



运动生物力学学科发展现状及前景

王 清¹, 郝卫亚¹, 刘 卉², 王向东¹, 刘 颖³



摘要: 文章系第十届全国体育科学大会运动技术生物力学分析会场专题主报告发言稿, 由 3 个部分组成。第一部分从研究方法、运动技术的生物力学、运动训练的生物力学、运动损伤与康复的生物力学、全民健身活动的生物力学、运动装备设计与评价的生物力学、我国运动生物力学课程教学情况等方面, 简要介绍了运动生物力学学科的发展与现状; 第二部分对国内外运动生物力学发展进行了简要对比分析; 第三部分简要介绍了我国运动生物力学学科发展趋势。

关键词: 运动生物力学; 学科发展; 现状; 前景

中图分类号: G804.6 文献标志码: A 文章编号: 1006-1207(2016)03-0091-05

Status Quo and Prospects of the Development of Sports Biomechanics

Wangqing¹, HAO Weiya¹, LIU Hui², WANG Xiangdong¹, LIU Ying³

(1. China Institute of Sport Science, Beijing 100061, China; 2. Beijing Sport University, Beijing 100084, China; 3. Beijing Institute of Sport Science, Beijing 100751, China)

Abstract: The paper, comprising 3 parts, is a special report at a seminar of sports technological biomechanics during the 10th National Sports Science Conference. The first part briefly introduces the development and status quo of sports biomechanics from the aspects of research method, biomechanics of sports technology, biomechanics of sports training, biomechanics of sports injury & rehabilitation, biomechanics of mass fitness activities, biomechanics of sports equipment design & evaluation, teaching of sports biomechanics in China, etc. The second part makes a comparative analysis of the sports biomechanics development at home and abroad. The third part focuses on the development trend of sports biomechanics in China.

Key Words: sports biomechanics; development of the subject; status quo; prospect

我国的运动生物力学学科从 20 世纪 80 年代开始迅速发展, 借助研究方法和技术手段的不断进步, 各个方面的研究取得了丰硕的成果。近年来, 随着国际交流的增加, 我国运动生物力学研究领域逐步与国际接轨, 研究水平有所提高。以下对 2012—2015 年期间我国运动生物力学学科发展和研究状况进行简要介绍。

1 我国运动生物力学学科发展现状

1.1 研究方法

目前, 运动生物力学研究中主要采用运动学、动力学、肌电等测试方法和手段对人体运动中的力学问题进行探讨。

由于人体运动的复杂性, 对人体运动中力学参数的测试技术难度相当大。因此, 为了保证测试的精度和可靠性, 测试时需要严格遵守测试方法的流程和要求, 在提高测试精度和减少误差方面不断进行新的探索和研究。

1.1.1 运动学研究方法

目前, 获取人体运动过程中运动学参数的方法, 主要有摄像与影像解析(二维和三维)、红外光点运动捕捉与分析、电磁感应式运动捕捉与分析(magnetic motion capture)、惯性技术运动捕捉与分析等。人体运动三维摄像与解析的方法已广泛应用于运动员的技术分析与研究中。

需要指出的是, 摄像及影像解析(二维和三维)仍是我国运动生物力学研究的主要测试手段。但是, 影像拍摄和解析过程中的系统误差、随机误差和粗大误差依然是影响分析结果与结论的重要因素。因此, 减少和校正误差是提高运动技术生物力学分析水平的前提。

在误差分析的基础上制定拍摄和解析方案, 并严格执行, 可以有效减小二维和三维摄像与解析过程中的误差。因此, 对拍摄和解析过程中的误差来源和影响误差的因素进行研究具有重要意义。例如, 图像边缘处的镜头畸变误差^[1]、水下三维坐标的重构精度分析^[2]、三维跟踪扫描拍摄

收稿日期: 2015-11-30

第一作者简介: 王清, 男, 研究员, 中国体育科学学会运动生物力学分会主任委员。主要研究方向: 优秀运动员竞技能力的诊断与监测。

E-mail: wangqing@126.com。

论文说明: 第十届全国体育科学大会专题报告, 中国科协 2012-2015 生物力学学科发展专题报告。

作者单位: 1. 国家体育总局体育科学研究所, 北京 100061; 2. 北京体育大学, 北京 100084; 3. 北京市体育科学研究所, 北京 1000751。



与解析^[3]等研究结果,为今后获得更高精度的运动学数据提供了依据和参考。

除三维摄像和红外光点动作捕捉系统外,价格低廉的惯性技术动作捕捉系统也逐渐开始应用于人体运动学参数的测量研究中。惯性传感器中包括陀螺仪、加速度计、电磁传感器、数字信号处理器等,将传感器固定在肢体特定位置,可测量描述人体运动的主要参数。其优点是成本低、没有光点遮挡和丢失的问题,而且由于加速度和角速度是直接测量的,所以数据精度较好。其缺点是很难获得绝对坐标系下的数据,所得数据容易受到外界磁场干扰。目前,在我国主要应用于动画制作所需要的人体动作捕捉,近年来也开始应用于对体育动作的研究^[4]。

1.1.2 动力学研究方法

采用力学传感器测量人体在运动中与环境或器械间的相互作用力,进而计算和分析力对人体运动的影响。在运动技术分析和运动损伤机制研究中,动力学测试有助于分析动作改变的原因和损伤危险机制,越来越受到研究者的重视。将运动中的人体运动学和动力学数据结合起来分析,可以更好地了解 and 揭示人体运动的生物力学机制。目前,应用于动力学参数的测量手段主要有三维测力平台、分布式足底压力测量系统、等速肌力测量系统、测力跑台、各种专用测力设备等。

近年来,我国运动生物力学研究者主要应用测力平台数据对跳跃能力、落地技术、专项动作技术、人体姿态控制、平衡能力、步态等进行测量、分析和评价。

需要指出的是,逆向动力学是目前研究关节力和力矩的主要方法,但误差较大。随着红外光点运动捕捉系统的应用,人体运动学数据的精度得以提高,逆向动力学数据的误差也随之降低。因此,近年来我国学者越来越多地运用测力平台和红外光点动作捕捉系统同步测量、计算和评价关节力矩和受力,进而对人体运动能力和关节损伤预防进行分析和研究^[5]。

1.1.3 表面肌电测试与分析方法

目前,国际主要品牌的表面肌电测试设备均已实现信号无线传输,大大提高了测试的方便程度和应用范围,越来越多地被我国研究者用于探讨人体完成体育动作时的肌肉收缩特征。所以,采用肌电测试与分析方法对人体运动过程中的肌肉工作特征进行研究的文章有所增加。

近年来,应用表面肌电研究主要集中在3个方面:一是了解和评价不同专项运动员完成动作时的肌电特征^[6];二是对比不同训练条件或专项训练与比赛动作下的肌肉工作特征,以确定更有效和更有针对性的训练手段^[7];三是应用表面肌电信号评价或监测肌肉的疲劳状态^[8]。

1.1.4 人体运动模型模拟方法的应用

人体运动模型模拟方法属于运动生物力学理论研究方法。采用模型模拟方法的研究主要分为两大类:一是建立人体多刚体或骨骼肌肉模型,模拟人体运动形式,估算骨骼、关节和肌肉在运动过程中的负荷;二是结合流体力学、刚体力学、生物力学等理论,建立船、艇、自行车等的

运动力学模型,应用数值模拟计算获得不同环境情况下的最佳运动方案,或对船艇等设备进行设计与改进。

近几年较流行的商业软件主要有 Lifemod、Anybody、SIMM 等。另外,还有免费软件 OpenSim。这些软件可以根据研究目的,较方便地建立不同形式的人体模型,结合动作捕捉测量得到的人体运动数据,进行人体系统的动力学分析和肌肉力计算,同时还可以通过建立外界环境,分析人体运动过程中人体与环境之间的作用力关系。但是,模拟所得到的结果,还需要其他实验数值进行验证。

国内进行人体运动力学分析时,采用一定的方法对模型模拟的结果进行了验证。例如,纪仲秋等应用 AnyBody 软件模拟太极拳动作,并应用肌电测试对模型计算得到的肌肉力进行了验证^[9]。又如,李旭鸿等应用 Lifemod 软件对跳马运动员的推手动作、落地动作、着地后与落地垫间的动力学等进行了仿真模拟和验证^[10]。

我国一些研究者根据人体结构和生物力学原理及惯性参数,针对不同研究目的建立了人体运动模型,如李翰君等建立了基于 Hill 肌肉力学模型的膝关节肌肉力分布模型,并应用已有动力学结果拟合最佳的优化方法,确定了膝关节周围肌肉力分布的最优解,并分析了肌肉最优长度对关节力矩影响的敏感度^[11]。

1.1.5 运动生物力学测试手段的研究

我国运动生物力学研究者根据研究需要,开发和研制了一些具有特定功能的力学传感器和测试系统。例如,李林等用正交配置的3个微陀螺仪、3个微加速度计和3个微电磁传感器组成了惯性传感系统,通过测量关节运动过程中的加速度和角速度计算关节运动的功率,设计开发了便携式肌肉等张收缩关节功率曲线测试系统^[12]。

我国运动生物力学研究者根据训练实践的需求,研制和开发了许多用于诊断和监测运动员技术水平的系统。这些专项技术诊断和监测系统不仅涉及到许多夏季运动项目,而且涉及到冬季运动项目,有效地应用于运动员的专项技术训练中。

1.2 运动技术的生物力学

1.2.1 优秀运动员专项运动技术的分析与监测

对国家队和各省市运动队的优秀运动员进行技术与监测,一直是我国运动生物力学研究者的一个重要工作。该工作为提高运动员训练水平和运动成绩提供了有力的科技保障。随着运动生物力学测试设备的日益先进和认识水平的不断提高,我国对优秀运动员进行技术分析和监测的研究成果也越来越丰富,发表了大量研究论文。这些论文不仅涉及到许多夏季项目,而且涉及许多冬季项目。

1.2.2 运动技术原理和运动成绩提高规律的研究

除对优秀运动员进行技术与监测外,很多运动生物力学研究者还致力于运动技术原理和规律的研究。他们的研究已不局限于对优秀运动员专项运动技术的描述和归纳,而是应用各种方法更加深入地分析影响运动成绩的原因,探求人体运动在追求极限过程中的生物力学规律。



1.2.3 动作控制与协调性的生物力学研究

近年来,对动作控制和协调性的研究已成为体育科学领域的研究热点之一。对动作控制特征和协调性的描述与分析,大多借助运动生物力学方法。因此,我国运动生物力学研究者开始从动作协调控制的思路对人体动作特征进行研究,一方面希望能了解人体对复杂动作的协调控制模式,另一方面期望了解运动员完成高质量动作技术的神经肌肉协调特征,为运动技术训练提供依据。

目前,我国学者对人体动作协调性的评价和分析主要根据关节运动顺序、关节间的联动特征、肌肉激活水平和顺序等,获得人体动作过程中相关肌肉的激活特征,从而分析神经肌肉系统对动作的控制规律^[13]。

1.3 运动训练的生物力学

运动训练学领域的许多基础研究和应用研究中的科学定量分析数据,来自运动生物力学的方法和技术手段。因此,运动生物力学也是运动训练学本身不断发展与完善的一个重要学科支撑。

1.3.1 运动生物力学在制定训练方案与训练效果评价中的应用

身体训练方法只有在动作结构和肌肉工作方式上与比赛动作相接近,才能最大限度地发挥训练的作用。通过运动生物力学方法可以分析训练方案对比赛中技术发挥的影响,在一定程度上预测训练方法或训练设备的有效性。此外,还可以通过对比训练前后运动员技术和能力上的差异,判断训练手段的有效性,了解训练提高专项能力和比赛成绩的可能机制。

1.3.2 运动生物力学在训练器械的研制与开发中的应用

设计与改进运动装备和训练器械,使之符合生物力学原理,既可有效地避免运动损伤,又可为提高运动成绩提供条件。例如,刘宇等鉴于当前传统的训练方法无法完全满足神经肌肉系统的多样性适应要求,针对性地开展了基于神经肌肉功能训练理论与方法的新型训练器械的研发^[14]。这些训练器械的引入,对于提升运动训练过程中神经肌肉力量及功能的训练效果将产生积极的作用。

1.3.3 运动生物力学在运动训练监控中的应用

运动生物力学在运动训练监控中的应用,主要体现在专项技战术诊断与监测系统的研究和建立。目前,我国的许多奥运会项目已建立了相应的专项技战术诊断与监测系统,为这些项目的科学训练提供了有力的科技保障。

1.4 运动损伤与康复的生物力学

运动损伤的发生、发展和康复都与损伤部位的受力有关,运动生物力学为探究运动损伤的原因和机制、评价康复效果等提供了测试手段和研究方法。

生物力学与运动损伤之间的交叉研究所形成的一个新领域“运动损伤生物力学”,特指对运动损伤发生和发展进行研究的生物力学。国际上应用生物力学方法研究运动损伤已非常普遍和成熟,国内近几年也逐步开展了运动生

物力学与运动医学相结合的研究。

随着实验设备的改进、生物力学测试方法和理论研究的发展,目前的运动损伤生物力学不仅关注骨组织,而且更加关注软骨、韧带、肌腱、肌肉、神经、滑膜等系统。对软组织的生物力学研究促进了运动损伤防治的发展。近四年,我国在运动损伤生物力学方面的研究主要包括以下几个方面:(1)动作技术对运动损伤的影响;(2)运动装备对运动损伤的影响;(3)肌肉工作特征与损伤的关系。

1.5 全民健身活动的生物力学

随着人民生活水平的提高,运动生物力学在全民健身活动这一研究领域发挥着越来越重要的作用。运用运动生物力学的方法和理论对各种健身运动进行研究,可以揭示健身动作的生物力学特征和对人体运动器官的力学作用,从而指导健身人群科学地选择健身方式,有效地增进健康并避免运动损伤。

1.5.1 老年人运动能力及健身方法的生物力学研究

随着医学的进步和人类寿命的增长,各国人口老龄化问题日趋严重,对老人健康的研究也吸引着越来越多研究人员的兴趣。目前,很多研究者借助运动生物力学的方法和手段对老年人进行研究。例如,关于老年人跌倒的成因、机制与预防干预问题。

近年来,我国运动生物力学研究者在人体运动的增龄性变化和老年人健身方法评价上的研究,越来越多,越来越深入。例如,很多研究已经证明,太极拳练习可以维持或增加老年人平衡稳定能力,是预防老年人跌倒的有效干预手段^[15]。又如,对不同年龄组老年人下楼梯时的足底压力特征进行分析时发现,60岁以上的老年人下楼梯时的身体稳定性会明显下降^[16]。

1.5.2 儿童生长发育对动作影响的生物力学研究

随着儿童身体各系统的生长发育,运动能力和动作形式都会随之变化。了解儿童成长过程中动作形成规律,有助于为他们设计更有针对性的身体锻炼计划,而且对肥胖儿童和不良动作习惯儿童的运动特点进行研究,可以对可能的损伤进行评估和预测,同时确定有效的预防损伤方案。近年来,我国学者在这方面的研究已有所增加。

1.6 运动装备设计与评价的生物力学

对运动装备和运动场地的研究日益受到重视。其中,运动鞋的研究备受关注,研究目的主要是提高运动成绩,减少运动损伤。

近年来,我国在运动鞋方面的研究已经从成品鞋的性能检验和评价,转变为探讨影响鞋的舒适、安全、促进运动表现等功能因素,并针对不同运动项目的需要提供个性化设计和选择合理材料的依据。

近年来,国内许多研究者从不同项目的运动鞋特征、鞋底气垫设计、落地时不同运动鞋下肢软组织振动、篮球鞋的高帮设计、鞋底材料和花纹设计对走跑时的安全与效率的影响、防滑鞋底纹路设计等进行了大量研究。



1.7 我国运动生物力学课程教学状况

1959年,我国引进苏联顿斯柯依的《运动生物力学》教材,举办了第一期运动生物力学教师讲习班。此后,我国大多数体育院系开设了《运动生物力学》课程,并规定为学生的专业基础课。

1980年,国家教育部要求将运动生物力学确定为体育系、科学学生的必修课,并且作为体育教学中必不可少的一门专业基础课。

1986年,国家教育部修订了高师体育专业教学计划改革,运动生物力学成为非必修课。

1997年,国家教育部正式公布的新课程方案中,运动生物力学依然是限定选修课之一。

2004年,国家教育部要求不再设立限定选修课,将《运动生物力学》课程排除在必修主干课程之外。至此,《运动生物力学》成为体育教育专业学生真正意义上的选修课,学生可以选修也可以不选。

目前,我国已经形成了一支教学和科研经验都非常丰富的运动生物力学教师队伍。课程在内容设置和教学手段上都有了更加科学合理的改进,已经培养了很多了解甚至掌握运动生物力学理论和方法的体育系本科毕业生。

除了运动训练、体育教育等专业外,培养运动生物力学专业方向的本科生和研究生,是我国运动生物力学教学的重要内容。虽然目前运动人体科学专业的课程设置有待进一步改进,有关的专业基础课大量削减,但随着高校科研水平和硬件设施的提高,运动生物力学本科和研究生有越来越多的机会接触和应用高精尖的仪器设备,并完成了一定水平的研究工作。

2 国内外运动生物力学发展对比

(1)国内外运动生物力学研究方法和手段的发展基本同步。与国外运动生物力学的发展近况相比,我国运动生物力学研究在测试设备、研究方法和手段上,与国际间的差别不明显,但理论研究和研究方法的创新研究相对偏少。

(2)国内外运动生物力学在研究领域上的侧重有所不同。国内研究侧重于以提高运动成绩为目的的竞技体育项目的运动技术分析;国外研究侧重于以运动损伤预防和康复为目的的体育动作的生物力学特征研究,以及人体基本运动功能的力学规律研究。

(3)国内外高校对运动生物力学课程的重视程度不同。我国的体育院系中,除少数的运动人体科学专业外,运动训练、体育教育、社会体育、运动康复等人数众多的专业将运动生物力学设为选修课,造成很多学生缺乏相关的知识和技能。国外发达国家的高等学校体育专业将运动生物力学作为重要和基本的必修课之一,认为体育专业学生不懂运动生物力学是不可想象的。在许多发达国家,体育院系已经将运动生物力学、运动医学、运动生理学等为代表的自然科学作为核心课程。其主要目的是让学生掌握人体运动的科学规律和研究方法,在训练和竞赛中能够自觉地应用这些知识,提高运动水平。

3 我国运动生物力学发展趋势

(1)借助多学科的方法、手段和力量进行运动生物力学研究。未来研究的发展趋势必然是多学科的交叉与融合,借助多学科的方法和思路,研究和解决人体运动的问题。例如,借助流行病学的研究思路,运动生物力学可以为运动损伤的危险因素提供定量指标;借助数学的优化方法和计算机技术,可以对复杂的人体运动进行模拟和预测。

(2)加强运动技术诊断与优化的理论研究,其研究应注意数据的积累和研究方法的改进,避免对运动技术特点只进行简单描述。我国运动生物力学研究者应进一步提高科研设计的能力、运用统计方法和解释统计结果的能力,以及运用合理的方法验证科学假设的能力。

(3)加强运动损伤与康复的生物力学原理与应用研究。国际上,运用生物力学对骨骼、关节、肌肉、韧带等进行探讨,一直是研究的热点,其研究结果对临床骨科、运动医学、康复医学、体育运动等产生了直接和重要的影响。

(4)促进体育相关专业运动生物力学课程改革。目前,我国高等体育院系在《运动生物力学》授课过程中还存在课堂教学模式比较单一、教学方法比较陈旧、力学理论与运动实践结合不紧密、实验课内容和形式缺乏创新等问题。一些运动生物力学教师缺乏专业的学科教育背景或参加培训和科研活动较少导致知识陈旧,这些都严重影响了课程的教学质量。因此,必须进行教学方法、教学模式、甚至教学内容的改革,加强教师队伍的培训,提高教学质量。

参考文献:

- [1] 贾谊,严波涛,刘占峰,等.运动影像分析中对镜头畸变的快速修正方法及应用实例[J].中国体育科技,2012(01):24-26+31.
- [2] 李旭鸿,郝卫亚.水下三维物空间坐标的重构精度分析[J].体育科学,2011(08):78-83.
- [3] 艾康伟,毕致远,韩旭.跳高技术三维跟踪扫描影像分析方法[J].成都工业学院学报,2014(04):82-86.
- [4] 刘江,曾辽原.利用混合动作捕捉方法辅助排球运动技术标准化的研究[J].北京体育大学学报,2014(05):133-138.
- [5] 徐红旗,史冀鹏,倪维广,等.手工提放重物操作技术优化的生物力学研究[J].北京体育大学学报,2013(11):75-80.
- [6] 王向东,刘梦飞,任景萍.优秀女子举重运动员抓举动作技术的肌电测试研究[J].北京体育大学学报,2013(10):71-76+104.
- [7] 黎涌明,曹春梅,陈小平.非稳定支撑面上自由负重练习的肌电分析[J].体育科学,2012(06):39-43.
- [8] 陆阿明,王国栋,王芳.运动性疲劳对跑运动学与下肢肌电的影响[J].体育科学,2012(06):44-49+80.
- [9] 纪仲秋,李旭龙,姜桂萍,等.AnyBody 仿真和验证的太极拳训练中下肢生物力学特征[J].中国康复医学杂志,2014(09):799-805.
- [10] 李旭鸿,郝卫亚,肖晓飞等.基于 ADAMS-LifeMoD 人体落地动作的动力学仿真与验证[J].浙江体育科学,2015(01):114-116.
- [11] 李翰君,刘卉,张新,等.膝关节肌肉力分布模拟研究[J].体育



- 科学,2012(11):57-63,9.
- [12] 李林,纪仲秋.便携式肌肉等张收缩关节功率曲线测试系统的研制及等速肌力测试验证[J].成都体育学院学报,2014(09):72-76.
- [13] 邹煜,李涛,严波涛.基于双手抛接球动作的运动协调形成与调节的肌肉工作特征研究[J].天津体育学院学报,2013(06):489-492.
- [14] 刘宇,李海鹏,刘翠鲜,等.基于神经肌肉功能训练理论与方法的新型训练器械的研发与应用[J].体育科学.2014(02):87-94.
- [15] 常书婉,周继和,洪友廉,等.长期太极拳练习对老年女性平衡能力的影响[J].成都体育学院学报,2014(04):42-47.
- [16] 刘晓梅.不同年龄阶段中老年男性下楼梯时的足底压力特征分析[J].山东体育科技,2013(06):72-76.
- [17] 张跃,李建设,杨红春,等.孙杨备战伦敦奥运会转身技术改进与优化的生物力学研究[J].体育科学,2013(09):85-90.
- [18] 万祥林,曲峰.运动鞋屈曲刚度对舒适性及短跑表现的影响[J].体育科学,2013(12):59-64.
- [19] 宋雅伟,钱竞光,苏杨.蹦床运动员着网起跳动作的运动生物力学分析[J].北京体育大学学报,2013(11):81-85.
- [20] 中国体育科学学会运动生物力学分会.运动生物力学学科发展报告(2012-2015).未发表.
- (责任编辑:何聪)

本刊声明

凡自愿投给本刊的文稿,作者未作特殊说明的,本刊将同时获得图书、电子版本与信息网络的传播使用权。为适应国家信息化建设的需要,扩大作者学术交流的渠道,本刊已加入《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》和《万方数据——数字化期刊群》等多家数据库与检索机构,如作者不同意将自己的文稿选入上述数据库,请在来稿时说明,本刊将另作处理。

本着对每篇文章认真负责的态度,本刊采用三审制审理稿件,审读周期为1~2个月。投稿通过一审后,进行匿名外审,并最终由主编终审,如符合要求,由编辑部发出录用通知。稿件一经刊用酌付稿酬,并赠送当期《体育科研》2册。若稿件未被录用,作者可自行处理。因编辑部人手等原因,不录用稿件恕不退稿,请作者自留底稿。

凡向本刊投稿,承诺该文未一稿两投或多投,包括未局部改动后投寄其他报刊,并保证不会将该文主要观点或基本内容先于《体育科研》在其他出版物上发表。

《体育科研》编辑部