



男子跳远全程助跑阶段划分研究

王国杰¹, 彭秋艳², 章碧玉²

(1. 南京体育学院 运动训练学院, 江苏 南京 210033; 2. 北京体育大学 中国田径运动学院, 北京 100084)

摘要:目的:探讨男子跳远全程助跑阶段划分。方法:采用录像拍摄解析法和测试法获取男子跳远运动员全程助跑运动学和动力学参数。结果:1)运动员助跑中身体质心高度逐渐提升,并在倒数第17步和倒数第6步出现转换点;2)运动员起跳后支撑时间逐渐减小,腾空时间逐渐增大,支撑腾空时间在倒数第17步出现第1交叉点;3)运动员起跳后趾-板距离标准差逐渐增大,在倒数第6步出现最大值,该步之后趾-板距离标准差逐渐减小;4)运动员起跳加速后最初的4~5步中能产生较高的水平力,随后水平力骤减;5)阶段1中,运动员着地距离短、着地胫骨角小、躯干前倾幅度大,离地距离长、离地角度小,便于加速。阶段2和阶段3中,运动员着地胫骨角增大、着地距离延长、躯干前倾幅度减小,离地距离减小、离地角增大,制动力增大。结论:男子跳远全程助跑可分为起跳加速、途中跑和准备起跳3个阶段。起跳加速阶段减小躯干角、着地胫骨角和离地角,增大离地距离有助于加速;途中跑阶段和准备起跳阶段逐渐增大躯干角,提高身体质心高度,有助于提高“扒地”效果,提高跑速。

关键词:男子;跳远;助跑;阶段划分;身体质心高度

中图分类号:G823.3 **文献标识码:**A

我国男子跳远竞技水平一直在亚洲处于领先地位。近年来,竞技实力和人才厚度得到进一步提升,男子跳远也因此跻身夏季奥运会潜优势项目,竞技表现倍受关注。助跑是跳远运动员获得水平速度、形成起跳前良好身体姿态和提高助跑准确性的关键技术环节,会直接影响起跳效果,并在很大程度上决定跳远成绩(Hay, 1993)。跳远助跑与短跑极为相似,包含起跳加速阶段、转换阶段和途中跑阶段,不同之处在于跳远助跑没有终点跑,并且已有的与短跑相同的跑动阶段,也因踏板准确性和助跑节奏的需求而存在差异。跳远运动员不仅要在起跳前达到较高的水平速度,还需减小踏板损失,避免犯规,这就要求运动员在稳定的助跑节奏下,发挥加速能力和最大速度能力。由于跳远的助跑距离和步数固定,所以助跑中应根据不同阶段的目的与要求,合理分配助跑步数,有针对性地实施相应阶段内的助跑训练,依次发展加速能力、转换衔接能力、最大速度能力和起跳前的调控能力,提高不同阶段助跑稳定性,最终达到节奏稳定、速度快和利于起跳的多维目标。

目前关于跳远助跑阶段划分的研究较少,已有的研究多集中在起跳方式和加速节奏方面(文超, 2013; Jacoby et al., 2000)。有研究在跳远助跑策略研究中采用最大趾-板距离标准差将跳远全程助跑分为程序化助跑和视觉调

控2个阶段,指出在程序化助跑阶段实现较高的助跑重复率,减小误差积累,在视觉调控阶段控制离地冲量,为步态调整预留空间(Berg et al., 1995; Bradshaw et al., 2006; Hay, 1988a; Scott et al., 1997; Theodorou et al., 2012)。Van Don等(1996)在对起跳加速第1步和起跳前最后1步的研究中,强调起始加速阶段步长节奏稳定性对踏板准确性具有重要影响。Goodwin(2019)和Rosenbaum(2020)在训练实践中,强调基于助跑阶段划分而开展的助跑训练,对改进助跑技术和提高助跑速度有重要作用。虽然上述研究提出了阶段划分的初步设想,但并没有足够多的证据来支撑具体的阶段划分。然而,助跑阶段划分是开展助跑技术研究和实施助跑训练的基础,直接影响教练员专项训练手段的选择与应用。目前对跳远助跑的阶段划分较为笼统,仅为前程和回程助跑,在助跑训练的具体安排上多借鉴短跑,相对忽视了跳远助跑自身的特点和规律,制约了项目训练理论与实践的发展。因此,有必要针对跳远助跑阶段划分开展基础研究。

而在100 m跑技术阶段划分中,有学者根据10~20 m

收稿日期:2021-01-18; 修订日期:2022-03-23

第一作者简介:王国杰(1992-),男,博士,主要研究方向为田径专项技术诊断和田径短跨跳项目专项体能训练, E-mail: wangguojiede@163.com。

分段内不同步长与步频的增减关系、分段速度及其占比将 100 m 完整技术分为起跑加速、转换加速、最大速度、速度保持和速度衰减 5 个阶段(Delecluse et al., 1992; Mačkala, 2007; Moravec et al., 1988; Volkov et al., 1979)。还有学者以短跑运动员着地瞬间胫骨角和躯干角达到垂直状态为标准,将加速阶段分为起始加速阶段(起跑至第 5~7 步)和延伸加速阶段(第 5~7 步至第 17 步)(Crick, 2014a, 2014b; Volkov et al., 1979)。Nagahara 等(2014a)在 50 m 冲刺中,发现支撑阶段身体重心高度在起动后第 4 步和第 14 步存在转换点,并以此将起跑后的前 4 步定义为起动加速阶段,5~14 步为延伸加速阶段,15~25 步为最大速度阶段。Nagahara 等(2014a, 2018)、Plamondon 等(1984)和 Fukunaga 等(1981)研究指出,在起动后最初的 4 步中有更大的平均水平力,第 14~16 步之后水平力趋于平稳,进一步从动力学角度证实了短跑阶段划分的客观性。Mann 等(2015)研究发现,100 m 跑中支撑、腾空时间交叉点出现在 7~11 步左右,标志着加速阶段的终止。综上,学者通

过运动学与动力学相结合的方式探究了短跑的阶段划分方式,明确了在不同阶段的技术目标与要求,极大的提高了训练的针对性。

在短跑研究中,学者通过运动学参数(身体重心高度、胫骨角和躯干角)和动力学参数(水平力)的变化特点,确定了起动至最大速度阶段的技术转折点,为技术结构的划分和训练提供了新思路。跳远助跑与短跑具有很多相似之处,那么跳远助跑是否也存在不同阶段的转换点?转换点前后技术动作是否存在差异?鉴于此,本研究通过对全程助跑过程中运动学与动力学参数的分析,讨论转换点存在的客观性,进而为跳远全程助跑的阶段划分和跳远助跑训练提供理论支撑。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

以男子跳远全程助跑阶段划分(技术转换点)和不同助跑阶段内的跑动技术差异为主要研究对象,具体信息详见表 1。

表 1 受试对象基本信息

Table 1 Basic Information of Subjects

研究指标	比赛	人数	样本量	测试成绩/m	最好成绩/m	身高/m	体重/kg
身体重心高度	金华大奖赛、训练驻地测试赛	15	30	7.74±0.09	7.97±0.13	1.81±0.04	76.2±1.5
跑动技术							
支撑、腾空时间	洛阳大奖赛、沈阳锦标赛、沈阳世锦赛选拔赛、训练驻地测试赛	18	188	7.68±0.06	7.90±0.09	1.83±0.02	75.3±2.4
趾-板距离标准差	洛阳大奖赛、沈阳锦标赛、沈阳世锦赛选拔赛、训练驻地测试赛	18	159	7.52±0.35	7.86±0.11	1.82±0.05	73.7±1.8
水平力	训练驻地测试	3	6	—	8.41±0.07	1.83±0.05	72.5±3.1

注:所有受试对象助跑步数均在 20 步以上(含 20 步),助跑距离在(41±3.45)m;—为缺失值;表中样本量是不同受试对象在不同比赛中累积的样本。

1.2 研究方法

由于跳远助跑距离长,运动范围广,很难通过单场比赛获取本研究所需的所有技术指标,加之不同技术指标获取的方式不同,所以本研究采用在不同场次比赛中获取不同技术指标的方式开展研究。具体拍摄比赛和采用方法详见表 2,所有场次拍摄方法均按照相同的拍摄设置进行,以保证数据采集的系统性。

1.2.1 定点录像拍摄解析法

1.2.1.1 相机布局及拍摄要求

1~6 号机设置在场内内部的草地上,采用二维定点定焦拍摄,相机主光轴垂直于跳远助跑跑道中轴线,拍摄距离 30 m,拍摄范围 8 m,1~6 号机叠加部分长度为 2 m,拍摄运动员 50~5 m 的助跑技术。7~8 号机设置在看台上,进行定点定焦三维拍摄,避开裁判员的遮挡,2 台相机主光轴夹角为 70°,拍摄距离 30~40 m,拍摄范围 6.5 m,拍摄运动员最后 2 步至起跳的技术。8 台相机型号均为 Panasonic DMC-FZ300(日本),所有相机设置相同,拍摄频率 100 Hz,

拍摄分辨率 1 280×720,25P,快门速度 1/1 000 s(图 1)。比赛开始前 2 h 完成相机架设和标定工作,比赛结束后再次拍摄标定框架。

表 2 获取不同研究指标时的研究方法

Table 2 Research Methods for Obtaining Different Research Indicators

研究指标	比赛	日期	拍摄/测试方法
质心高度、跑动技术	金华大奖赛、训练驻地测试赛	5月23日 4—8月	二维拍摄、三维拍摄(最后 2 步)
支撑腾空时间	洛阳大奖赛、沈阳锦标赛、沈阳世锦赛选拔赛、训练驻地测试赛	5月30日 7月8日 8月2日 4—8月	定点扫描拍摄法
趾-板距离标准差	洛阳大奖赛、沈阳锦标赛、沈阳世锦赛选拔赛、训练驻地测试赛	5月30日 7月8日 8月2日 4—8月	定点扫描拍摄法
水平力	训练驻地测试	4—8月	水平力测试法

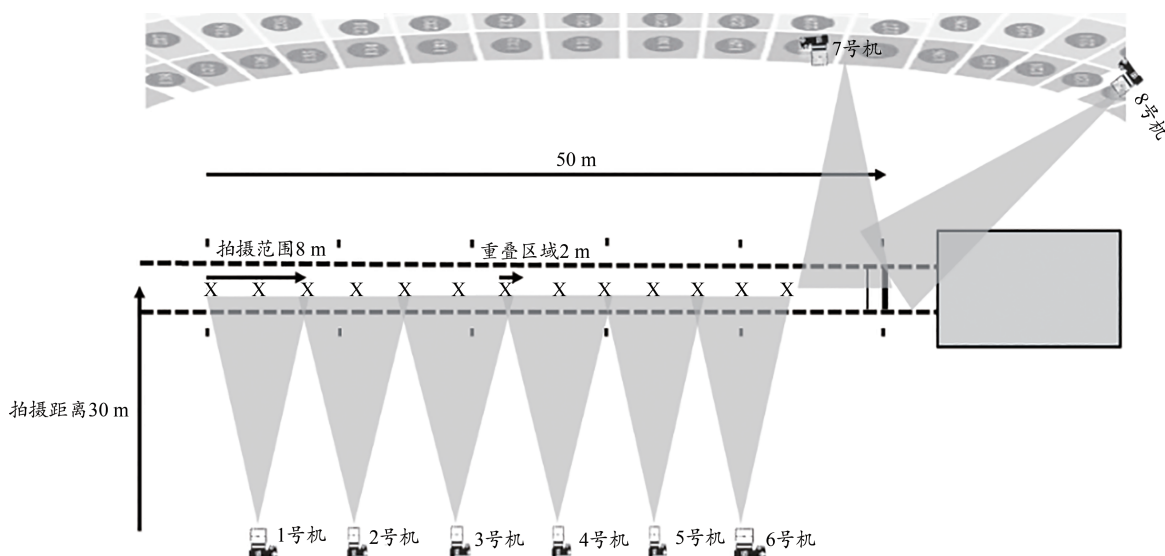


图1 获取身体质心高度时的拍摄方案

Figure 1. Video Photography for Obtaining Center of Mass Height

注:X为标定框架放置位置。

1.2.1.2 解析方法

二维解析中采用松井秀治人体模型,用20个关节将人体分为15个环节,采用Ariel运动视频解析系统对视频资料进行数字化处理,解析后采用数字滤波对原始数据进行平滑,平滑频率9 Hz(Bing, 1989)。当运动员单步技术位于2台相机的重叠区域内时,身体质心高度取2台相机解析数据的平均值。三维解析采用与二维解析相同的人体模型,采用关键时相法,同步2个视角的视频材料,其他处理方法同二维解析。最终获取运动员着地和离地瞬间身体质心高度、着地和离地瞬间胫骨角、着地和离地瞬间躯干角、着地和离地距离以及着地角和离地角参数。对运动员助跑中身体质心高度(着地和离地瞬间平均高度)与每一步时间(离地瞬间时间的累计值)进行一阶方程拟合,并计算相邻单步绝对残差差值(Nagahara et al., 2014b),用于确定质心高度变化的转换点。

1.2.2 定点扫描拍摄解析法

利用Sony FDR AX700(日本)相机,拍摄频率50 Hz,

拍摄分辨率4 K,快门速度1/1 000 s,采用定点扫描拍摄方法,相机设置于跳远跑道25 m处对应的看台处,拍摄范围6 m,拍摄距离40~50 m,拍摄高度20~30 m,记录运动员从起动至踏板过程中的助跑技术。赛前在跑道两侧贴设长50 m、宽0.05 m、1 m黑白相间的标定皮尺,用于计算趾-板距离。拍摄完成后,在Kinovea解析系统中,从起动第1步开始,以每一步着地点和与其相对应的跑道两侧上的4点,建立平面坐标,获取跑道右侧A点、B点,左侧C点、D点以及脚尖点T点的原始坐标。以A点和D点建立直线L₁,以B点和C点建立直线L₂,计算L₁和L₂的交点P₁坐标,根据P₁和脚尖点T确定直线L₃,再根据L₃与A点、B点形成的直线L₄确定P₂的坐标。最后根据P₂坐标与A点、B坐标的比例关系确定AP₂和P₂B的长度(图2)。后续落点采用相同的计算方法,计算每步脚尖点与板的距离(Hay, 1988)。趾-板距离是脚的落点与起跳线之间的距离,趾-板距离标准差是3次以上助跑(含3次)中,每一步落点趾-板距离的标准差。

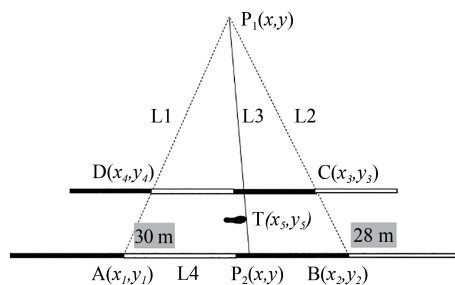


图2 定点扫描拍摄时解析方式和定点扫描拍摄视频画面

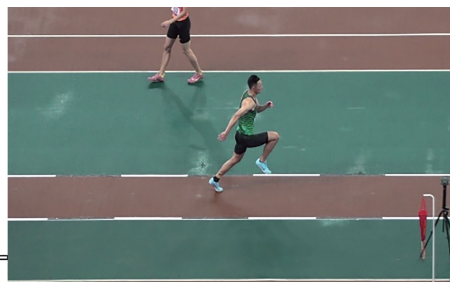


Figure 2. The Method of Fixed-Point Scanning Analysis and Video Screen Shot for Digitizing Process

比赛前,预先在跑道上8.10 m、15.10 m、22.10 m、25.10 m和32.10 m处放置标记点。解析后数值与实际值误差

为±0.02 m,百分误差为±0.25%(Hay, 1988a, 1988b; Lee et al., 1982; Theodorou et al., 2012),在可接受范围内。

利用 Panasonic DMC-FZ300 (日本) 相机, 拍摄频率 240 Hz, 拍摄分辨率 640×480, 快门速度 1/1 000 s, 相机设置在跑道中轴线正对的场地弧顶看台处, 采用定点扫描拍摄, 拍摄距离 30 m, 拍摄高度 10~15 m, 聚焦运动员足部, 测量助跑中的支撑时间和腾空时间。本研究中支撑时间(T_c)为脚与地面接触瞬间至脚离开地面后的第 1 个画面, 腾空时间(T_f)为脚与地面分离瞬间至脚与地面下一次接触瞬间, 步频 $SF=1/(T_c+T_f)$ 。解析前, 采用 Opto-jump 测试与助跑正前方视频同步拍摄 (Panasonic DMC-FZ300, 拍摄频率 240 Hz, Opto-jump 采集频率 240 Hz) 的方法, 比较视频拍摄解析数据与 Opto-jump 测试数据的差异性 (Bradshaw et al., 2006; Hunter et al., 2004), 视频解析后的数值与 Opto-jump 测试值误差为 ± 0.008 s (百分误差为 $\pm 0.35\%$), 在可接受范围内。

1.2.3 水平力测试法

采用 1080 Sprint 阻力助力跑训练系统 (瑞典), 测量运动员全程助跑中的水平力变化情况。将 1080 Sprint 阻力助力跑训练设备放置于跑道中线处, 设备与起跑线之间距离为 10 m, 将牵引绳通过腰带附着于运动员腰部, 并设定 2 kg 阻力负荷。记录运动员从起动至踏板时的水平力参数。

1.2.4 数理统计法

本文数据采用均值 \pm 标准差 ($M \pm SD$) 进行描述, 采用

SPSS 20.0 对数据进行统计分析。数据通过正态性检验 (Shapiro-Wilk) 和方差齐性检验 (Levene), 符合分析要求。采用配对样本 t 检验分析前后 2 次差异身体质心高度转换点; 采用单因素方差分析比较不同阶段内跑动技术差异。

2 研究结果

2.1 全程助跑身体质心高度转换点

运动员身体质心高度在起动后逐渐增加, 并出现 2 个拐点 (图 3)。第 1 次测试 ($n=15$) 中, 第 1 转换点出现在倒数第 (16.73 \pm 0.8) 步, 第 2 转换点出现在倒数第 (6.73 \pm 0.88) 步; 第 2 次测试中, 第 1 转换点出现在倒数第 (16.87 \pm 0.64) 步 ($t=-0.564, P=0.582$), 第 2 转换点出现在倒数第 (6.4 \pm 0.74) 步 ($t=1.234, P=0.238$)。采用配对样本 t 检验发现, 前后 2 次测试中身体质心高度出现转换点的位置无显著差异, 故本研究对 30 次测量数据进行合并处理。结果第 1 转换点出现在倒数第 17 步的次数为 17 次, 占比 56.67%; 第 2 转换点出现在倒数第 6 步的次数为 15 次, 占比 50% (图 4)。表明运动员在全程助跑中, 身体质心高度会出现 2 个较为明显的转换点, 分别在倒数第 17 步 (起动后 4~5 步) 和倒数第 6 步 (起动后 14~16 步)。

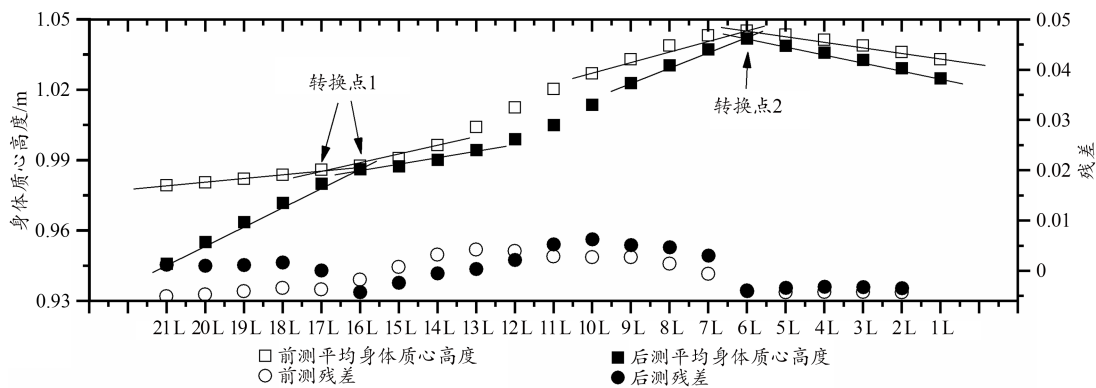


图3 同一名运动员前后2次全程助跑中身体质心高度变化转换点

Figure 3. Change Point of Center of Mass Height for the Same Athlete during the First and Second Approach

注: 21L 为倒数第 21 步, 是从踏板向起动方向逆向计算的步数, 以此类推, 下同。

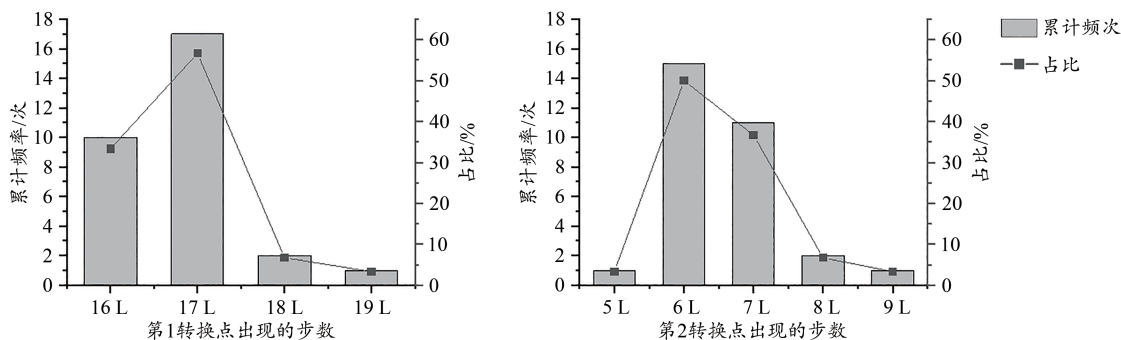


图4 身体质心高度 2 个转换点出现位置累计频率

Figure 4. Cumulative Frequency of Two Transition Points of Center of Mass Height

2.2 全程助跑支撑腾空时间交叉点

通过188次试跳全程助跑支撑腾空时间交叉点的分析发现,46人次在倒数第17步(起动后4~5步)出现支撑腾空时间的第1交叉点,占比最高,为24.5%。在该转换

点之后,运动员腾空时间逐渐增加,支撑时间逐渐缩短(图5)。对支撑、腾空时间进行二次多项式拟合后,2个参数的数据交叉点出现在倒数第17步。

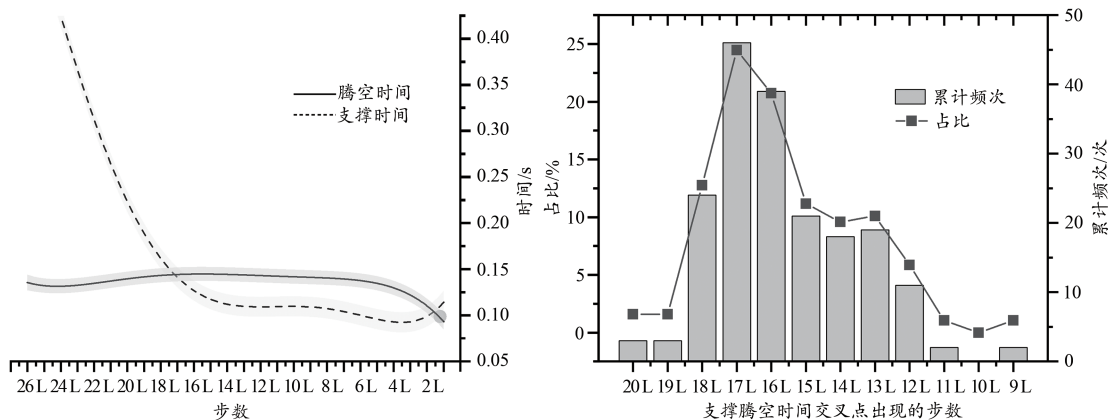


图5 全程助跑支撑腾空时间交叉点及累计频率图

Figure 5. Cross Point and Cumulative Frequency Chart of Ground Contact and Flight Time in Approach

2.3 全程助跑最大趾-板距离标准差

通过159次试跳中36个趾-板距离标准差数据分析发现,运动员从起动至踏板,趾-板距离标准差逐渐上升,在倒数第4~8步范围内达到最大值,之后逐渐下降。最大

趾-板距离标准差集中出现倒数第4步、5步、6步,出现人次分别为5次、4次和14次,占比分别为13.16%、10.53%和36.84%,其中倒数第6步(起动后14~16步)是最大趾-板距离标准差出现频次较高的点(表3、图6)。

表3 最大趾-板距离标准差出现位置

Table 3 Position of Maximum Standard Deviation of Toe to Board Distance

步数	19 L	11 L	10 L	9 L	8 L	7 L	6 L	5 L	4 L	3 L	2 L
最大趾-板距离出现人次	2	1	1	2	2	2	14	4	5	3	2
占比/%	5.26	2.63	2.63	5.26	5.26	5.26	36.84	10.53	13.16	7.89	5.26

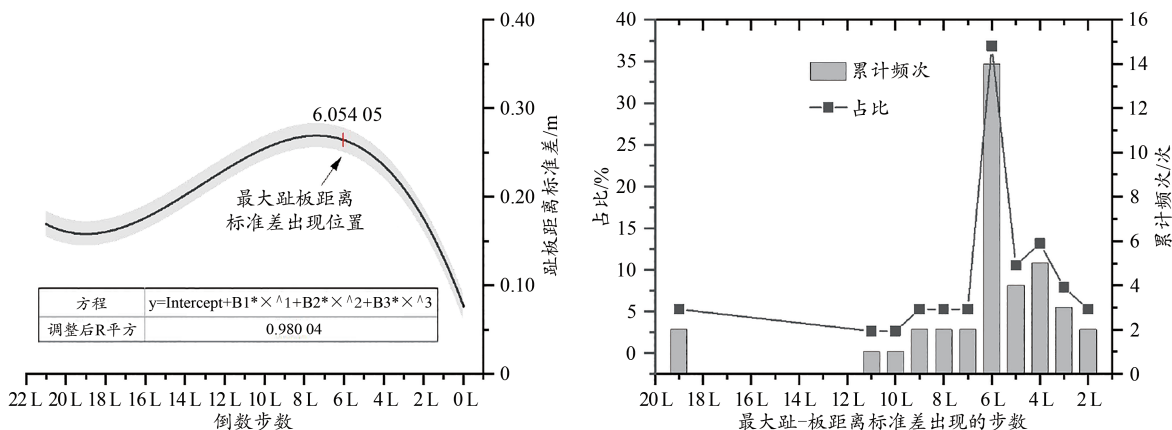


图6 最大趾-板距离标准差出现位置及累计频率图

Figure 6. Location and Cumulative Frequency of the Standard Deviation of the Maximum Toe to Board Distance

2.4 全程助跑水平力转换点

通过6次全程助跑水平力数据分析显示,最大水平力值出现在运动员起动后的前4~5步内,随后水平力值骤减,并在倒数第18步出现较大降幅(-7.1%),倒数

第16步之后进入相对稳态,增幅0.4~1.3%,降幅-0.9~-3.9%(表4、图7)。表明运动员从起动至倒数第16步(起动后4~5步)运动员能够产生较高的水平力,之后水平力逐渐减小。

表4 全程助跑水平力变化情况

Table 4 Changes of Horizontal Force in Resisted Approach

步数	水平力均值/N	水平力占比/%	水平力增减幅度/%
20 L	137.87±11.83	100±0.73	—
19 L	130.34±10.23	94.5±5.16	-5.5±5.55
18 L	120.49±8.76	87.4±3.36	-7.1±5.93
17 L	114.9±8.88	83.3±1.94	-4.1±2.52
16 L	106.21±7.92	77±5.03	-6.3±3.79
15 L	102.65±7.74	74.5±3.04	-2.6±5.91
14 L	99.41±12.42	72.1±7.41	-2.4±7.39
13 L	96.89±10.78	70.3±4.43	-1.8±7.21
12 L	95.13±12.98	69±6.67	-1.3±6.94
11 L	91.2±10.29	66.1±2.94	-2.9±6.74
10 L	93.01±12.26	67.5±4.97	1.3±4.6
9 L	91.93±10.85	66.7±5.04	-0.8±3.75
8 L	93.35±10.08	67.7±5.68	1±3.63
7 L	91.94±8.88	66.7±3.84	-1±3.27
6 L	92.74±12.18	67.3±6.91	0.6±3.88
5 L	91.61±13.08	66.4±6.3	-0.8±2.57
4 L	90.23±14.38	65.4±8.49	-1±3.41
3 L	86.97±14.94	63.1±7.78	-2.4±3.58
2 L	87.58±13.69	63.5±7.9	0.4±2.92
1 L	82.18±10.86	59.6±6.38	-3.9±4.98

叉点、最大趾-板距离标准差出现位置和水平力变化转换点的分析,发现男子跳远全程助跑中存在2个转换点,分别出现在倒数第17步(起动后4~5步)和倒数第6步(起动后14~16步)。基于此,本研究按照上述2个转换点,将全程助跑分为3个阶段。阶段1:启动~倒数第17步,阶段2:倒数第16~7步;阶段3:倒数第6~步(表5)。

为进一步验证助跑阶段划分的客观性,本研究将15名运动员30次全程助跑技术参数分为3个阶段,对不同阶段内技术参数进行均值化处理,并比较相邻助跑阶段内的技术差异。

由表6中可见,运动员着地瞬间的身体质心高度由阶段1的(0.94±0.03)m增至阶段3的(1.02±0.02)m,离地瞬间的身体质心高度由阶段1的(0.96±0.03)m增至阶段3的(1.04±0.02)m,整体不断增高,并且相邻2个阶段的身体质心高度均存在显著差异($P<0.01$)。

着地胫骨角在阶段1至阶段3分别为 $80.41^{\circ}\pm 7.49^{\circ}$ 、 $90.05^{\circ}\pm 2.19^{\circ}$ 和 $90.07^{\circ}\pm 3.03^{\circ}$,整体不断增大。阶段1的着地胫骨角显著小于阶段2和阶段3($P<0.01$),阶段2和阶段3的着地胫骨角均为垂直状态,相比无显著差异。离地瞬间胫骨角在上述3个阶段分别为 $40.42^{\circ}\pm 3.59^{\circ}$ 、 $44.24^{\circ}\pm 2.89^{\circ}$ 和 $46.45^{\circ}\pm 2.46^{\circ}$,整体不断增大,该参数在相邻2个阶段均具有显著差异($P<0.05$)。

2.5 不同助跑阶段助跑技术差异

通过前文对身体质心高度转换点、支撑腾空时间交

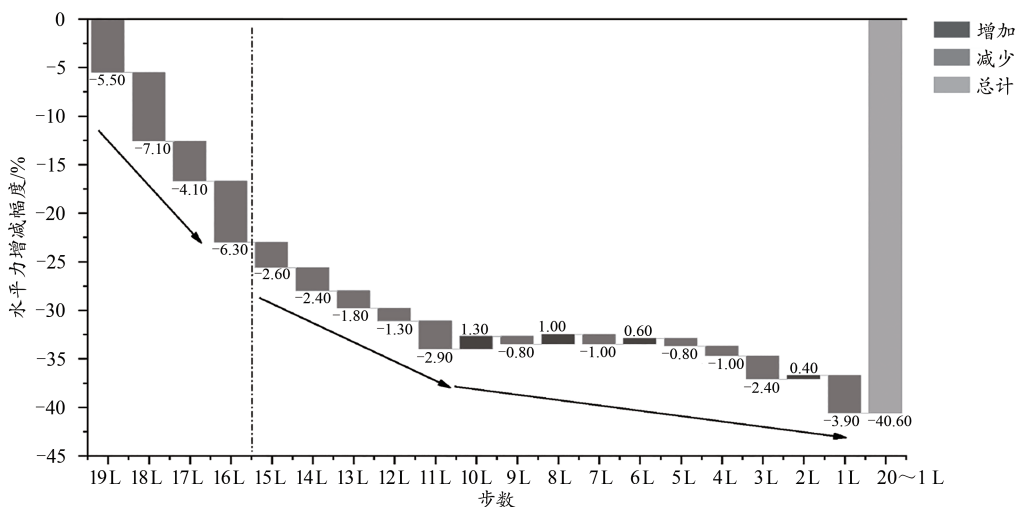


图7 全程助跑水平力增减幅度

Figure 7. Schematic Diagram of Increase and Decrease Range of Horizontal Force of Resisted Approach

表5 全程助跑阶段划分的依据

Table 5 The Evidence of Phase Division in Long Jump Approach

研究指标	第1转换点	第2转换点
身体质心高度转换点	倒数第17步(起动后4~5步)	倒数第6步(起动后14~16步)
支撑腾空时间交叉点	倒数第17步(起动后4~5步)	
最大趾-板距离标准差出现位置		倒数第6步(起动后14~16步)
水平力变化转换点	倒数第16~17步(起动后4~5步)	

表6 跳远运动员全程助跑不同阶段技术参数

Table 6 Technical Parameters of Long Jumpers in Different Phase of Approach

指标参数	阶段1		阶段2		阶段3	
	着地瞬间	离地瞬间	着地瞬间	离地瞬间	着地瞬间	离地瞬间
质心高度/m	0.94±0.03*	0.96±0.03*	0.99±0.03↑#	1.01±0.02↑#	1.02±0.02↑☆☆	1.04±0.02↑☆☆
胫骨角/°	80.41±7.49**	40.42±3.59**	90.05±2.19↑	44.24±2.89↑**	90.07±3.03↑☆☆	46.45±2.46↑☆☆
躯干角/°	60.59±6.99**	60.82±7.36**	77.06±5.91↑###	77.89±5.54↑###	82.92±3.35↑☆☆	85.6±2.22↑☆☆
着地距离/m	-0.09±0.09**	0.76±0.09**	0.22±0.10↑###	0.63±0.08↓###	0.38±0.06↑☆☆	0.49±0.07↓☆☆
着/离地角/°	80.78±5.16**	51.09±4.32**	76.62±4.65↓###	60.16±3.74↑###	70.17±3.99↓☆☆	64.25±3.14↑☆☆

注:阶段1与阶段2相比,*表示 $P<0.05$,**表示 $P<0.01$;阶段2与阶段3相比,#表示 $P<0.05$,##表示 $P<0.01$;阶段1与阶段3相比,☆☆表示 $P<0.05$,☆☆表示 $P<0.01$ 。↑表示相比前一阶段有所增加,↓反之。

着地瞬间躯干角在阶段1至阶段3分别为 $60.59^\circ \pm 6.99^\circ$ 、 $77.06^\circ \pm 5.91^\circ$ 和 $82.92^\circ \pm 3.35^\circ$,离地瞬间躯干角在上述3个阶段分别为 $60.82^\circ \pm 7.36^\circ$ 、 $77.89^\circ \pm 5.54^\circ$ 和 $85.60^\circ \pm 2.22^\circ$,躯干角在3个不同阶段不断增大。阶段1中躯干前倾幅度较大,阶段2中前倾幅度逐渐减小,阶段3中接近直立状态。上述角度在阶段1和阶段2之间($P<0.01$)以及阶段2和阶段3($P<0.01$)之间均具有统计学差异。

着地距离在阶段1至阶段3分别为 (-0.09 ± 0.09) m、 (0.22 ± 0.10) m和 (0.38 ± 0.06) m,着地点逐渐由质心投影点之后转移至质心投影点之前,着地距离不断增加。离地距离在上述3个阶段分别为 (0.76 ± 0.09) m、 (0.63 ± 0.08) m和 (0.49 ± 0.07) m,整体上不断减小,蹬伸用力幅度逐渐减小。着地距离和离地距离在3个不同阶段的变化趋势相反,并在阶段1和阶段2之间($P<0.01$)以及阶段2和阶段3之间($P<0.01$)具有统计学差异。

着地角在阶段1至阶段3分别为 $80.78^\circ \pm 5.16^\circ$ 、 $76.62^\circ \pm 4.65^\circ$ 和 $70.17^\circ \pm 3.99^\circ$,整体逐渐减小;而离地角在上述3个阶段分别为 $51.09^\circ \pm 4.32^\circ$ 、 $60.16^\circ \pm 3.74^\circ$ 和 $64.25^\circ \pm 3.14^\circ$,整体逐渐增大。着地角和离地角在阶段1和阶段2之间($P<0.01$)以及阶段2和阶段3之间($P<0.01$)具有统计学差异。

3 分析讨论

身体质心是人体各环节系统质量的分布中心,跑动中躯干位置和下肢关节角度的变化是影响身体质心高度的主要因素。Nagahara等(2014b)在验证短跑技术转换点时采用直线近似法(Neder et al., 2006),对身体质心高度进行随时间变化的一阶方程拟合,并计算相邻步的平均绝对残差差值,以最小差值作为转换点的依据。本研究采用与前者相同的研究方法,发现跳远运动员助跑中身体质心高度在倒数第17步(17次,56.67%)和倒数第6步(15次,50%)出现2个转换点。该结论与Wilka等(2020)、Nagahara等(2014b)、Cavagna等(1971)和fukunaga等(1981)对短跑运动员的研究结论相似,即运动员在起跑后4~7步和14~17步会出现2个转换点。第1转换点之

前,运动员躯干前倾幅度和伸膝幅度均较大,没有膝关节屈曲缓冲动作。第1转换点之后,随着跑速的增加,推进冲量超过躯干垂直升力,支撑脚的位置逐渐前移至质心投影点之前,躯干逐渐转为直立状态。第2转换点之后,躯干基本达到直立状态,质心高度也变得相对稳定。2个转换点之间的跑动技术具有后蹬型技术向前蹬型技术转变的特点,表明运动员在不同阶段采用不同的加速策略来获取速度。基于此,该研究以上述2个转换点将加速跑分为起动加速阶段(前4步)、转换阶段(5~14步)和最大速度阶段(17~25步)。跳远前程助跑中,运动员要使得地点位于身体质心投影点之后,形成有利的加速姿态,所以表现出躯干前倾、后蹬充分和身体质心高度低的特点。随着运动员助跑速度的提升,躯干的前翻力矩也会相应加大,运动员继续保持躯干前倾的难度逐渐增大,当难以继续维持身体平衡时,运动员逐渐地将着地点放置于身体质心投影点之前,随之出现身体质心高度的增加,表现为第1个身体质心高度的转换点。而在助跑最后5~6步,运动员出于加快上板节奏,快速衔接起跳的需求,此阶段运动员表现出步频快、节奏快的特点(Alexander, 1990; Makaruk et al., 2015; Theodorou et al., 2017)。由于加快了步频,相应的缩减了步长,减小了着地距离和蹬地距离,提高了身体质心高度,表现为质心高度曲线上的第2个转换点。第1转换点的出现与加速策略的转变有关,第2转换点的出现与跳远项目起跳前高重心的助跑技术要求和增大下肢支撑角度、增强复杠杆效率(刘建智, 2002),提高起跳效果的目的有关。

跳远运动员支撑腾空时间的变化与短跑运动员较为相似,支撑时间从起动至踏板逐渐减小,而腾空时间则逐渐增大,并在途中跑达到稳定状态。短跑研究发现,支撑腾空时间交叉点出现在起跑后第5~8步并认为这是运动员完成蹬伸加速,向转换阶段过渡的转换点。跳远助跑受到助跑距离和起跳板的限制,加速阶段相对较短,本研究中跳远运动员起动后第4~5步内出现支撑腾空时间的交叉点,存在与短跑类似的转换环节。本研究中跳远运动员在倒数第17步(46次,24.46%),起动后第4~5步内出

现支撑腾空时间交叉点的次数和比例最高,在倒数第16步(39次,20.74%)和第18步(24次,12.77%)也出现不同程度的交叉。整体而言,跳远运动员出现支撑、腾空交叉点的时机早于短跑,且出现位置在倒数第16~18步。由于研究设计的局限性,没有按照竞技水平对运动员进行分组,所以交叉点出现的浮动现象可能与运动员竞技水平不同所表现出的完成加速时机早晚不同有关。因此,后续研究应进一步探究不同水平运动员在加速节奏上的差异,丰富助跑阶段划分的论据。

最大趾-板距离标准差是评价跳远运动员全程助跑误差累计程度的指标,出现该点的位置被称为视觉调控点(王国杰,等,2020)。Hay(1988a)对49名高水平跳远运动员助跑技术的研究发现,运动员的趾-板距离标准差存在先增大后减小的现象,并且最大趾-板距离标准差出现在倒数4~6步。在该理论的影响下,教练员在运动员助跑中出现最大趾-板距离标准差的位置放置第2标志点,用以检查运动员助跑准确性,同时也作为运动员的视觉调控点,提醒运动员进行视觉调控来减小误差。基于此,学者们以最大趾-板距离标准差出现位置,将全程助跑分为程序化助跑阶段和视觉调控助跑阶段(Berg et al., 1995; Hay, 1988b; Lee et al., 1982; Scott et al., 1997),要求运动员在程序化助跑阶段保证步态稳定的基础上,获得理想的速度;在视觉调控助跑阶段进行适当的视觉调控和步态调整,通过垂直用力获得相对理想的腾空,为视觉调控提供空间,从而减小助跑误差。本研究也发现类似结果,即运动员在倒数第4~6步(倒数4~6步的比例分别为13.16%、10.53%和36.84%)的范围内出现最大趾-板距离标准差,其中倒数第6步出现次数和比例最高。跳远助跑中运动员开始进行视觉调控的时机与运动员的距离感知能力有关(王国杰,等,2020),过早会带来较大助跑水平速度损失,而过晚则会降低踏板准确性。本研究中选取倒数第6步作为转换点,一方面与其出现的次数和比例较高有关;另一方面,倒数第6步至踏板为起跳腿的3个复步,方便教练员和运动员对助跑节奏进行管控。

阶段1中跳远运动员着地和离地瞬间胫骨角相对偏小,进入后续2个阶段后,运动员着地和离地瞬间胫骨角分别增至 $90.05^{\circ} \pm 2.19^{\circ}$ 和 $44.24^{\circ} \pm 2.89^{\circ}$,运动员逐渐失去最佳的加速条件。Hunter等(2005)研究发现,运动员起动后,每1步着地瞬间胫骨角增加 $6^{\circ} \sim 8^{\circ}$,着地距离逐渐增大,制动力也随之增加,每1步支撑阶段所产生的水平力逐渐减少。有研究认为,运动员的着地瞬间胫骨角在起动后的第5~7步达到垂直状态,标志着运动员完成初始加速度阶段(Crick, 2014b, 2014c)。Nagahara等(2018)发现,短跑运动员在起动加速最初的4步中有较高的水平力,第5步之后着地制动力开始增大,在第16~17步前有相对高的平均水平力,之后则表现出较高的垂直力,认为

这与运动员在不同跑动阶段采用的加速策略不同有关,并将水平力出现衰减的位置作为加速阶段的转换点。本研究发现,跳远运动员的水平力值从倒数第16~17步(起动后4~5步)开始大幅度下降,表明运动员产生水平力的能力下降,存在与短跑运动员相似的现象。全程助跑中水平力获取的是运动员拖拽阻力绳进行助跑衔接腾空步练习时的数据。因练习本身的局限性和腰部附加阻力绳的原因,不具备开展大范围研究的条件,所以研究样本量有限。但是仅有的6次全程助跑水平力转换点与支撑、腾空时间交叉点出现位置、身体质心高度第1转换点出现位置几乎相同。加之已有短跑研究证实了跑动技术变化与水平力衰减之间的关系,所以本研究选取倒数第17步作为转换点。

跳远运动员的躯干角在阶段1中为 60° 左右,处于前倾状态,当运动员完成阶段1进入阶段2之后,躯干角逐渐由 $75^{\circ} \sim 77^{\circ}$ 增至倒数第6步(起动后14~16步)前的 90° 。阶段1中躯干的前倾幅度大,支撑点位于身体质心投影点之后,地面反作用力的方向更向前、更低平,便于加速(Debaere et al., 2013)。Crick(2014c)研究指出,躯干角是加速阶段影响前后方向水平力的重要因素,并建议运动员采用逐渐小幅度增加躯干角的策略。途中跑阶段直立且稳定的躯干有利于发挥人体前链肌群力量,尤其是髂腰肌力量(Morini et al., 2008),为高抬膝关节创造空间,允许运动员有更长的的工作距离加速下压。此外,身体直立后,运动员跑动中离地距离减小,髌关节伸展幅度减小,便于快速转换进入前摆,加快摆动腿前摆速度(Dorn et al., 2012),并拉长同侧腓绳肌,从而提高腓绳肌张力(Chumanov et al., 2007),进而增加着地时胫骨“回扒”速度,加大着地阶段的垂直冲量(Clark et al., 2014)。但是躯干角度的增大会不可避免的减小离地距离,进而影响理论上最佳水平力的产生。此外,本研究中跳远运动员在阶段1中的着地点位于质心投影点之后,此时着地角较大,施力方向与运动方向相同,可以产生较大的水平力。但随着助跑速度的提升,着地点开始出现在身体质心投影点之前,着地点远离躯干,着地距离增加,着地角逐渐减小,着地制动力增加。可见,运动员在完整助跑中的跑动策略不同,对助跑阶段进行划分,有助于了解不同阶段技术特点,明确不同阶段技术目标,便于开展程序化助跑训练。

综上,优秀男子跳远运动员在阶段1、阶段2和阶段3中的技术表现与短跑运动员在起动加速、途中跑和最大速度阶段相似,考虑到跳远项目自身技术特点,本研究将上述3个阶段称为起动加速、途中跑和准备起跳阶段。

助跑阶段划分是助跑过程中的共性问题,不同水平的运动员在助跑中均存在阶段转换现象。本研究出于数据采集的限制,将不同目的研究分散在不同比赛中,从而提高数据采集成功率,因此研究对象成绩也出现一定差异,

平均在 7.52~7.74 m (个人最好成绩平均在 7.86~7.97 m)。虽然运动员成绩水平相对低,且助跑中身体质心高度转换点、支撑腾空时间交叉点、最大趾-板距离标准差和水平力转换点在整个间也存在一些差异,如身体质心高度第 1 和第 2 转换点出现在倒数第 19~16 步和倒数第 9~5 步,支撑腾空时间交叉点出现在倒数第 20~9 步,最大趾-板距离标准差出现在倒数第 12~2 步,水平力转换点出现在倒数第 17~15 步。数据的浮动可能与运动员水平、比赛场次及拍摄机位的不同有关,研究中已尽可能采用相同的拍摄解析方法来规避。但是不同场次、多名运动员、多次试跳中数据变化呈现高度集中趋势,表明助跑阶段转换存在的客观性。此外,世界优秀跳远教练员在实践中采用了与本研究相同的阶段划分方式,也进一步为助跑阶段划分提供了实证案例。跳远助跑阶段划分是将训练实践经验理论化的过程,是从实践中来到实践中去的体现,当前赛事组织管理日益严格,数据采集难度渐增,基于实战的技术分析应加强与竞赛管理部门的协调,同时注重研究方法的升级来提高数据采集的系统性和规范性。

4 结论

男子跳远全程助跑可分为起动加速(起动~倒数第 17 步)、途中跑(倒数第 16~7 步)和准备起跳(倒数第 6~1 步)3 个阶段。运动员在起动加速阶段应保持躯干前倾和较小的着地胫骨角,增大离地距离、减小离地角,尽可能获得较高的水平力;途中跑阶段和准备起跳阶段应逐渐的增大躯干角,逐步提高身体质心高度,为屈伸髋肌群关节创造有利的工作条件,提高“扒地”效果,提高跑速。

参考文献:

刘建智,2002. 膝关节复杠杆简化模型的研究与教学[J]. 西安体育学院学报,19(4): 48-49.

王国杰,章碧玉,彭秋艳,2020. 我国优秀跳远运动员助跑调整策略研究[J]. 中国体育科技,56(7): 84-89.

文超,2013. 田径运动高级教程(第3版)[M]. 北京:人民体育出版社:254-267.

ALEXANDER R M, 1990. Optimum take-off techniques for high and long jumps[J]. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 329(1252): 3-10.

BERG W, GREER N, 1995. A kinematic profile of the approach run of novice long jumpers[J]. *J Appl Biomech*, 11(2): 142-162.

BING Y, 1989. Determination of the optimum cutoff frequency in the digital filter data smoothing procedure[J]. *J Biomech*, 22(10): 988.

BRADSHAW E J, AISBETT B, 2006. Visual guidance during competition performance and run-through training in long jumping[J]. *Sports Biomech*, 5(1): 1-14.

CAVAGNA G A, KOMAREK L, MAZZOLENI S, 1971. The mechanics of sprint running[J]. *J Physiol*, 217(3): 709-721.

CHUMANOV E S, HEIDERSCHEIT B C, THELEN D G, 2007. The effect of speed and influence of individual muscles on hamstring

mechanics during the swing phase of sprinting[J]. *J Biomech*, 40(16): 3555-3562.

CLARK K P, WEYAND P G, 2014. Are running speeds maximized with simple-spring stance mechanics?[J]. *J Appl Physiol*, 117(6): 604-615.

CRICK T, 2014a. Understanding the performance profiles of sprint events [EB/OL].[2020-01-01].<http://ucoach.com/>

CRICK T, 2014b. The drive phase [EB/OL].[2020-01-01]. <http://ucoach.com/>

CRICK T, 2014c. The transition, max velocity and speed maintenance phases [EB/OL].[2020-01-01].<http://ucoach.com/>

DEBAERE S, DELECLUSE C, AERENHOUTS D, et al., 2013. From block clearance to sprint running: characteristics underlying an effective transition[J]. *J Sports Sci*, 31(2): 137-149.

DELECLUSE C, VAN COPPENOLLE H, DIELS R, et al., 1992. A model for the scientific preparation of high level sprinters[J]. *New Study Athl*, 7(4): 57-64.

DORN T W, SCHACHE A G, PANDY M G, 2012. Muscular strategy shift in human running: Dependence of running speed on hip and ankle muscle performance[J]. *J Exp Biol*, 215(11): 1944-1956.

FUKUNAGA T, MATSUO A, ICHIKAWA M, 1981. Mechanical energy output and joint movements in sprint running[J]. *Ergonomics*, 24(10): 765-772.

GOODWIN J, 2019. The four phases of the long jump [EB/OL].[2019-12-25]. <https://www.ncacoach.org/uploads/Goodwin-GI.pdf>.

HAY J G, 1988a. Approach strategies in the long jump[J]. *J Appl Biomech*, 4(2): 114-129.

HAY J G, 1988b. Evaluating the approach in the horizontal jumps[J]. *J Appl Biomech*, 4(4): 372-392.

HAY J G, 1993. Citius, altius, longius (faster, higher, longer): The biomechanics of jumping for distance[J]. *J Biomech*, 26(1): 7-21.

HUNTER J P, MARSHALL R N, MCNAIR P J, 2004. Interaction of step length and step rate during sprint running[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 36(2): 261-271.

HUNTER J P, MARSHALL R N, MCNAIR P J, 2005. Relationships between ground reaction force impulse and kinematics of sprint-running acceleration[J]. *J Appl Biomech*, 21(1): 31-43.

JACOBY E D, FRALEY B, 2000. Complete Book of Jumps [M]. Champagne, Illinois: Human Kinetics: 45-75.

LEE D N, LISHMAN J R, THOMSON J A, 1982. Regulation of gait in long jumping[J]. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 8(3): 448-459.

MAČKALA B K, 2007. Optimisation of performance through kinematic analysis of the different phases of the 100 metres [J]. *New Study Athl*, 22(2): 7-16.

MAKARUK H, STARZAK M, LÓPEZ DEL J L, 2015. The role of a check-mark in step length adjustment in long jump [J]. *J Human Sport Exerc*, 10(3): 756-763.

MANN R, MURPHY A, 2015. The Mechanics of Sprinting and Hurdling [M]. Charleston, South Carolina: CreateSpace: 125-130.

MERO A, KOMI P V, GREGOR R J, 1992. Biomechanics of sprint running[J]. *Sports Med*, 13(6): 376-392.

MORAVEC P, SUSANKA P, RUZICKA J, et al., 1988. The 1987 International Athletics Foundation Scientific Project Report: Time analysis of the 100 meters events at the II IAAF World Champion-

- ship in Athletics[J]. *New Studies Athl*, 3(3): 61-96.
- MORINI S, CICCARELLI A, CERULLI C, et al., 2008. Functional anatomy of trunk flexion-extension in isokinetic exercise: Muscle activity in standing and seated positions[J]. *J Sports Med Phys Fitness*, 48(1): 17-23.
- NAGAHARA R, MATSUBAYASHI T, MATSUO A, 2014a. Kinematics of transition during human accelerated sprinting[J]. *Biol Open*, 3(8): 689-699.
- NAGAHARA R, MIZUTANI M, MATSUO A, et al., 2018. Step-to-step spatiotemporal variables and ground reaction forces of intra-individual fastest sprinting in a single session[J]. *J Sports Sci*, 36(12): 1392-1401.
- NAGAHARA R, NAITO H, MORIN J B, et al., 2014b. Association of acceleration with spatiotemporal variables in maximal sprinting[J]. *Int J Sports Med*, 35(35): 755-761.
- NEDER J A, STEIN R, 2006. A simplified strategy for the estimation of the exercise ventilatory thresholds[J]. *Med Sci Sports Exer*, 38(5): 1007-1013.
- PLAMONDON A, ROY B, 1984. Kinematics and kinetics of sprint acceleration[J]. *J Can Sci Appl Sport*, 9(1): 42-52.
- ROSENBAUM M, 2020. Long jump technique step-by-step instruction[EB/OL].[2020-01-05]. <https://www.liveabout.com/step-by-step-long-jump-technique-3258964>.
- SCOTT M A, LI F X, DAVIDS K, 1997. Expertise and the regulation of gait in the approach phase of the long jump[J]. *J Sports Sci*, 15(6): 597-605.
- THEODOROU A, SKORDILIS E, PLAINIS S, et al., 2012. Stride length regulation at the approach phase of long jump in visually impaired (f12 Class) athletes[C]// *International Symposium on Biomechanics in Sports*. Melbourne Australia: International Society of Sport Biomechanics: 33-36.
- THEODOROU A S, PANOUTSAKOPOULOS V, EXELL T A, et al., 2017. Step characteristic interaction and asymmetry during the approach phase in long jump[J]. *J Sports Sci*, 35(4): 346-354.
- VAN DON B, PAULING K, 1996. First and last strides and accuracy in the long jump approach?[J]. *Track Coach*, (137): 4361-4364.
- VOLKOV N I, LAPIN V I, 1979. Analysis of the velocity curve in sprint running[J]. *Med Sci Sports Exer*, 11(4): 332-337.
- WILKAU H C V L U, IRWIN G, BEZODIS N E, et al., 2020. Phase analysis in maximal sprinting: An investigation of step-to-step technical changes between the initial acceleration, transition and maximal velocity phases[J]. *Sports Biomech*, 19(2): 141-156.

Research on the Phase Division of Full Approach of Men's Long Jump

WANG Guojie¹, PENG Qiuyan², ZHANG Biyu²

1. *Sports Training Institute, Nanjing Sport Institute, Nanjing 210033, China;*
2. *China Institute of track and field, Beijing Sport University, Beijing 100084, China*

Abstract: Objective: Discussing the phase division and theoretical basis of the full approach of male long jumpers, so as to provide theoretical basis for coaches to implement programmed training in the long jump approach training. Methods: The kinematic and dynamic parameters of full approach were obtained by video shooting analysis and testing methods. Results: 1) In full approach, the height of the CM gradually increases, and shows two transition points in the penultimate 17 th step and the penultimate 6 th step; 2) Ground contact time gradually decreases, while the flight time gradually increases after start, intersection point between ground contact time and flight time in the penultimate 17 th step; 3) Standard deviation of toe to board distance increased gradually after start, and the maximum standard deviation of toe to board distance was higher in the penultimate sixth step, and gradually decreased after this step; 4) Athletes can produce higher horizontal force in the first 4~5 steps after start, and the horizontal force decreases greatly; 5) In phase 1 athletes have short landing distance, small shin angle, large forward leaning range of trunk, long push-off distance from the ground, small landing angle which is convenient for acceleration. In phase 2 and phase 3, landing shin angle and distance increase, trunk forward tilt amplitude decreases, distance from the ground decreases, the angle from the ground increases. Conclusions: The full approach of men's long jump can be divided into three phases: starting acceleration, running on the way and preparing to take off. Athletes should keep the trunk forward and small landing shin angle, increase the distance from the ground, reduce the angle push-off ground, and get a higher level of driving force as far as possible in the starting acceleration phase; in the middle running phase and preparation for take-off phase, athletes should gradually increase the trunk angle, gradually improve the height of center of mass, create favorable working conditions for hip flexion and extension, improve the effect of raking the ground, and improve speed.

Keywords: *men; long jump; long jump approach; phase division; height of center of mass*