



动作技术的生物力学分析方法

刘卉^{1*}, 于冰²

摘要: 动作技术生物力学分析是竞技体育科技助力和全民健身科学研究的重要组成部分。以目标为导向,以模型为方法,合理采用恰当的数据分析方法,是动作技术生物力学分析的主要思路。本文的目的是针对竞技体育动作技术分析与实际需要的实际需要,以田径和游泳项目为例,介绍以提高运动成绩为目标的动作技术分析的模型建立步骤和数据分析方法,并提出进行动作技术生物力学分析应注意的问题,以期运动生物力学研究者和实践者提供借鉴,更准确高效地为运动训练提供科技助力。

关键词: 运动生物力学;动作技术分析;模型;数据分析方法

中图分类号:G804 文献标志码:A 文章编号:1006-1207(2020)05-0064-07

DOI:10.12064/ssr.20200510

Methods for Biomechanical Analysis of Sports Techniques

LIU Hui^{1*}, YU Bing²

(1. Beijing Sport University, Beijing 100084, China; 2. University of North Carolina at Chapel Hill, Chapel Hill 27599, U. S. A.)

Abstract: Biomechanical analysis of the sports technique is an important part of scientific researches on competitive sports and national fitness. The main idea of biomechanical analysis of the sports technique is goal-oriented, model-based, and reasonable in adopting data analysis methods. In view of the actual needs of athletic sports technique analysis and diagnosis, this research, based on a case study of athletic and swimming events, introduces the steps to establish the sports technique analysis model and data analysis methods with the goal of improving sports performance, and puts forward the problems that should be emphasized in conducting biomechanical analysis of sports techniques, so as to offer a reference for the research and practice of sports biomechanics, and provide technical assistance for sports training more accurately and effectively.

Key Words: sports biomechanics; sports technique analysis; model; data analysis method

动作技术生物力学分析是竞技体育科技助力和全民健身科学研究的重要组成部分。生物力学是应用力学方法对生物系统的结构和功能进行研究的科学。力学研究方法遵循认识论的基本法则:实践-理论-实践。力学家们根据对自然现象的观察,特别是定量观测的结果,根据研究过程中积累的经验数据,或者根据为特定目的而设计的科学实验的结果,提炼出量与量之间的定性的或数量的关系。为了使这种关系反映事物的本质,力学家善于抓住起主要作用的因素,撇弃或暂时撇弃一些次要因素,力学中把这种过程称为建立模型^[1]。在进行人体动作技术生物力学分析时,也需要建立人体运动的生物力学模型,并采用模型研究的思路和方法对动作技术进行分析。

提高运动成绩和预防运动损伤是运动生物力学

研究的主要目标。以目标为导向,以模型为方法,是运动生物力学研究的主要思路。如何科学有效地对体育动作技术进行分析是广大教练员、体育教师和运动员关心的问题。运动生物力学研究人员借助各种先进的测试技术和研究方法,将动作技术模型与实验数据结合在一起,根据人体结构和神经肌肉特点,以及身体运动的力学规律,可以对人体完成的动作进行各个层次的分析,以帮助人们深入理解和正确评价所完成的动作,并使人们知道什么是合理的动作技术,以及为什么要这么做,可以达到什么效果,进而使自己的技术动作更加合理有效。本文针对竞技体育动作技术分析与实际需要的实际需要,介绍以提高运动员运动成绩为目标的动作技术分析的方法,以期运动生物力学研究和实践者提供借鉴,更准确高效地为运动训练提供科技助力。

收稿日期:2020-05-05

第一作者简介:刘卉,女,博士,教授,博士生导师。主要研究方向:运动生物力学。E-mail:liuhuibupe@163.com。

作者单位:1.北京体育大学,北京 100084;2.美国北卡罗莱纳大学教堂山分校,北卡罗莱纳 27599。



1 动作技术分析的定義

本文所讨论的动作技术分析,是指对运动员训练或比赛中采用的动作技术进行观察、测量、分析和评定的过程。动作技术分析可以分为3个层次:主观(定性)、客观(定量)、预测,最终目的都是为提高运动员成绩。对于教练员来说,几乎每一次训练课都在进行主观的(定性的)动作技术分析工作,但有经验的教练员比无经验的教练员更能观察到动作技术的细节,经验往往在教练员完成技术训练工作中起着决定性作用。由于动作技术的复杂性以及教练员和运动员主观感觉的模糊和差异,通常采用运动生物力学的方法对动作技术进行客观的(定量的)分析,进而在定量分析的基础上对改变技术后的成绩进行预测。

运动生物力学拥有多种对人体动作技术数据进行采集的方法,如采用视频解析、红外光点动作捕捉或惯性传感器获得描述人体动作的运动学数据^[2]。但是,不管使用何种数据采集方法,只有采取恰当的方法对动作技术进行分析,才能对运动员有所帮助。动作技术的模型分析方法便为动作技术分析提供了一种结构,即指出收集动作技术数据的方向,并对模型涉及的各种因素进行分析。

以美国运动生物力学家 Hay 为代表的研究人员很早就开始建立运动项目的动作技术分析模型,并系统地判别对某个体育动作整体起重要作用的基本力学因素,及各因素之间的相互关系^[3-4]。Lees 进一步发展了这种方法,他更加重视在以前模型中判别出来的力学因素之间的因果关系^[5]。例如在跳远中,在踏跳板上起跳速度与跳远距离是有关系的,因此可将起跳速度作为判别技术特征结构的基础。Chow 和 Glazier 也曾系统论述过确定性模型(Deterministic Model)在动作技术生物力学分析中的应用^[6-7]。

2 动作技术分析模型的建立

动作技术分析有很多计算方法模型,例如多刚体模型将人假设为多刚体系统进行计算,逆动力学模型通过运动学数据推算动力学数据,正动力学模型通过动力学数据推算运动学数据,随机模型通过反复对自变量的随机取样并计算因变量进而确定因变量出现某种现象的概率,等等。所有这些具体的计算方法模型都以确定性模型为基础。确定性模型是根据确定的力学关系建立起来的可测量的动作技术目标(因变量)与动作技术生物力学指标(自变量)之间关系的描述^[4]。只有确定、量化了的动作技术目标和动作技术力学指标之间的关系,具体的计算方法模型才能展开应用。因此,建立动作技术分析的确定性模型是动作技

术分析的关键一步。建立动作技术分析的确定性模型需要注意以下几个关键问题:(1)动作技术的目标要明确且可测量,对某运动项目来说,其动作技术的目标通常是成绩;(2)影响运动成绩的因素可分解,且分解的因素与运动成绩之间有明确的力学关系;(3)影响运动成绩的因素所分解的部分还可以逐层分解,最终分解到可测量的动作技术指标;(4)各个层次之间、同一层次的各个指标之间有明确的力学关系,包括函数关系和统计学关系。无论是力学关系、函数关系还是统计学关系,都可以确定影响运动成绩的动作技术因素,为改进技术提供依据。

2.1 明确动作技术目标

明确动作技术目标是建立动作技术分析模型的基础和前提条件。目标不明确、不正确或者不可测都可能造成错误的模型,导致分析无效。

对一些项目来说,动作技术的目标是提高成绩。例如,短跑比赛的目标是缩短时间,跳高比赛项目的目标是身体越过更高的横杆,而标枪比赛的目标是使裁判测量的距离更远。时间、高度和距离都是可测量的力学量。但一些以得分为目的的项目,就要考虑影响得分的因素,确定可测量的动作技术目标。例如,体操某难度动作的目标是身体转过的角度,或者动作的幅度、稳定。还有一些项目,影响成绩的因素较多,运动过程阶段较多,可以针对某一阶段的动作技术目标建立模型。例如,游泳比赛整个过程可以分为出发、途中游、转身和到边等不同阶段的技术,而游泳出发的目标是出发时间短,途中游的目标是速度快,转身的目标是转身前后通过一段距离的时间短,到边的目标是通过最后一段距离的时间短。

对于集体或个人对抗性项目,影响得分(赢得比赛)的因素很多,且各因素之间关系复杂,因此,分析研究集体项目或对抗性项目的某个技术动作,就要先明确这个动作与得分之间的关系。例如网球一发技术的目的,是球速快,而二发的目的是要根据运动员特点甚至对手特点确定,可能是稳定、落点或旋转。当然也有一些技术动作,虽然目的明确,但很难建立模型。例如篮球投篮动作的目的是球进篮筐,这就需要球出手时具有恰当的速度(大小和方向)和旋转,但是整个身体动作如何产生和影响球出手速度和旋转,却非常复杂,且在实际比赛中情况千变万化,因此很难对投篮动作的“合理性”或“正确性”进行分析。

有时,一些体能训练的动作技术也需要进行生物力学分析,以确定运动员动作是否规范或训练是否能达到效果。确定动作要达到的目标依然是分析



体能训练动作的前提，而且也是运动训练中合理采用体能训练手段的基础。合理规范的体能训练动作不仅可以提高训练效果，而且可以避免不必要的身体损伤。例如，如果练习者进行负重深蹲训练的目的在于刺激臀大肌，那么训练者应通过充分屈伸髋关节完成蹲起动作，而不应过分屈伸膝关节，更不应出现腰背部的运动，否则非但不能充分刺激臀部肌肉，还可能由于增加膝关节和腰背部负荷而造成损伤。

总之，在建立动作技术分析模型时，要根据比赛和训练的目的，明确动作技术本身要达到的目标，目标要可量化、可测量。任何目标和动作可以量化的技术动作都可以进行定量的生物力学分析，而定量的动作技术生物力学分析都应以确定性模型为基础。

2.2 针对目标分析影响因素

明确动作技术的目标后，动作技术分析的下一步是针对目标逐层次确定可能的影响因素。确定影响因素的原则是根据力学原理确定目标与可能的影响因素之间的联系。如果影响目标的各因素与目标之间无法用确定的力学关系表达，则可以在动作分析过程中进行相关或回归分析，以确定因素对目标影响的大小。而且，这些分解的因素都应该是可量化和可测量的，否则无法进行定量分析。动作技术分析模型，也就是动作技术目标和生物力学影响因素之间的关系可以用框图形式清晰地展现出来。例如，短跑比赛的目标是在尽可能短的时间内跑完一定的距离，因此距离和速度是影响时间的第一层次因素(图 1)。其中距离是常数，速度是受动作技术影响的变量。跑步速度等于步频和步长的乘积，单步步长由后蹬距离、腾空距离和着地距离组成(图 2)，步频是单位时间完成的步伐次数(单步或复步的次数)，步频的倒数就是每步所用时间，由支撑时间和腾空时间组成。进一步地，可以根据力学原理分析影响腾空距离的因素应该包括离地速率、离地角度、离地高度和不可忽略的空气阻力，也可以根据动作特点分析影响着地距离的因素(可能包括着地时脚相对地面的速度和着地时人体重心的位置)。

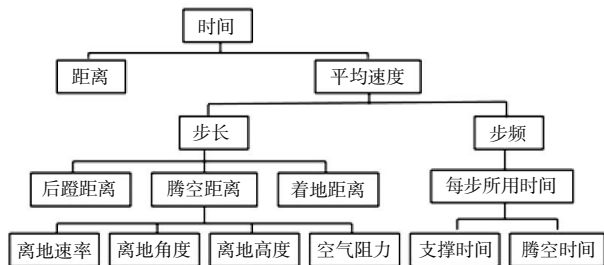


图 1 短跑动作技术分析模型^[8]

Figure 1 Model for Sprint Technique Analysis^[8]

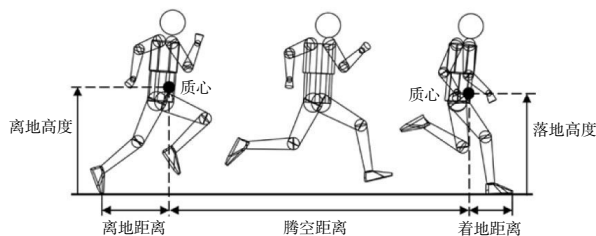


图 2 跑步动作分析示意图

Figure 2 Schematic for Running Movement Analysis

再例如跳高比赛的目标是身体越过尽可能高的横杆，实际过杆高度与最大过杆高度和最大过杆点到横杆水平距离有关(图 3)。实际过杆高度是指运动员过杆过程中横杆正上方身体轮廓的最低点高度(图 4)。最大过杆高度是指运动员过杆过程中身体轮廓最低点的最大高度，此时的身体轮廓最低点就是最大过杆高度点。因为最大过杆高度点往往不一定出现在横杆正上方，所以影响实际过杆高度的因素还包括最大过杆高度点到横杆的水平距离。显然这一水平距离的绝对值越小越好，这就要进一步分析运动员起跳点到横杆的水平距离和起跳时运动员指向横杆的水平速度大小。最大过杆高度与运动员的起跳高度、腾空高度以及重心到过杆最大高度点的水平距离有关。起跳高度指运动员起跳瞬间重心的高度，腾空高度指运动员重心在空中腾起高度。而重心点和最大过杆高度点之间的位置关系，也会影响最大过杆高度。进一步分析，起跳高度与运动员身材和起跳时的身体姿势有关，而腾空高度由起跳离地瞬间的身体重心垂直速度决定。由动量定理可知，离地时重心垂直速度是整个起跳过程中地面垂直反作用力冲量在着地时垂直速度的基础上产生的，而起跳过程垂直地面反作用力冲量与起跳时间和起跳垂直力有关。

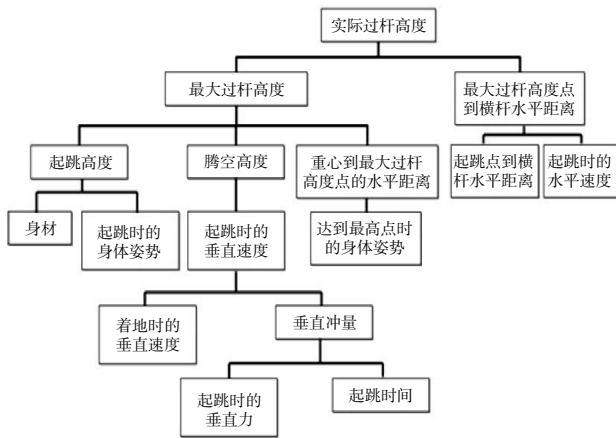


图 3 跳高动作技术分析模型

Figure 3 Model for High Jump Technique Analysis

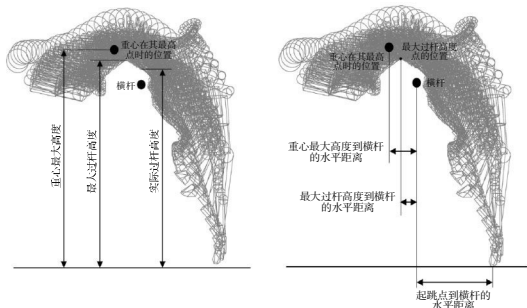


图4 跳高过杆过程中运动员与横杆位置关系
Figure 4 Relationship between the Position of the Athlete and the Crossbar in High Jump

例如标枪投掷成绩可以分解为出手损失距离、真空飞行距离和空气动力学(图5)。其中出手损失距离指出手点到犯规线的距离(图6 OB段)。真空飞行距离(图6 BA段)指由出手速度大小、方向和出手高度决定的飞行远度。空气动力学距离指由于空气动力学影响而产生的飞行距离的增加(图6 AC段)或减少(见图6 AC'段),受标枪出手时的攻角、侧偏角和侧弯角影响。多数运动员标枪的空气动力学距离为正值,但也有运动员用枪技术差,空气动力学距离为负值。标枪的实际飞行距离(图6 BC或BC'段)是真空飞行距离(BA段)和空气动力学距离的和,而标枪成绩(图6 OC或OC'段)等于实际飞行距离减去出手损失距离(图6 BO段)。当然,还应进一步更详细地分析影响每个因素的动作技术细节,例如出手时刻重心速度、最后用力阶段肩髋扭转角度、左脚着地时刻膝关节角度等。

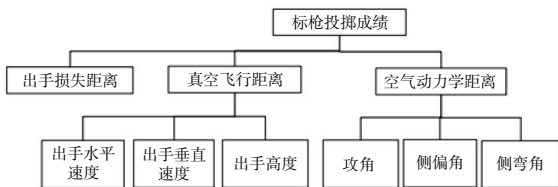


图5 标枪动作技术分析模型
Figure 5 Model for Javelin Throw Technique Analysis

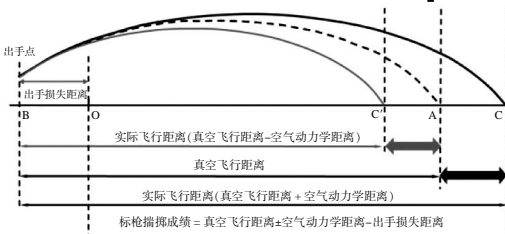


图6 标枪成绩组成
Figure 6 Javelin Score Composition

例如游泳出发的目标是到达15m时的时间最短。台上出发(不包括仰泳)从发令枪响到运动员到达15m的时间可以分为台上反应时、飞行时间和入

水后到15m时间。而这三部分时间,还可以进一步分解为更细节的时间或分析出更详细的影响因素(图7)。McLean等利用游泳出发确定性模型研究思路,对比分析了不同出发姿势的离台速度、入水角度等参数对出发效果的影响^[9]。

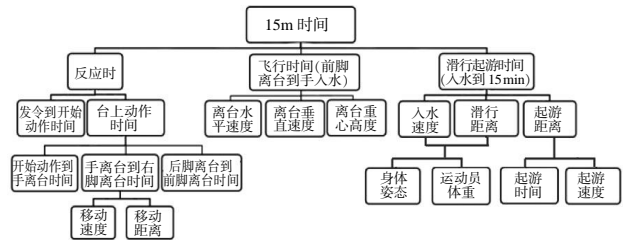


图7 游泳出发动作技术分析模型
Figure 7 Model for Swimming Start Technique Analysis

3 动作技术数据的分析方法

动作技术的数据分析是确定给定的技术指标与技术动作目标之间定量关系的过程。动作技术的数据分析方法大体可以分为对比分析、相关分析、优化分析和随机分析。这些数据分析方法都是建立在有效的动作技术生物力学分析模型基础之上的。

3.1 对比分析

对比分析是通过比较两个以上样本的可测量的运动表现参数和技术参数,确定技术参数对运动表现参数的影响的方法。对比分析可以是两组不同水平运动员技术参数的对比(横向比较),也可以是同一组运动员不同运动表现的技术参数的对比(纵向比较)。横向比较可以使用独立样本T检验或者独立样本方差分析实现。纵向比较可以使用配对T检验或重复测量方差分析实现。Liu等人所做的不同水平的标枪运动员最后用力过程中上肢动作顺序的研究是典型的两组不同水平运动员的技术参数对比^[10]。李玉章等人所做的优秀女子铁饼运动员身体角动量对成绩的影响的研究是典型的同一组运动员不同运动表现的技术参数对比^[11]。

3.2 相关分析

相关分析是建立可测量的运动员表现参数和运动技术参数之间统计学关系的方法。相关分析可以建立起运动表现参数和技术参数之间的统计学定量关系,并确定关系的密切程度。相关分析可以是不同运动员技术参数和运动表现变量之间的相关分析(横向相关分析),也可以是同一运动员不同运动表现的技术参数和运动表现变量之间的相关分析(纵向相关分析)。Hay和Yu以及Leigh等人所做的铁饼



投掷的技术分析是典型的横向相关分析^[12-13]。Leigh 等人所做的铁饼投掷技术分析中的统计学分析是典型的纵向相关分析^[14]。

3.3 优化分析

优化分析是在动作技术生物力学确定性模型的基础上,通过计算机模拟建立运动技术参数与运动表现参数之间的定量关系,并确定最佳技术的数据分析方法。Yu 等与 Liu 等所做的三级跳远最佳阶段距离比研究,是典型的优化分析应用^[15]。

3.4 随机模拟分析

随机分析是在运动技术生物力学确定性模型的基础上,通过计算机模拟估算运动表现参数超过某一给定值的概率,以及运动表现超过给定值所需要的关键技术参数变化范围的数据分析方法。目前发表的动作技术生物力学研究中鲜见这种数据分析方法。Lin 等人对前交叉韧带损伤危险因素的研究中使用的数据分析方法是典型的生物力学随机分析^[17]。

4 进行动作技术生物力学分析应注意的问题

第一,获得定量、准确、有效的动作技术数据是进行动作技术分析的前提条件。在进行动作技术的生物力学分析时,特别是进行运动项目的科技助力工作过程中,一定要注意采用规范、准确的运动生物力学数据采集方法和数据处理方法,尽量避免在数据采集和计算过程中的误差或错误。例如在动作技术的三维运动学数据采集过程中,应严格遵循直接线性变换(DLT)算法对摄像机设置、标定框架设置、画面同步、坐标系转换等关键步骤的要求,以免产生错误数据进而对运动员技术分析产生误导^[18]。因此,进行动作技术生物力学分析前,应充分学习和理解运动生物力学测量方法的理论知识,并不断实践练习,才能采集到高质量的、可以用于分析的动作技术数据。

第二,了解直至熟悉所分析的动作技术和所涉及的运动项目,是正确分析动作技术的重要条件。动作技术分析对提高成绩的意义是不言而喻的,但要求为运动队提供科技助力的科研工作者在具备生物力学专业知识和技能的基础上,潜心观察、思考所分析的动作,积极与教练员、运动员沟通,甚至亲身练习所研究的项目和动作,进而采用正确的思路和合理的方法进行动作技术分析,以最大程度达到帮助教练员和运动员提高科学化训练水平和运动成绩的目的。

第三,充分的力学、数学和统计学知识是正确分

析动作技术的关键保障。建立动作技术分析的生物力学模型需要有坚实的力学和数学基础,采用各种不同的分析方法分析数据并正确地解释分析结果,需要娴熟的计算机技术和深厚的数学和统计学知识。

第四,虽然竞技体育是追求“更高”“更快”“更强”,但是在进行动作技术分析时,还要根据运动员身体特点和动作造成的身体负荷,在追求最佳运动表现的同时注意预防可能的运动损伤。例如 Dai 等的研究发现,标枪运动员最后用力左脚着地支撑时直膝着地会增加前交叉韧带损伤的风险^[19]。

5 运动技术生物力学分析研究实例

5.1 优秀跳远运动员助跑起跳技术研究

Hay 等人对优秀男女跳远运动员最后 4 步助跑技术进行了生物力学分析^[20]。在这些研究中,研究人员通过确定性模型建立起跳远成绩与起跳生物力学参数的关系以及起跳生物力学参数与助跑最后四步生物力学参数之间的关系,然后通过相关分析确定了与起跳速度和成绩显著相关的助跑最后四步生物力学参数。研究发现优秀跳远运动员在助跑倒数第四步摆动脚落地进入倒数第三步时,减少身体质心向下的垂直速度、减少倒数第三步支撑阶段身体质心垂直速度变化和缩短倒数第三步腾空时间,有利于提高跳远成绩。研究还发现优秀跳远运动员在助跑倒数第二步时开始降低身体质心高度,增加踏跳的落地距离和起跳高度,有利于提高跳远成绩。研究还通过横向比较发现优秀女子跳远运动员技术的变异性大于优秀男子跳远运动员,并通过计算机模拟分析发现助跑速度与起跳垂直地面反作用力在影响跳远成绩时并不是相互独立的指标^[21]。

5.2 优秀铁饼运动员投掷技术研究

铁饼投掷是田径运动中技术性最高的项目之一,运动员必须在规则限制的动作空间内利用高速旋转获得尽可能高的出手速度,铁饼飞行距离受空气动力学因素影响较大^[22]。Hay 和 Yu 将铁饼投掷成绩分解为 3 个部分:出手损失距离、真空飞行距离和空气动力学距离,并建立起成绩各组成部分与技术参数之间关系的确定性模型,根据铁饼投掷成绩的确定性模型,研究人员对技术参数和成绩之间的关系进行了多元回归分析^[12]。分析结果显示出手速度是影响投掷成绩的主要因素,优秀男子铁饼运动员出手速度的 68%,优秀女子铁饼运动员出手速度的 66%是在最后用力过程中获得的,是影响出手速度的主要因素。分析结果还显示优秀女子铁饼运动员



在旋转腾空过程中获得的铁饼速度对成绩也有显著影响。分析结果进一步显示空气动力学距离是铁饼投掷成绩的重要组成部分,对于女子铁饼运动员来说尤其重要,因此运动员在追求出手速度的同时必须注意控制铁饼出手时的出手飞行状态。这一研究思路也被用于对轮椅铁饼运动员进行技术分析^[23]。

李玉章等人进一步发展了 Hay 和 Yu 的铁饼投掷确定性模型,建立了运动员—铁饼系统在铁饼出手时的角动量与空气动力学距离的关系,并通过对同一组运动员在同一次比赛中不同成绩的试投技术的对比分析确定了运动员—铁饼系统在铁饼出手时的角动量对投掷成绩的影响^[24]。研究结果显示在同一次比赛中运动员的最好试投和最差试投成绩的差异主要在于空气动力学距离,而铁饼出手时运动员—铁饼系统上部向左侧的旋转是影响空气动力学距离的主要因素,系统的这一旋转造成铁饼出手时具有向左翻转的角动量,从而在飞行过程中向左翻转造成空气动力学距离损失^[24]。根据这一研究结果,铁饼运动员应该控制铁饼出手时运动员—铁饼系统上部向左旋转的角动量。

5.3 优秀标枪运动员投掷技术研究

与铁饼投掷相同,标枪投掷成绩也受空气动力学影响,也是技术复杂的投掷项目。Liu 等人建立了标枪投掷成绩和出手速度与最后用力过程运动员关节动作顺序的关系,并通过对同一组运动员在同一次比赛中成绩不同的试投的技术对比确定了关节三维动作开始的顺序和制动的顺序对成绩的影响^[24]。研究结果显示标枪投掷最后用力过程中运动员关节三维动作开始顺序和制动顺序并不是由近端到远端,动作的开始顺序和制动顺序不一致,男女运动员的动作顺序有别,投掷成绩的变化与动作顺序无关。

赵爽等人根据标枪投掷成绩与技术参数的确定性模型选择重要的技术参数,对一名中国优秀女子标枪运动员的投掷技术进行了相关分析,并与国外优秀女子标枪运动员进行了对比^[25]。研究结果揭示了中国优秀女子标枪运动员的技术与国外运动员非常相似,运动表现的主要差距在真空飞行距离上,其原因为出手速度的差异。

5.4 三级跳远最佳三跳比例研究

三级跳远由单腿跳、跨步跳和跳跃跳三跳组成。三跳比例是影响三级跳远成绩的重要技术参数^[26],如何确定最佳三跳比例也是三级跳远项目长期未解决的问题。Yu 和 Hay 利用三级跳远的确定性模型对三级跳远的技术参数进行分析后,提出了每一跳的垂直速度增

量和水平速度损失之间存在相关的假设,并通过相关分析证实了这一假设,将垂直速度增量与水平速度损失之间的直线关系的斜率定义为速度转换系数。研究人员又进一步通过优化分析发现速度转换系数是决定三级跳远运动员最佳三跳比例的关键因素^[15]。

Liu 和 Yu 使用优化分析的方法对最佳三跳比例进行了后续研究^[27]。研究人员发现速度转换系数不但是决定最佳三跳比例的关键因素,而且对三级跳远成绩有重要影响。速度转换系数比较高或比较低都可以不同的最佳三跳比例取得比较长的三跳总距离,但是速度转换系数在最大和最小观测值之间时,即便使用相应的最佳三跳比例,三跳总距离也比较短^[27]。研究人员还发现助跑上板时运动员质心的水平速度越高,向下的垂直速度越小,三跳总距离越长,但是助跑上板速度对最佳三跳比例影响不大。

5.5 前交叉韧带断裂危险因素研究

前交叉韧带损伤与运动员急停、落地和高速变向的技术动作有关,可以通过训练这些技术动作减小损伤的危险性^[17]。如果通过技术动作训练减小损伤的危险性,首先要确定哪些动作特点会导致损伤。Lin 等人通过确定性模型分析了运动员做前交叉韧带损伤高危动作时与前交叉韧带受力有关的动作特点,然后采集了大量业余运动员这些动作特点的生物力学数据,确定了这些生物力学数据的分布状态,最后通过随机生物力学模型模拟了这些动作特点对前交叉韧带受力分布的影响,从而确定了这些动作特点中前交叉韧带损伤的危险因素^[17]。张美珍等人也通过随机生物力学模型模拟确定了不同运动项目的运动员前交叉韧带损伤危险因素的不同^[28-29]。这些研究结果为减少前交叉韧带损伤和提高损伤后康复质量提供了理论基础。

6 小结

进行动作技术的生物力学分析首先要在明确目标的基础上建立影响目标的动作技术分析模型,明确采集的数据和计算的指标。数据采集、处理和计算过程要遵循规范,保证准确。在动作技术分析模型的基础上,根据研究需要可以采用多种数据分析方法使运动员了解项目技术规律、自身技术特征,明确指出需改进的技术和改进方向,并预测技术对成绩的影响。运动生物力学工作者在掌握专业理论知识和数据采集设备使用方法的基础上,采用合理有效的动作技术分析思路和方法,可以为运动员提高成绩和避免损伤提供非常重要的支持和帮助。动作技术的生物力学研究中,确定性模型不但是一种有效的



研究方法,也是进行科学研究应有的思维方式。随着对运动技术生物力学研究的不断地深入,竞技体育科技助力的不断推广普及,动作技术确定性模型将更加广泛地在运动生物力学研究中使用,分析方法也会更加多种多样,计算机优化分析和随机分析也会逐步成为常用数据分析方法。这些方法的使用将极大提高运动生物力学研究的质量,并促进研究结果在训练和临床实践中的应用。

参考文献:

- [1] 梁昆森.力学[M].第4版.北京:高等教育出版社,1995.
- [2] 王清,郝卫亚,刘卉,等.运动生物力学学科发展现状及前景[J].体育科研,2016,37(3):91-95.
- [3] Hay J. G., Miller J. A. Techniques used in the transition from approach to takeoff in the long jump[J]. International Journal of Sport Biomechanics, 1985, 1(2):174-184.
- [4] Hay J. G., Reid J. G. Anatomy, mechanics and human motion [M]. NJ: Prentice-Hall, 1988.
- [5] Lees A. Biomechanical assessment of individual sports for improved performance[J]. Sports Medicine, 1999, 28(5):299-305.
- [6] Chow J. W., Knudson D. V. Use of deterministic models in sports and exercise biomechanics research[J]. Sports Biomechanics, 2011, 10(3): 219-233.
- [7] Glazier P. S. Game, set and match? Substantive issues and future directions in performance analysis[J].Sports Medicine, 2010, 40(8): 625-634.
- [8] 运动生物力学编写组.运动生物力学[M].第1版.北京:北京体育大学出版社,2015.
- [9] McLean S. P., Holthe M. J., Vint PF., et al. Addition of an approach to a swimming relay start[J]. Journal of Applied Biomechanics, 2000, 16(4): 342-355.
- [10] Liu H., Leigh S., Yu B. Sequences of upper and lower extremity motions in javelin throwing[J]. Journal of Sports Science, 2010, 28(13):1459-1467.
- [11] 李玉章,刘宇,刘卉,等.高水平铁饼运动员旋转中的系统角动量特征研究[J].体育科学,2017,37(10):59-64.
- [12] Hay J. G., Yu B. Critical characteristics in discus throwing techniques used by elite athletes[J]. Journal of Sports Sciences, 1995, 13(2): 125-140.
- [13] Leigh S., Gross M. T., Li L., et al. The relationship between discus throwing performance and combinations of selected technical parameters[J]. Sports Biomechanics, 2008, 7(2): 172-192.
- [14] Leigh S., Liu H., Hubbard M., et al. Individualized optimal release angles in discus throwing[J]. Journal of Biomechanics, 2010, 43(3):540-545.
- [15] Yu B., Hay J. G. Optimum phase ratio in the triple jump[J]. Journal of Biomechanics, 1996, 29(10):1283-1289.
- [16] Liu H., Leigh S., Mao D., et al. Effect of approach run velocity on the performance of the triple jump[J]. Journal of Sports Health and Science, 2015, 4(4):347-352.
- [17] Lin C. F., Gross M., Ji C., et al. A stochastic biomechanical model for risk and risk factors of non-contact anterior cruciate ligament injuries[J]. Journal of Biomechanics, 2009, 42(4): 418-423.
- [18] 卢德明.运动生物力学测量方法[M].北京:北京体育大学出版社,2001.
- [19] Dai B., Mao M., Garrett W. E., et al. Biomechanical characteristics of an anterior cruciate injury case in javelin throwing[J]. Journal of Sport & Health Science, 2015, 4(4): 333-340.
- [20] Hay J. G., Nohara H. Techniques used by elite long jumpers in preparation for takeoff[J]. Journal of Biomechanics, 1990, 23(3): 229-239.
- [21] Chow J. W., Hay J. G. Computer simulation of the last support phase of the long jump[J]. Medicine and Science in Sports and Exercise, 2005, 37(1): 115-123.
- [22] Bartlett R. M. The biomechanics of discus throw: A review[J]. Journal of Sports Science, 1992,10(5): 467-510.
- [23] Chow J. W., Mindock L. A. Discus throwing performances and medical classification of wheelchair athletes[J]. Medicine and Science in Sports and Exercise, 1999, 31(9): 1272-1279.
- [24] Liu H., Leigh S., Yu B. Comparison of sequence of trunk and arm motions between short and long official distance groups in javelin throwing[J]. Sports Biomechanics, 2014, 13(1): 17-32.
- [25] 赵爽,刘卉,郭庆仙,等.我国优秀女子标枪运动员刘诗颖投掷技术的生物力学分析[J].中国体育科技,2017, 53(4):65-70.
- [26] Hay J. G. The biomechanics of the triple jump: A review [J]. Journal of Sport Science, 1992, 10(4): 343-378.
- [27] Liu H., Yu B. Effect of phase ratio and velocity conversion coefficient on the performance of the triple jump[J]. Journal of Sports Science, 2012, 30(14): 1529-1536.
- [28] 张美珍,刘德林,孙文文,等.随机生物力学模拟比较不同落地形式对篮球运动员 ACL 损伤危险性和危险因素的影响[J].天津体育学院学报,2017,32(03):245-251.
- [29] 张美珍,刘卉,刘万将,等.随机生物力学模型分析篮球运动员和普通大学生 ACL 损伤危险因素的差异[J].体育科学,2016,36(10):40-47.

(责任编辑:刘畅)