



短跑运动生物力学

——运动学研究现状

黄达武, 余晓芳

摘要: 在回顾总结前人采用运动学测量方法在短跑运动中取得的成就的基础上, 认真分析了该领域研究中的不足, 并展望了今后的研究方向。

关键词: 短跑; 运动生物力学; 运动学

中图分类号: G804.6 文献标识码: A

文章编号: 1006-1207(2007)04-0065-04

Summary of the Sports Biomechanics-Kinematics Study on Sprint

HUANG Da-wu, YU Xiao-fang

(P.E.College, Taizhou College, Linhai 317000, China)

Abstract: On the basis of reviewing the achievement of kinematic measurement in sprint, the paper analyzes the deficiencies in this area and looks forward to the future researches.

Key words: sprint; sports biomechanics; kinematics

前言

自1887年美国的麦布理奇用24台照相机和自行设计的连续电子控制开关拍下奔跑中动物和人的连续图片, 到如今的高速摄影、摄像, 以及红外线、激光、雷达等运动学测量方法在体育中的广泛运用, 可以说运动学测量方法作为运动生物力学测量方法的一个分支在体育运动中的运用发展已较为成熟。同样, 在短跑运动项目的研究中, 为了揭示短跑运动的本质特征, 预测短跑运动技术发展的新趋势, 以及对短跑运动员做技术诊断等, 国内外短跑科研工作者通过多年的艰辛努力, 运用各种各样的运动学测量方法, 对短跑运动的发展做出了卓越贡献。笔者在回顾总结前人在此方面取得的成就的基础上, 分析了该研究领域中的不足, 并展望了今后的研究方向。

1 步频与步长

跑是一项单脚支撑与腾空相互交替、蹬摆结合的周期性运动项目。短跑就是要求在最短的时间里通过一定距离的极限强度运动。单脚支撑与腾空相互交替所表现出来的技术特征就是蹬摆配合下步长与步频的高度协调统一。评定一名短跑运动员技术的好坏, 步频与步长是最简单最直观的运动参数, 并且步长与步频也是影响跑速的两个最主要的因素(詹姆斯·海 1978)。步幅越大, 步频越高, 短跑成绩也就越好。因此, 如何通过增加运动员的步长, 提高运动员的动作频率来提高短跑运动员的跑速是各国教练员进行运动训练的总的指导思想。李诚志、黄宗诚(1986年)^[1]指出, 提高速度的途径有5种: (1) 保持步长不变增加步频; (2) 保持步频不变增加步长; (3) 步频步长同时增加; (4) 步长略减小但步频显著提高使两者之积仍有增加; (5) 步频略有降低但步长显著增加使两者之积仍有增加。然而步长与

步频是一种对立统一的关系, 尤其是在较高的跑速基础上, 步长与步频的矛盾性表现的更为突出, 即达到较高的跑速后, 步长的过分增加会引起步频的降低, 同样步频的过分提高也会导致步长的缩短。因此如何确定这一矛盾的主要方面是教练员运动员预想提高运动成绩所必须首先解决的问题。

日本体育科研工作者尾县贡等(1986年)^[2]认为, 合理的短跑训练应该在不降低步频的条件下力求加大步幅, 步幅是影响短跑成绩的主要因素。笔者认为步频的大小决定于运动员的天赋素质, 通过训练不会有太大改善, 因为使腿反复进行快速动作的能力与神经系统的功能是密切相关的, 即主要受遗传影响。很多学者(迪肖和尼尔逊 1964, 基拉丁和罗依 1974, 霍西柯蛙等 1971, 桑托等 1974, 霍伯格 1952, 斯宁和福斯 1970, 奥斯特豪特 1968)发现, 当跑速为 3.33~8.33m/s 时, 步长和跑速之间有显著的正相关。我国体育科研工作者李诚志与黄宗成(1986)^[3]、冯敦寿(1991)^[4]、李竹青与徐结(2001)^[5]对中外及亚洲和世界优秀运动员技术参数对比后认为, 步幅小、步长/身高指数小是影响我国和亚洲短跑水平的关键所在。张家正等通过建立跑速的回归方程也发现步幅是影响跑速的最重要因素。关于合理步幅的评价方法有步长/身高、步长/腿长。黄宗诚、李诚志(1986)研究表明美国优秀运动员身高/步长为 1:1.36, 而我国优秀运动员的比值为 1:1.29。也有研究称国外优秀运动员的步长比身高约为 1.4:1 而我国的优秀运动员比值为 1.3:1。布鲁克斯(1977年)报道过一组世界水平男子短跑运动员的步长为 2.13~2.59m。有人报道男子短跑最大平均步长为 1.14×身高, 1.17×身高加减四, 1.24×身高和 1.265×身高(福尔斯)。霍夫曼(1971)曾报道女子短跑运动员的步长为 1.15×身高或 2.16×腿长。

与日本尾县贡等人的观点不同, S·加夫尼(澳, 1990)^[6]认为, 步频是遗传的且无法加快的观点未必完全正确。他认为有计划有规律的训练能够导致步频的加快, 同

收稿日期: 2007-05-26

第一作者简介: 黄达武(1981-), 男, 助教, 主要研究方向: 体育教育训练学

作者单位: 台州学院 体育科学学院, 浙江 临海 317000



时与步长进行最佳组合。我国体育科研工作者王林等(1996)曾用实验证明,通过一定的手段对步频进行强化训练,可以使步频明显提高。苏联体育科研工作者江斯托姆也曾指出步频是影响短跑成绩最主要的因素,提高短跑成绩最有效的途径是发展步频。B·米哈里根泽(苏,1982)、奥佐林(苏,1986年)、拉尔夫·曼、R. Ballreich^[7]等认为,高级短跑运动员成绩的提高主要靠加快步频。道力阿江(1993年)对东京第三届世界田径锦标赛的研究结果表明,在百米最后阶段刘易斯的步长比伯勒尔小,但他的步频比伯勒尔高并最终获得胜利。斯宁和福斯(1970)阿特华特(1980)霍博伯格(1952)都发现,在较高的跑速中,步频是调节跑速的重要因素。对优秀运动员步频的报告有:布鲁克斯(1977)称优秀男子短跑运动员的步频为4.5~4.8,拉得福(1976)报道步频的范围为4.5~5.0。

关于步长与步频在短跑中哪个起决定作用还没有达成统一意见。有关研究称,当跑速小于8.5m/s时步长可能作用更大,在跑速超过8.5m/s时步频可能更重要。步长与步频是运动员技术、身体素质和形体条件等各方面因素的综合体现,无疑具有个体差异性。卡瓦纳(1979)声称每个运动员在特定的速度下都有最优步长。一味追求步幅或过高追求步频都是不对的。它们的最终结果是步幅和步频之间不能高度协调统一,导致技术动作变形,从而严重影响短跑成绩。那种通过中外优秀短跑运动员的个案技术分析所得出来的步长小是影响我国短跑运动水平的重要因素的结论并非完全正确。我们不能仅通过一般的数理统计来决定我国男子100m运动员速度能力落后于世界优秀选手的原因,并完全按照世界优秀选手的模式在训练中硬套,而忽视我国运动员的身体条件和个人特点(张青,1996)。应通过个体纵向或身体形态技术特征近似的亚洲高水平短跑运动员之间的对比找出差距所在,再寻找解决办法,这样会更具有客观性和代表性。

2 下肢运动学参数

2.1 髋的运动速度与幅度

现代短跑技术的特征是以髋为轴的高速摆动——平动运动(王宝成)^[8]。髋是人体加速的关键环节,髋动力是人的主要动力来源(关洁,朱谦1987)^[9]。对跑速起决定作用的是髋部伸肌的工作能力(J·瓦泽尔)^[10]。良好的送髋技术可以使跑的动作协调、放松、自然省力(李溢群1991年)。快速伸髋对跑速的影响远大于快速伸膝(王卫星1993年,关洁,陈霞明等2001)。黄宗成李诚志(1986)报道,摆动腿在着地瞬间积极伸髋可以减小前蹬制动作用。依藤章(1991年)对东京世界田径锦标赛的研究结果表明,在起跑和途中跑中髋关节的伸展速度越快,跑速越快。宫本庄(1993年)声称,通过积极伸展髋关节可以达到缩短支撑时间,减少身体重心速度损失的目的。王志强(1995年)^[11]报告,两大腿的剪绞速度及支撑腿伸髋的角速度是影响支撑阶段人体水平速度的主要因素。金发仓曾指出,提高我国短跑运动员支撑腿髋关节伸展速度与幅度对减小蹬地角、提高蹬伸能力和跑速有重要作用。

无疑,髋的伸展幅度与速度是衡量短跑技术动作水平高低的两个重要指标。高水平运动员髋的运动幅度与速度都明

显大于一般水平的运动员。因此运动员往往希望通过加大髋的伸展幅度,加快髋的运动速度来提高跑速。但过大伸髋及膝所获得的微小利益相对于此举导致的低效支撑时间过长、后继折叠不力、后蹬角过大等问题而言是得不偿失的(王志强2003年)^[12]。J·瓦克尔(1984)的研究结果也表明,速度快的运动员在整个支撑过程中髋关节角度变化的幅度比较小。另外,王志强(1997)通过对国内外优秀短跑运动员在着地瞬间髋角的对比发现,美国运动员着地时刻髋处于一种能够有效发力的状态(134°)。因此我们在试图通过加快运动员髋的运动幅度与速度来提高短跑成绩时,切记不可盲目过分,应根据运动学原理及其生理解剖特征来定。并非伸展的幅度越大越有利。

2.2 大腿的运动幅度与速度

现代短跑要求更突出摆动腿的技术,强调以摆促蹬、摆蹬结合(田径高级教程1994)。大量科学研究表明,产生较高跑速的原因是有力的摆腿而不是快速的蹬地(J·瓦泽尔)。并且有很多学者认为大腿运动的角速度及摆动幅度是衡量短跑技术的最好尺度(金原勇、阿江通良1985)^[13]。刘建生(1983)^[14]认为,当肌肉牵动人体某部分运动时,必须要同时牵引人体的另外一部分作相反的运动。因此只有摆动腿积极前摆,才能使支持腿迅速后划。金发仓曾指出,我国短跑运动员步频慢的主要原因是摆动腿速度慢,加快摆动腿前摆与下压速度并重视摆腿高度是提高我国短跑成绩的主要途径。关于摆动腿迅速上摆的作用,苏仕君认为高抬大腿能增加势能,有利于加快脚的扒地速度、拉大大腿后群肌肉以加长工作距离,增大步幅;吴太平(1980)声称,快速前摆大腿能对人体产生向前上的拉力,减少制动,使身体快速前移,缩短支撑时间,并带动同侧髋关节前移,从而增大步长。徐开春(1998)的研究结果表明,快速摆动大腿可以加大支撑腿对地面的压力,使支撑腿具有更大的势能,加快两腿的交换率,达到增加步速、加快重心前移的作用。王志强(2003)指出,摆动腿快速前摆对支撑阶段人体水平速度的保持和增加有着重要的意义。徐茂典(2003)认为摆动腿最大的摆动速度是影响支撑时间的关键,并直接影响途中跑步频和速度。缓冲期加快摆动腿的摆动速度能有效地加快重心的前移速度。

但是也有不同学者对上述观点持反对态度。刘建生(1983)从动力学角度出发认同快速摆腿的作用,但他认为,为了增大转动惯量不必强调大小腿充分折叠,也不必高抬大腿。依藤章(1991)对东京世界田径锦标赛的研究结果表明,在途中跑中大小腿的折叠程度、大腿高抬的角度与跑速无关。他认为在跑的过程中,没有必要故意抬高大腿,大小腿也应自然折叠,大腿前摆高度不是越高越好。有些运动员随着短跑成绩的提高,大腿前摆的高度有所下降。大小腿在何种高度范围内最好而不浪费肌肉的收缩力,无疑具有个体特征(陈有源1988,陈霞明2001)。

大腿摆动的幅度与速度对后蹬效果、身体重心的快速前移、支撑时间的缩短、髋关节的充分前送的积极作用已得到广大体育科研工作者、教练员、运动员的共同认可。虽然有些学者从动力学角度出发,认为大小腿没有必要充分折叠,也没有必要高抬大腿,但短跑是一项以速度为核心的运动项目,只从动力学角度出发为增大转动惯量而不要求大小腿的折叠与高摆,会影响整个下肢的动作速度,从而影



响身体重心的快速前移。因此,应根据动量矩守恒定律,要求大小腿充分折叠以减小转动半径,加快转动角速度。但有些学者提出,以大小腿折叠最小角来衡量折叠技术动作好坏的标准是不对的,应根据达到最小折叠角时支撑腿所处的状态来判断,强调两腿的协调配合,过早或过晚达到最小折叠角都是不对的。关于摆腿高度,陈有源和陈霞明的观点是有一定意义的,大腿并不是摆的越高越好,关键是要高抬的同时摆得远。在大腿摆至最高点后应积极主动的下压,以带动小腿迅速回摆,为积极着地和缩短腾空时间做准备(金仓发,宫本庄,吴太平,刘建生,张越军)。

2.3 支撑时期膝角的变化

对支撑时期膝角变化的研究主要集中在着地角、膝的缓冲程度及蹬离地面时膝角大小等方面。

2.3.1 着地角

冯雅芳(1992)指出,良好着地技术的关键是较大的着地角和较短的前蹬距离。Josephp. Hunter(2005)^[15]报道,增大着地角和减小着地距离有利于降低前蹬阻力。但是过大的前蹬角会影响步幅,并且对前蹬阻力的有利因素也正在研究中。因此我们不能为减小蹬地阻力而刻意增大着地角。

2.3.2 膝的缓冲程度

传统的后蹬理论观点认为,膝既是重要的缓冲装置,更是蹬伸时期力量的主要来源。这种理论观点认为,在着地瞬间,为了减小反冲制动作用,应主动积极地屈膝做缓冲;在身体重心移过支撑垂面后应快速伸膝蹬地,并应尽量充分蹬直髋、膝、踝三关节,以加大后蹬力量,获得更好的后蹬效果。短跑技术中最常见的错误之一是髋、膝、踝三关节没有充分蹬直(詹姆斯·海)。

然而随着塑胶跑道的出现,屈蹬技术的广泛采用导致短跑成绩取得巨大的进步,人们对传统的后蹬理论产生了质疑。甚至有人提出蹬地反作用力不仅不能成为短跑支撑阶段的动力,相反还是跑速减慢的重要原因(陈有源1985)。越是用力后蹬,跑速越慢,蹬地的作用只能或主要是使躯干或身体总重心获得向上的运动速度(陈有源1986)。很多学者都提出了髋是跑的动力来源(关洁,王志强,王宝成),膝关节只起坚固的支撑作用,维持身体重心一定高度。其工作特征是被动缓冲——随动伸展(王志强1997)。所以着地前到蹬伸前膝角的变化不能太大(蔡国钧1984)^[16]。杜少武(2001)^[17]对琼斯百米决赛技术分析指出其膝关节退让仅 5° 。张庆之(2002)的研究结果也表明,途中跑支撑阶段支撑腿缓冲过大不但是影响我国百米运动员蹬伸速度与摆动速度的重要原因,而且还造成支撑阶段缓冲过长,从而影响步频的进一步提高。K·维曼(1990)报告,为了使髋肌处于那种能使它们产生足够力量的伸展状态,膝关节不应该在支撑阶段屈得太多。此外,支撑腿膝角变化越小,人体重心垂直变化就越小,支撑过程人体水平速度就越容易保持和增加(王志强1999)。因此,支撑阶段膝角的变化可以判别短跑技术的合理性(蔡国钧1984)。

然而,短跑是一项包含着多种作用力作用的复合生物力学活动(李诚志1985),单单从转动力学和机械力学角度,要求膝关节变化幅度应该越小越好,以做稳固支撑的观点也是不科学的。李诚志(1983)通过对中美优秀运动员在支撑阶段支撑腿膝角变化的对比,发现美国优秀运动员

支撑腿缓冲幅度(27~50)明显大于中国优秀运动员(24~28)。黄宗成等(1986)也指出,我国运动员缓冲程度过小,没有达到膝关节最佳发力角度。廖爱萍(2003)对九运会和国外优秀运动员的对比研究同样发现,我国运动员膝关节缓冲明显不足,导致后蹬角过大。支撑腿的缓冲动作作为大腿后群肌拉长创造了前提条件(刘洪俊2002)^[18]。缓冲充分既可以加大前蹬距离,推迟后蹬时间,减小后蹬角,又可以充分拉长参与后蹬用力的肌群,为后蹬创造条件(黄宗成1986等)。缓冲实质是肌肉的退让性工作。有研究指出肌肉退让性工作力量最大(金原勇等1985),是向心收缩的1.42倍(杨静宜1992)^[19]。因此加大缓冲延长后蹬时间也有利于肌肉省力。

综上所述,为了让膝关节起稳固支撑作用,以利于摆动腿的快速前摆,带动身体重心快速前移,膝关节变化幅度宜小。但并非越小越好,应适当缓冲,充分牵拉大腿后群肌,以减小后蹬角及节省能量。

2.3.3 蹬离地面时膝角大小的问题

大家对后蹬离地时膝角大小问题的观点较为一致(150° ~ 155°)。因为不论是从现实屈蹬技术带来短跑成绩的显著提高,还是从理论上的解释都能让人信服。徐莹俊(2003)^[20]的肌电图实验显示,后蹬过程中,膝关节角度超过 155° ,肌肉活动强度明显下降。B·B丘巴等(1982)^[21]从生理解剖学上证实了膝关节从 164° 伸展到 168° 时髌踝关节间距离缩短的事实;刘建生(1983)通过三角函数得出,膝关节大于一定角度再伸展,其长度增加是很微小的;赵杰(1995)^[22]根据希尔方程认为,屈蹬技术没有发挥最大力量,有利于快速收缩,减少支撑时间。此外,苏仕君利用生物力学分析法,认为充分蹬直会减小肌肉拉力角,降低拉力矩,因而不利于蹬后的折叠摆动;刘建生从肌肉生理学角度认为,当肌肉达到最大收缩时其速度将显著下降,腿蹬伸的速度赶不上身体重心前移的速度,形成空蹬,造成时间能量的浪费。全凡超(1996)指出,屈蹬技术可以减小下肢转动半径,加快转动速度。下肢充分蹬直会导致股四头肌和股二头肌主动不足,影响折叠与前摆;骆建(1997)^[23]认为,蹬伸后段产生的有效反作用力小于人体阻力,人体作减速。

因此,传统的后蹬理论不再适合塑胶跑道上新的短跑技术要求,取而代之的是新的更经济实效的屈蹬式短跑技术。

2.4 小腿回摆速度的研究

为了减小脚着地时的制动作用,或解释着地瞬间身体重心速度非但没有下降反而还有所上升的原因,许多学者对小腿在着地瞬间是否应该进行快速回摆作了大量研究。有些学者认为,若脚只是消极被动的着地,因其相对于地面有向前的水平速度,所以只能产生制动阻力,人体肯定做减速运动。但如果大腿积极主动下压,小腿迅速回摆,带动脚做“回拉扒地”式着地,脚相对于地面的速度可能是向后的,则会产生向前的反作用力,成为动力。(刘建生,吴太平等1984,金原勇等,张淑敏,冯雅芳1992,刘洪俊2002,杜少武2004)^[24]。Josephp. Hunter(2005)认为,积极着地技术能够降低脚的着地速度,减小前蹬距离从而减小制动力。依藤章也曾经提出,提高跑速的关键是小腿的回摆速度。因此,摆动腿在着地瞬间大腿应积极下压,小腿做向后的加速运动(霍斯凯森)。判断摆动腿后期动作合理性的标准是小腿在脚着地前的后屈速度(李诚



志 1986, 廖爱萍 2003)。孙为民 (2002)^[25]通过实验证实了小腿快速回摆对提高跑速的积极作用。但也有学者认为, 过分追求脚向后的速度大于或等于人体质心向前的速度而刻意进行的小腿后屈动作是不对的(蔡国钧)。陈有源从转动力学的观点认为, 通过支点的反冲力不可能成为阻力, 因此小腿的快速后屈动作是错误的。

综上所述, 不同学者从不同角度研究的结果是不同的, 甚至是相反的。尽管还没有研究报道有优秀运动员脚的向后速度大于或等于人体质心速度, 但大量的研究结果证明, 优秀运动员的小腿后屈速度大于一般运动员的速度。因此, 尽量减小脚相对于地面的速度是短跑运动员努力的方向。同时我们也要认识到, 短跑是一项肢体环节高度协调的运动项目, 各环节的运动应视为一个系统, 在其它环节运动没有达到一定要求之前过分追求小腿的回摆速度会导致整个系统的破坏, 从而影响跑速。

2.5 踝关节的运动研究

在大量研究结果表明膝关节并不是短跑主要的动力来源和缓冲装置后, 有学者提出了踝关节是短跑的主要缓冲装置(王忠信 1983)^[26]。金原勇等(1985)声称, 离地时有意识地充分伸展踝关节对加大后蹬力量是十分有利的。骆建等(1995)的研究结果也表明, 踝关节肌肉力量的相对大小和通过训练使踝关节肌肉收缩力量提高, 决定着人体在着地时缓冲时间的长短和速度的快慢。因此, 踝关节的运动幅度和速度也是评定短跑技术好坏的重要指标。

3 小结

前人在此领域取得了辉煌的研究成果, 但笔者认为在该领域研究中还存在的一些不足: (1) 在运动学在短跑领域广泛运用的同时, 动力学及肌电学在此方面所做的贡献不足, 这也从侧面反映了我们研究手段的单一性。因此, 在今后的研究中我们应将运动学、动力学、肌电学结合起来用, 这样我们不仅能观察到表面的运动学特征, 也能解释运动学特征的原因。(2) 大多数研究都只注重下肢局部的运动学特征, 没有从整体上将人的各部分运动作为一个运动体系来研究, 这也是我们今后的重点研究方向。(3) 大多数学者选取的研究指标都是下肢的运动学参数, 从而导致了已确认的事实(例如新的短跑技术——屈蹬技术)仍有大量的重复性研究, 这应该说是极大的浪费, 也说明了我国广大体育科研工作者是各自为政, 没有发挥举国体制的优势, 这也是我们今后做研究时应特别注意的问题。

参考文献:

- [1] 李诚志, 黄宗成. 我国优秀百米运动员途中跑技术存在问题的初步研究[J]. 四川体育科学学报, 1986, (3, 4): 16~19.
- [2] 尾县贡, 栗原崇志, 关冈康雄; 钱仲炎, 杨宏祥. 下坡跑是短跑训练的一种有效手段[J]. 上海体育学院译报, 1986, (3): 15~19.
- [3] 黄宗成, 李诚志. 百米技术——缓冲与后蹬[J]. 四川体育科学学报, 1986, (3, 4): 20~24.
- [4] 冯敦寿. 中国男女短跑优秀运动员百米跑成绩进展与速度、步

- 频、步幅追踪分析[J]. 体育科学, 1986, 6(3): 73~79.
- [5] 李竹青, 徐估. 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.
- [6] S·加夫尼; 周海根. 100 米短跑加速阶段的主要特点[J]. 上海体育学院译报, 1991, (2): 21~23.
- [7] R.ballreich. Model for estimating the influence of stride length and frequency on the time in sprinting events, Paavo V Kommiled, Biomechanics V-B, 208-222.
- [8] 王保成. 短跑运动员不容忽视的专项力量练习[J]. 田径指南, 9(5) 23~26
- [9] 吴洁, 杨俊娃. 髋部动作对现代短跑技术作用的研究[A]. 中国体育科学学会. 第六届全国体育科学大会论文摘要汇编(2) [M]. 武汉: 中国体育科学学会, 2000, 214~215.
- [10] J·瓦泽尔; 余国旗. 跑的技术训练[J]. 上海体育学院译报, 1985(4): 9~15.
- [11] 王志强, 郭强, 肖建国等. 对短跑专项力量特点及其部分专门力量练习的分析研究[J]. 体育科学, 1999, 19(5): 48~51.
- [12] 王志强, 吴飞, 李清华等. 对短跑途中跑支撑阶段摆动技术机制研究[J]. 北京体育大学, 2003, 26(1): 127~129.
- [13] 金原勇, 阿江通良; 钱仲炎, 杨宏祥. 从力学上探讨合理的短跑技术[J]. 上海体育学院译报, 1985, 5, 1~8.
- [14] 刘建生. 运用生物力学分析跑的技术[A]. 李思文. 田径文集(第一分册) [M]. 四川: 成都体育学院, 47~50.
- [15] Josephp. Hunter. Relation Ships Between Ground Reacting Force Impulse and Kinematics of Sprint- Running Acceleration[J]. JOURNAL OF APPLIED BIOMECHANICS, 2005 (21): 31-43.
- [16] 蔡国钧. 短跑技术及处理理论初探[J]. 江苏体育科技, 1984, (11): 12~19.
- [17] 杜少武, 吉娜薇, 徐国根等. 琼斯百米决赛技术分析[J]. 北京体育大学学报, 2001, 24(4): 573~574.
- [18] 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): 561~563.
- [19] 杨静宜, 赖柳明. 肌肉离心收缩研究现状综述[J]. 体育科学, 1991, 11(6): 48~51.
- [20] 徐萱俊. 运用现代科学技术信息放大百米速度素质功能[J]. 广州体育学院学报, 2003, 23(2): 48~50.
- [21] B·B 丘巴; 何志敏. 短跑蹬地的生物力学[J]. 上海体院译报, 1982, 5~10
- [22] 赵杰. 后蹬式与屈蹬式短跑技术分析[J]. 武汉体育学院学报, 1995, (1): 63~65
- [23] 骆建, 王全会, 吴向明等. 对短跑途中跑着地缓冲技术的生物力学研究[J]. 成都体院学报, 1995, 21(1): 29~35.
- [24] 孙为民, 孙守正. 改进 100m 途中跑着地技术的实验研究[J]. 首都体育学院学报, 2002, (3): 48~51.
- [25] 王忠信. 短跑运动的生物力学研究介绍[A]. 李思文. 田径文集(第一分册) [M]. 四川: 成都体育学院, 51~53.
- [26] 杜少武, 吉沙丽, 詹晓梅. 跑步动力阶段划分的若干问题探究[J]. 北京体育大学学报, 2004, 27(11): 1584~1585.

(责任编辑: 何 聪)