

我国跳高运动员王宇与世界优秀跳高 运动员关键技术指标的对比研究

程泓人¹, 苑廷刚²

(1. 武汉体育学院 研究生院, 武汉 430079;
2. 国家体育总局体育科学研究所, 北京 100061)

摘要:目的: 研究王宇在2019年重大赛事中的运动技术表现, 获得关键运动学参数, 对比世界级优秀男子跳高运动员的关键技术指标, 探究王宇现阶段的技术特点, 提出合理化的训练建议。方法: 运动现场拍摄法、视频图像解析法、专家访谈法和统计分析法。结果: ①王宇助跑倒2步步长为 2.16 ± 0.06 m, 倒1步步长为 1.95 ± 0.04 m, 步长差值为 0.21 ± 0.05 m, 倒2步步速为 7.63 ± 0.16 m/s, 倒1步步速为 7.51 ± 0.17 m/s; ②王宇起跳着地时的水平速度为 7.68 ± 0.18 m/s, 离地时的垂直速度为 4.72 ± 0.17 m/s, 助跑速度转化率为 $61.50 \pm 2.0\%$; ③王宇起跳阶段H1的值为 1.28 ± 0.02 m, ΔH 的值为 0.38 ± 0.02 m; ④王宇起跳着地时膝关节角度为 $162.44 \pm 2.40^\circ$, 踝关节角度为 $126.78 \pm 3.07^\circ$; 起跳离地时膝关节角度为 $165.78 \pm 3.19^\circ$, 踝关节角度为 $139.56 \pm 3.28^\circ$; ⑤王宇的腾起角度为 $48.79 \pm 1.86^\circ$, 腾起初速度为 6.33 ± 0.21 m/s, 起跳距离为 1.20 ± 0.24 m; ⑥王宇过杆时头颈角度为 $158.33 \pm 3.84^\circ$ 、胸腹角度为 $129.67 \pm 3.04^\circ$ 、膝关节角度为 $140.78 \pm 6.76^\circ$, 过杆速度为 4.11 ± 0.12 m/s。结论: 与世界级优秀跳高运动员相比, 王宇助跑速度偏快, 助跑倒1步降速明显; 起跳离地时的垂直速度偏慢, 起跳腾起初速度偏慢, 离地时的质心高度H1较低, 整个起跳过程中质心上升高度偏低; 采用“大背弓”的过杆姿态, 过杆技术较好。现阶段在起跳技术、助跑速度的转化、起跳腿蹬伸力量、垂直弹跳等方面的技术和能力上还有待提高。

关键词: 王宇; 男子跳高; 关键技术; 助跑; 起跳; 过杆技术

中图分类号: G823.1

文献标志码: A

文章编号: 1008-3596 (2021) 06-0082-10

男子跳高是我国田径的优势项目, 曾涌现出倪志钦、朱建华、张树峰、黄海强、张国伟等一批在世界大赛上取得过优异成绩的运动员。而目前, 我国男子跳高的领军人物是王宇。王宇出生于1991年, 身高1.90 m, 体重67 kg, 个人最

好成绩为2.34 m。据统计, 2019年全年赛季中我国男子跳高运动员中只有王宇一人跳出过2.27 m (国际健将) 以上的成绩^[1], 且1年内共9次在比赛中跃过该高度, 足以证明王宇是当前我国男子跳高项目上唯一具备世界级水平的运

收稿日期: 2021-06-24

基金项目: 国家体育总局体育科学研究所基本科研业务费项目 (基本21-10)

作者简介: 程泓人 (1994—), 男, 河北石家庄人, 在读博士, 研究方向为运动训练学、田径专项技术测量评价。

文本信息: 程泓人, 苑廷刚. 我国跳高运动员王宇与世界优秀跳高运动员关键技术指标的对比研究[J]. 河北体育学院学报, 2021, 35 (6): 82-91.

动员。此前有不少国内学者通过对比我国男子跳高运动员与国外优秀跳高运动员的技术差异，寻找共性特征^[2-4]，或是对个别运动员在某一场比赛的技术表现进行研究^[5-6]。然而针对某一重点运动员全年赛事的技术表现进行跟踪研究的文献很少。为此，本研究采集了王宇在 2019 年参加过的 5 项重大赛事的比赛视频，对其中有代表性的 9 跳进行三维运动视频解析，深入剖析王宇现阶段的技术特点，并通过对比世界级优秀男子跳高运动员关键技术的运动学指标参数，发现问题并提出训练建议，为王宇和我国其他运动员的训练提供新的思路和借鉴。

1 研究对象与研究方法

1.1 研究对象

本文以我国优秀跳高运动员王宇的关键技术为主要研究对象，以王宇在 2019 年参加过的重大赛事中关键跳次的技术参数为研究内容（表 1）。并以在世界大赛中跳出过 2.31 m 以上成绩的世界级优秀跳高运动员（以下简称“世界级组”）为对比研究对象（表 2）。2.31 m 的成绩可以让运动员在近几届世界大赛中登上领奖台，也是王宇在 2019 年的最好成绩，具有研究意义。

表 1 王宇 2019 年比赛跳次解析信息情况一览表

解析对象	解析跳次	是否过杆	赛事	比赛日期
王宇 1	2.28 m-1	是	国际田联钻石联赛(上海站)	2019/5/18
王宇 2	2.25 m-1	是		
王宇 3	2.31 m-2	是		
王宇 4	2.29 m-2	是	国际田联世界挑战赛(南京站)	2019/5/21
王宇 5	2.30m-1	是		
王宇 6	2.27m-1	是	五棵松街头挑战赛	2019/6/1
王宇 7	2.28m-2	是	全国田径锦标赛	2019/7/9
王宇 8	2.24m-2	是	世界田径锦标赛选拔赛	2019/8/3
王宇 9	2.33m-3	否	五棵松街头挑战赛	2019/6/1

注：解析跳次中用“高度—跳次”表示，如“2.28 m-1”表示 2.28m 高度第 1 次试跳

表 2 世界级组运动员基本信息情况一览表

赛事	运动员	国家	出生日期	身高/m	体重/kg	解析成绩/m	个人最好成绩/m
2015 年北京世锦赛	德劳因	加拿大	1990/3/6	1.94	76	2.34	2.40
	邦达连科	乌克兰	1989/8/30	1.97	77	2.33	2.42
	张国伟	中国	1991/6/4	2.02	78	2.33	2.38
2017 年伦敦世锦赛	巴希姆 1	卡塔尔	1991/6/24	1.91	70	2.35	2.43
	莱森科 1	俄罗斯	1997/5/19	1.92	69	2.32	2.40
2018 年伯明翰室内世锦赛	莱森科 2	俄罗斯	1997/5/19	1.92	69	2.36	2.40
	巴希姆 2	卡塔尔	1991/6/24	1.91	70	2.33	2.43

注：因解析跳次中包含巴希姆和莱森科的各 2 次成绩，故分别标注“1”“2”，下同。数据来源于世界田联官网（www.worldathletics.org）以及相关参考文献^[7-8]

1.2 研究方法

1.2.1 运动现场拍摄法

本研究中有王宇的运动学技术参数数据均为现场实地拍摄后，利用视频图像解析技术得出。采用 3 台 Sony 摄像机，型号为 DCR-TRV75E，拍摄频率为 50 帧/s，进行三维立体定点定焦拍摄。比赛现场相机放置情况如图 1 所示，摄像机①平行于跳高横杆并正对运动员起跳

正侧面，相机位置距离拍摄区域约为 20 m；摄像机②垂直于跳高横杆并正对运动员起跳正前方平面，相机位置距离拍摄区域约为 35 m，摄像机①和②的主光轴夹角为 90°；摄像机③位于跳高运动员起跳区域斜侧面，相机位置距离拍摄区域约为 50 m，摄像机①和③的主光轴夹角为 150°，摄像机②和③的主光轴夹角为 60°。拍摄区域是以跳高运动员起跳点为中心约 15 m×

10 m 的范围。由于目前国内男子跳高运动员中绝大多数为左腿起跳,因此在国内比赛中不采集右腿起跳运动员的视频。在2019年国际田联钻石联赛上海站和2019年国际田联世界挑战赛南京站的两场比赛中,考虑到赛事转播以及国外选手的参加,摄像机①和②改置于看台的最前排,摄像机位置距离拍摄区域约35 m和50 m。此外,在比赛前后均使用Peak三维辐射型标定框架进行现场标定,作为视频校准图像。

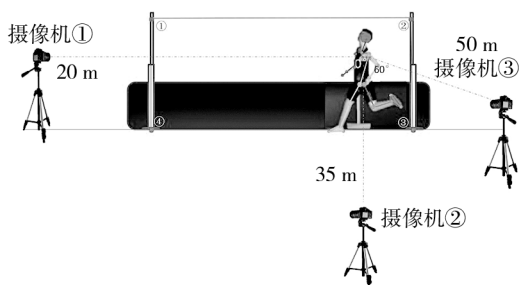


图1 比赛现场相机布置示意图

1.2.2 视频图像解析法

使用运动生物力学三维视频解析系统Peak Motus 9.0对采集到的运动视频图像进行数字化处理,采用直接线性DLT转换获得运动员关节点和身体质心的空间三维坐标。人体参数模型使用日本的松井秀治人体模型,并对跳高架的4个端点进行数字化标定以利于计算高度参数。为了提高数据处理的精确度,避免平滑处理对始末端数据的影响,截取跳高运动员比赛中助跑倒数第2步着地前4帧至身体落垫后4帧的视频图像进行解析和数字化处理。原始数据使用Butterworth低通滤波进行数据平滑处理,截断频率为6 Hz。

1.2.3 专家访谈法

根据研究需要,就跳高项目各阶段的关键运动技术参数:助跑最后2步步长、步速、助跑速度损失率、起跳阶段的水平速度和垂直速度、起跳角度、起跳腿支撑角度、3H高度、过杆姿态等方面进行了专家咨询。访谈专家为国内外优秀跳高教练员(表3)。

表3 访谈专家基本信息表

姓名	性别	单位	队员	队员主要荣誉
Giardi	男	国家田径队	张国伟	2015年北京世锦赛亚军
黄健民	男	国家田径队	郭劲岐	2019年世锦赛选拔赛冠军
王嘉陵	男	国家田径队	王宇	2018年亚运会冠军
孟祥盛	男	浙江田径中心	黄海强	2006年世青赛冠军
张雪茜	女	天津田径中心	王臣	2017年全运会亚军
孙丽娜	女	山东田径中心	孙钊	2017年全国室内赛冠军
倪秀玲	女	天津田径中心	白龙	2018年亚运会选拔赛冠军

1.2.4 统计分析法

采用Excel2007和SPSS23.0统计软件对解析出的相关技术参数进行统计分析,最大值(max)、最小值(min)、平均值(Aver)和标准差(SD)、百分比,被用来对研究对象进行描述性统计。单样本K-S检验正态分布,连续性数据采用独立样本T检验和U检验,用双变量相关分析比较组间差异。参数间的显著性差异定为: $p < 0.05$ 为显著性差异, $p < 0.01$ 为极其显著性差异。

2 研究结果与分析

2.1 助跑最后2步步长与步速的特征

国内外众多文献认为,助跑的最后2步是背

越式跳高中的关键技术环节^[9-11]。在最后2步的步长特征上,许多学者认为助跑倒1步的步长要尽可能大,以便起跳腿后蹬和摆动腿前群肌肉拉长,前移身体重心^[12]。由表4可知,王宇的倒2步步长为 2.16 ± 0.06 m,倒1步步长为 1.95 ± 0.04 m,均略低于世界级组(2.20 ± 0.11 m; 2.01 ± 0.10 m);王宇的步长差值为 0.21 ± 0.05 m,略大于世界级组(0.19 ± 0.06 m)。步长数据对比发现王宇助跑最后2步相对来说步长较小,但步长参数受身高、下肢长度等因素影响较大,不能单纯用来评判一个跳高运动员技术的好坏。但通过纵向对比王宇在不同高度上的技术表现,发现其在冲击2.30 m及以上高度时,倒2步步长均在2.20 m以上,倒1步步长均不足

2 m, 步长差值较大。跳高运动员在挑战较高高度时, 往往会加大步长以力求创造更大的水平速度, 但水平速度过大会增加起跳时保持身体姿态稳定性的难度, 因此很多运动员会在倒 1 步再有意减小步长, 减小的过多就会影响摆动腿前肌群肌肉的拉长和起跳腿后蹬的力量。与世界级组相比, 王宇在助跑最后 2 步的步长调整过多, 容易影响速度节奏。

从表 4 中也可以发现, 王宇助跑倒 2 步步速为 7.63 ± 0.16 m/s 与世界级组相近, 而助跑倒 1 步步速为 7.51 ± 0.17 m/s 略低于世界级组

(7.60 ± 0.31 m/s); 倒 1 步损失率为 $1.54 \pm 2.17\%$ 大于世界级组 ($0.26 \pm 1.82\%$), 这很大程度上与倒 1 步步长减小过多有关。在相关性上, 成绩与倒 1 步的步长和倒 1 步损失率呈显著正相关 ($p < 0.05$), 王宇在 2019 年五棵松街头赛上 3 次冲击 2.33 m 高度失败, 其中第 3 跳倒 1 步的步长较倒 2 步缩短了 0.25 m, 严重影响了助跑节奏导致过杆失败 (详见表 4 中王宇 9)。在起跳前为了创造稳定的身体姿态而有意“倒小步”, 会对速度节奏产生负面影响。

表 4 王宇与世界级组运动员助跑技术参数数据表

运动员	步长/m			步速/(m/s)			倒 1 步速度 损失率/%
	倒 2 步	倒 1 步	步长差值	倒 2 步	倒 1 步	后 2 步均速	
德劳因	2.38	2.10	0.28	7.66	7.58	7.62	1.04
邦达连科	2.13	1.90	0.23	7.92	7.99	7.92	-0.88
张国伟	2.24	2.09	0.15	7.26	7.40	7.26	-1.93
巴希姆 1	2.07	1.94	0.13	7.84	7.82	7.83	0.26
莱森科 1	2.10	1.89	0.21	7.44	7.23	7.34	2.82
莱森科 2	2.20	2.08	0.12				
巴希姆 2	2.29	2.08	0.21				
Max	2.38	2.10	0.28	7.92	7.99	7.92	2.82
Min	2.07	1.89	0.12	7.26	7.23	7.26	-1.93
$\bar{x} \pm SD$	2.20 ± 0.11	2.01 ± 0.10	0.19 ± 0.06	7.62 ± 0.27	7.60 ± 0.31	7.59 ± 0.29	0.26 ± 1.82
王宇 1	2.15	1.93	0.22	7.84	7.53	7.69	3.95
王宇 2	2.12	1.95	0.17	7.72	7.35	7.54	4.79
王宇 3	2.20	2.00	0.20	7.48	7.57	7.53	-1.20
王宇 4	2.16	1.98	0.18	7.52	7.58	7.55	-0.80
王宇 5	2.24	1.95	0.29	7.54	7.56	7.55	-0.27
王宇 6	2.19	1.92	0.27	7.81	7.65	7.73	2.05
王宇 7	2.07	1.94	0.13	7.54	7.31	7.43	3.05
王宇 8	2.10	1.89	0.21	7.40	7.24	7.32	2.16
王宇 9	2.24	1.99	0.25	7.78	7.77	7.78	0.13
Max	2.24	2.00	0.29	7.84	7.77	7.78	4.79
Min	2.07	1.89	0.13	7.40	7.24	7.32	-1.20
$\bar{x} \pm SD$	2.16 ± 0.06	1.95 ± 0.04	0.21 ± 0.05	7.63 ± 0.16	7.51 ± 0.17	7.57 ± 0.15	1.54 ± 2.17
与成绩的 $r(n=16)$	0.382	0.570*	-0.189	0.077	0.517	0.287	-0.605*

注: * 表示呈显著性相关 ($p < 0.05$); ** 表示呈极显著性相关 ($p < 0.01$); 王宇 9 因没过杆不纳入与成绩的 r 的相关性研究, 下同

2.2 起跳速度与助跑速度转化率的特征

背越式跳高需要运动员尽可能多地将助跑阶段创造的水平速度转化为起跳离地时的垂直速度, 为顺利过杆创造动力。起跳着地瞬间及起跳

离地瞬间的水平速度和垂直速度是评价起跳技术的重要指标^[13-14]。由表 5 可知, 王宇起跳着地瞬间的水平速度为 7.68 ± 0.18 m/s, 明显高于世界级组 7.32 ± 0.29 m/s ($p < 0.05$), 起跳离地

瞬间的垂直速度为 4.72 ± 0.17 m/s, 明显低于世界级组 4.88 ± 0.11 m/s ($p < 0.05$)。跳高成绩与起跳离地瞬间的垂直速度呈极其显著性正相关 ($r = 0.736$, $p < 0.01$), 与着地瞬间水平速度无显著性相关关系, 证明起跳离地垂直速度是影响成绩最重要的指标。

助跑速度转化率的计算方式为起跳离地瞬间

的垂直速度/起跳着地瞬间的水平速度^[15]。助跑速度转化率与成绩之间呈显著性正相关 ($r = 0.735$, $p < 0.01$)。王宇的助跑速度转化率为 $61.50 \pm 2.0\%$ 明显低于世界级组 $66.74 \pm 3.53\%$ ($p < 0.01$), 说明王宇在转变运动方向时水平速度损失较大, 速度转化能力有待提高。

表5 王宇与世界级组运动员起跳速度数据表

运动员	起跳着地瞬间速度/(m/s)		起跳离地瞬间速度/(m/s)		助跑速度 转化率/%
	水平	垂直	水平	垂直	
德劳因	7.10	1.11	4.25	5.04	70.97
邦达连科	7.66	0.79	4.80	4.80	62.69
张国伟	6.94	0.64	4.15	4.94	71.14
巴希姆 1	7.46	-0.50	4.59	4.82	64.61
莱森科 1	7.05	-0.70	3.62	4.76	67.52
莱森科 2	7.37	-0.77	4.34	4.97	67.44
巴希姆 2	7.66	-0.77	4.40	4.81	62.79
$\bar{x} \pm SD$	7.32 ± 0.29	-0.03 ± 0.84	4.31 ± 0.37	4.88 ± 0.11	66.74 ± 3.53
王宇 1	7.60	-0.25	4.15	4.65	61.18
王宇 2	7.86	-0.30	4.02	4.79	60.95
王宇 3	7.65	-0.41	4.46	4.85	63.44
王宇 4	7.67	-0.40	4.55	4.66	60.80
王宇 5	7.83	-0.55	4.07	4.81	61.41
王宇 6	7.96	-0.62	4.24	4.78	60.01
王宇 7	7.41	-0.28	3.85	4.76	64.21
王宇 8	7.47	-0.15	4.09	4.32	57.85
王宇 9	7.64	-0.22	4.13	4.86	63.63
$\bar{x} \pm SD$	7.68 ± 0.18	-0.35 ± 0.16	4.17 ± 0.22	4.72 ± 0.17	61.50 ± 2.0
F	4.00	15.36	1.00	0.34	3.77
t	3.01	-1.74	-0.90	-2.17	-3.76
p	0.001	0.13	0.38	0.05	0.002
与成绩的 $r(n=16)$	-0.483	0.154	0.387	0.736**	0.735**

2.3 起跳阶段身体质心高度的变化特征

起跳阶段的身体质心高度是跳高项目技术研究中重要的运动学指标。为了研究需要, 在该部分研究中做以下定义: H_0 表示起跳着地瞬间的身体质心高度; H_1 表示起跳离地瞬间身体质心高度; $\triangle H$ 表示二者之间的差值^[16-17]。

如表6所示, 起跳阶段身体质心高度的变化, 两组之间均存在显著性差异 ($p < 0.05$)。其中王宇 H_0 的平均值为 0.89 ± 0.01 m, 小于世界级组 (0.92 ± 0.03 m)。研究发现跳高运动

员 H_0 的值在 $0.85-1.15$ m 之间^[18], 且与自身的身高有很大关系^[19], 王宇的身高比世界级组的运动员都要低, H_0 占身高的百分比为 $47.07 \pm 0.56\%$, 与世界级组 ($47.43 \pm 2.26\%$) 接近。在质心高度参数中, 成绩与 H_1 之间呈极显著正相关 ($r = 0.683$, $p < 0.01$), 与 $\triangle H$ 呈显著正相关 ($r = 0.551$, $p < 0.05$)。王宇的 H_1 值 (1.28 ± 0.02 m) 和 $\triangle H$ 值 (0.38 ± 0.02 m) 均明显小于世界级组 (1.33 ± 0.05 m; 0.41 ± 0.03 m)。相比于世界级组, 王宇在起跳阶段身

体质心上升较少，导致质心加速的垂直距离较短， H_1 高度偏低，起跳垂直速度偏小。这样的问题可能由以下原因导致：一是下肢蹬伸不充分，表现在快速起跳能力上的欠缺，也就是快速伸缩能力上的缺陷；二是助跑与起跳的衔接效果较差，起跳距离的选择不合理。

表 6 王宇与世界级组运动员身体质心高度数据表 m

运动员	H_0	H_1	$\triangle H$	$H_0\%$
德劳因	0.90	1.31	0.41	46.39
邦达连科	0.90	1.31	0.41	45.69
张国伟	0.88	1.27	0.39	43.56
巴希姆 1	0.94	1.31	0.37	49.21
莱森科 1	0.93	1.37	0.44	48.44
莱森科 2	0.95	1.42	0.47	49.48
巴希姆 2	0.94	1.34	0.40	49.21
$\bar{x} \pm SD$	0.92 ± 0.03	1.33 ± 0.05	0.41 ± 0.03	47.43 ± 2.26
王宇 1	0.90	1.29	0.39	47.26
王宇 2	0.88	1.25	0.37	46.26
王宇 3	0.89	1.30	0.41	46.68
王宇 4	0.89	1.28	0.38	47.00
王宇 5	0.90	1.26	0.36	47.58
王宇 6	0.90	1.26	0.35	47.58
王宇 7	0.91	1.30	0.39	47.89
王宇 8	0.88	1.27	0.39	46.42
王宇 9	0.89	1.27	0.38	47.00
$\bar{x} \pm SD$	0.89 ± 0.01	1.28 ± 0.02	0.38 ± 0.02	47.07 ± 0.56
F	16.00	5.31	1.83	18.85
t	-2.53	-2.93	-2.55	-0.40
p	0.04	0.02	0.02	0.701
与成绩的 $r(n=16)$	0.655**	0.683**	0.551*	0.241

注：%表示该数据与身高的比值

2.4 起跳阶段膝关节和踝关节角度变化特征

跳高运动员在起跳时要改变运动方向，并使水平速度尽可能多地转化为垂直速度以保证有充足的动力越过横杆。起跳时因水平方向上的制动，运动员的支撑腿要承受 600—800 kg 的冲击力^[20]，这对起跳腿各关节的力量提出了很高的要求，起跳时下肢各关节需要保持合理的角度。由表 7 可知，王宇在起跳着地时踝关节最大缓冲角度 ($115.11 \pm 2.15^\circ$) 明显大于世界级组的 $105.0 \pm 3.83^\circ$ ($p < 0.05$)。着地后适当屈膝、屈踝进行缓冲可以激发牵张反射，利用肌肉的弹性势能以及激活更强的中枢神经反射，加强对应肌肉的收缩能力，提高收缩效果，但是缓冲幅度太

大，则会起到相反的效果，如弹性能量丢失或是关节失去最佳发力角度等。王宇在起跳离地时膝关节的角度为 $165.78 \pm 3.19^\circ$ ，明显小于世界级组的 $172.75 \pm 3.59^\circ$ ($p < 0.05$)，反映出膝关节蹬伸幅度不够充分。跳高运动员为了提高 H_1 的高度，在起跳离地时需要最大程度地伸膝伸踝，从离地时起跳腿膝关节和踝关节的角度指标上推断，与世界级优秀跳高运动员相比，王宇起跳腿的伸膝力量略显薄弱。2019 年五棵松街头赛 2.33 m 失败的第 3 跳中王宇在起跳离地时起跳腿膝关节角度只有 161° ，踝关节角度为 140° ，蹬伸效果很不理想，最终导致过杆失败（详见表 7 中王宇 9）。

表7 起跳阶段王宇与世界级组运动员起跳腿关节角度数据表

(°)

运动员	膝关节角度			踝关节角度		
	着地	最大缓冲	离地	着地	最大缓冲	离地
巴希姆 1	163	136	175	128	102	142
莱森科 1	161	132	172	127	106	137
莱森科 2	170	151	176	127	110	141
巴希姆 2	162	132	168	128	102	145
$\bar{x} \pm SD$	164.00±4.08	137.75±9.03	172.75±3.59	127.50±0.58	105.00±3.83	141.25±3.30
王宇 1	164	137	169	123	115	147
王宇 2	157	138	161	126	116	138
王宇 3	162	132	167	125	115	141
王宇 4	165	136	167	128	117	137
王宇 5	162	137	164	122	118	136
王宇 6	162	145	166	130	112	138
王宇 7	162	147	167	131	112	138
王宇 8	165	130	170	129	114	141
王宇 9	163	142	161	127	117	140
$\bar{x} \pm SD$	162.44±2.40	138.22±5.61	165.78±3.19	126.78±3.07	115.11±2.15	139.56±3.28
F	1.60	1.07	0.05	5.71	2.72	0.01
t	-0.88	0.12	-3.34	-0.46	4.95	-0.86
p	0.40	0.91	0.02	0.66	0.01	0.41
与成绩的 $r(n=13)$	0.410	0.200	0.486	-0.098	-0.530	0.201

注:因 2015 年世锦赛前 3 名运动员起跳腿关节数据缺失较多,因此未纳入整体性研究

2.5 腾起速度和腾起角度特征

背越式跳高在起跳时,一定要遵循抛物体上升的高度公式: $H = (V_0^2 \sin^2 \alpha) / 2g$ 。在这里 V_0 为腾起速度, α 为腾起角度, g 为重力加速度。那么腾起速度和腾起角度就是一对非常重要的运动学指标。研究发现,过多地增加腾起速度 V_0 可能会使腾起角度 α 降低,限制助跑水平速度的发挥^[21]。在研究起跳技术时,要辩证看待运动员的起跳技术特点,不能一味追求助跑速度而忽视腾起角度。从表 8 可知,王宇的起跳距离为 1.20 ± 0.24 m,明显小于世界级组的 1.22 ± 0.03 m ($p < 0.05$),而且标准差较大,说明起跳点不是很稳定。腾起角度为 $48.79 \pm 1.86^\circ$ 与世界级组 ($48.69 \pm 2.68^\circ$) 相近;腾起初速度为 6.33 ± 0.21 m/s 略低于世界级组 (6.51 ± 0.26 m/s)。在与成绩的相关性上,腾起初速度与成绩呈正相关 ($r = 0.628$, $p < 0.05$),而腾起初速度与腾起角度呈负相关 ($r = -0.507$, $p < 0.05$)。王宇在起跳角度的选择上比较合理,符合世界顶级水平的技术特点,现阶段需要提升腾起初速度,除了加强起跳腿蹬伸能力外,可以尝试适当降低腾起角度以提高腾起初速度。

表8 王宇与世界级组运动员腾起

技术参数数据表

运动员	腾起初速度/(m/s)	腾起角度/(°)	起跳距离/m
德劳因	6.60	49.85	1.25
邦达连科	6.79	44.99	1.23
张国伟	6.45	49.99	1.24
巴希姆 1	6.66	46.00	1.16
莱森科 1	5.98	53.00	1.25
莱森科 2	6.60	49.00	1.19
巴希姆 2	6.52	48.00	1.21
$\bar{x} \pm SD$	6.51±0.26	48.69±2.68	1.22±0.03
王宇 1	6.23	48.29	1.21
王宇 2	6.23	50.00	1.20
王宇 3	6.59	47.43	1.24
王宇 4	6.52	45.73	1.03
王宇 5	6.37	50.32	1.58
王宇 6	6.54	49.62	0.85
王宇 7	6.12	51.06	1.02
王宇 8	5.96	46.58	1.54
王宇 9	6.44	50.11	1.14
$\bar{x} \pm SD$	6.33±0.21	48.79±1.86	1.20±0.24
F	0.01	0.54	5.91
t	-1.54	0.09	-0.19
p	0.94	0.48	0.03
与成绩的 $r(n=16)$	0.628**	-0.025	-0.047

注:腾起初速度与腾起角度的相关性 $r = -0.507$, $p < 0.05$ ($n=16$)

2.6 背弓姿态及过杆速度特征

背弓的程度很难用身体某一个关节的角度表示, 本研究选择运动员在腾起时身体质心最高点时相上, 头颈、胸腹和膝关节角度。由表 9 可知, 2019 年多哈世锦赛男子跳高冠军巴希姆的头颈角度为 135° 、胸腹角度为 127° 、膝关节角度为 140° 。头颈角度小印证了国内教练常说的头往杆下“钻”的技术特点, 胸腹角度小可保持住身体质心高度, 但膝关节角度不宜过小是为了避免小腿触碰横杆, 这是一种很好的背弓姿态。王宇的头颈角度为 $158.33 \pm 3.84^{\circ}$ 较巴希姆偏大, 胸腹角度 $129.67 \pm 3.04^{\circ}$ 和膝关节角度 $140.78 \pm 6.76^{\circ}$ 与巴希姆接近, 同属于“大背弓”的过杆姿态。王宇在质心最高点

时的速度为 $4.11 \pm 0.12 \text{ m/s}$, 质心速度偏低, “大背弓”的过杆姿态可以保持杆上的质心高度缓慢下降, 但这对过杆技术都有很高的要求, 动作稍不到位就会有触杆的风险。例如 2019 年五棵松街头赛 2.33 m 失败的第 3 跳, 王宇过杆时的头颈角度 162° 、胸腹角度为 134° 、膝关节角度 148° , 3 个角度较成功跳次的平均值都略大, 最后的结果是身体触杆。事实上, 过杆技术并不能单纯地用背弓姿态来评价, 通过访谈多位国家级优秀跳高教练员得到的普遍反馈是, 背弓程度要适合过杆速度。对于过杆速度快的运动员不宜参照“大背弓”的过杆姿态, 更宜采用“快倒肩, 快放腿, 高挺髋”, 降低背弓程度以提高过杆速度。

表 9 王宇与世界级组运动员过杆技术参数数据表

运动员	成绩/m	质心最高点时			
		头颈角度/ $(^{\circ})$	胸腹角度/ $(^{\circ})$	膝关节角度/ $(^{\circ})$	质心速度/ (m/s)
王宇 1	2.28	158	126	146	4.21
王宇 2	2.25	156	131	140	4.05
王宇 3	2.31	161	126	145	4.28
王宇 4	2.29	153	133	145	4.24
王宇 5	2.30	160	132	146	4.05
王宇 6	2.27	152	128	134	3.92
王宇 7	2.28	162	127	130	4.04
王宇 8	2.24	161	130	133	4.10
王宇 9	2.33	162	134	148	3.91
Max	2.33	162.00	134.00	148.00	4.28
Min	2.24	152.00	126.00	130.00	3.91
$\bar{x} \pm \text{SD}$	2.28 ± 0.03	158.33 ± 3.84	129.67 ± 3.04	140.78 ± 6.76	4.11 ± 0.12
巴希姆	2.37	135	127	140	

注: 表中的巴希姆数据是 2019 年多哈世锦赛现场拍摄视频解析所得, 质心最高点时的头颈角度、胸腹角度、膝关节角度参数均保留整数位; 质心速度是质心在 X、Y、Z 三个坐标轴方向上的合速度

3 研究结论与建议

3.1 结论

- (1) 与世界优秀跳高运动员相比, 王宇助跑速度较快, 助跑倒 1 步步长较短, 速度损失率高, 降速明显。
- (2) 王宇起跳离地时的垂直速度偏慢, 起跳腾起初速度偏慢, 离地时的质心高度 H_1 较低,

- 质心上升高度 ΔH 较低; 采用“大背弓”的过杆姿态, 过杆技术较好。
- (3) 现阶段王宇在起跳技术、助跑速度的转化、起跳腿蹬伸力量、垂直弹跳等方面的技术和能力需要提升。
- (4) 王宇起跳腿蹬伸能力不足导致身体质心上升高度 ΔH 较低, 导致质心加速距离短, 造成起跳离地垂直速度较慢。

3.2 建议

(1) 王宇有很好的助跑速度,但倒1步降速较为明显,建议训练中尝试改变固有的步长模式,在弧线跑4—6步过杆练习中,利用外暗示标记物拉大最后1步步长,并探究不同步长区间范围内所对应的步速和助跑速度转化率以提升助跑技术。

(2) 建议王宇加强起跳离地时身体的伸展能力,特别是起跳腿的伸膝能力,可通过相应的拉伸方式来提高腘绳肌的柔韧性,采用负重深蹲、跳深练习等方法来提高股四头肌群的力量以改善该方面的能力。

(3) 王宇的过杆速度不快,每次依靠“大背弓”的过杆姿态保证杆上的质心高度,这种技术动作对腾空后身体姿态的控制及核心力量都有很高的要求,空中接近横杆时挺髋速度稍慢就会有触杆的风险,而且容易造成腰腹和背部肌肉的损伤。日常专项训练要加强对腰背肌的保护,力求适当提升过杆速度。

参考文献:

- [1] 程泓人.我国现役优秀男子跳高运动员关键运动技术特征的运动学研究[D].北京:国家体育总局体育科学研究所,2020.
- [2] 李长东,谭黔.国内外优秀男子跳高运动员起跳技术对比分析[J].吉林体育学院学报,2011,27(1):51.
- [3] 黄建军.中外优秀男子背越式跳高运动员起跳阶段运动学对比分析[J].广州体育学院学报,2011,31(2):76.
- [4] 程泓人,江志全,苑廷刚,等.世界级优秀男子跳高运动员关键运动技术研究[J].中国体育科技,2019,55(9):52.
- [5] 吕乙林,苏斌,王开永.对2006年田径大奖赛中黄海强越过2.28m的技术分析[J].广州体育学院学报,2006,26(5):46.
- [6] 毛旭江,杨红春,潘慧炬,等.我国优秀跳高运动员黄海强起跳过程蹬摆动作及合理性分析[J].南京体育学院学报(自然科学版),2013,12(5):66.
- [7] NICHOLSON G, BISSAS A. Biomechanical report of the IAAF world championships London 2017 high jump Men's [EB/OL]. (2018-07-05) [2021-03-10]. <https://www.worldathletics.org/about-iaaf/documents/research-centre>.
- [8] NICHOLSON G, BENNETT T, BISSAS A. Biomechanical report of the IAAF world indoor championships London 2018 high jump Men's [EB/OL]. (2019-02-14) [2021-03-16]. <https://www.worldathletics.org/about-iaaf/documents/research-centre>.
- [9] JUHA I, MIKKO V, HEIKKI K. Biomechanical analysis of the high jump at the 2005 IAAF world championships in athletics [J]. New Studies in Athletics, 2007, 22(2): 17.
- [10] 赵清波.我国男子跳高运动员王臣起跳过程的生物力学探讨[J].西安体育学院学报,2014,31(2):231.
- [11] KIM E H, BAE Y S, KIM S S, et al. Biomechanical analysis of men's high jump medalists in IAAF world championships, daegu 2011 [J]. Korean Journal of Sport Biomechanics, 2011, 21(5): 573.
- [12] 李国东,赵连甲.现阶段中国男子背越式跳高运动员助跑最后一步至起跳的技术分析[J].北京体育大学学报,2004,27(7):115.
- [13] ČOH M, SUPEJ M, ŽVAN M, et al. Biodynamical profil of the take-off action in high jump [J]. Sport Mont, 2010(23-24): 12.
- [14] IIBOSHA A, AE M, TAKAMATSU J, et al. Techniques of elite high jumpers at the 3rd IAAF world championships in athletics [J]. New Studies in Athletics, 2012, 27(4): 670.
- [15] 闫之朴,孙研红,孙健.我国优秀男子跳高运动员助跑最后一步放脚技术的生物力学分析[J].山东体育学院学报,2006,22(3):69.
- [16] MICHIOYOSHI A, NAGAHARA R, OHSHIMA Y. Biomechanical analysis of the top three male high jumpers at the 2007 world championships in athletics [J]. New Studies in Athletics, 2008, 23(2): 45.
- [17] ČOH M. Biomechanical characteristics of take off action in high jump: a case study [J]. Serbian Journal of Sports Sciences, 2010, 4(4): 127.
- [18] ADASHEVSKIY V M, IERMAKOV S S, MARCHENKO A A. Biomechanics aspects of technique of high jump [J]. Physical Education of Students, 2013, 2(2): 11.
- [19] 李成玥.跳高运动员张国伟起跳及腾空的运动学分析:以2015年北京田径世锦赛为例[J].山东体育学院学报,2016,32(1):101.
- [20] 何国泉.背越式跳高起跳阶段的生物力学分析[J].科技创新导报,2009(17):207.
- [21] 闫慧,刘双恩.优秀跳高运动员王宇腾空过杆技术的三维运动学分析[J].成都体育学院学报,2015,41(4):107.

A Comparative Study on the Key Technical Indexes Between Chinese High Jumper Wang Yu and the World Elite High Jumpers

CHENG Hongren¹, YUAN Tinggang²

(1. Graduate School, Wuhan Sports University, Wuhan 430079, China; 2. China Institute of Sport Science, Beijing 100061, China)

Abstract: *Objective:* To study Wang Yu's sports technical performance in major events in 2019, obtain key kinematic parameters, compare the key technical indexes of the world elite high jumpers, explore Wang Yu's technical characteristics at this stage, and put forward reasonable training suggestions. *Methods:* The paper adopts methods of sports scene shooting, video image analysis, expert interview and statistical analysis. *Results:* ① The length of the last but one step of Wang Yu's run-up is 2.16 ± 0.06 m, the length of the last step is 1.95 ± 0.04 m, the step difference is 0.21 ± 0.05 m, the speed of the last step but one is 7.63 ± 0.16 m/s, and the speed of the last step is 7.51 ± 0.17 m/s; ② Wang Yu's horizontal speed was 7.68 ± 0.18 m/s when taking off and landing, the vertical speed was 4.72 ± 0.17 m/s when leaving the ground, and the conversion rate of run-up speed was $61.50 \pm 2.0\%$; ③ In Wang Yu's take-off stage, $H1$ is 1.28 ± 0.02 m and ΔH is 0.38 ± 0.02 m; ④ When Wang Yu took off and landed on the ground, the knee angle was $162.44 \pm 2.40^\circ$ and the ankle angle was $126.78 \pm 3.07^\circ$; When he took off from the ground, the knee angle is $165.78 \pm 3.19^\circ$ and the ankle angle is $139.56 \pm 3.28^\circ$; ⑤ Wang Yu's take-off angle is $48.79 \pm 1.86^\circ$, the initial take-off speed is 6.33 ± 0.21 m/s, and the take-off distance is 1.20 ± 0.24 m; ⑥ When Wang Yu passed the pole, the head and neck angle was $158.33 \pm 3.84^\circ$, the chest and abdomen angle was $129.67 \pm 3.04^\circ$, the knee angle was $140.78 \pm 6.76^\circ$, and the speed was 4.11 ± 0.12 m/s when he passed the pole. *Conclusion:* Compared with the world-class elite high jumpers, Wang Yu's run-up speed is faster, and the speed of the last step of the run-up decreases significantly; The vertical speed and the initial speed of take-off, the centroid height $H1$ and the rising height of centroid during the whole take-off process are low; The pole passing posture of arched position is adopted, and the pole passing technology is better. At present, the technology and ability of take-off, transformation of run-up speed, kicking and stretching strength of take-off legs, vertical bounce and so on need to be improved.

Key words: Wang Yu; men's high jump; key technique; run-up; take off; the pole passing technology