

高水平男子短跑运动员步长和步频的评价标准与发展规律

姜自立¹, 李 庆¹, 邓 晖²

(1. 清华大学 体育部, 北京 100084; 2. 长沙学院 体育部, 长沙 410003)

摘要:采用文献资料法、数理统计法、录像分析法和专家访谈法,对100 m运动中步长与步频的影响因素及其内在联系、步长与步频合理比例的评价指标,以及短跑训练中步长与步频的发展规律进行分析和讨论,得出如下结论:运动员的腿长、触地角度和驱动力量是步长与步频相互影响和制约的调节变量;腾起角度和着地角度分别为50°—55°和90°、触地时间和腾空时间分别占步频时间的40%和60%、步长指数与步频指数分别达到1.24和8.28或以上,是评价步长与步频及其比例合理性的重要标准。在短跑训练实践中,教练员应使青少年运动员的步频在9—15岁阶段得到充分发展;15岁以后,教练员应在运动员固有动作频率的基础上,重视步长的发展;当步长指数达到1.24或以上后,教练员应该在保持运动员步长稳定的前提下,再次提高步频。

关键词:100 m; 步长; 步频; 影响因素; 评价标准; 发展规律

中图分类号: G822.1

文献标志码: A

文章编号: 1008-3596(2016)03-0064-09

1 问题的提出

步长与步频及其比例是决定短跑成绩和评价短跑技术经济性的重要指标。在数学上,“跑速=步长×步频”是一个非常简单直观的公式,在保持其中一个变量稳定的情况下,步长或步频的增加都可以提高速度。然而,在训练实践中,步长与步频却是两个相互影响和制约的变量,一个变量的增加,必然会引起另外一个变量的减少^[1]。有研究认为,步长是速度增加的主导变量^[2-3],但也有研究表明,步频才是速度增加的主导变量^[4]。因此,100 m运动中步频与步长及其比例成为了国内外学者和教练关注和争论的热点问题。此外,在短跑训练实践中步长与步频的发展顺序问题也一直困扰着许多教练员。

本文试图从生物学和动力学的视角对步长和步频的影响因素进行分析,以厘清步长与步频相

互影响和制约的调节变量,并以此为基础,制定评价步长与步频比例合理性的标准,然后再以步长和步频的影响因素及评价标准为依据,对训练实践中运动员步长和步频的发展规律进行梳理和总结,以期为短跑训练实践提供参考。

2 步长与步频的影响因素及其调节变量

在短跑训练实践中,步长与步频及其比例问题之所以争论不休,原因在于没有厘清步长与步频相互影响和制约的调节变量。步长的大小或步频的快慢属于运动能力范畴,需要从生物学视角进行分析。而步长与步频之间的比例则属于运动技术范畴,应该从动力学视角进行分析。

2.1 影响步长和步频的生物学因素

从生物学角度来看(图1),步长主要取决于运动员的腿长、腿部力量和髋关节的柔韧性。下肢越长、髋关节活动范围越大、腿部力量越

收稿日期: 2016-01-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(A020503)

作者简介: 姜自立(1983—),男,湖南宁乡人,田径一级教练,在读博士,研究方向为短跑训练理论与实践。

强, 运动员的步幅就越大; 步频主要取决于大脑皮质运动中枢的灵活性和各中枢间的协调性, 以及快肌纤维的百分比及其肥大程度。神经过程的灵活性和协调性越好、快肌纤维数量越多及比例

越高, 步频越快。因此, 加强运动员腿部力量、髋关节柔韧性、肌肉放松能力的训练, 尤其是加强神经—肌肉间协调能力的训练, 能使运动员的步长和步频得到有效的发展。

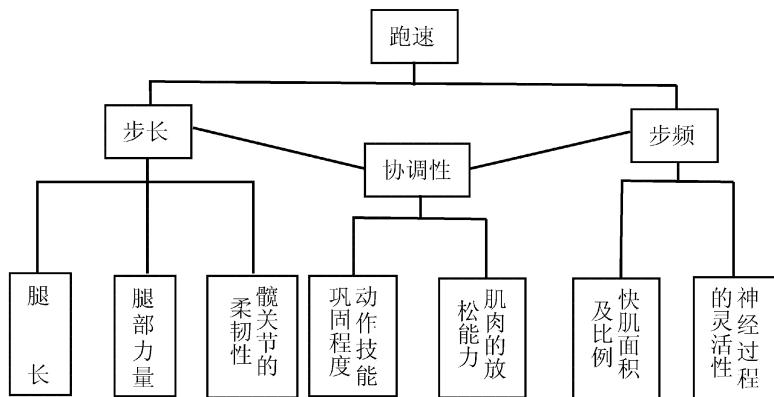


图 1 影响步长与步频的主要生物学因素^[6]

从生物学视角对步长和步频的影响因素进行分析, 可以为短跑运动员选材及步长和步频的专业练习提供理论依据。然而, 此分析方法并不能直观全面地反映出步长与步频之间的相互影响和制约关系。

2.2 影响步长和步频的动力学因素

从动力学角度分析, 步长主要由蹬伸距离、腾空距离和着地距离组成(图2)。蹬伸距离是指支撑脚触地点与身体重心间的水平距离, 主要由下肢长度和腾起角度决定; 腾空距离是指支撑脚蹬离地面瞬时至摆动腿触地时身体重心移动的水平距离, 主要由驱动力量和腾起角度决定; 着

地距离是指身体重心与摆动腿触地点间的水平距离, 主要由着地角度和腿长决定。步频主要由触地时间和腾空时间组成。触地时间是指运动员在跑动中摆动腿接触地面瞬时至支撑腿腾离地面时所历时间, 主要由制动时间和驱动时间决定。其中, 制动时间是指支撑腿触地并产生与运动方向相反的阻力瞬时至产生与运动方向相同的助力时所历时间, 主要由腿长和着地角度决定。驱动时间是指支撑腿产生与运动方向相同的助力瞬时至腾离地面时所历时间, 主要由驱动力量和腾起角度决定。腾空时间是指运动员从腾起瞬时至落地时所历时间, 主要由腾起角度和驱动力量决定。

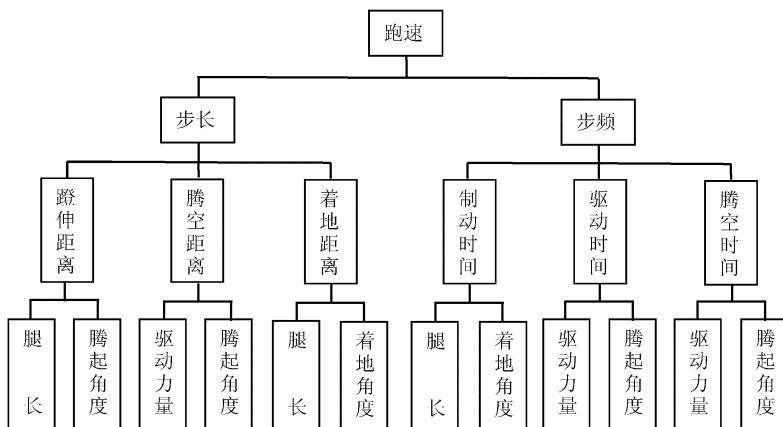


图 2 影响步长和步频的动力学因素

2.3 步长与步频的调节变量

由图3可知，蹬伸距离对应的是驱动时间，着地距离对应的是制动时间，腾空距离对应的是腾空时间。进一步分析可知，同时影响制动时间和驱动时间（步频）、蹬地距离和着地距离（步长）的因素有腿长、触地角度（腾起角度和着地角度）和驱动力量；同时影响腾空时间（步频）和腾空距离（步长）的因素为腿长、触地角度（腾起角度和着地角度）和驱动力量。由此可见，步长与步频相互影响和制约的调节变量为运动员

的腿长、触地角度（腾起角度和着地角度）和驱动力量，即在运动能力既定的情况下，腿长、触地角度和驱动力量的改变必然会使步长和步频之间出现此消彼长的变化。因此，在短跑训练实践中，若想在不降低步频的前提下增加步长，必须增加腿部力量，即在相同的触地时间内产生更大的动作冲量；若想在不降低步长的同时增加步频，同样需要腿部力量的增加，即在更短触地时间内产生相同动作冲量。

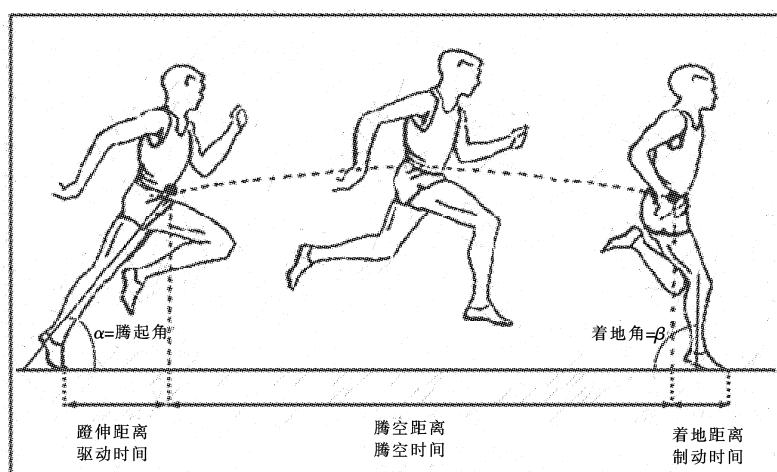


图3 步长与步频的内在联系图

综上所述，从动力学的视角对步长和步频的影响因素进行分析，不仅有助于我们厘清步长与步频之间相互影响和制约的关系，也为步长和步频的训练及其评价提供了理论依据。

3 步长和步频合理比例的评价标准

步长与步频及其比例的评价标准是短跑训练实践的重要指南。运动员的腿长、驱动力量和触地角度是步长与步频相互影响和制约的调节变量，调节变量的改变必然会引起步长和步频同时发生变化。因此，腿长、驱动力量和触地角度可作为制定步长与步频比例合理性评价标准的重要依据。

3.1 腾起角度与着地角度

3.1.1 腾起角度

“腾起角度”是指运动员支撑腿腾离地面时身体重心的腾越方向与水平方向的夹角（图3）。从动力学视角来看，腾起角度的改变既会影响蹬伸距离，也会影响腾空距离，步长由蹬伸距离、

腾空距离和着地距离决定，因此，腾起角度的变化会对步长产生影响；另外，腾空距离与腾空时间紧密相关，腾起角度对腾空距离的影响必然会引起腾空时间的改变，步频由触地时间和腾空时间决定，因此，腾起角度的变化也会对步频产生影响。综上，腾起角度可以作为评价步长与步频合理性的重要依据。

在跑动过程中，运动员的机械效率在很大程度上由身体姿势决定^[6]。研究表明，当腾起角度约为45°时的身体姿势最有助于运动员克服重力、充分“蹬伸”，产生最大的水平驱动力，以推动运动员迅速摆脱静止^[7]；进入途中跑阶段后，运动员需要逐渐抬高上体，腾起角度也随之增加，当腾起角度达到50°—55°时，最有利于运动员完成“伸髋”动作，同时产生一个与地面作用力大小相等且方向相反的驱动力，有效地推动运动员向水平方向位移^[8]。研究表明，腾起时的垂直速度是对跑速影响最大的“负面因素”^[9]。若腾起角度过大，就会产生垂直方向的动作冲

量, 从而产生过大的垂直速度, 增加腾空时间, 导致步频的降低, 且不会增加步长。如果腾起角度过小, 则不利于髋部屈肌和股后肌群的发力。

3.1.2 着地角度

“着地角度”是指运动员摆动腿落地时速度方向与水平方向的夹角(图3)。着地角度的变化会影响着地距离, 从而影响步长; 同时, 着地角度的变化也会影响制动时间, 触地时间由制动时间和驱动时间构成, 步频由触地时间和腾空时间决定, 因此, 着地角度的变化也会对步频产生影响。可见, 着地时间也可成为评价运动员步长和步频比例合理性的重要指标。

在100 m运动中, 运动员为了增加步长往往会选择将摆动腿“前伸”, 而该动作会使摆动腿的触地点远离身体重心, 从而产生“制动力”, 制动力是与运动方向相反的阻力, 因此会造成运动速度的下降^[10]。同时, 触地时间由制动时间和驱动时间组成, “制动力”越大, 制动时间就越长, 触地时间的增加, 必然会降低运动员的步频。此外, “制动力”还是增加运动损伤风险的重要诱因。研究证实, 优秀短跑运动员的制动时间明显短于一般短跑运动员^[11]。当着地角约为90°时, 制动阶段与驱动阶段的比例约为40%和60%, 跑步的经济性最强^[12-14]。当着地角小于90°时, 触地点就会远离身体重心, 产生“制动力”, 降低水平速度, 同时增加触地时间, 降低动作频率。而当着地角大于90°时, 会造成蹬摆效率降低, 驱动力量减小, 步长缩短, 步频增加。步频过快会导致肌肉紧张, 磷酸原消耗过快。总之, 在100 m运动中步长的增加不应来自“前伸”, 而应依靠驱动力的增加^[15]。

以腾起角度和着地角度作为评价步长与步频合理性的标准, 能适用于不同水平的短跑运动员, 且直观简单, 尤其可作为评价青少年短跑运动员步长和步频合理性的重要指标。

3.2 触地时间与腾空时间

在一定范围内, 触地时间越长, 产生的驱动力量越大, 驱动力量的增加会增加运动员的腾空距离, 增加步长。与此同时, 腾空距离增加, 腾空时间就会增加, 也必然会导致步频的降低。由此可知, 触地时间与腾空时间的比例充分反映了步长和步频的合理性, 可作为评价步长与步频比例合理性的重要指标。

Coh等人研究表明, 优秀短跑运动员在

100 m运动中的平均触地时间为80—85 ms, 腾空时间为120—125 ms^[12,16], 触地时间和腾空时间分别占整个步频时间的40%和60%。其中, 制动时间和驱动时间分别占触地时间的40%和60%, 优秀运动员的制动时间明显少于一般运动员^[12]。值得注意的是, 在100 m跑的不同阶段, 触地时间和腾空时间之间的比例是不断变化的。在起跑加速阶段, 运动员以“后蹬”技术为主, 触地时间与腾空时间的比例约为2:1, 即触地时间约占整个步频时间的67%, 腾空时间约占整个步频时间的33%^[17]; 在最大速度阶段, 运动员以“伸髋”技术为主, 触地时间逐渐减少, 腾空时间逐渐增加, 两者之间的比例变化为1:1.3—1:1.5, 即触地时间仅占整个步频时间的40%—45%, 腾空时间约占55%—60%^[17]。

以触地时间和腾空时间作为评价步长与步频合理性的标准, 能准确反映出运动员步长和步频的比例, 但该评价模式的检测和评价过程较为复杂, 需要大量的仪器设备和科研人员, 操作难度较大。

3.3 步长指数与步频指数

运动员的下肢越长, 步长越大, 但下肢越长, 转动惯量也越大, 角速度就会越小, 步频越慢, 反之亦然。可见, 下肢长度是影响运动员步长与步频及其比例的重要参数。在前期研究中, 以运动员的腿长为依据对理想步长和步频进行推算的公式主要有三种:

(1) 20世纪70年代, 美国著名学者詹森-弗希尔提出: “适宜步长=身高×1.17+10 cm”^[18]。依据詹森-弗希尔的计算公式, 男子100 m史上排名前9(以下简称“Top9”)运动员的理想步长应为2.23 m。事实上, Top9运动员在创造个人最好成绩时的实际步长为2.27 m, 两者相差4 cm。Top9运动员平均用44.05步跑完100 m全程, 如果每步相差4 cm, 100 m相差1.76 m, 对于100 m这样一个决胜于毫厘之间的项目而言, 近0.2 s的差距是非常巨大的。可见, 詹森-弗希尔提出的适宜步长计算公式已不符合当今短跑运动实践的发展。

(2) 1995年, Donati提出了“理想步长=1.1×(100 m/腿长×2.60)”的计算公式^[12]。按此公式进行推算, Top9运动员的理想步长应为2.41 m。显然, Donati提出的理想步长计算

公式与运动员的实际步长 (2.27 m) 之间存在显著差距, 参考意义不大。

(3) 1971年, Hoffman 等人对 56 名优秀运动员的步长和步频间的线性关系进行了分析, 提出了“理想步长=平均步长/身高 ≥ 1.14 , 理想步频=平均步频 \times 身高 ≥ 8.1 ”的评价标准^[19]。该公式不仅充分考虑了运动员的个体差异性, 而且还可以与时俱进地反映出世界优秀短跑运动员的步长指数与步频指数, 因此, 自提出以来就成为了短跑训练实践中应用最为广泛的步长和步频计算公式。值得注意的是, 该评价指标主要适用于高水平短跑运动员, 而对青少年运动员或水平

较低的运动员参考意义不大。

本文根据 Hoffman 提出的公式, 对 Top9 运动员在创造个人最好成绩时的步长指数和步频指数进行了计算(表 1)。结果显示, Top9 运动员在创造个人最好成绩时平均用 44.05 步完成 100 m 比赛, 平均步长为 2.272 m, 步长身高指数为 1.239; 平均步频为 4.519 Hz, 步频身高指数为 8.278。因此, 步长指数达到 1.239 或以上, 步频指数达到 8.278 或以上, 是评价优秀短跑运动员步长与步频比例合理性的重要标准。

表 1 Top9 运动员创造个人最好成绩时步长指数和步频指数一览表

运动员	最佳成绩/s	身高/m	总步数/步	平均步长/m	步长/身高	平均步频/Hz	步频 \times 身高
博尔特	9.58	1.96	40.92	2.444	1.246	4.271	8.371
布雷克	9.69	1.80	45.65	2.190	1.217	4.711	8.479
盖伊	9.69	1.80	45.94	2.177	1.209	4.740	8.533
鲍威尔	9.72	1.90	43.66	2.290	1.205	4.491	8.534
加特林	9.77	1.85	42.90	2.331	1.260	4.390	8.123
卡特	9.78	1.70	44.95	2.227	1.310	4.596	7.813
格林	9.79	1.76	45.50	2.198	1.248	4.647	8.179
贝利	9.84	1.85	44.10	2.267	1.225	4.481	8.291
刘易斯	9.86	1.88	42.91	2.330	1.239	4.351	8.181
均值	9.74	1.83	44.05	2.272	1.239	4.519	8.278

事实上, 在 100 m 跑的不同阶段, 步长与步频始终处于不断变化和组合中。图 4 显示, 在加速阶段, 世界优秀短跑运动员的步长约由第 1 步时的 1.09 m 提高到第 11 步时的 2.10 m, 而步频则稳定在 4.12 Hz 左右; 在转换阶段, 速度的增加源于步长和步频的同步增加, 步长约由 2.10 m 增加到 2.35 m, 步频约由 4.1 Hz 提高到 4.8 Hz; 在最大速度阶段, 步长和步频略有增加, 二者达到最佳组合; 在减速阶段, 随着磷酸原的耗竭, 能量代谢以糖酵解为主, 乳酸的堆积导致步频急剧下降, 运动员通过步长的增加来弥补步频下降引起的速度损失。

4 短跑训练中步长和步频的发展规律

在一定程度上, 速度的发展水平取决于步长和步频的发展水平, 而步长和步频的发展受到身体素质的发展规律、能量代谢特征和动力学原理等因素的影响。因此, 在短跑训练实践中, 根据

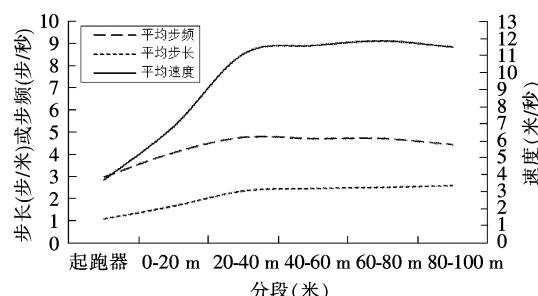


图 4 世界优秀男子运动员 100 m 分段速度与步长和步频变化关系图

生物学、能量学和动力学的特点安排训练是步长和步频得到充分发展的基本前提。

4.1 生物学规律对步长和步频发展顺序的影响

从生物学规律来看, 身体素质的发展具有阶段性, 即在不同的年龄阶段各项素质的增长速度不同。在生理学中, 一般把身体素质增长速度快的年龄阶段叫做“增长敏感期”。在增长敏感期

内对运动员的某项素质进行针对性的训练, 有助于获得最佳的训练效果。从生物学角度分析, 步频主要取决于中枢神经系统的灵活性和各中枢间的协调性, 以及快肌纤维的百分比及其肥大程度。而当外部阻力较小时, 动作频率主要取决于神经中枢的灵活性和协调性, 即神经系统对主动肌、协同肌和对抗肌间的调节能力。研究表明, 9—15岁阶段是协调性发展的敏感期^[20]。在运动中, 协调性主要体现在平衡感、节奏感、空间感、肌肉本体感觉以及对声音和视觉信号的反应能力等方面^[21]。因此, 在此阶段对上述素质进行针对性训练有助于儿童少年运动员的步频得到充分的发展。值得注意的是, 儿童少年阶段的训练目标是为高水平训练打下坚实的基础, 因此此阶段在突出身体协调性训练的同时, 还应重视全面的身体训练和正确的专项运动技术能力的培养。

表2 世界优秀男子100 m运动员步长与步频演化规律一览表

研究者	<i>n</i>	世界纪录/s	成绩/s	身高/m	步长/m	步长指数	步频/Hz	步频指数
Hoffman ^[19] (1971)	56	9.95	10.50	1.80	2.05	1.140	4.745	8.541
Shinabarger ^[23] (2000)	11	9.79	9.90	1.83	2.22	1.210	4.549	8.325
姜自立(2014)	9	9.58	9.75	1.83	2.27	1.239	4.519	8.278

本文对近40年男子100 m优秀运动员步长和步频的变化规律进行了对比(表2)。结果显示, 1970—2009年间, 男子100 m世界纪录由10.06 s提高至9.58 s。与此同时, 世界优秀男子短跑运动员的步频指数由8.541降至8.278, 而步长指数由1.140增加至1.239。以上数据说明, 增加步幅是提高100 m跑经济性的重要趋势。此外, 100 m属于周期性运动项目, 周期性运动项目比的是单位时间内的位移, 而不是单位时间内的动作频率。因此, 在15岁以后, 随着协调性发展“敏感期”的逐渐消退, 教练员应该在保持青少年运动员较高动作频率的基础上, 优先发展动作幅度, 以赢得更大的位移, 提高跑的经济性。

在短跑训练实践中, 增加步幅的一般步骤是: ①根据Hoffman提出的步长推算公式, 计算出运动员身高所对应的理想步长(Top9运动员的步长指数均值为1.239); ②在跑动中确定运动员的自然步长, 做好标记; ③在自然步长的基础上, 每步增加1—2 cm, 在跑道上放好标记

4.2 能量代谢特征对步长和步频发展顺序的影响

15岁以后, 随着协调性发展“敏感期”的逐渐消退, 在训练中是优先发展步长, 还是进一步提高步频, 再次成为困扰众多教练员的难题。

研究表明, 在周期性运动中肌肉收缩的能量消耗与肌肉的收缩速度成立方比, 即肌肉收缩速度增加一倍, 其氧的消耗量就会增加七倍^[22]。此外, 动作频率的加快, 必然会增加肌肉的收缩速度, 增加肌肉的紧张度, 最终导致肌肉的供血过程更加艰难, 导致肌肉缺氧, 肌肉的工作效率会明显下降^[14]。相反, 步长的增加, 会导致腾空时间的增加, 在腾空阶段运动员的肌肉处于放松状态。因此, 步长的增加有利于延长肌肉的放松时间, 加快乳酸的缓冲, 促进ATP-CP的合成。由此可见, 步长的增加比步频的增加更具经济性。

物; ④在不降低步频的前提下, 进行增加步长的练习, 直到达到理想的步长指数^[24]。在腿部力量不变的条件下, 步幅的增加必然导致步频的降低。因此, 在短跑训练实践中, 增加步长的前提是增加腿部力量, 即在相同的触地时间内产生更大的动作冲量。

4.3 动力学特征对步长与步频发展顺序的影响

Nummela等人研究表明, 当速度低于9 m/s时, 步长是速度增加的主导变量, 当速度大于9 m/s时, 步频是速度增加的主导变量^[11]。Čoh和Mann等人进一步研究表明, 优秀短跑运动员和一般短跑运动员在步长指数上无显著差异, 但优秀运动员的步频指数明显高于一般短跑运动员^[12,16]。以上研究表明, 若想达到较高的速度水平, 运动员必须具备较高的步频^[25]。

本文对张培萌、博尔特和布雷克等优秀短跑运动员步长和步频的发展模式进行了追踪(表3)。结果显示, 上述运动员在步长和步频的发展模式上具有共同的特征, 即在青少年阶段已经具备了较高的步频, 在随后的阶段, 步长出现了大

幅增加,这一规律也与我们在上文得出的结论一致。尤其值得注意的是,当步幅指数达到理想的范围后,在保持步长基本稳定的情况下,他们的

步频得到了再次提高,而这也正是他们的速度水平再次提高的关键变量。

表3 中外优秀短跑运动员步长与步频发展规律一览表

运动员	时间(年龄)	身高/m	成绩/s	总步数/步	步长/m	步长/身高	步频/Hz	步长×身高
张培萌	2005(18)	1.88	10.76	47.0	2.127	1.132	4.368	8.211
	2007(20)		10.30	44.9	2.227	1.184	4.359	8.194
	2008(21)		10.23	45.0	2.222	1.181	4.398	8.268
	2013(26)		10.00	46.0	2.173	1.156	4.620	8.685
博尔特	2007(21)	1.96	10.03	43.0	2.325	1.180	4.287	8.402
	2008(22)		9.76	41.4	2.418	1.233	4.236	8.303
	2008(22)		9.69	41.2	2.427	1.238	4.251	8.331
	2009(23)		9.58	40.9	2.444	1.246	4.271	8.371
布雷克	2007(18)	1.80	10.11	47.7	2.096	1.164	4.718	8.492
	2009(20)		9.93	46.5	2.150	1.194	4.687	8.437
	2011(22)		9.82	45.8	2.183	1.213	4.663	8.395
	2012(23)		9.69	45.6	2.190	1.217	4.711	8.479

从动力学视角分析,腾空时间主要反映步长,触地时间和腾空时间的总和主要反映步频。研究表明,优秀短跑运动员和一般短跑运动员在腾空时间上没有显著差异,而优秀短跑运动员的触地时间明显少于一般短跑运动员^[12]。这说明优秀运动员在步频上的优势得益于能够在更短的触地时间内产生同样的动作冲量。在100 m运动中,运动员的腿部肌肉始终处于一个拉长—缩短收缩的过程,因此,动作冲量的增加取决于“快速反应收缩力量”的增加。研究认为,在100 m运动中,增加“快速反应收缩力量”是节约能量消耗^[26]、达到最大速度水平^[10]的重要途径。在运动训练实践中,跳深、多级跳等超等练习是增加快速反应收缩力量、提高单位时间内动作冲量的有效手段。

综上所述,在运动训练实践中,短跑运动员步长与步频的发展可分为3个阶段。第1阶段:9—15岁是协调性发展的敏感期,教练员应该在此阶段进行针对性训练,使青少年运动员的步频得到最充分的发展;第2阶段:在15岁后,随着协调性发展敏感期的逐渐消退,教练员应该在运动员固有动作速度和动作频率基础上,增加步幅,以提高跑的经济性;第3阶段:当运动员的

步长指数达到理想的范围(≥ 1.24)后,训练的主要任务和目标是通过增加动作冲量,减少触地时间,在不降低步长的前提下再次增加运动员的步频。

5 结论

(1)运动员的腿长、触地角度和驱动力量是100 m运动中步长和步频相互影响和制约的调节变量。若想在不降低步长的情况下增加步频或在不降低步频的情况下增加步长,必须通过增加动作冲量才能实现。

(2)腾起角度和着地角度、触地时间和腾空时间,以及步长指数和步频指数是评价步长和步频合理性的重要指标,其中,“步长指数和步频指数”是短跑训练实践中应用最为广泛的评价指标。

(3)在青少年时期强化协调性的训练是使运动员步频得到充分发展的基本前提。此后,与步频发展密切相关的运动素质“敏感期”消退后,进入最大力量的发展敏感期,训练的首要任务是在保持步频的基础上发展步长。当步长指数达到1.24或以上后,通过增加动作冲量再次增加步频成为了训练的重点。

参考文献:

- [1] Salo A I T, Bezodis I N, Batterham A M, et al. Elite sprinting: are athletes individually step-frequency or step-length reliant[J]. Medicine and science in sports and exercise, 2011, 43 (6): 1055-1062.
- [2] Bezodis I. Investigations of the step length-step frequency relationship in sprinting: applied implications for performance [C]//ISBS-Conference Proceedings Archive, 2012, 1(1):43-49.
- [3] Mero A, Komi P V. Effects of Supramaximal Velocity on Biomechanical Variables in Sprinting [J]. International Journal of Sport Biomechanics, 1985, 1(3). 134-137.
- [4] Mann R, Herman J. Kinematic analysis of Olympic sprint performance: men's 200 meters [J]. International journal of sport biomechanics, 1985, 1(15): 151-162.
- [5] 王瑞元. 运动生理学[M]. 北京: 人民体育出版社, 2002.
- [6] Kugler F, Janshen L. Body position determines propulsive forces in accelerated running [J]. Journal of biomechanics, 2010, 43(2): 343-348.
- [7] Korchemny R. Speed development: Training with the objective to improve stride length [J]. Strength & Conditioning Journal, 1988, 10(2): 21-25.
- [8] Goodwin J E. Maximum velocity is when we can no longer accelerate: Using biomechanics to inform speed development[J]. Professional Strength Cond, 2011, 21(3): 3-9.
- [9] Hunter J P, Marshall R N, McNair P J. Interaction of step length and step rate during sprint running [J]. Medicine and science in sports and exercise, 2004, 36(2): 261-271.
- [10] Weyand P G, Sternlight D B, Bellizzi M J, et al. Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements[J]. Journal of applied physiology, 2000, 89(5): 1991-1999.
- [11] Nummela A, Keranen T, Mikkelsson L O. Factors related to top running speed and economy [J]. International journal of sports medicine, 2007, 28(8): 655-661.
- [12] Čoh M, Mi lanovic D, Kampmiller T. Morpholog-ic and kinematic characteristics of elite sprinters [J]. Collegium antropologicum, 2001, 25 (2): 605-610.
- [13] Dintiman G B, Ward R D, Tellez T. Sports speed [M]. Champaign, Illinois: Human Kinetics, 1997.
- [14] Heglund N C, Taylor C R. Speed, stride frequency and energy cost per stride: how do they change with body size and gait? [J]. Journal of Experimental Biology, 1988, 138(1): 301-318.
- [15] Rosenbaum M. Sprinting: Developing Stride Length. [EB/OL]. [2014-11-02](2015-10-13). <http://trackandfield.about.com/od/sprintsandrelays/p/Sprinting-Developing-Stride-Length.htm>.
- [16] Mann R. The mechanics of sprinting and hurdling [M]. [S. l.]:Create Space, 2011.
- [17] Fletcher I. Biomechanical aspects of sprint running [J]. UK Strength and Conditioning Association, 2009, 16(2): 20-23.
- [18] 茅鹏. 论步幅——张培萌的步幅嫌小吗? [J]. 体育与科学, 2013, 34(6):37-40.
- [19] Hoffman, K. Stature, leg length and stride frequency [J]. Track Technique, 1971, 46 (1): 1463-1469.
- [20] Loko J, Sikkut T, Aule R. Sensitive periods in physical development [J]. Modern Athlete and Coach, 1996, 34(2): 26-29.
- [21] Balyi I, Hamilton A. Long-term athlete development: trainability in childhood and adolescence [J]. Olympic Coach, 2004, 16(1): 4-9.
- [22] 李广文, 李鸿江. 现代 100 m 跑运动员速度、步态变化特征理论的应用 [J]. 首都体育学院学报, 2009, 21(2):250-253.
- [23] Shinabarger A J, Hellrich M, Baker B. What Makes Usain Bolt Unique as a Sprinter? [J]. The Physics Teacher, 2010, 48(6): 365-365.
- [24] Lee J. Insights to Jamaican Sprinting Success [EB/OL]. [2014-11-02](2015-10-20). <http://SpeedEndurance.com>.
- [25] Faccioni A. Modern speed training [EB/OL]. [2014-11-02](2015-11-03). www.oztrack.com/faccionispeed.htm.
- [26] Kram R, Taylor C R. Energetics of running: a new perspective [J]. Nature, 1990, 346(19):265-266.

Evaluation Criterion and Regular Developing Patterns of Elite Male Sprinters' Stride Length and Stride Frequency

JIANG Zi-li¹, LI Qing¹, DENG Hui²

(1. Department of Physical Education, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. Department of P. E., Changsha College 410003, China)

Abstract: Through the methodology of literature, mathematical statistic, video analysis and expert interview, this paper analyzes and discusses the influential factors and inner correlation of stride length and stride frequency, evaluation indicators of the optimal ratio of stride length and frequency, and the developing rules of stride length and frequency in sprint training. The findings show that leg length, touchdown angle and drive force are three moderating variables of mutual influence and restriction between stride length and stride frequency, takeoff with an angle of 50-55 degrees and touchdown with an angle of 90 degrees, touchdown with a duration of 40% in the duration of stride frequency and takeoff with a duration of 60% in the duration of stride frequency, stride length indicators of 1.24 or higher and stride frequency indicators of 8.28 or higher are the important standards in evaluating stride length, stride frequency and its ratio reasonableness. In training practice, the coaches should enable the athletes' stride frequency to fully develop between the age of nine and fifteen. After the age of fifteen, coaches should pay more attention to the development of stride length based on their developed stride frequency. When stride length indicator reaches 1.24 or higher, coaches should enhance their stride frequency again on the basis of maintaining the stability of athletes' stride length.

Key words: 100-meter sprint; stride length; stride frequency; influential factors; evaluation criterion; regular developing patterns