

## 竞技健美操难度组合 C289 接 A187 的运动学分析

张晓莹<sup>1</sup>, 赵轩立<sup>2</sup>

(1.北京体育大学 艺术学院, 北京 100084; 2.中国地质大学 体育部, 北京 100083)

**摘 要:** 运用 QUALISYS 红外光点高速运动捕捉系统, 对 5 名男子竞技健美操世界冠军完成难度动作 C289 接 A187 的技术特征进行运动学分析, 进一步明晰该难度组合的正确技术模式, 为难度组合的针对性与规范性训练提供理论依据。研究表明: (1) 运动员起跳属于慢速拉长收缩循环, 肩髋扭转角度越大, 能够存储更多的核心抗旋能量。(2) 腾空过程中, 运动员能够把握最佳屈体时机, 前难度屈体时刻与后难度提臀屈体时刻髋关节角度均符合规则要求。(3) 世界冠军身体重心 Z 轴方向位移呈波浪式移动, 核心控制能力较强, 较高的腾空高度是完成高难度动作和增加动作稳定性的前提。(4) 连接阶段腾起时以肘关节伸展发力为主, A187 成功率较高, 手脚几乎同时落地。(5) 根据难度组合的运动时间特征、重心位移特征以及各阶段的运动学参数, 得出世界冠军完成 C289 接 A187 的技术量化模型。

**关 键 词:** 竞技健美操; 难度组合; 技术特征; 运动学特征

**中图分类号:** G831.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-7116(2018)05-0132-07

### Kinematic analysis of competitive aerobic difficulty combination C289 followed by A187

ZHANG Xiao-ying<sup>1</sup>, ZHAO Xuan-li<sup>2</sup>

(1. Art School, Beijing Sport University, Beijing 100084, China;

2. Department of Physical Education, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** By using the QUALISYS infrared light spot high speed movement capture system, the authors carried out kinematic analysis on the technical characteristics of difficulty movement C289 followed by A187 completed by five male competitive aerobic world champions, further clarified the correct technical mode of the difficulty combination, so as to provide a theoretical criterion for targeted and normative training. The authors revealed the following findings: 1) The taking-off of the athletes belongs to SSC, the bigger the shoulder and hip twisting angle, the more core anti-rotation energy can be stored; 2) In the process of soaring, the athletes could grasp the best moment for body bending, and the hip joint angles at the former difficulty body bending moment and at the latter difficulty hip lifting and body bending moment met rule requirements; 3) In the axis Z direction, the displacement of the center of gravity of the world champions moved in a wavy way; their core control ability was strong; a higher soaring height is the precondition for completing highly difficult moves and increasing move stability; 4) At the connecting stage, the athletes exploded their power mainly by elbow joint stretching during lifting, their A187 success rates were high; their hands and feet landed almost simultaneously; 5) According to the movement time characteristics, center of gravity displacement characteristics and kinematic parameters at various stages with respect to the difficulty combination, the authors derived the technique quantified model of C289 followed by A187 completed by the world champions.

**Key words:** competitive aerobics; difficulty combination; technical characteristics; kinematic characteristic

收稿日期: 2017-11-07

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助课题; 2016 年北京体育大学自主课题(2016YB032)。

作者简介: 张晓莹(1961-), 女, 教授, 硕士研究生导师, 研究方向: 健美操教学、训练与竞赛。E-mail: zhangxyde@126.com

转体 360° 屈体跳再转 180° 成俯撑落地接提臀腾起转体 180° 成文森, 是竞技健美操跳步类接俯撑类(C+A)难度的典型高分值组合, 在成套动作中多有选用, 其连接技术较为复杂, 该难度组合是体现世界高水平运动员技术水平的标志性动作。统计发现, C289 的完成过程及落地成俯撑后连接 A187 处容易出现失误, 直接导致难度组合失败, 无法给予连接加分, 失去难度组合价值且易造成运动损伤。在 2017 版竞赛规则中, 允许出现 3 个难度的连接形式, 可以得到 0.2 分的连接加分, 如此外部加分机制将更加吸引运动员。因此, 如何提高难度组合的成功率, 改进并掌握连接技术, 是现阶段训练急需解决的问题。

本研究以世界冠军运动员的技术模式为基础, 运用 QUALISYS 光学动作捕捉系统对 C289 接 A187 组合动作的两个难度及瞬间连接进行多频次拍摄, 得到稳定的技术特征, 同时寻找组合技术结构的特点和规律, 以期定量分析难度组合, 有效促进难度组合的价值提升与创新, 从而为运动员针对性选择和掌握难度组合技术提供理论依据。

## 1 研究对象与方法

### 1.1 研究对象

本研究选取 5 名男子竞技健美操世界冠军(潘 × ×、麻 × ×、徐 × ×、蒋 × ×、韩 × ×), 探讨竞技健美操难度组合 C289(转体 360° 屈体跳再转 180° 成俯撑)接 A187(提臀腾起转体 180° 成文森)的运动学特征。

### 1.2 研究方法

#### 1)测试工具。

红外光点高速运动捕捉系统(包括 8 个镜头——拍摄频率为 200 Hz、标定尺、数据采集系统 Qualisys Track Manager)。

#### 2)数据采集。

红外光点高速运动捕捉系统运用高精度的摄像机, 对固定在人体的反光标志点<sup>[1]</sup>进行拍摄, 通过系统的采集部件和专用计算机对标志点运动时的相关数据

进行采集、运算、转换与处理, 从而获得人体运动学参数。为保证拍摄效果, 清除干扰点, 在运动员身体粘贴 29 个 Marker 点, 完成系统对所有 Marker 点的捕捉, 得到运动员完成 C289 接 A187 难度组合技术动作图像和数据资料, 邀请健美操国际级裁判及健美操专家对测试对象所完成的难度动作进行现场评定。

本研究以竞技健美操专业比赛地板(12 m × 12 m)为摄像放置边线, 将 8 个摄像头安置在竞赛地板的正前方、正后方、正左侧、正右侧、左前方 45°、左后方 45°、右前方 45° 和右后方 45° 的位置, 运动员在地板正中间完成动作。测试前依据难度组合动作的运动轨迹进行安装和调试实验仪器, 同时向 5 名运动员讲述拍摄过程、拍摄要求及注意事项, 使运动员熟知整个过程。运动员进行充分热身, 随后在粘贴 29 个 Marker 点的前提下进行 1~2 次难度组合动作的试拍。全过程以左脚向前迈步落地为起点即从上步阶段起, 进行数据采集。5 名运动员分别高质量完成 6 次难度组合动作, 选取每人最优 3 次动作并计算均值, 代表每一运动员技术特征。

#### 3)数据处理。

数据采集后, 采用 Excel2010 对 C289、A187 及其连接阶段相关运动学参数原始数据进行相关处理, 根据实际需要对各项数据指标进行归纳与汇总。

## 2 结果与分析

根据本研究需要、竞技健美操竞赛规则对动作的要求、难度动作的技术特征以及访谈等综合分析, C289 接 A187 难度动作组合中, C289 起跳阶段划分为起跳缓冲和蹬伸阶段, 腾空阶段分为腾空上升和腾空下降阶段。为了将动作结构清晰化, 按照每转 180° 进行阶段划分为转体 180° 时刻、成屈体姿态时刻、再转 180° 时刻作为分析点; 落地阶段主要分析俯撑触地特征画面。A187 主要分为腾空上升和腾空下降阶段, 连接阶段主要包含前难度落地屈肘缓冲阶段和支撑推起阶段(见图 1)。

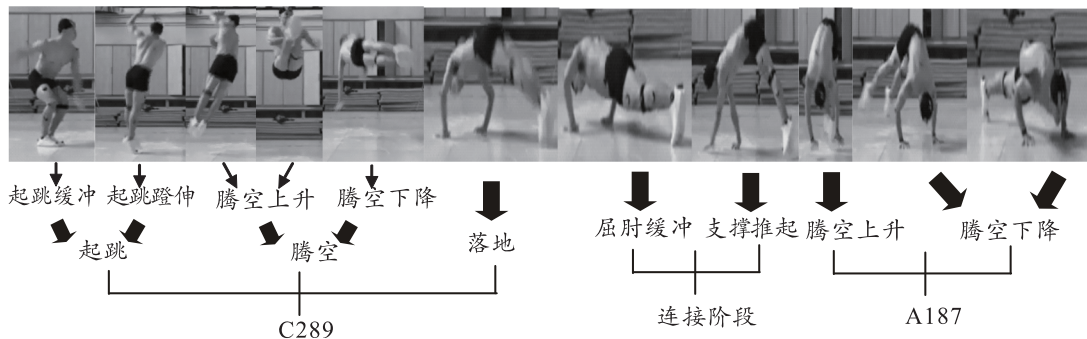


图 1 C289 接 A187 难度组合动作阶段

## 2.1 难度组合前难度 C289 的技术

### 1)前难度动作 C289 的运动时间。

起跳时间是由着地缓冲时间和蹬伸时间组成。从表 1 中可知,运动员缓冲平均时间为 0.21 s,蹬伸平均时间为 0.20 s,起跳时间均值为 0.41 s。若缓冲时间过长,导致储存的弹性势能浪费,造成能量利用率降低,同时也会延误最适宜蹬伸时机,限制了起跳后的

腾空高度<sup>[2]</sup>。在 C289 腾空上升和下降阶段,平均时间分别为 0.36 和 0.38 s。腾空过程中屈体为核心动作,因此需把握好屈体动作开始和完成的时机,为屈体预留足够的时间,以达到完美展示空中姿态的目的。若屈体动作未充分展现就已开始展体,势必会影响动作整体完成效果及艺术表现。

表 1 前难度动作 C289 的运动时间

姓名	C289 起跳阶段		C289 腾空阶段	
	起跳缓冲	起跳蹬伸	腾空上升	腾空下降
韩××	0.18	0.24	0.39	0.39
蒋 ×	0.27	0.17	0.31	0.45
麻 ×	0.18	0.24	0.34	0.38
潘××	0.19	0.20	0.39	0.35
徐××	0.24	0.16	0.38	0.33
平均	0.21	0.20	0.36	0.38
总计	0.41		0.74	

由于运动员动作技术要点不完全相同,不能因此判定腾空时间越长动作质量越高。5 名冠军运动员动作成熟自动化,均会以自身体能最优化、技术最简化的方式完成动作,每一动作结构基本清晰分明。另一层面来说,腾空时间是难度动作质量的重要保证,若在保证动作完成基础上适当延长腾空时间,从而提升动作的高度和速度,则更加能够施展运动员能力与水平,降低难度完成的风险。

### 2)前难度动作 C289 的重心位移。

图 2 反映了 5 名运动员起跳中重心垂直位移的变化趋势。曲线波谷阶段,运动员依靠降低重心来获得更多的弹性势能和缓冲惯量,以便蹬离地面后转体获得较多的腾空时间。在腾空阶段,可清晰看出蒋××的重心上升幅度较大,潘××身体重心在 Z 轴方向的位移为最小。运动员垂直方向位移轨迹基本一致,若要稳定获得难度分值,减少完成扣分,必须提高难度完成高度,在最短的时间内完美展现难度动作。

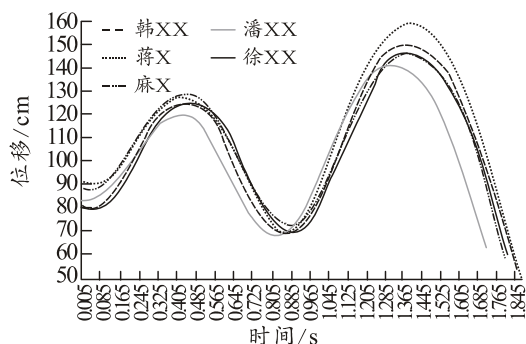


图 2 五名运动员 Z 轴垂直方向身体重心位移变化

### 3)前难度动作 C289 各阶段的运动学特征。

#### (1)起跳阶段的运动学参数。

5 名运动员在膝关节角度最小特征画面时(见表 2),膝关节平均角度在 125° ~135° 之间,髋关节平均角度为 100° ~120°,髋、膝、踝关节的合理屈曲能够最大范围激活伸髋肌群,获得良好起跳效果。运动员上步落地时足连线与矢状轴夹角平均值仅为 15.5°,规则规定角度在 0~45° 完成,裁判将对其进行 0.1 的扣分<sup>[3]</sup>。蹬伸离地时刻左髋近乎垂直起跳,肩髋扭转角平均角度为 83.2°,扭转角度不仅与运动员身体形态相关,还与技术特点紧密相连。肩髋的扭转通过拉伸预摆方向同侧的腹外斜肌与对侧的腹内斜肌以储备弹性势能,以及牵张反射提供的转体速度,从而产生垂直轴上的转动角度。此外通过上肢远端的手腕关节,带动前臂、上臂做快速离心旋转运动,能够增大躯干扭转速度<sup>[4]</sup>,增加摆臂活动幅度有利于空中转体动作的完成。

#### (2)腾空阶段的运动学参数。

2017 版竞技健美操规则要求,完成 C289 过程中双腿举至空中成屈体位置,双腿平行或高于水平位置,躯干和双腿的夹角不得大于 60°<sup>[3]</sup>,且要求运动员尽最大可能伸直双腿和绷直脚面来体现姿态美。

由表 3 数据可以看出,第 1 次转体至 180° 时,5 名运动员髋关节几乎处于伸展状态,平均角度为 165.93°。此时髋关节平均高度为 126.9 cm,髋关节角度大有利于缩短身体纵轴转动半径,为下一阶段技术的完成创造良好条件。在腾空至髋关节角度最小时刻,运动员的躯干与双腿夹角均小于 60°,符合竞技

健美操规则要求, 且膝关节角度与自然站立时伸展状态变化不大, 髌关节最高点平均高度为 135.9 cm, 整体动作完成质量较高。数据采集时发现运动员通常在转体 270°~390° 时完成屈体, 并伴随上半身略微后仰, 使髌关节屈曲到最小角度后更好完成转体伸髌。第 2 次腾空转体 180° 结束时髌关节平均高度为 62.0 cm, 完成屈体转体后需有充分的时间落地支撑, 运动

员向下转身时刻髌关节并未完全伸展, 落地前动作的调整直接关系到落地的安全性和稳定性, 为后难度的支撑腾起做准备。根据动量矩守恒定律, 半径与角速度成反比, 半径越短, 旋转角速度就越大, 为保证运动员有充分的高度落地, 需尽量伸展转体, 加快髌关节旋转。完成第 2 次转体后, 通过肌肉协同做功, 转动惯量减小并在 180° 时停止转体, 成俯撑落地<sup>[5]</sup>。

表 2 C289 起跳阶段的运动学参数

姓名	起跳缓冲膝关节角度最小特征画面				起跳蹬离地面特征画面			足连线与矢状轴夹角/(°)
	髌关节角度/(°)		膝关节角度/(°)		肩髌扭转角/(°)	上肢末端速度/(m·s <sup>-1</sup> )		
	右	左	右	左		右	左	
韩××	123.1	108.1	139.5	116.1	65.9	80.1	5.1	15.5
蒋 ×	108.8	106.0	121.8	120.4	92.8	64.9	5.9	13.8
麻 ×	127.7	103.1	140.0	142.0	91.0	87.5	6.7	16.3
潘××	115.5	99.9	127.3	128.7	70.5	82.5	5.3	16.4
徐××	102.3	116.3	143.4	138.7	95.3	75.3	3.4	15.6
平均值	115.4	104.6	134.4	129.2	83.2	78.0	5.3	15.5

表 3 C289 腾空阶段的运动学参数

姓名	第 1 次腾空转体 180° 时刻			腾空至髌关节角度最小时刻			第 2 次腾空转体 180° 时刻			
	髌关节角度/(°)	膝关节角度/(°)	髌关节高度/cm	髌关节角度/(°)	膝关节角度/(°)	髌关节高度/cm	髌关节角度/(°)	膝关节角度/(°)	髌关节高度/cm	髌关节角速度/(°·s <sup>-1</sup> )
韩××	170.0	163.1	126.6	59.0	159.6	136.3	144.4	166.7	59.5	161.9
蒋 ×	167.4	164.3	134.5	57.0	162.9	148.3	142.9	164.8	60.0	157.5
麻 ×	164.8	155.6	127.5	59.0	155.7	135.0	149.2	152.1	63.0	150.7
潘××	165.0	163.0	122.8	56.1	163.1	129.3	146.1	166.2	59.0	156.0
徐××	162.3	162.4	123.0	59.1	154.8	130.5	148.8	156.1	68.7	142.8
平均	165.9	161.7	126.9	58.1	159.2	135.9	146.3	161.2	62.0	153.8

(3)落地阶段的运动学参数。

落地阶段是前难度动作 C289 的结束部分, 也是组合连接动作的前奏, 动作完成质量直接影响整个难度组合动作的完成情况。表 4 为前难度俯撑触地特征画面的运动学参数。

5 名运动员中麻 × 的手脚时间差仅为 0.02 s, 手脚

落地最为接近, 平均时间差为 0.03 s。5 名运动员落地点均未扣分, 落地时间差均可接受。从表 4 中数据还可看出, 运动员左右膝关节角度均大于 150°, 与自然伸直状态角度相差较小, 髌关节与肘关节落地时并未完全伸展, 有一定缓冲角度<sup>[6]</sup>, 落地瞬间身体重心向下的速度较快, 要求运动员有良好核心抗伸能力。

表 4 C289 俯撑触地阶段的运动学参数

姓名	髌关节角度/(°)		膝关节角度/(°)		肘关节角度/(°)		手脚时间差/s
	右	左	右	左	右	左	
韩××	141.2	148.2	162.2	171.8	138.8	148.3	0.04
蒋 ×	136.4	149.7	165.7	164.6	137.3	149.4	0.03
麻 ×	143.0	150.5	151.2	155.8	145.5	147.9	0.02
潘××	139.8	150.2	167.3	169.0	140.3	153.4	0.03
徐××	138.9	155.1	154.8	158.1	135.3	153.0	0.04
平均	139.9	150.7	160.2	163.9	139.4	150.4	0.03

2.2 难度组合连接阶段的技术

1)连接阶段的运动时间。

从表 5 可以看出, 连接阶段运动员平均完成时间为 0.62 s。其中支撑推起时间 0.36 s 大于俯撑缓冲 0.26 s,

运动员为推离地面做准备。在落地缓冲阶段躯干需避免出现晃动, 以免失去对核心部位的控制, 导致动力链传导经济性不强<sup>[7]</sup>。

表 5 运动员连接阶段运动时间 s

姓名	俯撑缓冲	支撑推起	总时间
韩××	0.25	0.33	0.58
蒋 ×	0.23	0.39	0.62
麻 ×	0.24	0.37	0.61
潘××	0.23	0.39	0.62
徐××	0.35	0.34	0.69
平均	0.26	0.36	0.62

2)连接阶段的重心位移。

连接阶段的重心位移变化处波谷阶段，也是难度组合整体重心位移的最低点。5 名运动员垂直位移在 15~55 cm，运动轨迹相仿，通过短时间内的重心迅速下降以获得更高的缓冲惯量，有利于推起后的手脚离地并达到一定时间的滞空。其中徐××和潘××的 Z 轴曲线中段高于其他运动员，说明两名运动员在屈肘达到最低点过程中肩关节、肘关节及髋关节控制能力较强，动作过程相比其他运动员更稳定(见图 3)。

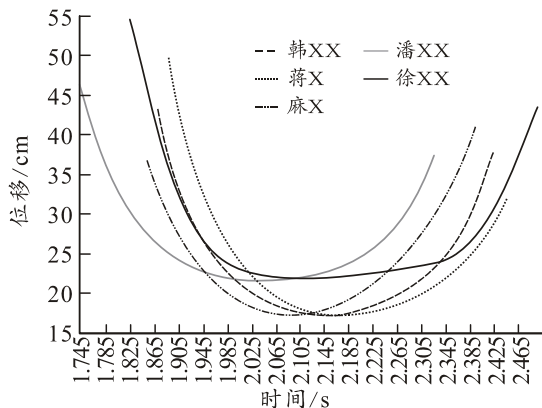


图 3 连接阶段运动员 Z 轴身体重心位移变化

3)连接阶段的运动学特征。

(1)俯撑下降阶段的运动学参数。

图 4 显示，前难度手触地后，连接下降阶段开始的 0.1 s 内，运动员髋关节略有减小，肘关节角度轻微增大，两关节锁住，为后难度提臀腾起转体储备势能，

借力蹬地腾起。肘关节的发力为髋关节的上升提供空间移动的保证，在髋关节稳定的前提下能够保证核心的控制，达到动作完成时运动员重心的稳定和技术的熟练运用。因此运动员在训练时不仅要练习手臂发力腾空的能力和手脚两端同时发力腾起的能力，也要增加核心抗屈伸的能力，使运动员可以流畅完成该难度动作，保持良好的身体姿态。

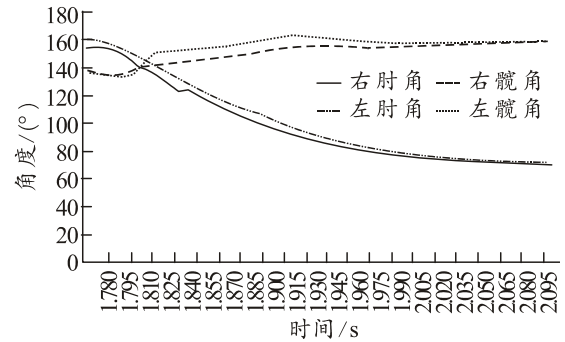


图 4 连接下降阶段运动员肘关节和髋关节平均角度变化

(2)俯撑下降至肘关节角度最小时运动学参数。

C289 俯撑屈臂下降至肘关节角度最小时数据(见表 6)显示，肩关节额状面角度在 63° ~69°，水平面角度在 140° ~150°，肘关节角度为 70° ~75°。屈臂时额状面角度小表明在支撑时能够更多运用背阔肌的稳定作用，这样落地肩关节更稳定，而肩关节水平面角度能够反映出运动员撑起过程中的手臂或胸肌用力情况。5 名运动员肩关节水平角度相差较小，上臂外展角度越大，能够牵拉胸肌做离心运动，更多的募集胸部肌群做主导发力。若角度较小，则更多利用肘关节伸肌群支撑推起。由于推起动作涉及肩、肘两个关节的相对协调配合运动，在训练时应注意运用肩、肘同时发力的相似动作模式进行多角度适应性训练，并关注运动员各关节在不同发力角度下的薄弱环节进行针对性训练。

表 6 C289 俯撑屈臂下降至肘关节角度最小时运动学参数 (°)

姓名	肩关节角度				肘关节角度	
	右(额)	左(额)	右(水平)	左(水平)	右	左
韩××	67.0	75.9	153.5	139.9	67.6	67.9
蒋 ×	61.3	69.1	139.4	136.3	65.1	71.2
麻 ×	69.5	64.4	150.9	144.8	72.1	66.2
潘××	58.2	58.0	144.5	136.0	74.2	80.1
徐××	59.5	75.7	143.9	148.6	74.4	81.9
平均	63.1	68.6	146.5	141.1	70.6	73.4

### 2.3 难度组合后难度动作 A187 的技术

#### 1) 后难度动作 A187 的运动时间。

A187 动作要求运动通过俯撑屈臂推手的瞬间尽可能获得最大的转体力量与速度, 使身体在腾空阶段可以有充足的时间完成动作。运动员腾空上升阶段和腾空下降阶段用时以及后难度动作总时间基本相同, 三者平均时间分别为 0.24、0.54 和 0.78 s(见表 7), 腾空时间越长越有利于运动员完成空中转体为落地成文森动作做准备。

表 7 运动员 A187 运动时间 s

姓名	腾空上升	腾空下降	总时间
韩××	0.23	0.52	0.75
蒋×	0.26	0.52	0.78
麻×	0.25	0.53	0.78
潘××	0.23	0.56	0.79
徐××	0.23	0.55	0.78
平均	0.24	0.54	0.78

#### 2) 后难度动作 A187 的重心位移。

图 5 显示, 5 名运动员重心高度较为相近, 腾空至最高点时, 重心均在 70 cm 以上, 相差仅约 5 cm, 腾起能力较强, 运动员腾起高度越高, 动作完成的越飘逸, 越有利于高质量完成动作。较高的腾空高度是

完成高难度动作和增加动作稳定性的前提。

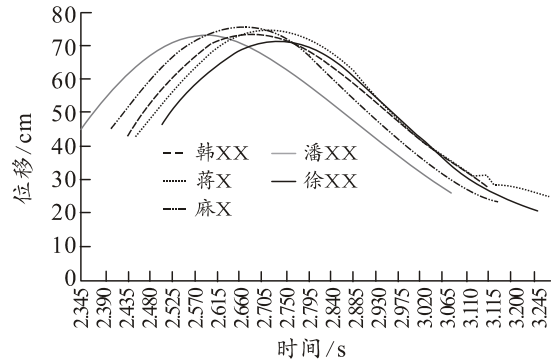


图 5 运动员 A187 身体重心 Z 轴位移变化

#### 3) 后难度动作各阶段的运动学特征。

表 8 髋关节数据显示, 运动员在 A187 俯撑推起手脚离地时刻髋关节平均角度均在  $135^{\circ} \sim 150^{\circ}$ , 伸肘屈髋的动能可以快速转换为支撑腾起的势能, 为提臀转体动作奠定基础。在竞技健美操竞赛规则中提到, 完成提臀起类动作时, 要求运动员在达到最高点时躯干和双腿的夹角为  $60^{\circ}$ <sup>[3]</sup>, 即髋关节角度需控制在  $60^{\circ}$  以内。由表 8 可看出, 髋关节最小时刻运动员左右髋关节角度均在  $60^{\circ}$  以内, 符合规则要求。

表 8 A187 腾空阶段下降触地时刻运动学参数

姓名	俯撑推起手脚离地髋关节角度/ $^{\circ}$		最小髋关节角度/ $^{\circ}$		腾空下降触地时刻髋关节角度/ $^{\circ}$		落地手脚时间差/s
	右	左	右	左	右	左	
韩××	148.1	140.6	56.1	52.0	98.7	98.1	0.24
蒋×	153.4	142.7	59.2	56.7	98.9	106.4	0.10
麻×	150.5	141.7	56.6	55.4	99.6	113.3	0.19
潘××	150.9	138.4	54.7	54.5	93.8	98.9	0.30
徐××	146.2	130.3	59.7	58.9	96.3	99.5	0.20
平均	149.8	138.7	57.3	55.5	97.5	103.2	0.20

落地时刻, 肘关节由伸展过渡到弯曲, 一定程度减少了身体下落地面反作用力, 使肘关节相对受力减小。髋关节并未完全伸展, 左右髋关节角度分别为  $103.2^{\circ}$  和  $97.5^{\circ}$ , 同时一腿抬起搭在同侧手臂肱三头肌上方。通过录像观察, 所有运动员落地成文森姿态控制较好, 两腿夹角没有明显减小。由于推离地面的高度变化, 使得运动员落地时会产生一定的手脚时间差, 均为手先着地。其中蒋×手脚时间差最小, 仅为 0.10 s, 手脚几乎同时落地, 运动员平均为 0.20 s。

### 2.4 难度组合 C289 接 A187 的量化模型

根据难度组合 C289 接 A187 的运动学顺序, 分别将 5 名运动员相应的动作元素通过 QUALISYS 红外光点高速运动捕捉系统进行技术处理与诊断, 制成单线条链状图解进行分析和测量, 以满足难度组合形态辨

别与量化研究的需求, 从而确立运动员难度组合的运动时间特征、重心位移特征以及动作时刻的量化模型。

#### 1) 难度组合运动时间与重心位移模型。

本研究将难度组合 C289 接 A187 分为前难度 C289、连接阶段和后难度 A187 三大部分进行运动学分析, 建立运动时间模型时可具体分为 C289 起跳阶段与腾空阶段, 连接俯撑下降与支撑推起阶段, 以及 A187 的腾空上升与腾空下降阶段, 而重心垂直位移模型是根据组合动作完成过程中, 运动员身体重心升高与降低的起伏变化进行下属子阶段确定<sup>[8]</sup>。

根据上述研究, 世界冠军完成 C289 接 A187 难度组合各阶段运动时间模型为: 前难度 1.15 s, 连接阶段 0.62 s, 后难度 0.78 s。

身体重心 Z 轴方向位移约在 20~160 cm, 上步阶

段、腾空屈体阶段和提臀屈体阶段呈现波峰状态,重心高度分别在120、140和70 cm以上,上步落地缓冲和连接缓冲阶段处于波谷,重心高度分别在65~75 cm和15~25 cm(见图6)。

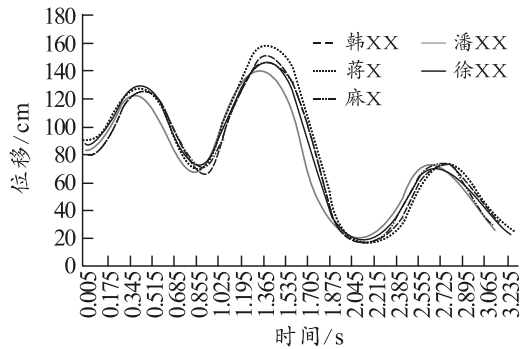


图6 难度组合C289接A187重心Z轴垂直位移模型

## 2) 难度组合技术模型。

根据世界冠军运动员完成难度组合各技术阶段情况,综合得出不同参数模型(图略),运动员上步落地时足连线与矢状轴夹角平均值小于 $20^{\circ}$ ,起跳缓冲最低点膝关节平均角度为 $130^{\circ}$ ~ $135^{\circ}$ ,髋关节平均角度为 $105^{\circ}$ ~ $115^{\circ}$ ,起跳蹬伸离地时刻肩髋扭转角平均角度为 $83.2^{\circ}$ 。在腾空阶段,优秀运动员转体 $360^{\circ}$ 和转体 $180^{\circ}$ 时间比例约为1:1,屈体动作完成时机在转体 $270^{\circ}$ ~ $390^{\circ}$ ,髋关节最小时刻角度为 $58^{\circ}$ ~ $60^{\circ}$ 。连接阶段蹬伸时髋关节先略增大后减小,腾起时先推手后屈体,肩关节额状面角度在 $60^{\circ}$ ~ $70^{\circ}$ ,连接阶段俯撑推起手脚离地时刻髋关节角度为 $135^{\circ}$ ~ $150^{\circ}$ ,最高点时刻髋关节角度为 $55^{\circ}$ ~ $60^{\circ}$ ,成文森落地时手脚时间差均值为0.2 s。

世界冠军完成技术动作为最佳水准动作,经过各项特征量化后形成动作模式。运动员进行训练过程中,教练员可将技术动作通过计算机动态图像与标准模式进行分析比较<sup>[9]</sup>,进而提出改进方案与提高措施,以期改进技术动作的不足,提高运动成绩。

## 3 结论

1)运动员起跳弹性势能储备较多,总时间均值为0.41 s,属于慢速拉长收缩循环。蹬伸离地时刻左髋近乎垂直起跳,肩髋扭转角平均为 $83.2^{\circ}$ ,角度越大,越能够存储更多的核心抗旋能量,提高转体速度。

2)腾空第1次转体至 $180^{\circ}$ 时刻,运动员髋关节平均角度为 $165.9^{\circ}$ ,几乎处于伸展状态,风险性较大。

运动员能够把握最佳屈体时机 $270^{\circ}$ ~ $390^{\circ}$ ,前难度屈体时刻与后难度提臀屈体时刻髋关节角度均小于 $60^{\circ}$ ,符合规则要求,整体动作完成质量较高。

3)连接阶段腾起时以肘关节伸展发力为主导,为推离地面做准备。运动员完成A187成功率高,手脚几乎同时落地,时间差均值仅为0.2 s,腾起滞空能力较强。

4)世界冠军运动员完成难度组合重心轨迹基本一致,身体重心Z轴方向位移波浪式移动,腾空上升阶段重心位移变化较大,核心控制能力较强,较高的腾空高度是完成高难度动作和增加动作稳定性的前提。

5)根据难度组合的运动时间特征、重心位移特征以及各阶段的运动学参数,得出世界冠军完成C289接A187的技术量化模型。

6)教练员和运动员在借鉴该连接动作运动学技术模型时,应根据运动员自身的身体素质条件,对运动员所做的动作取长补短,不能盲目模仿。

## 参考文献:

- [1] 赵功赫,曲峰,杨辰,等. 躯干不同负重方式对人体步行的生物力学影响[J]. 体育学刊, 2017, 24(2): 128-133.
- [2] 高丽. 竞技武术套路自选项目C级跳跃难度起跳阶段人体重心运动学特征的生物力学对比研究[J]. 北京体育大学学报, 2008, 31(12): 1715-1719.
- [3] 2017—2020年竞技健美操评分规则[S]. 国际体操联合会健美操委员会, 2017.
- [4] 刘佳欣. 武术腾空外摆腿 $720^{\circ}$ 接马步的起跳技术运动学研究[J]. 武汉体育学院学报, 2013, 47(9): 78-81.
- [5] 刘红. 优秀竞技健美操运动员C477和C479难度动作运动学分析[D]. 南昌: 江西师范大学, 2014.
- [6] 纪仲秋,姜桂萍,袁利红. 花样滑冰内结环跳跃动作的运动学研究[J]. 沈阳体育学院学报, 2008, 27(4): 15-18.
- [7] 王志军,沈芒,宋雅伟. 女排大力跳发球与跳飘发球间的生物力学差异[J]. 体育学刊, 2014, 21(5): 136-138.
- [8] 张丽园. 健美操“提臀起转体 $180^{\circ}$ 接控文森动作”结构模型量化分析[D]. 武汉: 湖北大学, 2016.
- [9] 周勇. 体育技术动作特征模型研究[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2011, 29(1): 51-54.