

我国优秀女子100 m栏运动员关键技术诊断及优化训练策略研究

程泓人,钟亚平

(武汉体育学院 体育大数据研究中心,武汉 430079)

摘要:以我国现役女子100 m栏国际健将级运动员为研究对象,采用视频图像解析法和跟踪调查法对其在2019—2021赛季关键技术指标的变化及专项训练方法进行研究,分析东京奥运周期我国女子100 m栏运动员整体成绩提升的内在原因,诊断现有技术环节中存在的不足,提出技术优化训练对策。结果表明,我国优秀女子100 m栏运动员2021赛季的全程速度、分段速度、栏间跑步长和步频、跨栏触地时间、过栏速度指标均显著优于2019和2020赛季。相比国外优秀运动员,我国运动员在最大速度、全程速度节奏、起跑加速、栏间跑节奏和跨栏步技术上均存在一定差距。建议采用高强度冲刺跑训练发展100 m栏运动员的最大速度能力,依据不同阶段的能量代谢规律和动力学特征调整速度节奏;固定起跑器位置和预备动作姿态,扩大脚掌与抵足板的接触面积,训练双脚同时蹬伸发力优化起跑技术;利用外视点限定步长,优化起跑至一栏的步长模式;依据阶梯式扩大栏间距训练原则开展栏间跑训练,使用小栏架训练控制栏间跑的步长,缩短小腿后摆幅度优化栏间跑技术;利用阻力跑练习产生后激活增强效应,提高起跨蹬地的输出功率优化过栏技术。

关键词:女子100 m栏;运动技术诊断;起跑;栏间跑;跨栏技术

中图分类号:G822.6

文献标志码:A

女子100 m栏是奥运会和各级别田径赛事中常设项目之一,它要求运动员在最短的时间内跑完100 m的距离内并跨越10个高度为0.84 m的栏架。我国女子100 m栏项目曾在亚洲范围内取得过优异的成绩,冯云、刘静、吴水娇等优秀女子100 m栏运动员都曾登上过亚运会的最高领奖台。不过相比于男子110 m栏项目上取得的辉煌成就,我国女子100 m栏运动员在世界范围内的成绩并不瞩目。在2017年全运会后我国女子100 m栏的整体成绩开始下滑,2019年全赛季没有女子100 m栏运动员跑出13.20 s以内的成绩(国际健将级标准)。为解决这一困境,中国田协从2019年开始聘请国外高水平的跨栏教练和专家学者来华传授新的训练理念与训练方法,并选拔有潜力的女子100 m栏运动员进行集中训练。经过两年努力,中国女子100 m栏项目在2021赛季迎来了全面爆发,单赛季共7人达标国际健将并创造个人最好成绩,其中4人跑进13 s大关,全运会决赛整体成绩创历史新高。女子100 m栏运动员陈佳敏登上了东京奥运会的赛场。中国女子100 m栏项目在短时间内整体成绩大幅度提升,其成功背后的原因引起了运动训练学术界的广泛关注。本研究通过参与国家跨栏队外教组的训练工作,从我国高水平女子100 m栏运动员专项技术优化训练层面分析该项目取得成功的原因,并通过重点运动员在2019—2021赛季的技术数据进行跟踪研究,分析我国优秀女子100 m栏运动员在不同时期的技术特征及变化规律。立足于实践经验,分析国家跨栏队外教组在东京奥运备战期内技术优化训练方法,揭示我国优秀女子100 m栏运动员短时间内取得技术优化的内在原因。提出现阶段仍存在的技术表现上的不足,为未来我国高水平跨栏训练提供新的训练对策与训练思路。

收稿日期:2021-12-21;**修回日期:**2022-03-21。

基金项目:湖北省中央引导地方科技发展专项(2019ZYD054)

作者简介:程泓人(1994—),男,河北石家庄人,武汉体育学院博士研究生,研究方向为运动训练学理论与方法、田径专项技术测量与评价,E-mail:243424194@qq.com。

通信作者:钟亚平(1968—),男,湖北武汉人,武汉体育学院教授,博士,博士生导师,研究方向为体育教育训练学,E-mail:zhongyaping@whsu.edu.cn。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

以6名我国女子100 m栏国际健将级运动员为研究对象,以其在2019—2021年期间部分重要比赛中的相关技术参数为研究内容,并将其与2019年田径世锦赛和2017年田径世锦赛女子100 m栏决赛运动员的相关技术参数进行了对比分析^[1].表1所示的是研究对象的基本信息以及解析成绩.

表1 研究对象基本信息及解析成绩

Tab. 1 List of information on the main study subjects

运动员	年龄/岁	身高/cm	体质量/kg	PB/s	解析成绩/s		
					2021 赛季	2020 赛季	2019 赛季
林雨薇	22	171.5	53.0	12.85	12.85 ^a	13.22 ^d	13.55 ^e
吴艳妮	24	173.0	61.5	12.87	12.87 ^b	13.09 ^d	13.49 ^f
王逗	28	167.0	57.5	13.00	13.00 ^a	13.40 ^d	13.52 ^f
陈佳敏	25	165.5	53.0	13.01	13.01 ^b	13.92 ^d	13.25 ^g
戴仪茹	20	168.0	56.0	13.13	13.13 ^c	13.61 ^d	13.24 ^f
汪丽	22	172.0	63.0	13.19	13.19 ^a	13.61 ^d	13.46 ^g
平均数±标准差	23.57±2.57	170.57±3.98	57.36±3.85	13.01±0.14	13.01±0.14	13.48±0.30	13.42±0.14

注:PB为个人最好成绩;a表示2021年全国运动会;b表示2021年全国田径锦标赛;c表示2021年全国田径锦标赛分区赛(肇庆站);d表示2020年全国田径锦标赛;e表示2019年全国田径冠军赛;f表示2019年世锦赛选拔赛;g表示2019年全国田径锦标赛.因调研赛次遗漏和出国条件限制2019年赛季中吴艳妮、王逗和陈佳敏的解析成绩为当赛季第二好成绩.年龄统计日期为2021-09-22全运会女子100 m栏决赛日.

1.2 研究方法

1.2.1 跟踪调查法

利用为中国田径协会跨栏集训队进行科技服务的机会,在2019年3月至2021年9月间跟踪调研23场国内赛事,采集相关技术参数为研究的开展提供数据支撑.深入各运动队跟踪观察主要研究对象的专项技术训练与体能训练,收集训练信息.

1.2.2 视频图像解析法

采用两台JVC GC-P100和两台Panasonic DC-FZ85摄像机对跨栏专项训练和比赛进行拍摄.其中两台相机分别架于主跑道两侧的看台上进行定点变焦扫描拍摄,拍摄频率为100帧/s.一台摄像机正对起点线和第1栏(H1)中间位置,取景范围为15 m,拍摄距离约40 m;一台摄像机正对H3和H4中间位置,取景范围为13 m,拍摄距离约40 m,进行二维平面定点定焦拍摄,拍摄频率为240帧/s.在比赛前或赛后采用二维标定框架对H3至H4的栏间,以及H4的栏前和栏后进行二维空间标定.

使用运动视频技战术分析系统Kinovea,运动视频解析软件Dartfish 10 Classic和动作捕捉系统Simi Motion 9.2.2对现场采集的运动视频进行运动学参数解析,获取关键技术动作的图像及运动学数据.全程速度及时间参数,栏间跑距离参数使用Dartfish 10 Classic解析软件采集,以比赛视频中发令枪闪烁的第一帧开始计时,以下栏时摆动腿的脚尖着地瞬间时相作为跨栏周期时间的分节点,全程结束的时间以赛事官方成绩单为准.Kinovea系统用于栏间跑技术中相关时间参数的采集,Simi Motion 9.2.2系统用于跨栏步技术中过栏速度参数的计算.

1.2.3 专家访谈法

通过走访多个田径训练基地,并利用国家跨栏队集中训练以及参与各项赛事的比赛调研,分别就赛季训练安排,跨栏技术训练、速度训练、运动表现诊断与训练状态监控等问题与研究对象的主管教练员、助理教练员和科研人员进行多次深入的交流,开展详细的访谈.

1.2.4 数理统计法

采用Excel 2019和SPSS 26.0统计软件对相关技术参数进行统计分析,平均数±标准差和比例用于研

究对象的描述性统计.以时间为重复测量的因素对我国优秀女子100 m栏运动员不同赛季的技术数据进行重复测量方差分析,当数据满足 Mauchly's 球形度假设检验($P < 0.05$),采用主体内效应检验,不满足 Mauchly's 球形度假设检验($P > 0.05$),采用多变量检验.采用独立样本 T 检验对中外女子100 m栏运动员的技术数据进行分析,参数间的显著性差异设定为: $P < 0.05$.

2 研究结果与分析

本研究的主要目的是探究东京奥运周期我国女子100 m栏运动员整体成绩提升的内在原因,诊断女子100 m栏运动员的关键技术,并提出技术优化训练对策.从此前文献[2-3]对女子100 m栏项目技术表现的相关研究中发现,该项目关键技术环节包括:“全程速度节奏”“分段速度节奏”“起跑至第一栏”“跨栏跑”和“跨栏步”专项技术.

2.1 我国优秀女子100 m栏运动员关键技术诊断

2.1.1 全程速度节奏

跨栏项目对速度节奏有很高的要求,良好的速度节奏有利于节省体能和保持动作技术的流畅性.诊断速度节奏的重要运动学指标是“栏单元”时间(hurdle unit time)^[4],也称之为跨栏周期时间.一个跨栏周期由栏间跑3步和1个跨栏步组成,良好的跨栏周期节奏是肌肉紧张与合理放松交替工作的结果^[5].由表2可知,我国优秀女子100 m栏运动员在2021赛季共有10个跨栏周期时间显著低于2020赛季($P < 0.05$);共有7个跨栏周期时间显著低于2019赛季($P < 0.05$),在H1~H2, H3~H4以及H4~H5栏的跨栏周期时间略低于2019赛季,但不存在显著性差异($P > 0.05$).这说明2021赛季的跨栏周期速度和全程速度较前2个赛季有了明显的提升.

研究现代女子100 m栏速度节奏模式可准确把握100栏项目的专项特征.依据2019年世锦赛女子100 m栏决赛运动员的各阶段跨栏周期时间参数^[6],可知其速度曲线相对平稳,最大波峰出现在H5~H6阶段.世界优秀运动员的加速距离长,速度平稳且保持速度能力强.而我国女子100 m栏运动员的全程速度曲线在H2~H3阶段有起伏,且最大波峰出现在H3~H4阶段.相比于世界优秀运动员,我国女子100 m栏运动员加速距离短,最大速度出现时间早,全程速度较慢.详见图1.

表2 我国优秀女子100 m栏运动员跨栏周期时间

指标	2021 赛季	2020 赛季	2019 赛季	F
t_{0-100}/s	13.01±0.14	13.48±0.30*	13.42±0.14*	8.19
t_{0-H1}/s	2.62±0.03	2.68±0.07*	2.68±0.04*	3.05
t_{H1-H2}/s	1.04±0.02	1.07±0.02*	1.06±0.02	3.05
t_{H2-H3}/s	1.03±0.02	1.06±0.04*	1.06±0.01*	92.20
t_{H3-H4}/s	1.01±0.01	1.05±0.02*	1.04±0.03	4.33
t_{H4-H5}/s	1.01±0.01	1.04±0.02*	1.03±0.02	4.62
t_{H5-H6}/s	1.01±0.02	1.05±0.02*	1.05±0.02*	9.62
t_{H6-H7}/s	1.02±0.02	1.06±0.02*	1.06±0.03*	8.04
t_{H7-H8}/s	1.03±0.02	1.07±0.03*	1.07±0.01*	8.37
t_{H8-H9}/s	1.04±0.02	1.09±0.03*	1.08±0.02*	9.28
t_{H9-H10}/s	1.07±0.02	1.12±0.04*	1.10±0.01*	52.91

注: t_{0-H1} 表示起跑至第1栏的时间, t_{H1-H2} 表示第1栏至第2栏的时间,以此类推;*表示和2021赛季相比具有显著性差异($P < 0.05$);下同.

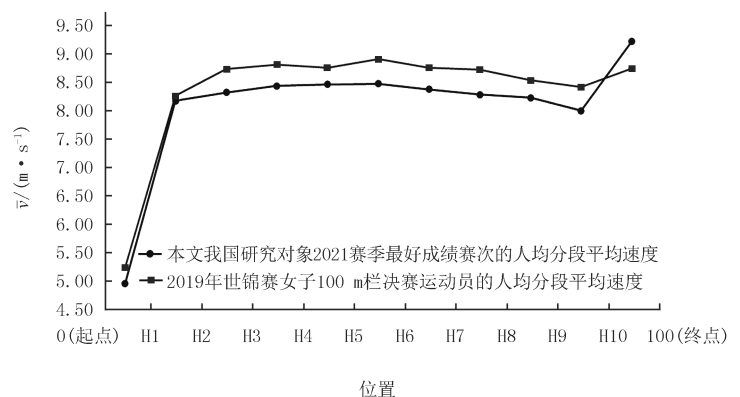


图1 中外优秀女子100 m栏运动员速度对比

Fig. 1 Comparison of speed between Chinese elite women's 100 m hurdlers and the world

2.1.2 分段速度和降速幅度

为准确反映 100 m 栏速度节奏和阶段能力,许多学者将短距离跨栏跑进一步划分以下 5 个阶段:起跑阶段(起点至 H1)、加速阶段(H1~H4)、最大速度阶段(H4~H7),速度保持阶段(H7~H10)和冲刺阶段(H10 至终点)^[7-8].由表 3 可知,我国优秀女子 100 m 栏运动员在 2021 赛季各分段的平均速度均显著高于 2020 和 2019 赛季.2021 赛季的降速幅度略低于 2020 赛季和 2019 赛季,尽管在统计学上不存在显著性差异.我国运动员的起跑加速能力、最大速度能力、保持速度能力和冲刺能力较前两个赛季均有明显的提升.

2019 年世锦赛女子 100 m 栏决赛运动员各分段的人均平均速度如下:起跑阶段(5.23±0.12) m/s,加速阶段(8.56±0.09) m/s,最大速度阶段(8.77±0.14) m/s、速度保持阶段(8.52±0.15) m/s,冲刺阶段速度(8.71±0.16) m/s.除冲刺阶段外,各阶段人均平均速度显著高于我国优秀运动员人均平均速度,冲刺阶段显著低于我国优秀运动员.相较于世界优秀运动员,我国运动员的优势是下 10 栏后的平跑冲刺,在起跑加速、最大速度和速度保持能力上均与世界优秀运动员有明显差距.

表 3 我国优秀女子 100 m 栏运动员阶段速度赛季变化

Tab. 3 The split speed of Chinese elite women's 100 m hurdlers

指标	2021 赛季	2020 赛季	2019 赛季	F
$\bar{v}_{0-H1}/(m \cdot s^{-1})$	4.97±0.06	4.86±0.13 *	4.84±0.08 *	4.09
$\bar{v}_{H1-H4}/(m \cdot s^{-1})$	8.28±0.10	8.03±0.19 *	8.08±0.14 *	4.70
$\bar{v}_{H4-H7}/(m \cdot s^{-1})$	8.41±0.11	8.11±0.16 *	8.13±0.11 *	11.55
$\bar{v}_{H7-H10}/(m \cdot s^{-1})$	8.14±0.13	7.79±0.22 *	7.85±0.06 *	78.69
$\bar{v}_{H10-100}/(m \cdot s^{-1})$	9.19±0.25	8.79±0.40 *	8.83±0.14 *	4.09
$\bar{v}_{drop}/(m \cdot s^{-1})$	0.27±0.09	0.31±0.13	0.28±0.09	0.43
$(\bar{v}_{drop}/\bar{v}_{H4-H7})/\%$	3.21±1.01	3.87±1.62	3.45±1.08	0.66

注: \bar{v}_{0-H1} 表示起跑至 H1 的平均速度,以此类推; $\bar{v}_{drop} = \bar{v}_{H4-H7} - \bar{v}_{H7-H10}$.

2.1.3 起跑至一栏技术

从起跑开始,加速跑至 H1 的起跨点,合称为起跑至 H1^[9].该阶段是跨栏项目中重要的加速阶段,女子 100 m 栏起跑至 H1 的距离为 13 m,运动员一般用 7 或 8 步完成这段距离.在距离和步数固定的条件下,理论上存在最优化的步长模式特征.探索跨栏项目最优化的步长模式始终是国内外学者研究的重要议题,表 4 中世界优秀运动员的步长模式是由美国著名运动生物力学专家 RALPH MANN 博士研究得到的近百名优秀女子 100 m 栏运动员步长变化的共性特征^[10].由表 4 可知,我国运动员与世界优秀运动员起跑至 H1 的步长模式有明显差异.世界优秀运动员起跑后单步的步长逐渐增加,单步的增长幅度逐渐减小,在第 7 步时步长开始减小,减小步长是为了在起跨前留出足够的上栏空间.而我国运动员起跑后步长同样逐渐增加,但第 4~7 步的步长增长幅度起伏不定,直到第 8 步才开始减小步长.这说明我国运动员启动后的加速节奏起伏大,且调整起跨位置的时机较晚,这会影响到后续完成 H1 跨栏步动作的流畅性.

表 4 中外优秀女子 100 m 栏运动员起跑至 1 栏步长模式

Tab. 4 Step length pattern of world elite women's 100 m hurdlers from start to first hurdle

类别	中国优秀运动员(2021)		中国优秀运动员(2020)		世界优秀运动员	
	步长/m	步长增幅比例/%	步长/m	步长增幅比例/%	步长/m	步长增幅比例/%
第 1 步	0.57	—	0.58	—	0.65	—
第 2 步	1.13	98.25	1.09	87.93	1.10	69.23
第 3 步	1.36	20.35	1.35	23.85	1.30	18.18
第 4 步	1.41	3.68	1.41	4.44	1.48	13.85
第 5 步	1.61	14.18	1.60	13.48	1.62	9.46
第 6 步	1.64	1.86	1.65	3.12	1.70	4.94
第 7 步	1.80	9.76	1.82	10.30	1.65	-2.94
第 8 步	1.69	-6.11	1.71	-6.04	1.55	-6.06

2.1.4 栏间跑技术

栏间跑的步长和步频是衡量跨栏运动员栏间跑技术的重要运动学指标.由表 5 可知,我国运动员栏间跑的步长呈逐年减小趋势,步频呈逐年增大趋势.2021 赛季栏间第 1 步略小于 2020 赛季第 1 步的步长显著小

于 2019 赛季第 1 步的步长;2021 赛季栏间第 2 步的步频显著高于 2020 赛季和 2019 赛季.栏间跑的步长减小,步频增大势必会提升栏间节奏.2021 赛季的栏间跑技术进步明显,未来可以进一步优化栏间 3 步的步长比例,寻求更快的栏间节奏.

美国运动生物力学专家 RALPH MANN 博士曾提出世界优秀女子 100 m 栏运动员栏间 3 步的步长比例为 27 : 39 : 34,呈“小-大-中”的步长特征^[10].我国运动员栏间三步的步长比例为 27 : 38 : 35,同样呈现“小-大-中”的特征,但第 2 步的步长占比相对偏小,第 3 步的步长占比相对偏大.栏间跑第 3 步是衔接起跨上栏的重要技术环节.如果在合适的范围内缩小这 1 步的步长,将有利于扩大起跨距离,提升攻栏表现.

2.1.5 跨栏步技术

在跨栏步技术中,上栏和下栏的触地时间是评价运动员反应力量的重要运动学指标,而跨栏周期距离和过栏速度是评价跨栏技术效果的重要指标.由表 6 可知,我国运动员在 2021 赛季的上栏时间为略短于 2020 赛季,显著短于 2019 赛季;2021 赛季下栏时间显著短于 2020 赛季,略短于 2019 赛季.在跨栏距离上,2021 赛季的平均跨栏距离为略大于 2020 赛季,显著大于 2019 赛季.在过栏速度上,2021 赛季显著高于 2020 赛季,略高于 2019 赛季.2021 赛季的上栏和下栏触地时间减少,跨栏周期距离增大,过栏速度明显提升.

国外学者对 2017 年世锦赛女子 100 m 栏决赛运动员技术表现的研究中发现,世界优秀女子 100 m 栏运动员的跨栏距离为 $3.16 \text{ m} \pm 0.11 \text{ m}$ (小于我国),其中上栏距离约占跨栏距离的 66%,下栏距离约占跨栏距离的 34%^[11].我国运动员的跨栏距离比例上栏距离占比偏小,下栏距离占比偏大,且跨栏距离较大,过栏的经济性不高.

2.2 我国优秀女子 100 m 栏运动员技术优化训练对策

2.2.1 高强度冲刺跑训练发展最大速度能力,调节速度节奏节省能量消耗

女子 100 m 栏属于短距离周期性竞速类项目,对运动员的速度能力有很高的要求.2021 赛季的全程速度及各分栏速度较前两个赛季均有明显提升,这说明 2021 赛季的专项速度训练取得了一定的成效.经调查发现,当前高强度冲刺跑训练在高水平跨栏运动队的专项训练中占据较大的训练比例.在一般准备期内,以高强度冲刺跑训练为主的速度训练占专项训练内容的 30%以上,在赛前准备期内占专项训练内容的 40%.合理安排高强度冲刺跑训练被认为是发展 100 m 栏运动员最大速度能力的有效训练手段.

我国运动员的最大速度出现在 H3~H4,明显比世界优秀女子 100 m 栏运动员出现的早(H5~H6)

表 5 我国优秀女子 100 m 栏运动员栏间跑技术参数

Tab. 5 The technical parameters of Chinese elite women's 100 m hurdlers running between the hurdles

指标	2021 赛季	2020 赛季	2019 赛季	F
成绩/s	13.01±0.14	13.48±0.30*	13.42±0.14*	8.19
第 1 步步长/m	1.37±0.10	1.40±0.09	1.45±0.11*	7.45
第 2 步步长/m	1.93±0.08	1.97±0.06	1.95±0.06	2.92
第 3 步步长/m	1.77±0.05	1.79±0.08	1.80±0.09	0.51
第 1 步步频/Hz	6.89±0.47	6.81±0.29	6.52±0.51	3.01
第 2 步步频/Hz	4.45±0.11	4.13±0.19*	4.12±0.10*	11.28
第 3 步步频/Hz	4.89±0.19	4.87±0.28	4.72±0.28	0.90
3 步步长比例	27 : 38 : 35	27 : 38 : 35	28 : 37 : 35	—

表 6 我国优秀女子 100 m 栏运动员跨栏步技术参数

Tab. 6 The hurdle step technique parameters of Chinese elite women's 100 m hurdlers

指标	2021 赛季	2020 赛季	2019 赛季	F
成绩/s	13.01±0.14	13.48±0.30*	13.42±0.14*	8.19
上栏触地时间/s	0.110±0.01	0.115±0.01	0.117±0.01*	3.88
下栏触地时间/s	0.090±0.01	0.095±0.01*	0.091±0.01*	3.15
腾空时间/s	0.328±0.01	0.336±0.02	0.330±0.01	1.85
上栏距离/m	2.03±0.08	2.02±0.11	1.97±0.12	0.54
下栏距离/m	1.35±0.15	1.35±0.15	1.27±0.13	0.66
跨栏距离/m	3.38±0.08	3.37±0.06‡	3.25±0.11*	5.82
上栏距离比例/%	60.11±3.53	60.03±4.00	60.83±3.57	0.26
下栏距离比例/%	39.89±3.53	39.97±4.00	39.17±3.57	0.26
过栏平均速度/(m·s ⁻¹)	8.36±0.38	7.86±0.20*	7.93±0.28	4.87

注:‡表示和 2019 赛季相比具有显著性差异.

(图1).最大速度出现阶段过早的内在原因是磷酸原(ATP-CP)供能系统利用率不高.磷酸原系统是极限运动的主要供能系统,它在三大能源供能系统中输出功率大,启动速度最快,但高效做功时间最短(6~8 s).比赛中我国女子100 m栏运动员想尽早发力在前程占据领先的位置,这时肌肉发力紧张,收缩速度加快,ATP-CP消耗衰减严重.为延迟最大速度出现时间,提高磷酸原系统输出效率,需要在训练中不断优化肌肉发力方式和步态特征以适应速度.在周期性运动中运动员控制速度节奏的本质是通过调节能量代谢和输出功率的比例,促使肌肉工作方式和步态特征最优化^[11].根据磷酸原供能系统的代谢特点,安排高强度冲刺跑训练以发展最大速度能力,合理的冲刺距离为60 m;或者安排5架栏练习,强度控制在6~8 s内完成.在高强度冲刺跑和半程栏练习中要强调运动员充分利用加速阶段产生的速度惯性,而非专注于能量释放,在稳定步长的前提下增加步频,减少触地时间,节省能量消耗.

2.2.2 不同训练手段结合,优化起跑技术

起跑是运动员从静止状态快速进入加速阶段的重要环节,也是影响田径短距离径赛成绩的关键因素.近年来,国际上对短跑运动员起跑能力影响因素的研究已涉及生理学^[12]、运动生物力学^[13]和神经科学^[14]等多个领域.不少研究证实,起跑技术优劣直接影响着跨栏运动员的反应时和起动加速表现^[15-16].我国运动员2021赛季起跑阶段的速度较前两个赛季显著提升(表3),但与世界优秀运动员相比,我国运动员在起跑阶段的速度差距明显(图2).国家跨栏集训队的外籍主教练 Todd Henson 曾提出,起跑器是比赛中的一部分,在一般准备期内就要建立起运动员对比赛器材的熟悉程度,而国内教练往往忽视起跑器的使用,到了赛前准备期内才提高起跑器的使用频次.这既不利于运动员建立稳定的起跑蹬伸姿态,也不利于提高运动员在蹲踞姿态下的神经反应.在 Todd 的训练计划中运动员平均每周使用起跑器12~15次,并采用以下的训练方法优化起跑技术.

(1)固定抵足板至起跑线的距离,塑造标准化的预备姿态.我国优秀短跑运动员苏炳添在2017年将起跑器前、后抵足板距起跑线距离分别拉长0.05 m和0.07 m,使得屈髋肌群拉伸程度舒缓,提升了起跑效果^[17].高水平跨栏运动员在训练起跑时一般以起跑线后沿为参照,固定抵足板至起跑线的距离.这个距离要在确保稳定支撑的前提下拉长股后肌群幅度,充分利用肌肉初长度实现前群伸髋肌群的快速离心收缩,产生最大的输出功率.教练员应根据运动员自身的身体形态固定起跑器位置和预备动作姿态.现代短距离跨栏项目对起跑技术中对身体姿态的评定主要集中在身体躯干的前倾角度和支撑腿的膝关节角度上,世界级短跨运动员在预备姿态时身体躯干在水平面下 13° ,前腿膝关节角度为 67° ,后腿膝关节角度为 109° ^[10].

(2)调整脚与抵足板的接触位置,扩大接触面积.NAGAHARA 等人^[18]研究发现,起跑时将跟骨贴紧抵足板,压力中心(Centre of Pressure, COP)在足后部,要比跖趾关节主要受力 COP 在足前部所创造的水平输出功率更大.我国很多短跨运动员在此前未接受过专业的起跑器使用训练,预备姿态下为了重心提前而习惯性地脚跟稍微抬起.这实际上削减了起跑时对抵足板的受力.训练中可利用空水瓶等辅助用具放在脚跟和抵足板之间,训练运动员足后部受力并将跟骨贴紧抵足板,扩大接触面积;利用迷你栏架、挡板等器械限制足部上方的活动范围以训练运动员蹬离起跑器后的抬脚高度.

(3)训练双脚同时发力蹬伸.姜自立等人^[19]研究发现,“双脚蹬离起跑器技术”可以减少后置腿蹬摆幅度,避免运动员身体重心过早抬起而产生过大的垂直分量.现代短距离跨栏项目训练同样要求运动员在起跑时双脚同时发力,增加对起跑器的作用力,提高直线方向的启动速度^[20].当前我国高水平跨栏训练中常采用的是双脚交错立定跳远、双脚交错立定推药球等训练手段发展运动员双脚同时发力的蹬伸能力.

2.2.3 利用外视点限定步长,优化起跑至一栏的步长模式

起跑至 H1 是重要的加速阶段,在这一阶段保持加速节奏稳定和动作连贯,将有助于延长加速距离,节省能量消耗.我国运动员起跑至 H1 的速度显著低于世界优秀运动员,很大原因是因为我国运动员起跑至 H1 的步长模式不合理,主要表现在第4~7步的步长增长幅度起伏不定(表4).跨栏运动员在摆脱制动后,步长的增长幅度应逐渐减小,直至在栏前最后2步出现负增长,为高效跃过 H1 创造足够的起跨空间.在训练中改变步长模式最有效的方法是利用外视参照物给予运动员视觉提示,在跑道中间贴上标记点,使运动员在跑动中可依靠视觉信息判断落脚位置,跑动中使前脚掌主动“回扒”下落至标记点位置.通过长期反复的训练逐渐形成稳定的肌肉和神经记忆,在比赛中达到技术动作自动化.此外,还要依据运动员的自身特点,针对

性的发展力量和柔韧素质,使其更轻松地完成技术动作.RALPH MANN 博士基于 40 多年对国际优秀跨栏运动员起跑步长的研究所得出的共性特征模式只是一种参考标准,并不意味着每位运动员都可以直接套用.因此还需要科研人员在训练中通过技术手段监控运动员在控制步长变量的前提下,每一步水平速度的变化,结合运动员实际的下肢生物学长度和身体素质发展水平探索最优的步长模式.实践中发现,直道栏运动员无论是 7 步还是 8 步上第一栏,每一步的速度大约增加 1.1 m/s,直至起跨前的最后一步,速度会有所下降,损失大约 0.8 m/s 的水平速度.这是因为运动员起跨时运动方向会发生变化,产生垂直向上的力,致使运动员需要主动降速以完成起跨动作.实际训练中评价步长模式的优劣要以每单步创造的水平速度为标准.

2.2.4 减少小腿后摆幅度优化栏间跑技术,阶梯式扩大栏间距离提升栏间节奏

我国运动员在 2021 赛季明显减少了栏间跑的步长,加快了栏间跑步频,提高了栏间节奏(表 5).在比较世界优秀运动员栏间 3 步的步长比例后发现,我国运动员如果减少栏间跑第 3 步的步长占比,将有利于创造更快的栏间节奏和更远的起跨距离,这需要通过长期针对性的技术优化训练来实现.栏间跑的姿势形态与传统的跑步不同,英文中定义这类跑步姿态的词汇是“shuffle”.它要求跨栏运动员在跑步时膝盖抬得较低,小腿后摆幅度小,后摆时脚跟不高过膝盖,缩小每 1 步小腿后摆的幅度.这样的技术有利于控制步长,提高步频,发展速度的连续性.在 shuffle 跑技术理念的传播下,近些年国内跨栏训练中经常使用小栏架训练控制步长,要求运动员在过小栏架时脚轻触到栏架,培养小腿摆动较低的感觉.运动员在掌握栏间跑技术后,需要在训练中反复运用以创造更快的栏间节奏.

跨栏训练中教练员会采用缩短栏间距离的方式控制运动员栏间跑的步长,提高步频与栏间节奏.缩短栏间距离可以使运动员用较短的时间完成栏间跑,人体的神经和肌肉具有记忆功能,当运动员在长期训练中适应了一种栏间速度,即使比赛中恢复了正常栏距,人体的运动神经也会释放原有的速度信号促使肌肉完成工作,这是短栏距训练可以提升栏间跑速度的内在原因.但如何设定栏间距离以达到最优的训练效果,是教练员们思考的主要问题.国际上也有不少学者对此进行了探究^[3,7],当前我国高水平跨栏训练普遍接受的阶梯式扩大栏距训练原则^[21].训练前首先设立该阶段的跨栏周期时间目标(从一架栏下栏着地瞬间开始计时到下一架栏下栏着地瞬间结束),分 5 个阶段设定栏间距,第 1 阶段栏间距设定为 8.10 m,如可以完成训练目标则加大 10 cm 栏间距进入下一阶段,依次递增.我国学者姚鹏等人曾研究过阶梯式扩大栏间距训练,提到不同栏间距离下的目标时间设定^[22].如果以达标国际健将(等级标准 13.23 s)为赛季目标,那么赛季中栏间跑训练的训练目标为每个跨栏周期完成时间 1 s.

2.2.5 阻力跑练习产生后激活增强效应,提高起跨蹬地的输出功率

我国运动员 2021 赛季的上栏时间和下栏时间较前 2 个赛季均有显著的提升.研究表明跨栏前和跨栏后的触地时间短,表明运动员具备较强的反应力量^[23].较短的下栏着地时间也可以使运动员更有效地过渡到栏间跑并保持较高的水平速度.本研究对象在 2021 赛季的上栏距离参数较前 2 个赛季均略有增大,下栏距离较前 2 个赛季无显著性变化.在跨栏技术中上栏距离相对较长可以降低抛物线,更好地保持水平速度,过栏后相对较短的下栏距离有助于运动员更迅速地将摆动腿(前腿)下落,并为运动员发展栏间跑速度创造充足的空间^[1].适宜的跨栏距离分配比例有利于提高过栏的经济性,提升过栏速度.其实在跨栏训练中无论是优化跨栏距离还是触地时间,主要目的都是为了在起跨时达到最好蹬伸效果和对地面最大的功率输出.研究发现跨栏时人体一旦腾起,无法在空中依靠肌肉二次发力增长水平速度,保持栏上的水平速度只有依靠上栏前起跨蹬地创造的反作用力和速度惯性^[10].阻力跑训练是提升跨栏运动员起跨蹬伸能力的有效训练手段,教练员在训练中经常使用抗阻器械促使运动员为对抗阻力加大对地面的蹬伸,提高触地输出功率,优化过栏技术.

包括 1080 Sprint 阻力训练系统在内的科技化训练设备被广泛应用在高水平的跨栏训练中.国家跨栏集训队在使用 1080 Sprint 阻力训练系统安排抗阻跨栏练习时,女子 100 m 栏运动员的阻力训练负荷一般为 6 kg,加速距离为 10.50 m,跨越高 60 cm 的软式栏架.这样的训练一次专项课要完成 3~4 次,每一次抗阻练习后,即刻进行一次无阻力负荷的跨栏练习,间歇 5 min 后循环下一组阻力和无阻力交叉的跨栏训练.因为阻力负荷产生对抗迫使运动员向地面施加更多的力,输出更大的功率.随着阻力负荷褪去,运动员往往能在贴好外视点的跑道上完成合理起跨距离的过栏,并且上栏前的步频更快,起跨蹬地更有力.出现这种现象的主要原因是机体预先接受短时间次最大强度抗阻练习产生了后激活增强效应(Post-activation Potentiation,

PAP)^[24-25].机体在阻力跑中产生的次最大强度等长随意收缩,能够促使骨骼肌产生收缩痕迹,释放更多神经冲动,神经冲动增强有利于提高快肌纤维的运动单位募集和运动单位同步化程度,增强肌肉的后续收缩能力^[17].此外,不同负荷阻力跑练习下的功率输出也可作为评价速度训练效果的指标,同样适用于起跑加速和冲刺训练上.

3 结论与建议

本研究结论如下:(1)我国优秀女子100 m栏运动员在2021赛季成绩进步显著,全程速度、分段速度、栏间跑步长和步频、跨栏触地时间、过栏速度指标均显著优于2019和2020赛季,与国外优秀运动员相比,我国运动员在最大速度、全程速度节奏、起跑加速、栏间跑节奏和跨栏步技术上均存在一定差距。(2)高强度冲刺跑训练是发展100 m栏运动员速度能力的有效训练手段,依据不同阶段的能量代谢规律和动力学特征调整速度节奏。(3)固定起跑器位置和预备动作姿态,扩大脚掌与抵足板的接触面积,训练双脚同时蹬伸发力可优化起跑技术。(4)利用外视点限定步长,依据运动员自身特点探寻起跑至H1最优化的步长模式。(5)依据阶梯式扩大栏间距训练原则开展栏间跑训练,使用小栏架训练控制栏间跑的步长,缩短小腿后摆幅度可优化栏间跑技术。(6)利用阻力跑练习产生的后激活增强效应,可提高起跨蹬地的输出功率优化过栏技术.

我国女子100 m栏运动员提升速度能力是未来发展的重点.建议培养100 m栏和100 m短跑兼项的运动员,在发展速度的基础上优化跨栏技术.重视专项训练中的量化数据监控,并依据中国跨栏运动员的身体结构和力量水平构建技术模型.

参 考 文 献

- [1] HANLEY B, WALKER J, PARADISIS G P, et al. Biomechanics of world-class men and women hurdlers[J]. *Frontiers in Sports and Active Living*, 2021, 3: 704308.
- [2] MANN R, HERMAN J. Kinematic analysis of Olympic hurdle performance: women's 100 meters[J]. *International Journal of Sport Biomechanics*, 1985, 1(2): 163-173.
- [3] BEDINI R. Technical ability in the women's 100 m hurdles[J]. *New Studies in Athletics*, 2016, 31(3/4): 117-132.
- [4] TSIOKANOS A, TSAOPOULOS D, GIAVROGLOU A, et al. Race pattern of women's 100 m hurdles: time analysis of Olympic hurdle performance[J]. *International Journal of Kinesiology and Sports Science*, 2017, 5(3): 56.
- [5] 文超. 田径运动高级教程[M]. 3版. 北京: 人民体育出版社, 2013: 130-134.
- [6] Women's 100 m Hurdles Touchdown Times-by athletics meeting[EB/OL]. [2021-03-18]. <http://www.athletefirst.org/wp-content/uploads/2020/03/W100H-touchdown-times-by-meeting.pdf>.
- [7] HONG S, RYU J K. Performance Analysis of Men's 110-m Hurdles Using Rhythmic Units[J]. *Korean Journal of Sports Biomechanics*, 2018, 28(2): 79-85.
- [8] 诸文兵. 我国优秀110 m栏运动员谢文骏跨栏技术分析[J]. *上海体育学院学报*, 2015, 39(3): 68-70.
ZHU W B. Technique analysis on the Chinese 110-meter hurdler XIE Wenjun[J]. *Journal of Shanghai University of Sport*, 2015, 39(3): 68-70.
- [9] 李建臣, 王永安, 文世林. 田径运动教程[M]. 北京: 化学工业出版社, 2018.
- [10] RALPH M, AMBER M. The Mechanics of Sprinting and Hurding [M]. [S.l.]: Create Space, 2018: 205-215.
- [11] 姜自立, 李庆. 现代男子100 m速度节奏特征的多维分析及其对训练的启示[J]. *山东体育学院学报*, 2015, 31(3): 98-104.
JIANG Z L, LI Q. Multidimensional analysis on the velocity pacing characteristics in men's 100 m sprint and its enlightenment on the sprint training[J]. *Journal of Shandong Sport University*, 2015, 31(3): 98-104.
- [12] STADLER K M, WOLFF W, SCHÜLER J. On your mark, get set, self-control, go: a differentiated view on the cortical hemodynamics of self-control during sprint start[J]. *Brain Sciences*, 2020, 10(8): 494.
- [13] BEZODIS N E, WILLWACHER S, SALO A I T. The biomechanics of the track and field sprint start: a narrative review[J]. *Sports Medicine (Auckland, N Z)*, 2019, 49(9): 1345-1364.
- [14] PIECHOTA K, BORYSIUK Z, KONIECZNY M. Time structure and EMG parameters during the sprint start depending on the sprinters' physical preparation[J]. *Science & Sports*, 2019, 34(5): 330-340.
- [15] BEZODIS I N, BRAZIL A, WILKAU H C, et al. World-class male sprinters and high hurdlers have similar start and initial acceleration techniques[J]. *Frontiers in Sports and Active Living*, 2019, 1: 23.
- [16] PILIANIDIS T, MANTZOURANIS N, KASABALIS A. Start reaction time and performance at the sprint events in World Athletic Championships[J]. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 2012, 12(1): 112-118.

- [17] 王国杰,苏炳添,章碧玉,等.优秀短跑运动员苏炳添的技术优化训练研究[J].成都体育学院学报,2019,45(6):82-87.
WANG G J,SU B T,ZHANG B Y,et al.Research on the technical optimization training of the elite sprinter su bingtian[J].Journal of Chengdu Sport University,2019,45(6):82-87.
- [18] NAGAHARA R,GLEADHILL S,OHSHIMA Y.Improvement in sprint start performance by modulating an initial loading location on the starting blocks[J].Journal of Sports Sciences,2020,38(21):2437-2445.
- [19] 姜自立,李庆,曹人天.对现代短跑技术若干问题的重新审视[J].体育学刊,2016,23(4):6-11.
JIANG Z L,LI Q,CAO R T.Reexamination of several issues about modern sprint techniques[J].Journal of Physical Education,2016,23(4):6-11.
- [20] 美国国家体能协会.美国国家体能协会速度训练指南(修订版)[M].北京:人民邮电出版社,2019:186.
National Strength and Conditioning Association.National Strength and Conditioning Association speed training guide(Revised)[M].Beijing:People's Posts and Telecommunications Press,2019:186.
- [21] ANDREAS B.Hurdle spacing considerations:a primer[EB/OL].[2021-04-09].<https://altis.world/articles/hurdle-spacing-considerations-a-primer/>.
- [22] 姚鹏,程泓人,苑廷刚.触地时间参数在高水平跨栏训练中的应用研究[J].体育科技文献通报,2021,29(5):20-25.
YAO P,CHENG H R,YUAN T G.Research on the application of touchdown time parameters in high-level hurdle training[J].Bulletin of Sport Science & Technology,2021,29(5):20-25.
- [23] COH M,ZVAN M,BONCINA N,et al.Biomechanical model of hurdle clearance in 100 m hurdle races:a case study[J].Journal of Anthropology of Sport and Physical Education,2019,3(4):3-6.
- [24] 魏宏文,向镜.快速伸缩复合练习伴随血流限制的激活后增强效应研究[J].河南师范大学学报(自然科学版),2022,50(1):144-149.
WEI H W, XIANG J.Effect of post-activation potentiation induced by combining plyometrics and blood flow restriction[J].Journal of Henan Normal University(Natural Science Edition),2022,50(1):144-149.
- [25] 梁美富,张怀川,张树峰,等.不同力量水平运动员激活后增强效应的时域特征[J].上海体育学院学报,2020,44(6):54-61.
LIANG M F,ZHANG H C,ZHANG S F,et al.Temporal profile of post-activation potentiation in Athletes with different strength levels [J].Journal of Shanghai University of Sport,2020,44(6):54-61.

Research on key technical diagnosis and optimal training strategy of Chinese elite women's 100 m hurdlers

Cheng Hongren, Zhong Yaping

(Sports Big-data Research Center, Wuhan Sports University, Wuhan 430079, China)

Abstract: Taking Chinese current women's 100 m hurdles international athletic level athletes as the research object, this paper studies the changes of key technical indicators and special training methods in 2019—2021 season by using video image analysis and tracking investigation methods, analyzing the internal reasons for the improvement of the overall performance of Chinese women's 100 m hurdlers in Tokyo Olympic period, and diagnosing the deficiencies in the existing technical links, putting forward technical optimization training countermeasures. The results show that the indicators of 100 m hurdle speed, sectional speed, step length and stride frequency between hurdles, hurdle touchdown time and speed over the hurdle of Chinese elite athletes in 2021 season are significantly better than those in 2019 and 2020 seasons. Compared with foreign elite athletes, Chinese athletes have a certain gap in maximum speed, 100 m hurdle speed rhythm, starting acceleration, shuffling rhythm and hurdle step technique. It is suggested to adopt high-intensity sprint training to develop the maximum speed ability of 100 m hurdlers, and adjust the speed rhythm according to the law of energy metabolism and dynamic characteristics in different stages; fix the position and preparatory posture on the block, expanding the contact area between the sole of the foot and the block pedal, train two feet to pedal and stretch at the same time, optimize the starting the block starting technique; use the external viewpoint to limit the step length and optimize the step length pattern from the start to the first hurdle. According to the principle of stepped expansion of hurdle spacing training arrangements short distance hurdle training, use small hurdle training to limit the step length of shuffling between the hurdle, shorten the rear swing of the lower leg to optimize the shuffle technique; use the resistance hurdling exercise to produce the post-activation potentiation effect. It can improve the output power of taking-off to optimize the hurdle technique.

Keywords: women's 100 m hurdles; sports technique diagnosis; block start; shuffling between the hurdle; hurdle technique