

胡俊捷跳马前手翻屈体前空翻 2 周运动学分析¹⁾

郝卫亚^{*,2)} 姚侠文[†] 徐青华^{*} 庞乐^{*}

^{*}(国家体育总局体育科学研究所, 北京 100061) [†](北京体育大学, 北京 100084)

摘要 前手翻屈体前空翻 2 周是男子跳马最高难度动作之一。迄今, 我国只有胡俊捷曾完成该动作。本文通过三维运动学分析技术揭示了胡俊捷完成前手翻屈体前空翻 2 周动作的运动学规律与技术特点, 获得了身体重心和主要关节的位移, 水平速度和垂直速度及关节角度等运动学指标的变化。这些结果可为我国运动员发展和改进此类动作提供理论依据和技术参考。

关键词 男子跳马, 屈体前空翻, 运动学分析

KINEMATICAL ANALYSIS ON FORWARD HANDSPRING AND SALTO DOUBLE FORWARD PIKED OF HU JUNJIE IN MEN'S VAULTING HORSE¹⁾

HAO Weiya^{*,2)} YAO Xiawen[†] XU Qinghua^{*} PANG Le^{*}

^{*}(China Institute of Sport Science, Beijing 100061, China)

[†](Beijing Sport University, Beijing 100084, China)

Abstract Forward handspring and salto double forward piked is one of the most difficult movements in men's vaulting horse. Hu Junjie is the only Chinese gymnast who brought this movement to success. Based on a 3D motion analysis, the kinematic features and the technical characteristics of the forward handspring and salto double forward piked performed by Hu Junjie are analyzed in this paper. The variations of some kinematic parameters, such as the displacements, horizontal and vertical velocities of mass center, the displacements and angles of main joints are obtained. The results of analysis can provide a technical and theoretical guidance for further design of movements for Chinese gymnasts in this field.

Key words men's vaulting horse, salto double forward piked, kinematic analysis

我国男子跳马是世界体操中的优势项目之一, 我国运动员李宁、楼云、李小鹏等曾多次夺得过男子跳马世界冠军^[1]。但是我国男子跳马在某些难度发展的技术领域还落后于世界先进水平, 其中前手翻屈体前空翻 2 周就是其中之一。早在 21 世纪初波兰运动员布拉尼克在国际体操比赛男子跳马决赛中首先创新了前手翻屈体前空翻 2 周。直到 2004 年我国运动员胡俊捷才在全国体操锦标赛男子跳马决赛中首先使用了这个动作, 他在近几年的全国体操锦标赛中凭借这个动作的实力多次参加男子跳马单项决赛, 但由于该动作完成得不够稳定, 动作质量欠佳, 未取得理想的成绩。

目前前手翻屈体前空翻 2 周仍是男子跳马高难前沿动作之一, 难度价值很高, 在 2006 年新修改的国际体操规则男子跳马难度表中定为 7 分, 是最高难度分之一。该动作仍有发展的潜力和空间, 在完成该动作的基础上可以继续发展前手翻屈体前空翻 2 周转体 180°, 360° 等。

在近几年的全国体操比赛中胡俊捷是唯一一个能完成跳马前手翻屈体前空翻 2 周的运动员, 积累了运动实践的经验, 为此我们采用三维运动分析 (3D motion analysis) 方法, 拍摄并研究了胡俊捷完成此动作的运动学规律和技术特点以及存在的技术问题, 为我国有条件的运动员发展和改进此动作提供

2008-03-11 收到第 1 稿, 2008-04-22 收到修改稿。

1) 国家体育总局奥运重点科技项目 (委 03-22, 委 06-18)。

2) E-mail: haoweiya@ciss.cn

理论依据和参考数据.

1 对象与方法

胡俊捷是上海市体操集训队队员,从2004~2006年多次参加过全国体操锦标赛男子跳马单项决赛,获得过名次,是我国优秀跳马选手之一.本文运用生物力学三维摄像与解析等方法对胡俊捷完成的跳马前手翻屈体前空翻2周动作的全过程进行了研究,研究步骤与方法如下:

在2006年6月无锡全国体操锦标赛男子跳马单项决赛中,用两台日本产 Sony 摄像机拍摄了胡俊捷完成的前手翻屈体前空翻2周动作的全过程. A 机位于跑道一侧. B 机位于落地点后一侧,两机镜头对准跳马推手点,两机主光轴夹角约为 100°,拍摄频率为每秒 50 幅,之后采用美国产 Peak 框架进行三维立体标定,利用外同步对动作进行同步处理.

对所采集的图像进行整理解析,选用扎齐奥尔斯基人体模型,利用德国产 Simi Motion 软件进行数字化解析.对解析所获得数据采用低通滤波进行平滑,截断频率为 8 Hz,对取得的平滑数据进行筛选和整理,共获得 5500 多个数据,包括身体重心和各关节的位移,水平速度和垂直速度及各关节的角度等.

2 研究结果与分析

2.1 总体动作分析

该动作由助跑、上板、踏跳、第1腾空、推手、第2腾空和落地等7个阶段组成,本文重点研究后5个阶段的动作技术.

从身体重心在垂直面的运动轨迹来看(图1),AB段为踏跳阶段;BC段为第1腾空阶段;CD段为推手阶段;DEF段为第2腾空阶段.第1腾空和

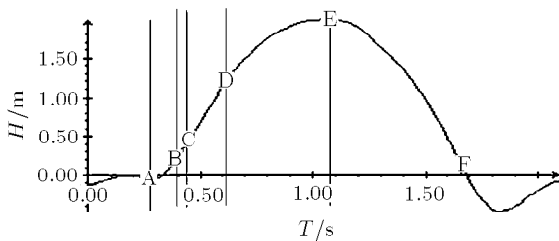


图1 身体重心在垂直面的运动轨迹

注: A—两脚触板, B—两脚蹬离板, C—两手撑马, D—两手离马, E—重心最高点, F—两脚落地. 本图座标原点为 1.20 m, 要计算实际高度加 1.20 m

第2腾空为腾空抛物线轨迹,踏跳和推手是支撑情况下的过度曲线.踏跳、第1腾空至第2腾空最高点的重心轨迹是逐渐弧形上升的,过了最高点后重心轨迹又逐渐弧形下降,直至落地为止.

从身体重心水平速度和垂直速度的变化曲线来看(图2),从两脚触板开始,经过踏跳和推手两次制动,身体重心水平速度逐渐下降,两脚触板时为 7.02 m/s,两脚离板时重心水平速度下降到 4.58 m/s,推手结束时重心水平速度继续下降到 3.25 m/s,进入第2腾空重心水平速度保持在 3.00 m/s 左右,落地时重心水平速度下降 2.61 m/s.因为本文是从踏跳阶段开始分析动作全过程,所以触板瞬间水平速度最大,按跳马动作的特点和要求,助跑和上板时的身体重心水平速度要大于两脚触板瞬间的水平速度.

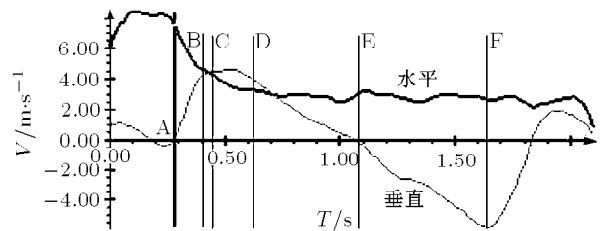


图2 身体重心水平速度和垂直速度曲线图

从踏跳以后各阶段时间分配比例来看(表1),第2腾空时间最长,为 1.06 s,占 75.71%;第1腾空时间最短为 0.04 s,占 2.86%;其次是踏跳时间,为 0.12 s,占 8.57%;推手时间比踏跳时间长一点,为 0.18 s,占 12.86%.

表1 各阶段时间分配比例表

时间 / 百分比	踏跳阶段	第1腾空阶段	推手阶段	第2腾空阶段	总时间
时间/s	0.12	0.04	0.18	1.06	1.40
%	8.57	2.86	12.86	75.71	100

2.2 主要动作阶段技术分析

2.2.1 踏跳阶段技术分析

从两脚触板至两脚蹬离板的运动过程为踏跳阶段.踏跳阶段是将助跑时获得的水平方向的动量转化为垂直、水平两个方向的动量和角动量,使运动员进入第1腾空的动作阶段.根据测试数据(图2),胡俊捷上板过程最大的重心瞬时水平速度为 8.36 m/s,踏跳阶段完成后,水平速度减小到离板时的 4.58 m/s,而垂直速度迅速增加到 4.23 m/s(表2).说明获得垂直速度的主要阶段是踏跳阶段.

表 2 胡俊捷前手翻屈体前空翻 2 周踏跳阶段有关参数

运动 瞬间	重心水 平速度 / (m·s ⁻¹)	重心垂 直速度 / (m·s ⁻¹)	踝角 / (°)		膝角 / (°)		髋角 / (°)		肩角 / (°)		上板角 / (°)	蹬离角 / (°)
			左	右	左	右	左	右	左	右		
脚触板	7.02	0.6	126	127	144	159	98	108	106	113	53	
脚离地	4.58	4.23	143	143	176	168	150	145	131	130		77

注：上板角：两脚触板瞬间身体重心至脚支点连线与水平线后夹角。

蹬离角：两脚蹬离板瞬间身体重心至脚支点连线与水平线前夹角。

从能量角度来看，踏跳过程中运动员利用助跑中积累的动能，通过迅速有力地蹬踏踏板，将部分动能转化为板的弹性势能，然后运动员又积极利用板的弹性，力图最大限度地将其弹性势能转化为运动员的动能。根据力学原理，蹬腿的作用力越大，踏跳效果越好，获得的垂直速度也越大。

运动员在踏跳过程中，上体逐渐前倾，两臂仍保持在肩水平位置，身体重心已超过脚支点的垂直投影线，蹬离角为 77°(表 2)。这样垂直分力通过重心后面，使身体获得了向前的翻转力矩，从而获得角动量。

2.2.2 第 1 腾空阶段技术分析

从两脚蹬离板后至两手撑马瞬间的运动过程为第 1 腾空阶段。第 1 腾空是踏跳阶段和推手阶段衔接阶段。两脚蹬离板后身体重心轨迹沿着 43° 的方向进入第 1 腾空，腾空抛物线的轨迹是逐渐弧形向上的(图 1 中 BC 段)。这与其它类型动作第 1 腾空抛物线的运动轨迹基本相同，只是腾起的角度根据不同的动作和个体差异有所不同。

第 1 腾空有两个主要任务，一是积极主动撑马，为下阶段推手做好充分的准备；二是加快身体的翻

转，尽量使人体翻转到较高的位置。胡俊捷第 1 个任务完成得比较好，两手撑马较快，第 1 腾空时间只用了 0.04s。第 2 个任务完成得不好，撑马时身体位置较低，身体重心上升了 30.18cm，对下步的推手和第 2 腾空的翻转造成了不良的影响。造成此种现象的原因可能有两点：一是两脚离板后下肢摆腿较晚；髋角增大得不明显；二是第 1 腾空时间过短，来不及摆腿就撑上马了。

2.2.3 推手阶段技术分析

从两手撑马至两手推离马的运动过程为推手阶段。推手阶段也是完成该动作的关键技术环节。在这个阶段，运动员需要在撑马后立即快速有力顶肩推手，增加垂直运动速度和转动角速度，从而提高离马后的腾空高度和翻腾角速度，为完成空中动作创造有利条件。

由于受到第 1 腾空技术的影响，胡俊捷在推手技术方面也存在一定的问题，推手阶段的任务完成得不够理想。胡俊捷推手时间稍长了一点为 0.18s，而罗马尼亚运动员做前手翻团身前空翻 2 周转体 180°，推手时间为 0.14s^[2]。推手后胡俊捷重心垂直度不但没有增加，反而减小了许多，由撑马时的 4.43m/s 减小到 3.96m/s(表 3)。

表 3 胡俊捷前手翻屈体前空翻 2 周推手阶段有关参数

运动 瞬间	重心水 平速度 / (m·s ⁻¹)	重心垂 直速度 / (m·s ⁻¹)	髋角 / (°)		肩角 / (°)		撑马角 / (°)	推离角 / (°)	脚的运动 速度 / (m·s ⁻¹)	
			左	右	左	右			左	右
两手撑马 瞬间	4.25	4.43	172	163	121	124	0		13.77	13.85
两手推离马 瞬间	3.25	3.96	162	168	117	113		881	4.04	5.48

注：撑马角：两手撑马瞬间身体重心至手支点连线与马水平面后夹角。

推离角：两手推离马瞬间身体重心至手支点连线与马水平面后夹角。

2.2.4 第 2 腾空技术分析

从两手推离马至两脚踏地的运动过程为第 2 腾空阶段。它是评定动作难度和动作质量的主要标志。在这个阶段里运动员需要完成翻转(绕人体横轴运

动)和转体(绕人体纵轴)动作。根据力学原理，运动员离马瞬间即决定运动员腾空高度、时间、身体角动量。腾空初始垂直速度愈大，腾空高度愈大，运动员腾空时间也愈长，就愈有利于完成空中技术动作。

第2腾空时间、高度和落地远度是由前面的助跑、踏跳和推手等技术环节决定的。根据解析数据(表4),胡俊捷该动作的第2腾空时间为1.06s;第2腾空最高点至地面的垂直高度为3.19m;从推离马至落地的身体重心水平距离为3.01m;从马前端至落地脚的远度为2.77m左右。以上腾空时间、腾空高度和腾空远度(离马时重心与落地时重心的水平距离)是胡俊捷完成该动作的基本条件,虽然比不上世界上最优秀的运动员,如罗马尼亚的道格勒斯库^[2],他的腾空时间为1.14s,腾空高度为3.30m。但胡俊捷获得的腾空时间和腾空高度足以满足完成该动作的需要,可供年轻运动员发展该动作时参考。

表4 胡俊捷前手翻屈体前空翻2周第2腾空阶段有关参数

腾空时间 / s	腾空高度 / m	腾空速度 / (m·s ⁻¹)	最高点水平速度 / (m·s ⁻¹)	最高点垂直速度 / (m·s ⁻¹)	重心轨迹腾起角 / (°)	翻转角速度 / (rad·s ⁻¹)
1.06	3.19	3.01	3.11	0.10	50	15.55

第2腾空过程中,运动员在空中仅受重力作用,它始终通过运动员的质心位置。因此,在空中运动中,运动员的角动量守恒,保持为离马瞬间的大小。在实际中,体操运动员往往在空中采用调整肢体的姿势(如屈体、团身、抱臂、展开等)来改变其躯体的转动惯量,达到提高(或者降低)转动角速度的目的^[1,3,4]。

该动作的难点主要体现在翻转技术上,必须在落地之前完成2周半的翻转,因为向前屈体2周半要比团身2周半转动惯量大,因此加快屈体前空翻的翻转速度是完成该动作的关键技术。

2.2.5 落地阶段技术分析

从脚触垫经下肢弯曲缓冲后至站立的运动过程为落地阶段,本阶段也是评定动作质量和取得好成绩的重要因素。落地前,运动员需要展开身体,提高身体的转动惯量,降低转动角速度,为稳定落地做准备。在落地瞬间,运动员身体姿势也是十分重要的,它是运动员完成落地缓冲和稳定落地的前提。在落地过程中,运动员需要经过下肢弯曲缓冲动作,增加缓冲时间,降低落地时地面的冲击作用力,从而减少运动损伤。胡俊捷落地时重心垂直速度达5.41m/s,水平速度达2.61m/s(表5)。在这样的速度稳定落地

需要良好的落地姿势,才能保证落地稳定。但他的两脚落地时髌角和膝角都比较小,落地角只有34°(表5)。由于以上原因落地后下肢各关节缓冲的时间和空间受到限制,不可能对向下的垂直速度及向前的水平速度与翻转角速度形成有效的制动,致使落地后臀部触垫和向前跑几步,造成失误。

表5 胡俊捷前手翻屈体前空翻2周落地瞬间有关参数

重心水平速度 / (m·s ⁻¹)	重心垂直速度 / (m·s ⁻¹)	踝角 / (°)	膝角 / (°)	髌角 / (°)	肩角 / (°)	落地角 / (°)
		左	右	左	右	左
2.61	5.41	101	105	79	90	49
		62	58	28		34

注:落地角:两脚触垫瞬间身体重心至脚支点连线与地水平线后夹角落地地区:垫子高度为30cm。

3 结论

运动生物力学的一个主要任务就是阐明各种运动项目的力学原理,为改进运动技术、改善运动环境、降低运动损伤提供理论依据。本文采用三维运动分析技术对胡俊捷跳马前手翻屈体前空翻2周的技术动作进行了分析,获得胡俊捷完成该技术动作过程中的运动学指标变化,并获得不同阶段和关键瞬时位移、速度以及运动员躯体姿态的关节角度,为我国运动员发展和改进此类动作提供了理论依据和技术参考。

参 考 文 献

- 1 姚侠文. 现代跳马技术与教学熟练. 北京体育大学出版社, 1993
- 2 李伟. 道格勒斯库跳马前手翻团身前空翻2周转体180°运动学分析. 北京体育大学学报, 2004, 27(12): 1713~1716 (Li Wei. Kinematic analysis of the forward handspring and salt double forward tucked vault with twist 1/2 performed by dragulescu. *Journal of Beijing Sport University*, 2004, 27(12): 1713~1716(in Chinese))
- 3 宋晓东, 胡军. 跳马前手翻团身前空翻2周动作的运动学分析. 成都体育学院学报, 1994, (3): 28~32 (Song Xiaodong, Hu Jun. Kinematic analysis of the forward handspring and salt double forward tucked vault. *Journal of Chengdu Sport University*, 1994, (3): 28~32(in Chinese))
- 4 郝卫亚, 姚侠文, 庞乐等. “程菲跳”运动学分析. 中国体育科技, 2007, 43(6): 67~69, 121 (Hao Weiya, Yao Xiawen, Pang Le, et al. Kinematical analysis of Cheng Fei vaulting. *China Sport Science and Technology*, 2007, 43(6): 67~69, 121 (in Chinese))