2017 年全运会女子 20 km 竞走前 8 名运动员冲刺技术的比较研究

郭章杰[1,2]，章碧玉[2]，李厚林[3]，苑廷刚[4]

（1. 安庆医药高等专科学校，安徽 安庆　246052；2. 北京体育大学，北京　100084；
3. 首都体育学院，北京　100191；4. 国家体育总局 体育科学研究所，北京　100061）

摘　要：目的：提高我国女子竞走运动员的整体技术水平，更好备战东京奥运会。方法：采用运动生物力学测量法和数理统计法，对 2017 年全运会女子 20 km 竞走前 8 名高水平运动员的技术进行比较研究。结论：①8 名运动员头顶点起伏距离合理，步幅开阔；着地技术规范，垂直支撑有“反弓”特征；着地角和蹬地角适宜，着地角大于蹬地角。②技术缺陷为：左右腿单步时间、步长、各技术阶段时间百分比存在差异，左右单步的两大腿最大夹角差异大；重心位移速度偏慢，冲刺能力弱；踝关节的蹬伸幅度小。建议：在训练中，要重视左右腿力量的均衡发展，优化动作结构，提高技术规范性；加强髋关节和踝关节的力量、柔韧性、灵活性练习；在控制步频的基础上，适当加大步长，使步长与步频达到最佳组合，提高重心移动速度，增强冲刺能力。

关键词：女子 20 km 竞走；全运会；冲刺技术；比较研究

中图分类号：G821　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1008-3596（2020）05-0046-09

在 2004—2012 年三届奥运会上，我国无人获得女子 20 km 竞走的金牌。随着“请进来、走出去”政策的实施，以前“小步快频”的竞走技术风格有所改变，成绩得到提高。近几年北京、伦敦田径世锦赛和里约奥运会的夺冠，标志着我国女子 20 km 竞走运动的水平开始回归巅峰。目前，国内几位女子竞走运动员处于世界一流水平，但是整体成绩差距较大，在国际大赛中未形成集团优势，还有提高空间。全运会比赛是国内最高水平的比赛，其中不乏世锦赛冠亚军、奥运会奖牌获得者，能够代表目前我国女子 20 km 竞走的最高水平。本研究分析 2017 年全运会女子 20 km 竞走前 8 名运动员的技术，并通过对比研究来发现技术优缺点，旨在提高我国女子竞走运动员的整体水平，更好备战东京奥运会；同时也为我国青少年女子竞走的技术训练提供理论参考。

1　研究对象和研究方法

1.1　研究对象

选取 2017 年全运会女子 20 km 竞走前 8 名运动员为研究对象，基本情况见表 1。

收稿日期：2020-05-21

基金项目：中国田径协会科技服务工作项目“田径竞走项目国家队备战东京奥运会（2020 年度）科技攻关与科技服务”（2020TJ02012）；国家体育总局科技攻关与科技服务项目“竞走项目国家队备战里约奥运 2016 技战术监控科技服务”（2016HT082）

作者简介：郭章杰（1982—），男，山东日照人，副教授，硕士，研究方向为体育教学与训练。

通讯作者：李厚林（1977—），男，山东济宁人，教授，博士，硕士生导师，研究方向为运动能力诊断与反馈。

文本信息：郭章杰，章碧玉，李厚林，等. 2017 年全运会女子 20 km 竞走前 8 名运动员冲刺技术的比较研究[J]. 河北体育学院学报，2020，34（5）：46-54.

表 1　研究对象基本情况一览表

运动员	身高/cm	体重/kg	单位	名次	成绩/h：min：s	级别
杨家玉	162	48	解放军	1	1：28：29	世锦赛冠军
切阳什姐	165	51	青海	2	1：28：33	奥运会铜牌
李蕾蕾	160	50	天津	3	1：34：37	运动健将
毛艳雪	164	49	内蒙古	4	1：35：16	运动健将
王应柳	164	48	云南	5	1：35：44	运动健将
肖香华	162	50	河南	6	1：36：13	运动健将
毛艳秋	161	50	内蒙古	7	1：36：32	运动健将
马怡鸣	169	55	解放军	8	1：37：18	运动健将

1.2　研究方法

1.2.1　生物力学测量法

（1）赛前场地布置。女子 20 km 竞走比赛在天津市南开区水上公园东路举行，一圈 1 km。于比赛前夜布置场地，在比赛路线设置 4 个拍摄点，尽可能地拍摄全部运动员的比赛录像，并确保拍摄距离达到拍摄要求。根据运动员一个复步长，在拍摄范围内标定 2.5 m 长的标尺，在两端标出。因为运动员在比赛过程中的运动路线不同，为减少测量误差，将标记沿比赛公路横向延长到公路两边，同一端两标志间隔 50 cm，从而方便后期的录像解析，确保解析数据的准确性。

（2）平面定点拍摄。使用 CASIO-EX-FH 25 高速摄像机分别架在 4 个不同的拍摄点（图 1），一人一台摄像机，定点定焦拍摄运动员比赛。比赛数据是 2 号机位拍摄的，机高约 1.2 m，拍摄率 120 P/s，曝光时间 1/1 000 s，拍摄距离约 9 m，主光轴垂直于运动路线。比赛时间为 2017 年 9 月 3 日上午 8：30—9：30，气温 22 ℃，湿度 69%，天气多云，适宜比赛和拍摄。

图 1　比赛现场拍摄示意图

（3）影片解析。选取运动员比赛中一个复步视频来解析，应用 APAS 运动分析系统进行定量处理，使用的是松井秀治人体惯性参数模型，选 19 个关节点进行解析，用低通数字滤波法进行平滑，平滑系数为 7 Hz[1-2]。影片解析由同一人在完整的一段时间内完成，减少解析误差。

1.2.2　专家访谈法

就技术分析问题，访问了竞走教练员、国家级裁判员和跟队科研人员。

1.2.3　数理统计法

使用 Excel2010 统计运动学数据，并分类；应用 SPSS20.0 来做均数、标准差以及相关性分析。

1.2.4　对比分析法

以奥运冠军刘虹在 2016 年全国竞走大奖赛暨奥运会选拔赛中的冲刺阶段技术为对比，（当时刘虹的成绩是 1：25：56），比赛视频由课题组人员使用同一摄像机拍摄获得，具有可对比性。

1.3　分析阶段的选取

现场拍摄发现，在最后一圈冲刺阶段，运动员移动速度较快，竞走风格特点最为明显，较易于发现技术上的优缺点，故选取第 20 圈冲刺阶段来分析前 8 名运动员的技术。

1.4　技术动作阶段的划分

根据竞走技术的运动时相，一个复步包括左单步和右单步；一个单步由前支撑阶段、转换阶段、后支撑阶段和腾空阶段组成（图 2）[1]。后支撑阶段也称为蹬伸阶段。

图2 竞走一个单步技术阶段

2 结果与分析

2.1 竞走时间特征分析

2.1.1 单步时间、步频特征分析

2.1.1.1 单步时间

运动员的身体形态和训练方式不同，两单步时间和步长会有差异。如表2所示，6名选手两单步时间存在不同，毛艳雪、马怡鸣两单步时间相差最多，达到0.017 s；李蕾蕾和肖香华的左右单步时间相同。

8人复步时间均值为0.592±0.022 s，杨家玉、切阳什姐两人复步时间最短，都是0.559 s，低于平均值；毛艳雪复步时间是0.617 s，时间最长。

表2 各技术阶段时间及步频一览表

指标		杨家玉	切阳什姐	李蕾蕾	毛艳雪	王应柳	肖香华	毛艳秋	马怡鸣	$\overline{X}$±SD
右前支撑阶段/s	右1—2	0.059	0.059	0.067	0.067	0.050	0.067	0.059	0.050	0.059±0.007
右转换阶段/s	右2—3	0.000	−0.017	−0.008	−0.008	−0.008	−0.008	0.008	0.008	−0.004±0.009
	右3—4	0.017	0.034	0.033	0.042	0.033	0.033	0.034	0.042	0.033±0.008
右后支撑阶段/s	右4—7	0.150	0.150	0.184	0.192	0.175	0.167	0.159	0.159	0.167±0.016
右腾空阶段/s	右7—9	0.050	0.050	0.025	0.025	0.050	0.042	0.050	0.050	0.043±0.011
左前支撑阶段/s	左1—2	0.059	0.059	0.059	0.059	0.050	0.067	0.050	0.042	0.055±0.008
左转换阶段/s	左2—3	−0.017	−0.008	−0.008	0.008	0.008	−0.008	0.017	0.000	−0.001±0.012
	左3—4	0.033	0.034	0.050	0.025	0.000	0.033	0.017	0.042	0.029±0.015
左后支撑阶段/s	左4—7	0.150	0.159	0.175	0.192	0.192	0.167	0.167	0.167	0.171±0.015
左腾空阶段/s	左7—9	0.059	0.050	0.025	0.017	0.042	0.042	0.050	0.042	0.041±0.014
右支撑时间/s	右1—7	0.225	0.225	0.275	0.292	0.250	0.259	0.259	0.259	0.255±0.023
左支撑时间/s	左1—7	0.225	0.242	0.275	0.284	0.250	0.259	0.250	0.250	0.254±0.019
右单步时间/s	右1—9	0.275	0.276	0.300	0.317	0.300	0.300	0.309	0.309	0.297±0.015
左单步时间/s	左1—9	0.284	0.284	0.300	0.300	0.292	0.300	0.300	0.292	0.295±0.009
复步时间/s		0.559	0.559	0.601	0.617	0.592	0.601	0.609	0.601	0.592±0.022
冲刺（1km）时间/min：s		4：12	4：16	4：45	5：05	4：54	4：47	4：51	4：47	4：47±0：28
右步频/（步/s）		3.633	3.630	3.331	3.155	3.331	3.331	3.239	3.239	3.360±0.152
左步频/（步/s）		3.524	3.527	3.331	3.331	3.425	3.331	3.331	3.428	3.405±0.125
步频/（步/s）		3.579	3.578	3.331	3.243	3.378	3.331	3.285	3.333	3.382±0.127

从冲刺阶段时间看，杨家玉、切阳什姐两人的时间最短，分别是4 min12 s、4 min16 s，而毛艳雪的是5 min5 s。说明杨家玉、切阳什姐冲刺加速能力优于其他选手，毛艳雪的冲刺能力需要加强。冲刺能力很关键，杨家玉、切阳什姐整个比赛过程一直处于第1集团，杨家玉紧跟切阳什姐处于第2位，直到最后500 m左右超越并拉开距离，最终成绩只相差4 s。

2.1.1.2 步频

单步步频是由单步时间决定的，单步时间

短，步频就快。如表 2 所示，8 人步频的平均值为 3.382±0.127 步/s，杨家玉、切阳什姐的步频分别是 3.579 步/s 和 3.578 步/s，明显高于均值，另外 6 名选手的步频低于均值。刘虹在冲刺阶段的步频达到 3.690 步/s[2]，吕秀芝打破亚洲纪录时的步频是 3.567 步/s[3]。对步频而言，应该是在保证一定步长的前提下越快越好。“快频小步”的竞走风格已不再适应现在国际竞走比赛；我国女子竞走运动员比传统比赛步频(3.583 步/s)[4]有所降低，但是还要控制好冲刺阶段的步频，避免为提高冲刺速度而提高步频，造成明显腾空被罚下。

2.1.2　竞走技术时相特征分析

2.1.2.1　技术结构特征

从大腿重叠到垂直的转换阶段时间不同，运动员的技术动作结构也不同。如表 2 所示，切阳什姐、李蕾蕾、肖香华 3 人先是全脚着地后再大腿重叠；毛艳秋、马怡鸣 2 人先是大腿重叠后再全脚着地；杨家玉、毛艳雪、王应柳 3 人左右腿着地和大腿重叠先后顺序不同。据李厚林等人的研究，在转换阶段世界优秀竞走运动员的大腿重叠、全脚着地和垂直支撑几乎是同时的[1]，有利于减少前支撑与转换阶段的动量损耗。在冲刺时两腿的转换阶段中各时相顺序不同，说明她们此阶段的技术动作结构不稳定，需改进。

2.1.2.2　腾空时间特征

腾空时间是指蹬地脚蹬离地面到另一脚着地的腾空阶段的时间，它是裁判员通过肉眼近距离判断运动员是否腾空犯规的重要依据之一。国内专家根据裁判员的判罚分为 3 个时限：0.042 s 以下作为合理腾空时限，0.042—0.07 s 为模糊腾空时限，0.07 s 以上为犯规腾空时限[2]。

表 2 显示，李蕾蕾、肖香华、毛艳雪 3 人腾空时间在合理腾空时限，其他 5 人腾空时间都在模糊腾空时限内。8 人右腿蹬地腾空时间均值为 0.043±0.011 s，左腿蹬地腾空时间均值为 0.041±0.014 s，表明在冲刺时 8 人对腾空时间整体控制较好。

表 3　技术阶段时间百分比一览表　%

运动员	前支撑阶段			转换阶段			后支撑阶段			腾空阶段		
	右	左	$\overline{X}$	右	左	$\overline{X}$	右	左	$\overline{X}$	右	左	$\overline{X}$
杨家玉	21.3	20.6	20.9	6.0	5.8	5.9	54.6	53.0	53.8	18.2	20.6	19.4
切阳什姐	21.2	20.6	20.9	6.1	8.8	7.4	54.4	55.9	55.2	18.2	14.6	16.4
李蕾蕾	22.2	19.5	20.9	8.3	13.9	11.1	61.1	58.3	59.7	8.3	8.3	8.3
毛艳雪	21.1	19.5	20.3	10.6	11.1	10.8	60.5	63.9	62.2	7.9	5.5	6.7
王应柳	16.7	17.1	16.9	8.3	2.9	5.6	58.4	65.7	62.0	16.7	14.3	15.5
肖香华	22.2	22.2	22.2	8.3	8.3	8.3	55.5	55.5	55.5	13.9	13.9	13.9
毛艳秋	18.9	16.7	17.8	13.5	11.2	12.3	51.3	55.5	53.4	16.2	16.7	16.4
马怡鸣	16.2	14.2	15.2	16.2	14.3	15.3	51.3	57.2	54.3	16.3	14.2	15.2
$\overline{X}$	20.0	18.8	19.4	9.7	9.5	9.6	55.9	58.1	57.0	14.5	13.5	14.0
SD	2.4	2.6	2.5	3.6	3.9	3.7	3.8	4.4	4.1	4.2	4.7	4.4

从表 3 的腾空时间百分比看，8 人的平均值为 14.0%，而杨家玉、切阳什姐的分别是 19.4%、16.4%，大于均值，但是，切阳什姐左右腿腾空时间百分比相差 3.6 个百分点，容易增加视觉腾空差异。李蕾蕾、毛艳雪两人的腾空时间百分比过小。腾空阶段在一个单步中的比例高，能够增大腾空距离，从而增加单步步长；前提要把腾空时间控制在有效的腾空时限内，合理安排腾空时间在单步时段内的比例。

2.1.2.3　支撑阶段时间特征

由表 3 可见，一个单步中前支撑阶段、转换阶段、后支撑阶段和腾空阶段的百分比均值分别是 19.4%、9.6%、57.0%和 14.0%；支撑阶段占 86.0%，其中后支撑阶段所占比例最大。前支撑阶段和转换阶段组成缓冲阶段，杨家玉、切阳什姐、王应柳 3 人着地后缓冲时间百分比低于均值，缓冲时间短，速度的损失就少。

综观 8 人各阶段的时间百分比，肖香华两腿的各个时间阶段及时间百分比一致，说明她左右腿均衡用力，技术结构稳定；杨家玉、切阳什姐 2 人右腿阶段的时间百分比特征相似，但是左右腿不均衡；其他 6 人的各阶段时间百分比各有

特点。

2.2 竞走线性指标特征分析

2.2.1 头顶点起伏与重心起伏距离分析

头顶起伏距离是裁判员远处“预判”运动员“腾空”犯规的主要依据，运动员头顶点垂直位移过大，就可能被判罚。随着近些年女子 20 km 比赛成绩不断刷新，运动员（特别是高速冲刺阶段）的头顶起伏距离加大，研究发现，世界优秀竞走运动员的头顶起伏距离在 5—8 cm[5]。

8 人的头顶起伏距离平均值为 7.3±0.9 cm，处在合理范围内。毛艳雪、肖香华的分别是 8.6 cm 和 8.8 cm，杨家玉、切阳什姐 2 人头顶上下起伏控制得较好，腾空时间百分比大，获得较长的腾空距离，实效性好。

经分析，头顶点起伏距离与重心起伏距离两者没有相关性，说明头顶点起伏距离大，并不代表重心上下起伏就大。头顶点起伏距离小，重心起伏距离也可能大。

2.2.2 步长及重心速度分析

步长是竞走技术中的重要指标，影响到重心的移动速度。步长与步频的乘积决定了竞走的运动速度，两者要合理组合才能达到最大速度。表 4 显示，8 名选手的步长有较大差异，杨家玉和切阳什姐的步长较长，但是仍小于奥运冠军刘虹在冲刺阶段的步长 1.21 m[2]；毛艳雪和李蕾蕾的步长较短。杨家玉、切阳什姐、李蕾蕾、毛艳雪、王应柳和毛艳秋 6 人的左着—右着的步长长，肖香华和马怡鸣 2 人右着—左着的步长长，左右步长不平衡，说明她们左右腿蹬伸力量不均衡。

表 4 起伏距离、步长等指标一览表

运动员	头顶点起伏距离/cm	重心起伏距离/cm	步长/m			步长/身高	重心速度/（m/s）
			右着—左着	左着—右着	$\overline{X}$		
杨家玉	6.9	6.3	1.17	1.20	1.18	0.73	4.23
切阳什姐	6.6	7.3	1.16	1.18	1.17	0.71	4.18
李蕾蕾	7.0	5.4	1.06	1.07	1.07	0.67	3.55
毛艳雪	8.6	7.3	1.04	1.06	1.05	0.64	3.39
王应柳	7.5	8.8	1.09	1.17	1.13	0.69	4.00
肖香华	8.8	7.3	1.13	1.06	1.09	0.68	3.64
毛艳秋	6.8	7.0	1.13	1.15	1.14	0.71	3.74
马怡鸣	6.2	6.6	1.14	1.06	1.10	0.65	3.67
$\overline{X}$	7.3	7.0	1.11	1.12	1.12	0.68	3.80
SD	0.9	1.0	0.05	0.06	0.05	0.03	0.31

8 人的步长平均值为 1.12±0.05 m，步长都大于 1 m，说明我国女子竞走运动员的步长有所增加，“小步”的技术风格有所改变。

步长的长短与运动员的竞走技术、髋关节的灵活性、摆动腿的摆动幅度、支撑腿的蹬地等因素有关，更大程度上取决于身体的高度及腿长。8 人步长/身高的比值为 0.68±0.03 m，符合世界优秀运动员标准[4]，杨家玉的比值最大，切阳什姐和毛艳秋的比值较大，毛艳雪和马怡鸣的比值较小。说明杨家玉在现有的身高基础上最大化地增加了步长，毛艳雪和马怡鸣要通过以后的训练改进。

重心速度的分析，8 人的速度均值是 3.80±0.31 m/s，超过 4 m/s 的只有 3 人；而奥运冠军刘虹在冲刺阶段的重心速度达到 4.47 m/s[2]，相比而言，8 人的重心移动速度整体偏低，这与步长偏小有一定关系，要根据个人的体能状况合理组合步长和步频，提升重心速度。

2.2.3 前后摆距离与腾空距离分析

后摆距离指摆动腿离地时脚尖和重心的水平距离[2]，腾空距离指重心在摆动腿离地和支撑腿着地时两时刻的水平距离，前摆距离指支撑腿着地时刻重心和着地点的水平距离，三者之和决定了一个单步步长的长短。表 5 显示，8 人右脚离地—左脚着地的后摆距离、腾空距离、前摆距离均值分别是 0.42±0.01 m、0.16±0.05 m、0.28±0.02 m，左脚离地—右脚着地 3 个距离均值分别是 0.44±0.02 m、0.15±0.06 m、0.28±0.02 m，左右各项总和之差很小，与前面研究的左右单步长结果相一致。前摆距离和腾空距离均值相差不大，主要差距在于后摆距离；左脚蹬地的后摆距离稍大于右脚蹬地，说明左腿蹬地力量大于右腿，与前面研究结果相同。后摆距离和腾空距离受蹬地腿的蹬地发力大小和方向

影响很大，以适当的蹬地角，加大蹬地力量，才能增大步长。

表 5　摆动、腾空距离指标一览表　m

运动员	后摆距离			腾空距离			前摆距离		
	右离—左着	左离—右着	$\overline{X}$	右离—左着	左离—右着	$\overline{X}$	右离—左着	左离—右着	$\overline{X}$
杨家玉	0.45	0.45	0.45	0.18	0.26	0.22	0.29	0.25	0.27
切阳什姐	0.44	0.46	0.45	0.22	0.18	0.20	0.27	0.28	0.28
李蕾蕾	0.42	0.44	0.43	0.09	0.09	0.09	0.31	0.32	0.32
毛艳雪	0.42	0.44	0.43	0.08	0.06	0.07	0.28	0.29	0.28
王应柳	0.43	0.47	0.45	0.19	0.16	0.18	0.24	0.28	0.26
肖香华	0.42	0.43	0.42	0.16	0.15	0.15	0.28	0.28	0.28
毛艳秋	0.42	0.44	0.43	0.19	0.19	0.19	0.31	0.31	0.31
马怡鸣	0.40	0.42	0.41	0.20	0.16	0.18	0.29	0.26	0.27
$\overline{X}$	0.42	0.44	0.43	0.16	0.15	0.16	0.28	0.28	0.28
SD	0.01	0.02	0.02	0.05	0.06	0.05	0.02	0.02	0.02

在腾空距离上，8 人腾空距离均值为 0.16±0.05 m，明显低于刘虹冲刺阶段的腾空距离 0.24 m[2]；杨家玉、切阳什姐、毛艳秋 3 人的腾空距离大于其他选手，这与她们的腾空时间百分比较大有关，腾空时间百分比与腾空距离两者显著性相关（r=0.995，p<0.01）。从步长指标看，杨家玉、切阳什姐和毛艳秋 3 人的步长比其他 5 人长；相关性分析，步长与腾空距离两者显著性相关（r=0.932，p<0.01），说明腾空距离更能决定步长的长短，与敬艳等人的研究结论相符合[2]。

2.3　竞走角度指标特征分析

2.3.1　膝关节角度分析

竞走比赛中，膝关节是否伸直是裁判员近距离判罚犯规的重要指标。竞走规则规定“前腿从着地瞬间到垂直支撑阶段必须伸直”[6,7]；专家依据生理解剖结构因素和人眼视觉效应，认为人体膝关节只要大于 175°便是伸直的[8]。表 6 显示，8 人着地—垂直阶段两膝关节都大于 175°，符合支撑腿着地的要求。李蕾蕾、马怡鸣两脚着地时，膝关节角度稍小，要引起重视；杨家玉、切阳什姐表现出色，在支撑腿着地前两膝关节角度大于 180°，腿部看起来充分舒展；毛艳秋两腿膝角度相差近 9°，说明她两腿摆动不均衡，会影响动作结构的稳定性。

表 6　膝关节角度指标一览表

运动员	右膝关节角度/（°）			左膝关节角度/（°）			着地—垂直膝角大于 180°时间/s		过程中膝角大于 180°时间/s	
	着地	垂直	离地	着地	垂直	离地	右	左	右	左
杨家玉	183.01	186.01	161.97	182.08	188.07	165.70	0.08	0.09	0.17	0.20
切阳什姐	185.01	187.84	157.28	180.56	191.42	156.80	0.08	0.09	0.18	0.20
李蕾蕾	177.84	183.79	148.09	175.33	188.35	154.88	0.05	0.07	0.17	0.17
毛艳雪	177.34	188.65	150.73	179.50	189.25	154.94	0.08	0.08	0.21	0.22
王应柳	179.75	194.67	154.87	178.59	187.68	157.78	0.07	0.05	0.20	0.20
肖香华	178.12	189.42	166.30	178.70	185.26	161.44	0.08	0.09	0.20	0.20
毛艳秋	178.97	188.07	166.11	187.60	194.57	168.17	0.09	0.09	0.22	0.22
马怡鸣	176.52	194.05	153.52	177.77	190.17	154.76	0.08	0.07	0.17	0.17
$\overline{X}$	179.57	189.06	157.36	180.02	189.35	159.31	0.08	0.08	0.19	0.20
SD	2.96	3.71	6.85	3.65	2.79	5.24	0.02	0.02	0.02	0.02

在垂直支撑时，所有选手膝关节角度都在 180°以上，可以看到腿部有明显的“反弓”特征，“反弓”可以满足裁判的视觉好感，还可以推动髋部前移，加快身体重心的积极前移。俄罗斯优秀运动员反弓角度达到 195°以上[8,9]，8 名选手中只有 4 人次膝关节角大于 190°，膝关节角的均值小于 190°。我国女子竞走运动员需要加大反弓角度，更好地加快重心前移。

有关研究认为：离地时膝角要保持在 160°以上[10]；若是膝角小，摆动腿的摆动半径就会小，会出现“后撩小腿”现象，容易被判罚犯规。杨家玉、肖香华和毛艳秋 3 人的膝角大于

160°，其他运动员小于160°，要加以改进，增大摆动腿的摆动半径。

着地—垂直支撑膝关节伸直的时间要达到人眼睛成像的时限要求，才能让裁判员有直腿的动作表象[11]。有资料表明，膝关节角度超过180°的时间应大于0.07 s[12]。从表6来看，除了李蕾蕾、王应柳外，其他运动员都达到0.07 s。另有研究认为：两膝关节伸直的动作时间都大于0.16 s，更能说明膝关节伸直的动作表象[2]。8人右、左膝关节的伸直时间都超过了0.16 s，说明她们屈膝控制得较好。

2.3.2 踝关节角度分析

如表7所示，着地时8人的踝角控制在100°左右，没有超过110°，说明她们在冲刺阶段适当地勾脚尖了。但是踝角也不能小于90°，过小会影响到重心快速移动，所以踝角要保持在90—100°的适当范围内，8人要适当控制着地踝角，特别是切阳什姐要适当减小着地时刻的踝角。

表7 踝关节角度指标一览表 (°)

运动员	右踝关节			左踝关节			蹬伸幅度	
	着地	垂直	离地	着地	垂直	离地	右踝	左踝
杨家玉	107.31	112.11	132.59	93.67	112.70	127.45	25.28	33.78
切阳什姐	109.01	118.49	130.58	102.31	111.18	126.38	21.57	24.07
李蕾蕾	92.78	116.05	124.41	102.14	113.47	126.65	31.63	24.50
毛艳雪	97.75	112.80	130.04	102.24	113.94	134.92	32.29	32.68
王应柳	98.22	113.30	131.70	100.75	112.09	131.21	33.48	30.46
肖香华	101.37	116.66	123.91	105.84	116.07	131.88	22.54	26.04
毛艳秋	91.17	116.65	125.86	101.52	117.84	134.80	34.69	33.28
马怡鸣	98.26	114.03	121.56	99.28	114.14	124.27	23.30	25.00
$\overline{X}$	99.48	115.01	127.58	100.97	113.93	129.69	28.10	28.73
SD	6.28	2.26	4.14	3.49	2.16	4.06	5.44	4.24

离地时踝关节角度大小反映了踝关节蹬伸效果的好坏，国内外优秀运动员离地踝角一般都大于120°[12]。8人的离地踝角都超过了120°，说明她们的踝关节在离地瞬间能够蹬伸发力。因为膝关节必须是伸直的，竞走速度的增量主要来自于踝关节跖屈蹬地[13,14]。所以，踝关节角度蹬伸幅度大，产生的后蹬力就大，人体重心移动速度就快。

8人的右、左蹬伸幅度均值分别为28.10±5.44°、28.73±4.24°，整体看左右蹬伸幅度是平衡的，但从运动员个体来看，左右蹬伸幅度还有差异。有关资料表明，世界优秀竞走运动员的蹬伸幅度在30°以上[8]，相比较而言，这8人还需要加强踝关节的柔韧性、灵活性和力量训练。切阳什姐两蹬伸幅度最小，要适当减小着地踝角，增加蹬伸幅度；杨家玉左踝蹬伸幅度最大为33.78°，右踝是25.28°，两踝蹬伸不平衡，需改进。

2.3.3 着地角和蹬地角分析

表8 着地角、蹬地角和大腿夹角指标一览表 (°)

运动员	两大腿最大夹角			着地角			蹬地角		
	右	左	$\overline{X}$	右	左	$\overline{X}$	右	左	$\overline{X}$
杨家玉	71.00	73.97	72.48	69.80	69.60	69.70	63.80	59.80	61.80
切阳什姐	71.59	72.36	71.98	68.90	69.20	69.05	61.40	59.10	60.25
李蕾蕾	66.22	67.44	66.83	70.60	69.90	70.25	61.80	61.90	61.85
毛艳雪	66.65	69.12	67.89	67.10	74.40	70.75	62.70	61.70	62.20
王应柳	64.54	75.00	69.77	73.10	76.50	74.80	63.30	61.00	62.15
肖香华	70.66	66.90	68.78	69.80	73.20	71.50	61.60	62.50	62.05
毛艳秋	70.41	78.73	74.57	70.40	69.20	69.80	59.30	59.70	59.50
马怡鸣	68.63	68.14	68.39	69.60	72.30	70.95	62.70	61.60	62.15
$\overline{X}$	68.71	71.46	70.09	69.91	71.79	70.85	62.08	60.91	61.49
SD	2.62	4.24	2.66	1.69	2.75	1.78	1.40	1.23	1.03

着地角指支撑腿着地时，支撑点和身体重心连线与水平地面的后夹角。着地角度要适当，过

大，会减小前摆距离；过小，可以增大前摆距离，但是会影响重心水平速度，积极向前的冲量受损，移动速度降低[2]。8 人右、左腿均值为 69.91±1.69°、71.79±2.75°，整体在 70°左右。

蹬地角指离地时，脚尖和身体重心连线与水平地面的夹角。蹬地角过小会降低身体重心，对步频也产生不利影响；蹬地角过大，会增加向上的支撑反作用力，头顶起伏距离容易加大，会被判腾空犯规，同时身体的向前性也会受损[15]。有研究表明，竞走的一项重要技术特征是着地角要大于蹬地角[15]，国际优秀竞走运动员的着地角、蹬地角分别约为 70±2°、62±3°。8 人蹬地角的均值是 61.49±1.03°，小于着地角的均值 70.85±1.78°，在这一点上，她们与国际优秀选手没差异。

左蹬地角与左步长之间显著负相关（$r=-0.862$，$p<0.01$），适当减小蹬地角可以加大步长。这与前面分析的步长距离相符合，左腿蹬地力量大，左单步要长一些。

2.3.4　两大腿最大夹角分析

两大腿夹角指的是两侧髋膝关节连线之间的夹角[15]，它的大小制约运动员的步幅、步长和步频，反映了运动员髋关节的灵活性。两大腿最大夹角与单步长显著正相关（$r=0.824$，$p<0.05$）。表 8 中的两大腿最大夹角是充分蹬离地面后，摆动腿着地前两大腿之间的最大夹角。奥运冠军刘虹在冲刺阶段的两大腿夹角是 73.3°，该 8 名运动员右、左腿蹬地后的两大腿最大夹角均值分别是 68.71±2.62°、71.46±4.24°，相对偏小；并且左腿蹬地的角度大于右腿，左单步长要大于右单步。杨家玉、切阳什姐和毛艳秋 3 人大腿夹角大，步长也就更长。

8 人右、左腿蹬地后两大腿最大夹角之间都有差异。马怡鸣的两值相差较小，王应柳的两值相差最大。说明她们两髋关节的前后摆动幅度不同，两腿蹬地力量存在差异。在备战东京奥运会期间要加强髋关节的柔韧性练习，增加腿部和踝关节的力量训练。

3　结论与建议

3.1　结论

（1）8 名运动员在冲刺阶段的动作时相顺序个体间差异大；左右腿的前、后支撑阶段，转换阶段和腾空阶段时间百分比不同，左右腿力量发展不均衡，致使左右单步时间、单步步长存在差异。头顶起伏距离在合理范围内，腾空时间控制较好，但是腾空阶段时间百分比低，限制了腾空距离。

（2）8 名运动员着地技术规范，在垂直支撑有“反弓”特征；着地角与蹬地角适当，并且着地角大于蹬地角。离地时，踝关节能积极蹬伸发力，但是蹬伸幅度小；离地后摆时，有的膝关节角度偏小，出现了“后撩小腿”现象。

（3）与奥运冠军刘虹相比，8 名运动员的重心速度整体偏小，冲刺能力弱，主要差距在于腾空距离和步长偏短，两大腿夹角小。

3.2　建议

（1）在训练中，要高度重视左右腿力量的均衡发展，减少单步长、单步时间、支撑阶段时间百分比、踝关节蹬伸幅度和两大腿最大夹角等指标的左右差异，优化动作结构，提高技术规范性。摆动腿离地后摆时，加大摆动半径，防止“后撩小腿”。

（2）要增强髋关节的灵活性、柔韧性专项练习，增加髋关节前后摆动幅度，加大两大腿夹角，以便增加步幅。还要加强踝关节的力量和柔韧性练习，增大蹬伸幅度，从而增大身体向前性的原动力。

（3）在控制好步频的基础上，适当加大步长，让步长与步频达到最佳组合，提高重心移动速度，增强冲刺能力。

参考文献：

[1]　李厚林，谭正则，敬艳，等. 里约奥运会亚军蔡泽林竞走技术特点及突破点的运动学研究[J]. 首都体育学院学报，2017，29(5)：451.

[2]　敬艳，刘建国，蒋纯金，等. 刘虹竞走关键技术的运动学特征分析[J]. 成都体育学院学报，2016，42(6)：37.

[3]　周浩祥. 女子 20 km 竞走全运会冠军吕秀芝技术动作特征研究[J]. 中国体育科技，2014，50(5)：12.

[4]　李厚林，张磊，敬艳，等. 我国高水平女子 20 km 竞走运动员技术诊断研究[J]. 山东体育学院学报，2018，34(4)：104.

[5]　李厚林，谭正则，敬艳，等. 北京世界田径锦标赛男子竞走 20 km 冠、亚军技术对比研究[J]. 北京体育大学学报，2017，40(10)：106.

[6]　文超. 中国田径运动百年[M]. 北京：人民体育出版社，2006：210-222.

[7] 王锋,游江波.中国优秀男子竞走运动员关键技术研究[J].北京体育大学学报,2009,32(9):121.
[8] 苑廷刚,周浩祥,李爱东,等.中外优秀女子20 km竞走运动员运动技术的比较研究[J].北京体育大学学报,2014,37(12):112.
[9] HANLEY B,BISSAS A. Analysis of lower limb internal kinetics and electromyography in elite race walking[J]. Journal of Sports Science, 2013, 31(11): 1222.
[10] 贯谊,严波涛,李厚林.对中、外优秀竞走运动员关键动作技术特征的运动学分析[J].中国体育科技,2011,47(4):8.
[11] 敬龙军,王鹏,苑廷刚,等.中、外优秀20 km竞走运动员运动技术分析[J].中国体育科技,2011,47(1):21.
[12] 周浩祥,王国伟.中外优秀男子20 km竞走运动员技术动作对比分析[J].体育学刊,2015,22(6):99.
[13] 李厚林,周晓龙,敬艳,等.我国20 km竞走项目优秀女子运动员技术运动学特征对比研究[J].西安体育学院学报,2017,34(6):747.
[14] PADULO J,ANNINO G,D'OTTAVIO S,et al. Footstep analslopes and speeds in elite race walking[J]. Journal of Strength and Conditioning Research,2011,27(1): 125.
[15] 秦剑杰,李继东,张会强,等.我国优秀男子50 km竞走运动员竞走技术的运动学分析[J].山东体育学院学报,2016,32(6):104.

A Comparative Study on Sprint Techniques of the Top Eight Athletes of Women's 20 km Race Walking in 2017 National Games

GUO Zhangjie[1,2], ZHANG Biyu[2], LI Houlin[3], YUAN Tinggang[4]

(1. Anqing Medical College, Anqing 246052, China;
2. Beijing Sport University, Beijing 100084, China;
3. Capital University of Physical Education and Sports, Beijing 100191, China;
4. China Institute of Sport Science, Beijing 100061, China)

Abstract: *Objective*: To improve the overall technical level of Chinese women race walkers and be better prepared for the Tokyo Olympic Games. *Methods*: By using the methods of sports biomechanics measurement and mathematical statistics, this paper makes a comparative study on the techniques of the top eight athletes of women's 20 km race walking in 2017 National Games. *Conclusion*: ①The results showed that the undulating distance of head vertex of the eight athletes was reasonable and the stride was wide; the landing technique was standard, and the vertical support had the characteristics of "reverse bow"; the landing angle and pedal angle were suitable, and the landing angle was larger than the pedal angle. ②The technical defects are as follows: There are differences in the time, step length and time percentage of each technical stage between the left and right legs. The maximum angle between the left and right legs is large; the center of gravity displacement speed is slow and the sprint ability is weak; the ankle joint pedal extension range is small. *Suggestions*: In training, firstly, we should pay attention to the balanced development of left and right leg strength, optimize the movement structure and improve the technical standardization. Secondly, strengthen the strength, flexibility and flexibility of hip joint and ankle joint. Thirdly, appropriately increase the step size on the basis of controlling the step frequency so as to achieve the best combination of step length and step frequency, improve the center of gravity to speed and enhance the ability of sprint.

Key words: women's 20 km race walking; National Games; sprint techniques; comparative study