



运动**生物力学**

【理论与方法】

李世明 著



科学出版社

www.sciencep.com

运动生物力学理论与方法

李世明 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书较为系统地介绍了当前运动生物力学的学科发展和应用状况。全书共分七章,包括运动生物力学概论、肌肉生物力学特性与应用、人体运动环节重量参数测量与最优化计算、运动技术诊断理论与实践、人体模型与多体系统动力学、体育仪器器材研制创新思维与实现以及运动生物力学展望。本书以独特的视角阐释了当前运动生物力学领域中有价值的热点问题,反映了国内外有关运动生物力学理论与方法的最新成果。

本书可作为体育专业研究生、高等院校理工科高年级学生和研究生,以及体育专业或有理工科背景的教师、科研人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

运动生物力学理论与方法/李世明著. —北京:科学出版社, 2006
ISBN 7-03-016417-2

I. 运… II. 李… III. 运动生物力学 IV. G804.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 127395 号

责任编辑:马学海 李 悦 李久进 沈晓晶/责任校对:李奕莹
责任印制:钱玉芬/封面设计:王 浩

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社编务公司排版制作

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006年6月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2006年6月第一次印刷 印张: 15

印数: 1~2 000

字数: 291 000

定价: 45.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

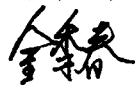
序

近年来,运动生物力学正以前所未有的速度迅猛发展,研究领域不断拓展,实验手段不断进步,学科内涵不断丰富,理论体系不断完善。在当今体育界竞技与健身两大主题的相互交融中,运动生物力学学科以其很强的科学性与实践性体现了自身的价值与魅力。运动生物力学的主要任务是探索人体运动的规律性,以指导人体运动实践。对于竞技来说就是要激发人体潜能,创造优异成绩;对于健身来说则是要改善身体状况,提高生活质量。事实上,要掌握人体运动的规律性并非易事,甚至很困难,这就需要科学的理论指导和先进的方法探索,可以说,理论与方法是一门学科的“灵魂”。运动生物力学作为一门学科的发展历史并不长,人们移植和创造的理论与方法还远未成熟、系统。对于这些理论与方法应当加以总结、梳理,可以清楚已有的学科体系,明确未来的发展方向。李世明博士撰写的《运动生物力学理论与方法》一书就是对这一工作的有益尝试。

当李世明博士拿着这本书的书稿请我为之作序时,作为他的博士生导师我欣然允诺。我十分清楚地了解他在攻读博士学位期间所表现出的一丝不苟的治学态度、不畏艰难的创业精神和解决问题的超常能力。李世明博士勤奋刻苦、笔耕不辍,这本书是他的又一部倾心力作。从这本书中我们可以清楚地看出,他阅读了大量的国内外文献资料,他的研究涉及运动生物力学的多个领域,在前人研究的基础上结合自己多年来的研究工作,总结、梳理了当前运动生物力学学科中的一些主要理论与方法。书中既有对某一领域的述评,又有对某一具体问题的质疑;既有对学科兴衰的回顾,又有对未来走向的展望;既有理论上的阐述,又有方法学的探索;在继承中创新,在创新中发展,一章一节中体现出作者善于思考、勤于耕耘的治学品质,字里行间里传达了作者对问题的精辟见解和独到论断。譬如,在人体环节参数计算中为了分开环节参数引入了最优化理论,在平衡板实验中为了控制总重心位移精度提出了两个圆心角对比的方法,在运动技术诊断实践中结合翔实案例论述了从业人员应具备的辩证思维观,在转体启动训练仪的研制中把使附加重物转动惯量由大变小的思想推进到从有变无……这本书既阐释了当前运动生物力学学科中许多有价值的热点问题,也反映了作者近几年来所取得的重要成果。

运动生物力学学科要发展,就需要更多年轻人的不懈努力:善于思考、勇于创新、勤于耕耘、乐于奉献。“千里之行、始于足下”,希望李世明博士能继续朝着这个目标迈进。

北京体育大学教授



2005年10月2日

前 言

运动生物力学是一门新兴的边缘性学科，其发展历史并不长。运动生物力学作为学科的统一名称是1973年8月在美国召开的第四届国际生物力学会议上决定采用的。该学科涉及力学、解剖学、生理学、体育学、工程学等多个学科，理论体系还不完善、实验方法也不成熟，该学科目前还只是处于一个框架需要完善、内涵需要丰富、外延需要扩展的发展时期。

力学是较早发展起来的学科之一，研究领域从尺度上来讲范围很广，大到宏观上的天体，小到微观粒子都是力学的研究范畴；生物力学是力学与生物学交叉、渗透、融合而形成的一门边缘性学科，研究内容涉及生物体与力学有关的所有问题；运动生物力学是生物力学的一个分支，主要研究人体运动的规律性。尽管运动生物力学作为一门学科的形成时间并不长，但是人类注意、观察、分析、研究运动的历史却非常悠久。早在15世纪末意大利著名画家列奥纳多·达·芬奇(Leonardo Da Vinci)就提出了人体的运动必须服从于力学定律的观点。他认为：力学之所以比其他学科更为重要和实用，那是因为所有一切能够运动的生物体都遵循力学的定律而运动。但事实并非如此简单。随着人们对人类活动特别是竞技体育运动的广泛关注和深入研究，人们逐渐发现人体在运动过程中存在着一些与力学定律看起来不太相符的现象。譬如，人在跳远时为什么不能采用 45° 的腾起角？在跑步时后蹬腿的膝关节为什么不应伸直？这些现象看起来与力学定律相悖，是不是力学定律出现了盲区、错误？答案是否定的。原因是人体运动不仅要遵守力学定律，还要受生物特点的制约，对人体运动这种有意识参与的复杂、高级的运动形式，不能仅从一般力学出发来考虑，还应考虑人体的生理特点。因此，要想探索人体运动的真正规律并非易事，需要付出艰巨的努力。

运动生物力学是一门实践性很强的学科，它的研究领域非常广泛，既有对人体自身器官，如对人体骨骼、肌肉生物力学特性的研究，也有对人体整体运动，如对各种项目动作技术的诊断；既有对人体模型的力学分析，又有对人体运动的实验测试。近些年来，随着现代科学技术的日新月异，尤其是电子学、机械学、材料学、光学、激光技术、传感器技术、计算机技术等相关学科的飞速发展以及社会需求的不断增长，运动生物力学的研究领域也在不断拓展，如对人与体育仪器器材关系的研究正朝着又一个新兴的边缘学科——体育工程学发展。人们不仅关注竞技体育，也开始重视全民健身，这为运动生物力学的发展提供了一个良好的机缘。在本书中，作者力求瞄准学科前沿、把握学术动态，注重实践性、系统性，从应用的角度审视现代运动生物力学的理论与方法。

本书共分7章,分别介绍了当今运动生物力学不同领域的热点问题。第一章为运动生物力学概论,主要介绍运动生物力学的学科性质、学科任务以及发展历程;第二章为肌肉生物力学特性与应用,主要介绍骨骼肌的收缩形式、力学特性以及在体育实践中的应用;第三章为人体运动环节重量参数测量与最优化计算,主要介绍人体运动环节重量参数测量的发展过程、主要方法以及环节重量矩的平衡板测量方法和环节重量参数的最优化计算;第四章为运动技术诊断理论与实践,主要介绍运动技术诊断的一般流程、测量方法、辩证思维以及实例计算与分析;第五章为人体模型与多体系统动力学,主要介绍了针对人体多质点模型和多刚体模型采用的较多的动力学方法;第六章为体育仪器器材研制创新思维与实现,主要介绍几种体育仪器器材研制过程中的思维历程及实现方法;第七章为运动生物力学展望,主要从应用的角度介绍今后一段时间内运动生物力学领域的一些亟待解决的问题和研究热点。本书以独特的视角阐释了当前运动生物力学领域中许多有价值的热点问题,反映了国内外有关运动生物力学理论与方法的许多最新成果。书中参考、引用了国内外多位专家学者的独到论断,在此对编著者和出版者一并表示诚挚的谢意!同时,本书也包含了作者近几年来所取得的最新研究成果。

作者衷心感谢北京体育大学金季春教授、刘学贞教授多年来的悉心指导、热情帮助与大力支持!

本书的出版得到了鲁东大学出版基金的资助,在此表示衷心感谢!

由于作者水平有限,错误不当之处在所难免,诚望读者批评指正。

李世明
2005年6月

目 录

序

前言

第一章 运动生物力学概论	1
第一节 运动生物力学的学科性质	1
第二节 运动生物力学的学科任务	4
第三节 运动生物力学的发展历程	10
主要参考文献	12
第二章 肌肉生物力学特性与应用	13
第一节 肌肉的力学简化	13
第二节 肌肉的收缩形式	15
第三节 肌肉的力学特性	17
第四节 肌肉的收缩功率	20
第五节 肌肉快速力量训练的负荷强度	23
主要参考文献	27
第三章 人体运动环节重量参数测量与最优化计算	29
第一节 人体运动环节重量参数概述	29
第二节 人体运动环节重量矩的平衡板测量法	41
第三节 人体运动环节重量参数的最优化计算	55
主要参考文献	61
第四章 运动技术诊断理论与实践	64
第一节 运动技术诊断的一般流程	64
第二节 运动技术诊断的测量方法	70
第三节 运动技术诊断的灰关联度	99
第四节 运动技术诊断的辩证思维	105
第五节 运动技术诊断的实例分析	115
主要参考文献	148
第五章 人体模型与多体系统动力学	152
第一节 人体模型概述	152
第二节 人体多质点模型动力学	154
第三节 人体多刚体模型动力学	168
主要参考文献	178

第六章 体育仪器器材研制创新思维与实现..... 180

 第一节 环节重量矩测量仪..... 180

 第二节 光电踏跳/腾空计时仪..... 192

 第三节 艺术体操转体训练仪..... 200

 主要参考文献..... 221

第七章 运动生物力学展望..... 223

 主要参考文献..... 230

第一章 运动生物力学概论

第一节 运动生物力学的学科性质

一、力学与运动生物力学

力学是较早发展起来的学科之一，它的研究领域从尺度上来讲范围很广，大到宏观上的天体，小到微观粒子都是力学的研究范畴。在远古时代，由于农业上的需要，人们很早就开始制造和使用一些简单的生产工具，因此对于机械运动很早就有了一些了解和认识。随着生产的发展，人们对于机械运动的认识逐步加深。16 世纪末期，西欧的资本主义开始形成和发展，人们对于力学的认识也产生了飞跃。牛顿(1642~1727)在前人工作的基础上，发表了著名的牛顿三大定律，奠定了经典力学的基础。以后，许多科学家进一步对力学进行了更为深入的研究，不断开辟新的领域、揭示新的规律。特别是微积分等数学工具的广泛应用，为力学的发展提供了有力武器，推动了力学学科的发展。18 世纪，拉格朗日的一本大型著作《分析力学》，使力学问题可以完全用严格的分析方法来处理。随着哈密顿、雅可比等的进一步研究和贡献，经典力学逐渐发展成为一门理论严谨、体系完整的学科。

但是，到了 19 世纪末叶和 20 世纪初期，随着物理学其他学科的迅速发展，出现了以牛顿力学为基础的经典力学所无法解释的矛盾。进一步的研究表明，经典力学只能应用于这样一类物体：它们的尺度比较大而运动速度比较低。对于速度很高(接近光速)的物体的运动问题，必须用相对论力学来解释。而对于坐标及相应的动量不能同时准确测定(即测不准关系)的微观粒子(如原子、分子等)的运动问题，则要应用量子力学。因此，以牛顿定律为基础的理论力学在一定的条件下才能成立，它有一定的适用范围。不过，在通常宏观、低速的情况下，牛顿定律还是十分准确的，足以解决工程技术上的大量问题。

生物运动是一种复杂、高级的运动形式，它的基本特征是新陈代谢，包含有物质代谢和能量代谢。对人体而言，人的意识参与了运动，因而人有两种属性：生物属性和社会属性。生物运动如此复杂和特殊，一般力学是否也能够用于解释生物运动的规律性？事实上，早在 15 世纪，意大利的伟大画家达·芬奇(1452~1519)对这一基本命题就做过肯定的回答：“力学科学之所以比其他一切科学都更加完美和适用，那是因为一切能够运动的活体都遵从力学的定律而运动。”

随着对人类活动，特别是对竞技体育运动的广泛关注和深入研究，人们逐渐发现生物体特别是人体在运动过程中存在着一些与力学定律看起来不太相符的现

象。譬如，人在跳远时为什么不能采用 45° 的腾起角？在举重时杠铃向上的加速度与脚下所产生的力为什么没有同步出现？在跑步时后蹬腿的膝关节为什么不应伸直？这些现象之所以看起来与力学定律相悖，并不是力学定律出现了盲区、错误，而是生物体的运动还受生物特点的制约，生物运动这种高级的运动形式不能仅从一般力学出发来考虑，还应考虑其生物特点，于是就产生了生物力学。生物力学是力学与生物学交叉、渗透、融合而形成的一门边缘性学科，而不是力学和生物学的简单叠加，它研究的内容极为广泛，涉及生物体与力学有关的所有问题，而运动生物力学(sports biomechanics)是生物力学的一个分支。通常，把那些看起来与力学规律相谬的现象称为人体运动的力学悖谬现象。

从人的生物属性考虑，人体运动属生物运动，生物运动这种高级的运动形式还包含并支配着低级的运动形式，如机械运动、物理运动和化学运动。人体运动最基本的外部表现形式就是肢体的位移，如以骨为杠杆、关节为枢纽，骨骼肌收缩产生动力带动骨杠杆产生转动。骨骼肌总是在躯体传出神经的兴奋冲动的影响下进行收缩，先在肌细胞膜上引起一个可传导的动作电位，通过兴奋-收缩耦联，产生以肌丝的滑行为基础的骨骼肌收缩过程。横桥对于粗、细肌丝之间的滑行具有重要的意义，横桥具有 ATP 酶的作用，可以分解 ATP 而获得能量，作为横桥摆动和做功的能量来源。在整个人体运动的过程中，都有人脑意识的参与，人能够理解运动的意义。在这样复杂的人体运动过程中，如果仅仅需要了解人体肢体的位移情况，一般力学就足以解决，但要探究人体运动的本质规律和内在原因，还要结合生物学特点。在一般力学与生物学特点相结合的基础上来研究人体的运动，这是运动生物力学与一般力学的不同之处。一般力学仅是解决生物运动中所包含的机械运动，而运动生物力学则要通过研究生物体的机械运动形式来进一步探讨生物的本质运动规律，它以一般力学为基础。同时也应看到，对多种运动形式并存的人体运动进行研究，还需要运动生理学、运动生物化学、运动心理学等多个学科的相互配合，才能更好地把握人体运动的内在规律性。

二、运动生物力学的定义辨析

运动生物力学作为学科的统一名称是 1973 年 8 月在美国召开的第四届国际生物力学会议上决定采用的。运动生物力学是一门新兴的边缘学科，涉及力学、解剖学、生理学等多个领域，理论体系远不完善、实验方法并不成熟，该学科目前还处于框架需要完善、内涵需要丰富、外延需要扩展的发展时期，因此，在这个从学科产生到发展的过程中所出现的学科定义，不可能是完整、准确的，需要在讨论、研究中随着学科的发展而不断地趋于完善。

纵观国内外对该学科所进行的定义，观点不尽相同，较有影响的观点是：运动生物力学是研究体育运动中人体机械运动规律的科学。这一定义在学科产生后较长一段时间内非常盛行，占据重要的地位，并作为教科书中的内容向学生传授

(苏品等 1990)。到 20 世纪末期,才有学者对该观点中出现的“机械运动”一词提出了质疑。原因是:第一,机械运动不能表征人体运动的力学本质,因为机械运动只是人体运动中最低级、最简单的一种形式,人体运动可以有条件地简化为机械运动来处理,但这种简化是有严格约定的;第二,运动生物力学不能只研究人体的机械运动,因为,倘若只停留在机械运动的层面上,生物力学与“死”物力学就不存在什么区别。并因此提出了修改意见,认为定义“运动生物力学是研究体育运动中人体运动行为规律的科学”在概念界定上更为准确。这一定义的先进性在于它指出人体的运动不同于机械的运动,而是一种更高级的运动形式;运动生物力学不同于一般力学,而是研究生命活动的力学。国外有学者用一个比喻来形象地说明生物力学与无机世界一般力学的区别:当你走路越多,你的脚底越磨越厚,这是生物力学;而你的鞋底越磨越薄,这是一般力学。这个比喻充分体现了生物体能自动调节和对外适应的特殊性质。

为了更加全面地描述该学科,一般高等院校教材这样写道:运动生物力学是研究人体运动力学规律的科学,它是体育科学的重要组成部分……运动生物力学是以人体解剖学、人体生理学、力学的理论与方法,研究人体运动器系的生物力学特性和人体运动动作的力学规律以及器械机械运动力学规律的科学(叶永延等 2000)。之后,有学者提出运动生物力学不应只是针对于人,而应包括对其他生物运动规律的研究,否则该学科可改名为运动人体力学。为了避免“名不副实”的问题,对该学科的定义又进行了修订:运动生物力学是生物力学分支,属生物物理学(biophysics)。它是研究生物体运动器系的生物力学特征和生物体运动动作的力学规律以及机械运动力学规律的科学,它是体育学科重要的组成部分。

运动生物力学是一门新兴的处在发展中的学科,它的定义也必然是开放的、动态的、发展的,而且这必定是一个长期的完善过程。在不断充实内涵、扩大外延的进程中,该学科的定义也在不断地被修订。上述定义大多强调运动生物力学的体育科学属性,事实上,一些运动生物力学工作者已经在利用运动生物力学的方法和手段研究人们日常生活中的一些与健康、工效等有关系的课题。譬如,小学生背书包、青年女性穿高跟鞋、老年人防跌倒、正常人预防颈椎病桌椅高度的配合、残疾人安装假肢后进行步态测试等,这些研究与体育科学的关系均不甚密切。另外,从国际运动生物力学界权威杂志的更名也可以看出这种发展趋势,现在的 *Journal of Applied Biomechanics* 在 20 世纪 90 年代初期(1993 年起)就由原来的 *International Journal of Sport Biomechanics* 更为现名。由此看来,为了适应学科的发展,现在已不必在运动生物力学学科定义中强调其体育(sport)属性了。

第二节 运动生物力学的学科任务

运动生物力学是一门理论和实践紧密结合的应用学科，它坚持三个面向：面向竞技体育、面向大众健康、面向特殊群体(航天员、残疾人群体等)，直接为提高运动技术水平和增强人类体质服务。在目前的学科定义下，运动生物力学的学科任务主要包括如下几点。

一、研究人体运动器系的生物力学特性及其与运动之间的相互关系，为选材和预防运动损伤提供生物力学依据

研究人体运动器系的生物力学特性是运动生物力学的一个基础性研究任务。由于运动的主体是人体，所以对于人体自身的研究是非常必要的，诸如对人体骨骼、关节的强度以及肌肉收缩特性等的研究。目前，对于肌肉自身问题的研究仍然是运动生物力学中最具吸引力且最有挑战性的领域之一。肌肉是人体系统最具有“活力”的部分，骨骼是杠杆，关节是枢纽，肌肉则是动力的来源。肌肉的神经控制、新陈代谢及生物力学特性都是有待深入研究的课题。可以说肌肉力学是研究人体运动规律的一个非常重要的基础。

研究人体运动器系与运动之间的相互关系包括正、反两个方向的任务。首先，人体运动器系的生物力学特性是产生人体肢体或整体运动的基础，人体运动器系有什么样的特性就有什么样的运动能力，也就产生什么样的运动效果。如果我们了解了这样一个正向的链条关系，就可以为选材提供依据。譬如，肌纤维类型、小腿的肌腱和韧带的长度等都是判断所适合项目的依据，身体密度的大小对游泳运动员来说则是一个重要的指标，另外还有身材、腿长、手长、关节的运动幅度、动作的协调性等都可能都是某一个项目选材的参考指标。同时，也可以对运动潜力进行预测，例如体操运动员空翻的最多圈数，在科学测试与预测的基础上让优秀运动员进行尝试可以提高成功率、降低训练风险、避免不必要的损失。其次，还必须认识到不同的运动训练手段对于人体形态、结构、机能产生不同影响的反向

链条关系。正确、适度的技术训练可以促进人体运动器系机能的改善，错误、过度的技术训练则会破坏运动器系的原有机能。了解了这些关系就可以达到运动训练的目的，防止运动损伤。譬如投掷标枪时，投掷臂的肘关节部位过低，远离肩的外侧经过，因三角肌前部的肌力 F_1 与标枪的惯性力 F_2 对肱骨纵轴产生扭转力矩，见图 1-1。

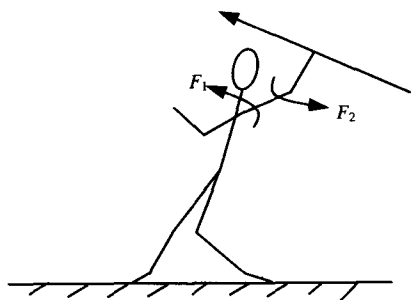


图 1-1 投掷标枪对肱骨产生扭转力矩示意图

如果此力矩过大，则容易造成肱骨的螺旋型骨折。因为，当人体的骨骼受到扭转载荷时，骨将沿其轴线产生扭曲，整个骨都有剪应力分布。而对成人骨密质试样进行压缩、拉伸和剪切试验时发现，骨承受剪切的能力最低。从运动技术中找到运动对器官产生载荷的原因，就可以避免运动损伤。

又如，一般地我们会认为如果骨承受的载荷低于骨的极限强度的话是不会产生损伤的，但有时也不尽然。交变载荷定义为随时间做周期性的改变并且多次重复地作用在骨上的载荷，如马拉松比赛时作用在运动员双腿骨骼上的载荷就属于交变载荷。人们发现，骨所承受的交变载荷即使低于骨的极限强度，也会发生骨折现象，这种骨折叫作疲劳骨折。再如，在肌腱、韧带的柔韧性训练时，如果操之过急则不仅不会达到训练的目的，反而会拉伤，欲速则不达。这是因为像肌腱、韧带这样的黏弹性体具有明显的时间特性。如果给予肌腱、韧带以拉力，并令其保持一定时间，则肌腱、韧带的应变会随时间的增加而增加，这种现象称为蠕变，见图 1-2。正是由于肌腱、韧带的这种黏弹性体的特点，才可以通过经常不断地“拉韧带”等柔韧性训练手段使韧带和肌腱的应变增加，从而提高韧带和肌腱的柔韧性。在柔韧性训练时，应当循序渐进，合理地利用肌腱和韧带的蠕变特性。

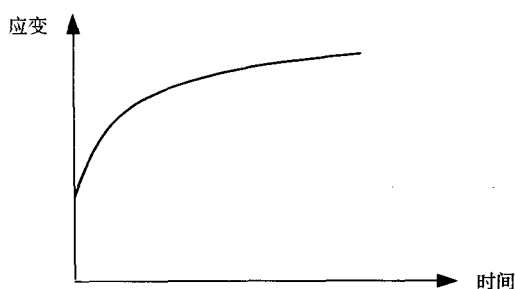


图 1-2 蠕变曲线示意图

二、揭示动作技术原理及探索最佳化的运动技术，为制定运动技术训练方案和建立专家系统提供生物力学依据

许多项目都是在竞争距离、高度、速度、力量等力学量的大小，因此，我们可以借助运动生物力学手段，揭示动作技术的生物力学原理，结合运动员的生物力学特点和专项特点，建立合理的动作技术模式，探索最佳化的运动技术，以提高运动成绩。

动作技术原理与最佳运动技术是两个不同的概念，因此，揭示动作技术原理和探索最佳的运动技术是两个不同层次的任务。动作技术原理是指完成某项动作技术的基本规律，它适合于任何人，不考虑运动员的性别、体型、运动素质的发展水平和心理素质等个体差异，是具有共性特点的一般规律。而最佳运动技术则

在考虑了个人的身体形态、机能、心理素质和训练水平的基础上来应用一般技术原理,以达到最理想的运动成绩,即它是既具有共性又具有个性特征的运动技术。最佳运动技术的研究是非常有必要的。即使是一个非常优秀的运动员,其动作技术也会存在不合理的一面,在遵循一般运动技术原理的前提下,对运动员的动作技术进行生物力学诊断,发现其个人的技术特点和存在的问题,保留其合理的特点,改正其不合理之处,可以达到扬长避短的目的。

美国奥委会生物力学部主任吉·艾里尔博士在这一方面的研究工作是卓有成效的。1976年在蒙特利尔奥运会上获得金牌的美国铁饼运动员麦克·威尔金斯就是运动技术诊断中较早成功的一例。运动会开幕前几个月,威尔金斯的成绩是66m,离69m的世界纪录还相差很远。艾里尔通过计算威尔金斯四肢各部用力情况和分析他的投掷动作图解,发现他在铁饼出手之前不但没有刹住膝盖,反而像弹簧似地动了一下。只这一动,就使他失掉了一部分本应传到铁饼上的力。后来,威尔金斯采用矫形器刹住了膝盖,一下子竟以70.86m的成绩刷新了世界纪录。

这个例子之所以能够成功,原因是两个步骤均取得了效果。第一是正确地发现了运动过程中存在的问题,第二是采用了有效的训练手段,二者缺一不可。因此,在对运动技术进行诊断时,不能仅停留在测量、分析和评价运动技术的层面上,还应当重视运动技术改进、运动能力发展的方案设计与实施。因为,不切实地解决如何改进运动技术、如何发展运动能力等可操作性层面上的问题,对于运动技术的测量、分析和评价就是纸上谈兵,没有实用价值。在技术训练方案设计时,重点应当考虑训练手段的改进和训练设备的研制与使用。并且,应当依据实际情况,实事求是地制订运动技术训练方案,这是一个动态的过程,既应当坚持超负荷训练原则,又应当遵循动态适应性原则。当然,运动技术诊断的最高目标就是能够建立专家系统,使运动技术诊断达到系统化、程序化、智能化。

三、研究人体、器材与环境之间在运动过程中的相互关系,为改进、设计体育仪器器材提供生物力学依据

现代科学技术日新月异,尤其是电子学、机械学、材料学、传感器技术、计算机技术等相关学科的飞速发展,为运动生物力学在体育仪器器材领域的研究提供了有力的技术支撑。通过体育仪器器材的研制,不仅可以提高运动训练的效率 and 安全性,加速竞技体育“更快、更高、更强”目标的实现;也可以提高人们健身锻炼的效果和娱乐性,为人们创造良好的生活和工作环境,改善人类生存状况、激发人类潜能、提高生活质量和品位。随着现代科学技术的突飞猛进以及社会需求的不断增加,人们越来越重视体育仪器器材领域的发展,这一领域也正朝着又一个新的边缘学科——体育工程学发展。目前,在研究人体、器材与环境之间相互关系的基础上,体育仪器器材的研制主要包括以下几个方面。

1. 比赛/防护用器材

比赛器材是指在体育比赛中必须使用借以完成动作的器材,如撑竿、标枪等。防护器材则是指在体育比赛或健身锻炼中用于保护人身安全、避免运动损伤的器材,如护膝、护肘、护腕、头盔等。

在竞技体育领域竞赛规则允许的范围内,从运动生物力学的角度出发,在研究体育器材的运动力学规律的基础上,提出器材设计和改进的设想及要求,并为设计新的和改进旧的运动器材提供生物力学参数,这是一个非常重要的学科任务。但要成功有效地完成这一任务却是非常艰难的,一方面需要有创新的思维,另一方面还需要多个学科研究者的共同参与、通力协作才能够完成。下面所述的撑竿跳高项目所用的撑竿以及掷标枪项目所用的标枪,都是比赛使用器材经过不断改进而促进成绩大幅度提高的典型例证,从它们的演变历程可以看出应用高新材料及设计原理的科学化对体育仪器器材研制的重要性。

撑竿跳高项目的撑竿,从木质竿、竹竿、金属竿一直发展到玻璃纤维竿。木质竿重且弹性低,这一时期曾出现了“爬竿跳”技术,最好成绩是 3.58m,美国于 1889 年、英国于 1922 年分别废止了这一技术。竹竿质轻并具有较大弹性在 20 世纪初代替了木质竿,1942 年美国选手沃梅达姆以 4.77m 创造了竹竿时期的最高纪录。由于竹竿具有易断裂的缺点,在 20 世纪 40 年代中期,质地结实的金属竿(铝合金竿和轻质钢竿)逐渐取代了竹竿,由于金属竿的弹性不及竹竿,金属竿时期的世界最好成绩为 4.82m,仅比竹竿时期高出 5cm。玻璃纤维竿所具有的重量轻、弯曲大、反弹快等优点为优秀运动员不断创造新的世界纪录奠定了基础,玻璃纤维撑竿是一种玻璃钢制品,截至 1994 年乌克兰著名运动员布勃卡成功越过 6.14m,在玻璃纤维竿时期世界纪录共改写 51 次。

掷标枪项目中的标枪,可以通过改变其压心与重心之间的距离而增大其滑翔距离。1953 年美国运动员赫尔德设计了木质和铝质标枪,开创了现代“滑翔枪”的新纪元。1968 年,瑞典人又设计制造了“超级爱丽特”标枪,由于枪体完全采用钢质,不仅进一步提高了枪的滑翔性能,而且减少了颤动。1984 年民主德国运动员霍恩创造了 104.80m 的男子标枪世界纪录。这标志着当时的场地已不能适应比赛的需要,必须采取措施保证比赛的安全。基于比赛场地的安全和裁判工作的公正准确性等原因,国际田联于 1986 年和 1999 年分别对男、女标枪进行了重新调整。男子标枪将原标枪重心前移 4cm,并加粗了枪尾部直径,标枪的滑翔性能有所降低,且枪尖很容易先着地。女子标枪的重心向枪尖方向移动 3cm。通过这样的调整来解决裁判工作的困难。

另外,还有有利于提高运动成绩的体育装备的研制,例如专项运动鞋。在运动鞋的设计时,为了既能消除冲击力又能保证运动员获得足够的反弹力,运动鞋的底部材料就必须兼顾吸能材料与弹性材料的配合。中国运动员刘翔在雅典奥运会 110 米栏的比赛中以 12"91 的成绩平了世界纪录,获得了冠军,改写了亚洲人

无缘该项目世界冠军的历史。刘翔所穿的跑鞋就是一家国际知名品牌为他量身定制的,据说每一只跑鞋仅重 100g。2000 年悉尼奥运会前澳大利亚研制的鲨鱼皮式的“快速皮肤”,使 2000 年悉尼奥运会的游泳纪录几乎全部改写,它为澳大利亚和美国分获 6 枚、14 枚金牌立下了汗马功劳。从设计原理上,我们还可以通过泳装与人体整体设计,用泳装来弥补人体体形的不足,使参赛队员体形接近最理想体形。

有利于防止损伤的运动防护装备的研制,如头盔的开发。新型橄榄球头盔与传统头盔相比,最大区别是在新型头盔外层覆盖了一种新型树脂吸振缓冲材料,目的主要是防止运动员以头盔作为进攻武器冲撞对手。再如人体关节保护装置,在各项运动项目中以不妨碍专项所需完成的动作幅度、速度和发力过程的前提下,对于易受伤的相应关节配置防护性护具,典型的例证是橄榄球球员预防膝侧副韧带断裂的护膝。目前流行的轮滑运动所用的护膝、护肘、护腕等也是很好的运动防护设备。

2. 训练/锻炼用设备

训练用设备和锻炼用设备的最大区别是用于不同的目的,前者是为了运动员提高某种竞技水平而使用的设备,后者是为了普通人群健身而使用的设备。这是一个有广阔市场前景的领域。2005 年,中央电视台“2004 年度中央电视台设计创新之夜”的“运动健身类产品”评选中,耐克公司提供的一款“智能篮球”被评为“最意想不到产品”,一款“智能跑鞋”被评为“2004 年度特色产品”,这两款产品均是具有帮助人们提高训练、锻炼效果的创新设计产品。“智能篮球”上有一圈黄线和其他辅助图案,可以帮助人们观察投篮的抛物线,以提高投篮命中率;“智能跑鞋”在足底安装有芯片,可以帮助人们进行跑步的数据分析。德国人采用中国人发明的陶瓷技术,建造了高台滑雪跑道,实现了这一冰雪项目在不同地域和全季候的训练,解决了训练时间短的问题。另外还有健身路径用于室外健身锻炼,各种跑步机用于室内健身锻炼等。

3. 测试/监控用仪器

测试仪器指能够获取人体运动过程中各种生物力学参数的仪器,如果测试仪器能够实现现场实时反馈,测试仪器还可用于对运动过程的实时监控。从测试到监控是一个发展方向。在运动学研究中,影像拍摄与解析系统是一类重要的测试用仪器,如美国的 Peak 系统和 Ariel 系统、德国的 SIMI 系统、中国的爱捷系统等。瑞典产的 Qualisys 系统和美国产的 Motion 系统等利用红外拍摄技术可以达到实时测量和自动识别,加拿大产的 NDI Optotrak 系统采用了发光二极管的有源标志点;动力学研究则可利用三维测力台,如瑞士产的 Kistler 系统采用压电石英晶体技术、中国科学院合肥智能机械研究所研制的测力台采用应变测力原理等;另外,肌电仪可以用于对人体肌肉活动产生的生物电的测试,并且从带线测试发展到无线遥测,从大型发展到微型,便于携带。

值得介绍的是美国宾夕法尼亚州立大学运动生物力学实验室，它是北美乃至世界运动生物力学科研最具影响的权威性机构。国际运动生物力学界的代表性刊物 *Journal of Applied Biomechanics* 即是由这个实验室创刊并向全世界发行。该室的科研不仅重视竞技体育领域的器材研制，如各种专项运动鞋、运动保护设备、不同项目的运动场地地面材料等研究；同时，还向民用进行多方位的渗透和辐射，如枕头、床垫的材料、造型、构造，小轿车的座椅、安全带及防撞保护装置，伤残人所使用器械的上下坡时的助力、刹停、防倾翻以及报警求助，不同地理环境条件下所使用的野外露营生活用具与配套救生、生存、生活等装置。

在仪器器材的研制过程中，最重要的一个问题就是安全。网球名将辛吉斯就曾因为在比赛中崴脚而把研制鞋的科研人员告上法庭，因此，在器械研制时首先要考虑的就是安全问题。例如，跑步机上的电源开关可以用线连接在锻炼人的身上，一旦人的脚步跟不上跑步机的速度，可以自动把电源关掉。另外，人性化的设计也非常重要，例如跑步机上安装电视屏幕，可以使人一边锻炼一边欣赏节目。

我国的体育仪器器材研制方面还较为落后。据报道：在悉尼奥运会上，有 60 项科技新成果，包括训练方法、器材和服装等方面，但没有一项是中国制造的。体育仪器器材研制的落后，导致我国在奥运会比赛中的许多项目的参赛装备器材都是向国外购买，如悉尼奥运会我国从 14 个国家进口奥运会训练、比赛器材，有 25 个奥运会项目的使用器材是舶来品，但在使用效果上却并不十分理想。悉尼奥运会前我国花重金进口了 40 套鲨鱼皮泳衣，由于这些泳衣是根据国外运动员体型设计的，我国运动员普遍穿着不合体。另外，我国虽然是自行车生产大国，但高性能的比赛用自行车却只能向国外购买。乒乓球是我国的国球，“红双喜”、“双鱼”等体育用品企业已能够较全面地生产乒乓球装备，但是，目前我国运动员使用的无毒胶水和部分球拍胶皮，仍依赖进口。这些现象值得我国运动生物力学工作者深思，发展具有自主知识产权的体育仪器器材是我们的当务之急。金季春教授在首届体育工程高级研讨会上曾指出：体育仪器器材研制有一条重要的原则是“量体裁衣”，而不能“削足适履”。不同人种、国籍、族群等，会有显著的形态结构、运动功能等方面的差异，而运动员的个体差异更加突出，这就要求体育产品必须适应使用者的情况。我们应该清醒地认识到，他国发明的“超级自行车”、“神奇网球拍”、“水晶鞋”等基本上是按人家国家运动员的特征研制的，对他们是量体裁衣，对我们则是削足适履。这也就是为什么我们花了大价钱而没有明显效果的主要原因。如果始终依赖进口这些器材装备，一是被人占领市场，二是尚未开始比赛，我们就处于不利地位。据网易体育讯，2004 年雅典奥运会前夕，中国国家游泳队拿到了世界著名泳装品牌 Speedo 提供的专为中国队订制的第二代鲨鱼皮泳衣。为中国队特制的游泳服以红色和黑色为主色调，分别在女款的左胸和男款的腰部印有中国国旗。男队员的是长及脚踝和膝盖的两种泳裤，女队员的则是露臂的连体泳衣，也分长短两款。中国队并没有选择全部包裹上半身的款式。对此，总教练赵戈解释说：“鲨鱼服的