

· 竞技论坛 ·

## 鞍马全旋动作的运动学分析

苏 杨,钱竞光,宋雅伟  
(南京体育学院运动人体科学系,江苏 南京 210004)

**摘 要:**鞍马全旋动作是提高鞍马技术水平的一个重要的基本动作。从运动生物力学的角度,运用两台 SONY PC330 数码相机对 13 名运动员的鞍马全旋动作进行同步拍摄,采用美国 ARIEL 三维影像解析系统对其技术动作进行运动学解析,找出鞍马全旋动作各个技术环节的关键因素,以期为运动员的训练提供理论依据。

**关键词:**鞍马全旋;三维影像解析;运动学分析

**中图分类号** G832.8 **文献标识码** A

**文章编号** 1671-5950(2009)03-0059-05

**Kinematic Analysis on Double Leg Circles on the Pommel Horse//SU Yang, QIAN Jing-guang, SONG Ya-wei**

**Abstract:** Double leg circles (DLC) on the pommel horse is an important elementary action in raising the technical level of pommel horse. Two SONY PC330 digital cameras were used to shoot DLC of thirteen gymnasts. From the angle of sport biomechanics, ARIEL system was applied to analyze the characteristic of DLC of them in order to provide references for the training of gymnasts.

**Key words:** double leg circles on the pommel horse, three-dimensional high-speed photography and film study, kinematic analysis

**Author's address** Department of Human Sports Science, Nanjing Institute of Physical Education, Nanjing 210014, China

### 1 前言

鞍马全旋动作是指鞍马全旋类动作中的环上并腿全旋,简称全旋。评分规则规定,鞍马比赛的主要动作形式是双腿进行的全旋<sup>[1]</sup>。鞍马中大部分高难度成套动作都是在鞍马全旋动作的基础上逐渐发展和变化起来的,它的掌握程度和完成质量将直接影响运动员在此项目上的发展前途。基于这一现状,本文试图从运动生物力学的角度出发,采用高速摄影与三维影像解析的方法对鞍马全旋动作进行量化分析,以期得到其动作的特点和运动学规律,为鞍马全旋动作科学化训练提供理论依据。

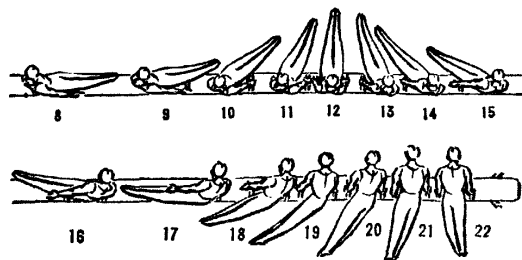


图1 “伞形全旋”俯视分解图

### 2 研究对象和方法

#### 2.1 研究对象

选取 2007 年全国体操冠军赛、2007 年全国锦标赛、2005 年全国体操冠军赛的部分运动员,共 13 名健将级运动员为研究对象。运动员平均年龄为  $23 \pm 3.2$  (y),身高  $1.65 \pm 0.04$  (m),体重  $59 \pm 3.05$  (kg),运动年限  $18 \pm 2.96$  (y),详细情况见表 1。

表 1 受试者基本情况

比赛名称	姓名	年龄 (y)	身高 (m)	体重 (kg)	运动 等级	运动 年限(y)
2007 年全国体操冠军赛	陆斌	29	1.65	59	健将	24
	王恒	26	1.71	62	健将	22
	罗靖	22	1.65	56	健将	18
	俞嗣阳	19	1.66	60	健将	15
	鲁晨玺	20	1.64	53	健将	16
	陈晨	20	1.62	57	健将	16
	杜伟	21	1.6	60	健将	17
2005 年全国体操冠军赛	陈晶	27	1.73	64	健将	22
	杜伟	21	1.6	60	健将	17
	王恒	26	1.71	62	健将	22
2007 年全国体操锦标赛	郭伟阳	20	1.64	59	健将	16
	杜伟	21	1.6	60	健将	17
	肖钦	23	1.64	55	健将	18

#### 2.2 研究方法

收稿日期:2009-05-06;修回日期:2009-06-30

第一作者简介:苏 杨(1981-),女,江苏常州人,讲师,硕士,主要研究方向:运动生物力学。

### 2.2.1 测试仪器及指标

(1)测试仪器。两台日本产的 SONY PC330 数码照相机, ARIL 公司的 APAS 系统(美国),三维 DLT 辐射框架。

(2)测试指标。动作时间参数、重心(足、肩)轨迹、重心位移与速度参数、环节位移与速度参数、关节角度参数。

### 2.2.2 摄像方法

用两台摄像机在比赛现场拍摄运动员鞍马全旋动作的全过程,两机主光轴对准鞍马,夹角为  $90^\circ$ ,一台正面一台侧面形成三维拍摄,见图2,拍摄速度为每秒50幅,拍摄动作前先拍摄框架,然后移开三维框架在运动员做动作时进行两机定点同步摄像。

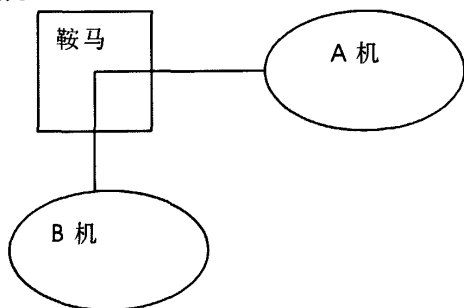


图2 三维拍摄现场俯视图

## 3 结果与分析

### 3.1 鞍马全旋动作的结构与运动阶段的划分

体操运动员在鞍马上的全旋运动具有经典力学中刚体规则进动的特点。将人体纵轴相对垂直轴的倾角定义为章动角,纵轴绕垂直轴的转角以及人体绕纵轴的转角分别定义为进动角及自旋角。理想化的鞍马全旋运动要求人体以不变的章动角做匀速进动,同时绕纵轴朝相反方向自旋,以保证运动员在运动过程中始终面向前方<sup>[2]</sup>。其主要技术特点是:以肩为轴,转圈如伞,夹紧出胸,远离支点,身体伸直,动作舒展<sup>[3]</sup>。为了便于分析鞍马全旋运动的运动学特征,我们根据双臂或单臂支撑将鞍马全旋一周动作过程分为4个阶段(见图1):T1动作阶段(从图中第19正撑到图中第5右手脱离右马环),此阶段简称双臂正撑阶段,重心逐渐转移到左臂上;T2动作阶段(从图中第5到图中第10右手再次握住右马环成反撑),此阶段简称单臂(左臂)支撑阶段;T3动作阶段(从图中第10到第15左手脱离左马环),此阶段简称双臂反撑阶段,重心逐渐转移到右臂上;T4动作阶段(从图中第15到第19左手再次握住左马环成正撑),此阶段简称单臂(右臂)支撑阶段。即整个动作过程可以简单概括为:双臂正撑阶段——单臂(左臂)支撑阶段——双臂反撑阶段——单臂(右臂)支撑阶段。同时取5个特殊位置:图中第1为正撑位置P1(6点位置),图中第6为右马侧位置P2(3点位置),图中第12为反撑位置P3(12点位置),图中第17为左马侧位置P4(9点位置),图中第22为再次正撑位置P5(6点位置)。

### 3.2 鞍马全旋一周4个阶段耗时分析

表2 受试者一周4个阶段的耗时(s)

	T1	T2	T3	T4	一周总耗时
陆斌	0.16	0.32	0.2	0.28	0.96
王恒	0.16	0.32	0.12	0.28	0.88
罗靖	0.16	0.32	0.16	0.32	0.96
俞嗣阳	0.14	0.34	0.18	0.32	0.98
鲁晨玺	0.16	0.32	0.18	0.32	0.98
陈晨	0.16	0.32	0.16	0.28	0.92
杜伟	0.12	0.28	0.16	0.24	0.8
陈晶	0.14	0.28	0.16	0.36	0.94
杜伟	0.14	0.28	0.16	0.28	0.94
王恒	0.1	0.32	0.16	0.32	0.9
郭伟阳	0.16	0.3	0.14	0.32	0.92
杜伟	0.12	0.28	0.16	0.28	0.84
肖钦	0.16	0.28	0.2	0.32	0.96

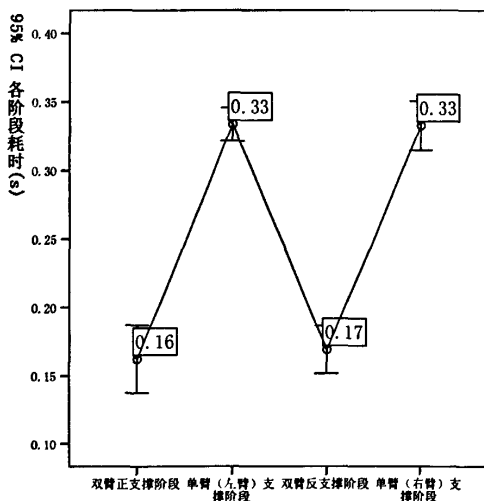


图3 全旋一周每个阶段的平均耗时(s)

不同运动员鞍马全旋一周各阶段耗用的时间是不一样的,但各阶段平均耗时存在一定规律。由图3,双臂支撑阶段平均耗时明显少于单臂支撑阶段。且从表2中可见,肖钦在T3阶段耗时明显比其它人多,说明延长双手支撑阶段以增加发力时间是良好技术的重要方面。

图4可以看出双手支撑阶段耗时所占比例基本一致,单臂支撑阶段耗时所占比例基本一致,且前者所占比例明显少于后者,推断单臂支撑阶段主要靠人体惯性继续转动。

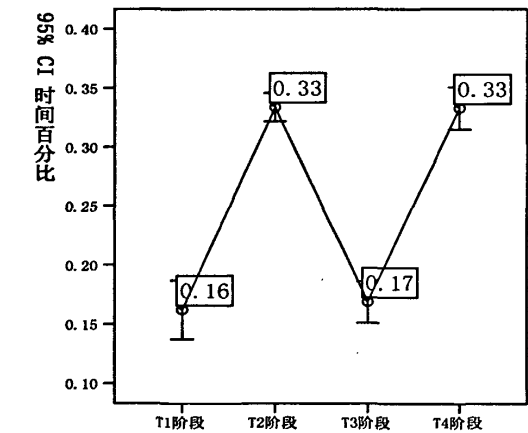


图4 运动员全旋一周各阶段时间分配百分比图

3.3 鞍马全旋一周足轨迹平面投影分析

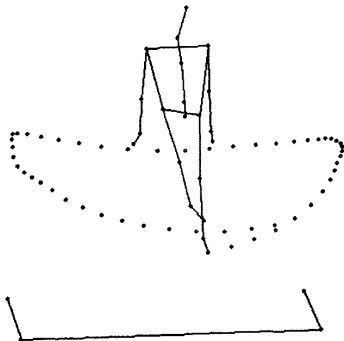


图5 陆斌全旋一周足轨迹图

全旋一周后,足的轨迹基本如图5中所示,将其投影到水平面(即xy平面,取鞍马纵轴为x轴)接近椭圆曲线,与G. Grassi等研究的结果一致<sup>[4]</sup>。见表2-5:

表3 足轨迹投影参数分析(m)

	x	y	z	x-y
陆斌	1.92	1.77	0.37	0.15
王恒	1.86	1.74	0.13	0.12
罗靖	1.91	1.94	0.29	-0.03
俞嗣阳	1.95	1.78	0.37	0.17
陈晨	1.93	1.91	0.15	0.02
杜伟	1.66	1.63	0.32	0.03
鲁晨玺	2.03	1.84	0.31	0.19
陈晶	1.91	1.79	0.22	0.12
杜伟	1.72	1.77	0.34	-0.05
王恒	1.95	1.94	0.28	0.01
郭伟阳	1.82	1.67	0.3	0.15
杜伟	1.74	1.55	0.27	0.19
肖钦	1.95	1.94	0.24	0.01
平均数	1.8741	1.7862	0.2751	
变异系数	5.80%	6.76%	27.51%	

从表2看出:肖钦的x-y值为0.01m,说明其足轨迹投影到水平面形成的椭圆基本接近圆形,而动作质量较差的俞嗣阳、鲁晨玺长短轴分别相差0.17和0.19,特别是后者虽然在左右方向脚尖伸到最远点,长轴x达本组最大2.03m,但在前后方向正撑和背撑时脚尖却退缩到最近点,动作幅度大为下降。进一步证明了在鞍马全旋中足轨迹投影到水平面的曲线越接近圆,动作技术水平越高,这是影响动作好坏的重要因素。

3.4 鞍马全旋一周肩轨迹平面投影分析

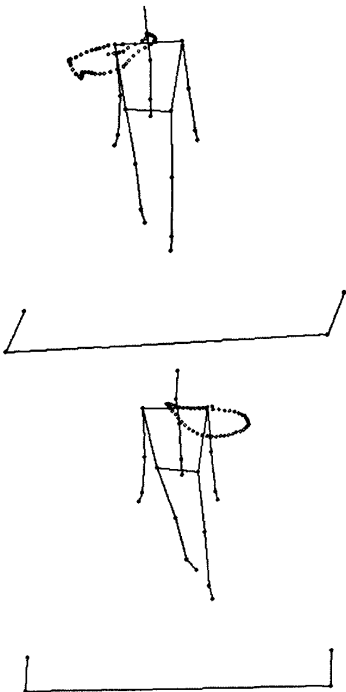


图6 陆斌全旋一周左肩和右肩的轨迹图

从图6可以推测:在鞍马全旋一周后,运动员左(右)肩的轨迹投影到水平面,形成类似椭圆的曲线。椭圆在冠状轴方向上的直径x、在矢状轴方向上的直径y,较长的为椭圆的长轴,较短的为椭圆的短轴,而肩上下运动在垂直轴方向的幅度为z。椭圆面积 $s=(\pi/4)xy$ 。见下表:

表4 运动员全旋一周左肩轨迹投影分析

	x(m)	y(m)	z(m)	s(m <sup>2</sup> )
陆斌	0.4777	0.4429	0.1502	0.17
王恒	0.4976	0.4538	0.1246	0.18
罗靖	0.541	0.3766	0.1031	0.16
俞嗣阳	0.4576	0.2866	0.1483	0.1
陈晨	0.4714	0.4373	0.1587	0.16
杜伟	0.5431	0.3865	0.1823	0.16
鲁晨玺	0.5108	0.2805	0.1568	0.11
陈晶	0.5027	0.4328	0.1497	0.17
杜伟	0.4598	0.3592	0.1422	0.13
王恒	0.4915	0.5434	0.1465	0.21
郭伟阳	0.4737	0.4456	0.171	0.17
杜伟	0.5101	0.4043	0.1519	0.16
肖钦	0.6149	0.5743	0.165	0.28

表5 运动员全旋一周右肩轨迹投影分析

	x(m)	y(m)	z(m)	s(m <sup>2</sup> )
陆斌	0.5296	0.4151	0.1363	0.17
王恒	0.4668	0.4073	0.1606	0.15
罗靖	0.4713	0.5191	0.1619	0.19
俞嗣阳	0.4921	0.2821	0.1221	0.11
陈晨	0.5226	0.4408	0.2037	0.18
杜伟	0.5127	0.4979	0.1905	0.2
鲁晨玺	0.5451	0.3164	0.1734	0.14
陈晶	0.552	0.5058	0.1376	0.22
杜伟	0.5019	0.5325	0.1427	0.21
王恒	0.5587	0.4999	0.1468	0.22
郭伟阳	0.4674	0.423	0.1084	0.16
杜伟	0.5048	0.5255	0.1488	0.21
肖钦	0.6523	0.5769	0.1779	0.3

从表4和表5明显看出:不管是左肩还是右肩的s,肖钦的投影面积远远大于其它人,且x,y,z参数均左右较对称,说明其肩的运动幅度大且对称运动,而俞嗣阳和鲁晨玺肩的投影面积较小,说明其肩运动幅度过小,导致在影片上看来动作姿态较差,动作完成质量不高。

通过三维影像解析曲线发现,一般运动员z最大值出现在马侧位置时,如右手撑马,则在左马侧位置左肩z达最大值。

3.5 鞍马全旋一周重心轨迹平面投影分析

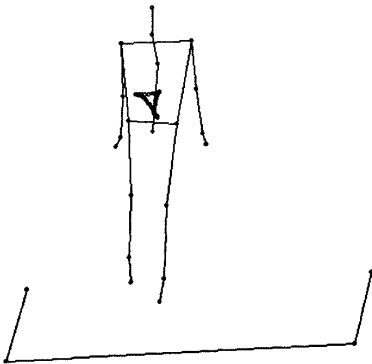


图7 陆斌全旋一周重心轨迹图

全旋一周后,重心的轨迹基本如图7中所示,将其投影到水平面(即xy平面)接近椭圆曲线,与肩和足的投影类似。

表6中,肖钦重心投影到水平面的椭圆面积是0.05平方米,显然是这组对象中最大的,一般运动员都只在0.02平方米左右,说明肖钦重心的运动幅度较一般人大很多,这就是肖钦动作看起来飘逸优美的原因。

表6 重心轨迹投影参数分析(m)

	x	y	Z	s	y-x
陆斌	0.15	0.14	0.05	0.02	-0.01
王恒	0.1	0.22	0.05	0.02	0.12
罗靖	0.12	0.23	0.12	0.02	0.11
俞嗣阳	0.14	0.19	0.06	0.02	0.05
陈晨	0.13	0.19	0.14	0.02	0.06
杜伟	0.16	0.26	0.18	0.03	0.1
鲁晨玺	0.22	0.25	0.11	0.04	0.03
陈晶	0.29	0.21	0.03	0.04	-0.08
杜伟	0.16	0.12	0.06	0.02	-0.04
王恒	0.16	0.17	0.04	0.02	0.01
郭伟阳	0.17	0.15	0.06	0.02	-0.02
杜伟	0.18	0.17	0.06	0.02	-0.01
肖钦	0.24	0.25	0.1	0.05	0.01
平均数	0.1706	0.1951	0.0823		
变异系数	31.25%	22.93%	54.41%		

3.6 鞍马全旋一周4个特殊位置的髋关节角度分析

表7 鞍马全旋一周4个特殊位置的髋关节角度分析(度)

	P1	P2	P3	P4
陆斌	160	155	160	155
王恒	165	140	165	145
罗靖	160	135	170	145
俞嗣阳	160	125	160	130
陈晨	165	160	170	145
杜伟	160	155	180	155
鲁晨玺	150	155	180	150
陈晶	170	155	180	150
杜伟	170	150	180	155
王恒	170	155	180	155
郭伟阳	170	145	180	155
杜伟	170	150	180	160
肖钦	170	160	180	160
极小值	150	125	160	130
极大值	170	160	180	160

从表7看出:这四个位置都是鞍马全旋动作评分中至关重要的动作技术位置,在每个位置的髋关节角度中,肖钦的角度都是最大的,说明其由始至终都尽量保持不屈髋。保持髋关节角度接近180度是鞍马全旋技术要领之一。

3.7 鞍马全旋一周4个阶段的足平均速度和重心平均速度分析

图8中,运动员鞍马全旋一周,T1阶段足平均速度为7.21m/s,T2阶段足平均速度为5.71 m/s,T3阶段足平均速度为7.42 m/s,T4阶段足平均速度为5.74 m/s。日本的FUJIHARA TOSHIYUKI等研究发现足速度在双臂支撑阶段和单臂支撑阶段不同<sup>[5]</sup>。从图8中可进一步看出,T1和T3阶段为双手支撑发力阶段,足平均速度明显大于单臂支撑阶段。同时从三维解析的结果看出,运动员一般旋转至P1,P3,P5足速度达峰值。

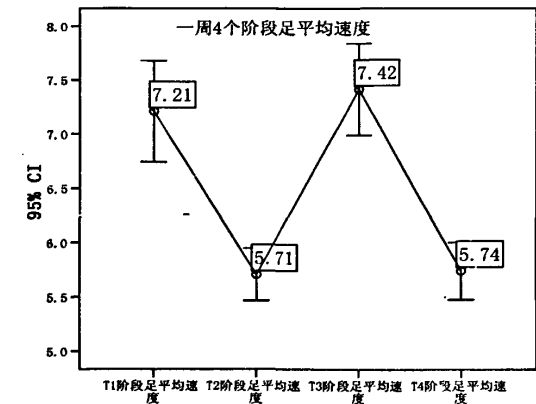


图8 运动员全旋一周4个阶段的足平均速度图

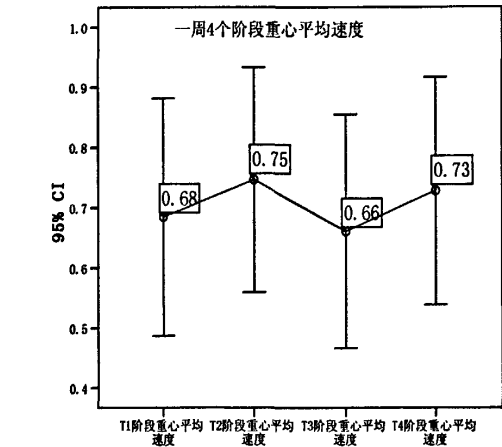


图9 运动员全旋一周4个阶段的重心平均速度图

图9中,运动员鞍马全旋一周,T1阶段重心平均速度为0.68 m/s,T2阶段重心平均速度为0.75 m/s,T3阶段重心平均速度为0.66 m/s,T4阶段重心平均速度为0.73 m/s。对比图8和图9可以看出,足平均速度和重心平均速度曲线趋势相反,重心在单臂支撑阶段平均速度大于双手支撑阶段,说明重心速度相对足速度有时间延迟。

表8 运动员全旋一周4个阶段足平均速度 (m/s)				
	T1阶段 平均足速	T2阶段 平均足速	T3阶段 平均足速	T4阶段 平均足速
陆斌	7.37	6.12	6.24	5.2
王恒	7.34	5.86	7.17	5.88
罗靖	6.56	5.71	7.2	6.23
俞嗣阳	7.41	6.18	6.59	5.3
陈晨	7.45	6.11	6.64	5.75
杜伟	7.45	5.07	7.7	5.27
鲁晨玺	6.53	6.06	7.15	6.02
陈晶	6.43	5.72	7.86	6.1
杜伟	5.74	5.08	8.1	5.37
王恒	7.15	5.59	7.84	6.11
郭伟阳	7.76	5.09	7.55	6.4
杜伟	7.68	5.75	7.43	5.09
肖钦	8.87	5.85	8.24	5.87
平均数	7.21	5.71	7.42	5.74
变异系数	10.69%	7.01%	9.46%	7.66%

4 结论

- 1) 鞍马全旋一周中,双臂支撑阶段耗时所占比例基本一致,单臂支撑阶段耗时所占比例基本一致,且前者所占比例明显少于后者。肖钦在双臂反撑阶段耗时明显比其它人多,说明延长双臂支撑阶段以增加发力时间是良好技术的重要方面。
- 2) 在鞍马全旋一周后,运动员左(右)肩的轨迹、足轨迹及重心轨迹的投影到水平面曲线越接近圆技术水平越高。肖钦肩的运动幅度远远大于其它人且对称运动。
- 3) 在鞍马全旋运动中,保持不屈髋是技术要领之一。
- 4) 在鞍马全旋运动中,双手支撑阶段足平均速度明显大于单臂支撑阶段,重心平均速度反之,说明重心速度相对足速度有时间延迟。

参考文献:

[1] 俞继英. 奥林匹克体操[M]. 北京:人民体育出版社, 2001:232-235.

[2] 陆纯恩. 鞍马的教学与训练[M]. 北京:人民体育出版社, 1979:24-26.