练有迫切需要。

运动生物力学近年来的发展, 为从力学角度定量研究不同专项训练的强度、效果和运动能力评价方面提供了有效的方法和手段^[12,13]。特别是运动传感器具有体积小、重量轻、数据准确、实时性好、无人为误差的特点, 能在运

动员本体感受尚未消失的情况下, 及时客观地反馈测试和分析结果, 达到改进运动技术、监控训练效果的目的, 从而提高训练的有效性和针对性, 减少训练过程的盲目、过度疲劳和损伤, 促进训练效果和运动成绩的提高。

本研究通过加速度传感器这一有效的力学检测手段, 对田径运动进行力学分析, 可以举一反三地运用到其他运动项目的训练分析和量化评价中去。

短跑和跨栏, 依赖的是运动员的肢体强有力的高速交替, 实现人体的短距离高速移动。为了取得成绩, 运动员必须具有高频率的快速摆动能力。包括摆臂和摆腿, 如肩摆、髋摆、膝摆等。在专业训练中, 为了提高摆动能力运用了多种训练动作, 如, 小步跑、高抬腿跑、仰卧蹬伸、俯卧打腿、弓步摆臂、定步长高速跑、后踢腿跑等, 有时还利用橡皮带作为运动负荷进行高速摆动训练。

本研究是运用加速度传感器测量技术, 对田径短跨运动员的专项摆动训练中的频率、力度、幅度等进行实时定量检测, 从而对运动能力和训练效果进行现场评价和即时反馈的有益探索。

收稿日期: 2013-12-15

基金项目: 江苏省体育局课题 (TY11207)

论文说明: 2013年第16届全国运动生物力学学术交流大会墙报交流。

第一作者简介: 刘伟民, 男, 副研究员。研究方向: 运动生物力学, 运动技术分析。

作者单位: 江苏省体育科学研究所 南京 210033

1 研究方法

1.1 主要研究内容和思路

凭借肢体周期性的有力摆动, 达到快速身体移动的效果, 是田径短跨项目的重要特点。短跑和跨栏都是典型的周期性运动项目。短跑的每一复步、跨栏的各栏之间都表现出典型周期变化, 而在起跑和冲刺阶段体现的是周期节奏变化的技术特点。

本研究利用加速度传感器测量装置, 测试田径短跨运动项目的肢体周期性摆动训练过程, 对江苏省主要短跨队员的专项训练进行定量测试和监控研究。实时获得精确的力学参量, 为短跨项目运动训练提供定量的力学评价和参考。

短跨专项训练很多都是在一定力量负荷下的高速摆动, 负荷阻力有的来源橡皮带, 也有来自器械阻力或者克服自身惯性和重力。为客观评价运动员的能力状况, 监控训练效果, 本研究测试的是无附加负荷的周期性摆动动作, 利用加速度计便捷实时地获取摆动过程的力学参数, 反馈测试结果并实现动态的信息回馈。

1.2 研究对象

江苏省优秀田径短跨运动员, 男子 10 名, 身高: (187.5 ± 6.2) cm, 体重: (73.5 ± 4.1) kg, 年龄: (19.8 ± 2.9) 岁; 女子 3 名, 身高: (169.3 ± 0.6) cm, 体重: (57.7 ± 4.0) kg, 年龄: (24 ± 2.0) 岁。

1.3 测试方案与被测的训练动作

选取的训练动作 1. 小步高速跑、2. 中抬腿跑、3. 抬腿跑、4. 仰卧交替蹬伸、5. 俯卧交替打腿、6. 弓步高速摆臂, 如图 1。



图 1 短跨运动员 6 种肢体摆动训练动作及加速度计固定点
Figure 1 Sprint Hurdler's Six Swing Training Movements and the Fixed Point for Accelerometer

1.4 测试工具和测试方法。

测试工具为三维加速度传感器。量程: ± 16 g。采样频率: 400 Hz, 重量: <40 g。硬件由传感器单元和数据无线接收单元组成。

测试中, 被测肢体裹上绒面的弹性绷带, 传感器用“尼龙搭扣”(也叫“刺毛魔术贴”, VELCRO)粘贴在运动员的被测部位, 见图 1。传感器和运动肢体形成良好的随动, 从而精确地获取运动部位的加速度数据。

2 研究结果与分析

2.1 摆动动作力学数据

摆动频率: 肢体摆动快慢是短跨运动员的基本能力素质, 教练员会让运动员尽可能快速地摆动, 但究竟有多快? 两个运动员之间或运动员今天和昨天训练有多少差距? 凭经验并不能定量描述。传感器获取精确的摆动频率可作为评价短跨运动员快速摆动能力的定量指标。

摆动最大加速度: 加速度是与力量直接相关的物理量, 加速度的大小实际上反映了摆动力量的大小, 最大加速度是摆动强度的重要分析指标。

速度和幅度: 通过加速度的积分计算, 可以得到摆动过程的速度和摆动幅度, 这是控制训练质量和强度的重要数据。

屈伸加速度比率: 测试中发现, 运动员高速摆动的两个方向力度经常是不对称的, 可能与动作习惯或专项特点有关系, 这种差别是短跨运动的影响因素。在等动力学测量中常用屈伸力量比评价运动员力量素质能力。用加速度计在高速运动过程中测得力量屈伸比更能反映运动员在专项运动中表现出来的用力特点和力量素质。

高频持续能力: 运动员以自己最高速度摆动, 会出现疲劳, 随之动作减慢, 强度降低, 这种持续能力, 反映了短跨运动员高速下的专项耐力。这种耐力过去比较难以定量, 而随动加速度传感器实时记录了全部摆动过程的加速度曲线, 包括幅度和频率, 同时准确地计算维持高强度摆动的持续时间(高速耐力)。

通过实时的声响提示方式, 对运动员的训练过程实现信号回馈。当运动达到一定频率和幅度的时候, 电脑发出持续声响; 一旦运动员由于疲劳, 降低了摆动频率或幅度的时候, 该“鼓励声响”立即停止。帮助运动员进行高速耐力保持的训练。同时及时记录下高速摆动的持续时间, 作为训练的评价结果。

大家都知道, 基础力量是必须的, 然而快速力量才是短跨运动的精髓。本研究对短跨项目的高速周期性摆动能力的测试和辅助信号回馈训练, 能对影响专项能力的主要因素进行客观地评价。

2.2 短跨运动员专项训练中摆动的快慢(频率)

短跨运动员的肢体摆动速度(频率)是教练员、运动员最关心的运动能力之一。

本研究显示小幅抬腿跑(大腿抬高 30° 左右)的动作频率能达到平均 (203.8 ± 15.8) 次/分钟。随着抬腿幅度的增加, 频率逐渐降低。中等幅度(大腿抬高 50° 左右)摆动频率 (172 ± 15.4) 次/分钟。高抬腿跑(大腿抬高接近 90°)频率平均 (149.7 ± 14.3) 。仰卧伸髋摆动达 (153.7 ± 25.8) 次/分钟。俯卧屈膝交替打小腿达到 (176.2 ± 25.4) 次/分钟。弓步摆臂的频率和中幅抬腿跑的频率接近为 177.0 ± 23.0 次/分钟。

2013 年全国田径锦标赛 100 m 比赛中, 我国男子大约 46~48 步, 女子 50~52 步, 按照男女的成绩计算, 总平均步频男子大约在 134~139 次/分钟, 女子大约在 141~147 次/分钟。由于起跑阶段步频较慢的影响, 实际途中跑的最高频率比上限略高, 接近高抬腿的实测频率。



本研究显示,短跨运动员的动作频率和动作幅度在一定范围内呈现高度负相关($p<0.01$)。运动员的高摆动频率只在小幅摆动中表现出来,但是每个运动员的最高摆动频率并不是随着摆幅的减少而无限提高。当摆动幅度小到一定程度,无论怎样努力,摆动频率也是有限的,这时测得的摆动频率是该运动员所能达到的极限动作频率。

运动员的动作频率只能在相同动作幅度下才能互相对比。小幅抬腿跑(小步跑)反映短跨运动员个体的极限频率,高抬腿跑接近个人100 m实际步频。

有文献指出,个体的最高频率和运动员的神经类型、先天因素关系密切,力量素质更容易通过训练得到提高。

本研究测试发现,不同运动员在不同动作上摆动快慢的能力有显著差异,俯卧交替屈膝训练中运动员孙XX、刘X和许XX的摆动明显比其他运动员快,分别达到:213.2次/分钟、211.3次/分钟、197.0次/分钟。

2.3 短跨运动员专项训练中的最大速度

对于短跨运动员的专项摆动训练,除了频率,还有一个重要方面就是摆动过程中的最大速度。摆动频率保持不变的情况下,摆动幅度越大,摆动过程达到是速度就越大。通过加速度记录的曲线容易算出摆动的最大速度。实际上摆动的速度等于加速度对时间的积分。也就是:

$$v = \int_0^t f(a) dt$$

本研究计算了每个运动员连续4次摆动的最大速度平均值(见表1)。

表1 短跨运动员专项训练中肢体动作摆动最大速度(单位: m/s)
Table I Maximum Velocity of Sprint Hurdler's Arm Swing in Specific Training (m/s)

	高抬腿 小	高抬腿 中	高抬腿 腿大	仰卧 蹬伸	俯卧打 小腿	弓步 摆臂
平均	3.07	3.61	3.99	3.34	4.47	3.51
标准差	0.70	0.74	0.70	0.80	0.90	1.15

2.4 短跨运动员专项训练的摆动平均幅度

摆动的幅度是动作练习的基本参数。表2显示不同动作摆动在具体幅度上的量化差异。研究发现,作为监控和评价运动员动作的力学参数,摆动幅度在专项训练中应该有规范要求。摆动幅度可以通过加速度数据实时计算得到,也可以通过录像分析获取。加速度计的实时测试和信号回馈,实现了训练过程中动作幅度的精确控制,保证训练的质量。

表2 短跨运动员专项训练的摆动幅度(单位: m)
Table II Swing Scope of Sprint Hurdlers in Specific Training (m)

	高抬腿 小	高抬腿 腿中	高抬腿 腿大	仰卧 蹬伸	俯卧打 小腿	弓步 摆臂
平均	0.32	0.43	0.56	0.42	0.53	0.40
标准差	0.03	0.06	0.08	0.14	0.14	0.10

2.5 短跨运动员专项训练摆动的最大加速度

在原始的加速度曲线上,加速度变化的峰值大小,即摆动的最大加速度,出现在动作的转向时刻,由运动员超等长收缩的反方向爆发力制动形成。在没有外界撞击的折向中,转向越积极有力,加速度越大(峰值)(见表3)。

表3 短跨专项训练中的最大加速度(无撞击折向)(g或9.8m/s/s)
Table III Maximum Acceleration in the Specific Training of Hurdle Race (without hitting the hurdles and turning round) (g or 9.8m/s/s)

	高抬腿 小	高抬腿 腿中	高抬腿 腿大	仰卧 蹬伸	俯卧打 小腿	弓步 摆臂
平均	10.9	13.4	14.3	9.3	16.1	14.2
标准差	3.6	3.7	3.2	2.7	5.6	4.4

测试结果显示,爆发式用力,特别是超等长收缩制动(如鞭打动作),产生很大的加速度值。根据最大加速度的大小就能了解运动员的动作过程超等长训练效果。

脚是最有力的运动末梢。在大腿固定不动的情况下,小腿的交替往复蹬踢动作,踝关节处的折返加速度能达到 (16.1 ± 5.6) g。从队员之间的测试结果看,许XX、孙XX、许XX的俯卧屈膝摆动的爆发力比其他运动员大。刘X的弓步摆臂比较有力。

2.6 短跨运动员专项训练摆动加速度双向对比(屈伸比)

田径短跨专项训练中,两个方向摆动的用力不同,造成两方向加速度的比例不同。表4显示了是专项训练中,最大加速度在两个方向的比例。

在抬腿跑的动作中和地面撞击,形成较大的向上加速度。撞击加速度虽然峰值比较大,时间却较短,对速度的贡献不大。真正起作用的是持续用力对速度的贡献。

图2是孙XX俯卧屈膝动作的加速度曲线,显示向下蹬伸力量大于向上屈膝力量,动态屈伸比为0.69。

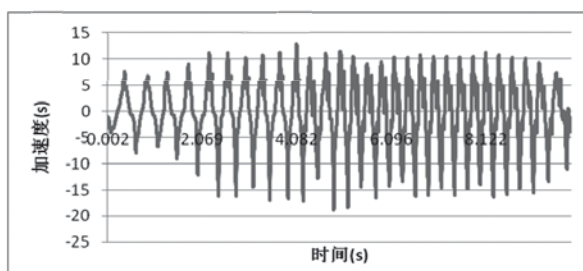


图2 孙xx 俯卧交替屈小腿的加速度曲线

Figure 2 Sun's Acceleration Curve of Bending Legs Alternately in Prone Position

弓步摆臂训练中,本研究定义屈伸比为向前摆臂屈和向后摆臂的最大加速度之比。大部分运动员在摆臂过程中向后比向前积极(见图4),然孙XX和许XX正好和大多数短跑运动员相反,其摆臂的前摆加速度大于后摆的加速度(见图3),她们俩向前摆动比向后的更加积极用力,是因为动作习惯,还是跨栏运动特点,需进一步测试分析。

2.7 短跨运动员专项训练高速摆动的持续能力

田径短跨运动员保持高速摆动的时间,是高速耐力的

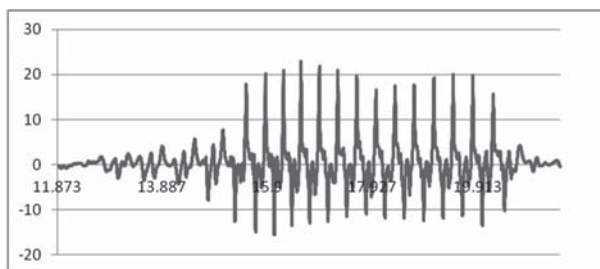


图 3 许 XX 弓步摆臂加速度前摆大于后摆

Figure 3 Xu's Bow Stance Arm Swing with Higher Acceleration in Forward Swing than That in Retral Swing

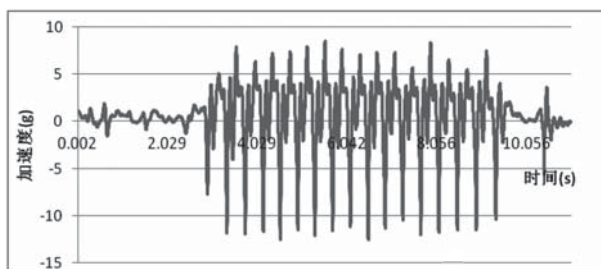


图 4 其他队员弓步摆臂加速度后摆大于前摆

Figure 4 Other Athletes' Bow Stance Arm Swing with Higher Acceleration in Forward Swing than That in Retral Swing

体现。在加速度计测试中,记录下动作过程中达到的最高平均频率,让运动员坚持保持高速大幅度运动。当运动员疲劳后其 3 次摆动平均频率或幅度达不到最高平均值的 70%,测试结束,其有效地高速运动时间,作为评价短跨运动员高速耐力,有效判断运动员高速摆动持续能力的依据。

测量运动员的高速耐力并实时反馈,可以有效刺激短跑跨栏运动员的高速保持能力的训练,提高后程的运动速度(见图 5)。

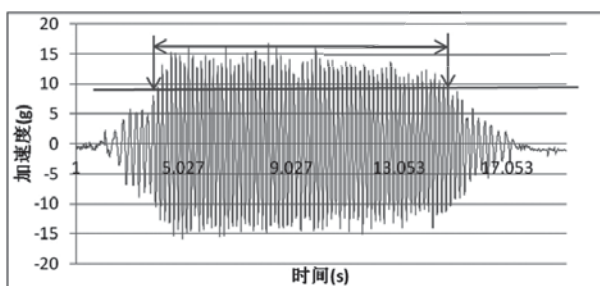


图 5 短跨运动员专项训练中摆臂的高速耐力测试

Figure 5 High-speed Endurance Test of Sprint Hurdler's Arm Swing in Specific Training

2.8 短跨运动员专项训练摆动能力的综合评价

短跨专项训练测试中,运动员在保证动作幅度的情况下,动作频率越大,专项能力越强。同一个运动员不同时间段的训练、不同运动员不同部位的训练之间的差异,可以评价训练的效果、运动员的进步情况,发现优势和薄弱环节,为训练提供一些参考。

3 结论

通过随动方式获取田径短跨摆动训练过程的加速度数据发现,江苏短跨队员孙 XX、许 XX 具有良好的膝关节高速伸屈力量;孙 XX 的腕部动态高速蹬伸力量相对不足;刘 X 的高速动态摆臂力量非常优秀。和其他运动员不同的是,孙 XX 和许 XX 的弓步摆臂的向前力度大于向后的力度,原因有待继续研究。

短跨专项训练中的最大加速度,是评价运动员超等长爆发力的直接指标。在较大幅度专项动作中,传感器精确获取个体极限频率,对判断运动员的高速专项素质有意义。加速度生物回馈训练,可随着运动员的动作频率或动作力度变化,在达到临界点时,以声响给出生物刺激信号,实现实时训练回馈控制和评价目的。

加速度计记录的高速动作的保持时间,评价短跨运动员的高速耐力有实际应用价值。

加速度计在高速动态状况下测得的力量屈伸比,较通常通过等动力测量设备测得的短跨运动员肌肉力量的屈伸比更接近比赛实际的专项力量,对评价运动员的专项力量素质有帮助。

对各运动员不同部位的动作的加速度测量和相关力学参数计算,可以发现部位上的优势环节和薄弱环节,实现针对性的训练改进。

本研究建立了训练过程的专项能力与力学参数之间的联系。

参考文献:

- [1] 盛懿钦.孙海平教练跨栏训练的手段与方法[J].体育科研,2013,34(4):36-38.
- [2] 刘芳,袁革.中外优秀男子100米运动员身体形态、步长、步频与最好成绩特征分析[J].成都体育学院学报,2012,38(8):59-62.
- [3] 刘艳.110米栏速度利用率研究[J].训练与竞赛,2010,(11):45-46.
- [4] P.Y.M. Chung;G.Y.F. Ng. (2012). Comparison between an accelerometer and a three-dimensional motion analysis system for the detection of movement[J]. *Journal of Physiotherapy*. Issue 3,Pages 256-259
- [5] Mingjing Yang;Huiru Zheng;Haiying Wang;Sally McClean;Dave Newell. (2012). iGAIT: An interactive accelerometer based gait analysis system. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. Issue 2,Pages 715-723
- [6] 李爽,等.基于加速度传感器的下肢运动信息获取方法[J].机电工程,2009,26(1):5-7.
- [7] Justin J. Kavanagha, Steven Morrison, Daniel A. James, and Rod Barretta. (2006). Reliability of segmental accelerations measured using a new wireless gait analysis system[J]. *Journal of Biomechanics*, 39(15):2863-2872
- [8] Rong Zhu; Zhaoying Zhou. (2004). A real-time articulated human motion tracking using tri-axis inertial magnetic sensors package[J]. *Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. June,12(2): 295-302

(下转第69页)



4 结论

4.1 等速肌力测试中的峰力矩角可作为运动性腘绳肌拉伤的敏感性评价指标和是否完全恢复的可靠评价指标。

4.2 制定适当比例的离心训练计划,将有助于预防运动中腘绳肌拉伤。

参考文献:

- [1] Woods C, Hawkins RD, Maltby S, et al. (2004). The football association medical research programme: an audit of injuries in professional football-analysis of hamstring injuries. *Br J Sports*, 38(1): 36-41.
- [2] Heidereich BC, Sherry MA, Silder A, et al. (2010). Hamstring strain injuries: recommendations for diagnosis, rehabilitation, and injury prevention. *J Orthop Sports Phys Ther*: 40(2):67-81.
- [3] Orchard J, Marsden S.L and Garlick D. (1997). Preseason hamstring

muscle weakness associated with hamstring muscle injury in Australian footballers. *AM.J.Sports Med*, 25(1): 81-85.

- [4] Camilla L, David L and Uwe Proske. (2004). Predicting hamstring strain injury in elite athletes. *Med. Sci. Sports Exerc*, 36(3): 379-387.
- [5] Bennell K, Wajswelner H, Lew P, et al. (1998). Isokinetic strength testing does not predict hamstring injury in Australian Rules footballers. 32(7): 309-314.
- [6] Lynn R. and Morgan D.L. (1991). Decline running produces more sarcomeres in rat vastus intermedius muscle fibres than does incline running. *J. Appl. Physiol.* 77(3):1439-1444.
- [7] Brockett C.L., Morgan, D.L and Proske U. (1993). Human hamstring muscles adapt to eccentric exercise by changing optimum length. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33(5): 783-790.
- [8] Silder A, Sherry MA, Sanfilippo J, et al. (2013). Initial and morphological changes following 2 rehabilitation programs for acute hamstring strain injuries: a randomized clinical trial. *J Orthop Sports Phys Ther*: 43(5):284-99.

(责任编辑: 何聪)

(上接第57页)

- [9] 钱朋安, 葛运建, 唐毅, 等. 加速度计在人体运动检测中的应用[M]. 计算机技术与应用进展, 合肥: 中国科技大学出版社, 2004. 632-636.
- [10] 郑伟涛, 韩久瑞, 葛新发, 等. 赛艇动力学测试系统的研制[J]. 武汉体育学院学报, 2001, 35(3): 87-89.
- [11] 钱朋安, 吴仲城, 葛运建. 体育训练用加速度测量装置的研究[J].

传感技术学报, 2003, (1): 13-15.

- [12] The Myotest unit is a small accelerometer that is slightly smaller than an mp3 player. <http://www.myotest.com/>
- [13] Functional Assessment of Biomechanics (F.A.B.) system. <http://www.biosynsystems.net/>

(责任编辑: 何聪)