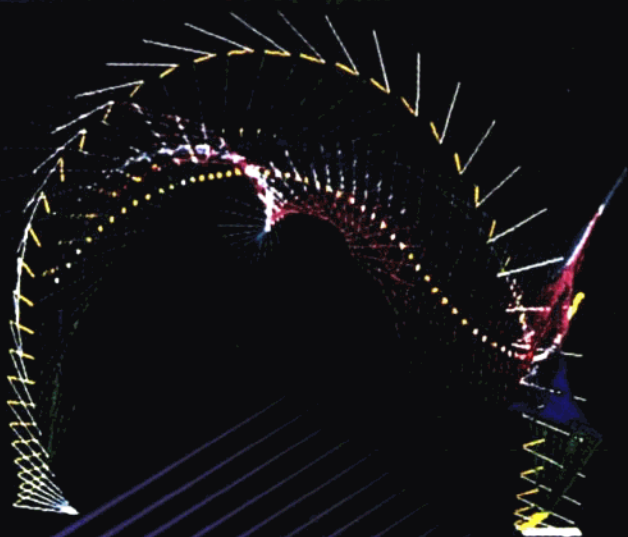


运动生物力学

忻鼎亮 著

YunDong ShengWu LiXue

YunDong ShengWu LiXue



6
9

东华大学出版社

运动生物力学

忻鼎亮 著

东华大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

运动生物力学 / 忻鼎亮著. —上海: 东华大学出版社,
2002.7

ISBN 7-81038-457-0

I.运... II.忻... III.运动生物力学 IV.G804.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 026047 号

执行编辑 夏志鸿

责任编辑 张益储

封面设计 王 斌

运动生物力学

忻鼎亮 著

东华大学出版社出版

(上海市延安西路 1822 号 邮政编码: 200051)

展望照排印刷有限公司排版 上海陆弄印刷厂印刷

新华书店上海发行所发行

开本: 850×1168 1/32 印张: 4 字数: 108 千字

2002 年 7 月第 1 版 2002 年 7 月第 1 次印刷

印数: 0 001—3 000

ISBN 7-81038-457-0/Q·01

定价: 18.00 元

序

上海体育科学研究所忻鼎亮研究员多年从事体育科学研究,取得过多项科研成果。他最近完成了一本《运动生物力学》著作,该书侧重论述两个方面的内容:一是数学物理基础的实际应用;二是与竞技体育结合的实例。

把运动变成数学,是牛顿的伟大贡献。体育运动复杂得很,有其内在的规律,这些规律通过探索、研究,可以归纳成数学表达,数学使科学简单化,可以通过数据采集、数学运算、信息处理,从而寻求到更加符合客观规律的运动技术,提高运动水平。

凡有规律的事物就是科学。探索规律的过程就是科学研究的过程。科学研究的成果就是知识。运用知识指导实践就能创新技术。这就是科学研究与技术创新之间关系的最简单描述。

运动生物力学是一门复合性科学,是以人体运动作为研究对象,综合运动学、生物学和力学的基础知识,研究体育运动中人体机械运动规律的一门科学,也称“人体运动力学”。运动生物力学是运用力学、数学、人体解剖学、人体生理学等学科的知识、理论和方法用以研究、探索人体运动的规律,通过对体育运动技术动作的记录、解析,而逐步发展、形成的一门应用学科。

随着现代科学技术的发展,特别是计算机技术、数码技术、虚拟技术和数学物理方法技术的飞速进步,为运动生物力学的研究与应用提供了先进的技术条件,因此,运动生物力学的研究与应用一定要跟上时代的发展和科学的进步,一定要在基础研究和实践应用上有新的发展。体育科研要加强对运动生物力学学科的建设。应特别欢迎理工院校的学生毕业之后能来体育领域从事体育科学研究,促进数学在体育科研上的应用,提高体育科研能力和

水平。

忻鼎亮研究员积二十余年体育科研和教学实践的总结,用严谨的治学精神,所著的《运动生物力学》突出了力学数学模型方法的内在原理和实际应用,这是一本具有体育科学研究和体育运动训练方面有参考价值的科学资料,必将为体育院校的学生弥补数理基础不足,为理工院校学生尽快进入应用,提供有理论基础和实践经验的借鉴。

国家体育总局机关党组副书记
原运动生物力学学会主任委员
赵炳璞

代序

祝鼎亮元新著出版（七絕）

忻慕高材累立言

君深左右自逢原

鼎新力學由生物

亮達清操靖節園

二〇〇二年三月

戈正銘敬題

前 言

运动生物力学是 20 世纪 70 年代兴起的一门边缘学科,它研究生物体运动的力学特征和规律,是人体生命科学的一个分支。

随着社会的进步和人们生活质量的提高,人体生命科学的研究在近几十年来迅速发展,其相关学科的研究成果也得到了广泛的应用,包括运动生物力学学科的科研成果也正在社会和经济发展中体现出它的价值。与此同时,在理工、医学、体育各类高等院校中陆续开设了这门课程。由于该学科的发展尚处于探索阶段,学科的构架也尚未定型,因此,运动生物力学的专著近年来极少见到(特别是在国内),各高校的运动生物力学的教材也未能统一。另外由于运动生物力学涉及到数学、力学、物理、计算机、生物、解剖、体育等各学科,很难为各个专业背景不同的学生编制出合适的通用教材。

本书是介绍运动生物力学研究方法(侧重于运动生物力学理论研究方法)的专著。它系统地阐述了将力学原理与人体运动相结合的各种理论方法及近年来国内外有价值的研究成果。另外,根据笔者二十年来的科研和教学实践,集中介绍了竞技体育中力学理论与运动实践结合的典型实例,在国内外同类著作中很少见到。

本书适用于各理工高校及体育院校的本科生、研究生作为运动生物力学的基础教材,也能用作力学界、体育界该学科的科研人员研究参考书。

本书在编写过程中得到上海交通大学刘延柱教授、清华大学贾书惠教授的指导,并荣幸地请到前全国运动生物力学学会主任委员、国家体育总局机关党委副书记赵炳璞同志作序,特别是台湾新

竹国立交通大学戈正铭教授(我在交大攻读硕士生时另一导师)为本书题诗代序,在此一并表示衷心的感谢。

由于运动生物力学涉及知识面很宽,限于笔者水平,错误在所难免,敬请读者指正。

作 者

2002 年 4 月

目 录

第一章 绪论	1
第二章 运动生物力学实验方法概述	6
第一节 运动生物力学常用的基本参数	6
第二节 人体惯量参数与力参数的测定	7
第三节 人体运动学参数的测定	13
第四节 运动生物力学实验方法的误差分析和规范化	19
第三章 运动生物力学的理论分析方法	26
第一节 理论方法的产生和发展	26
第二节 理论分析的方法和步骤	30
第三节 建立各种人体动力学方程方法简介	37
第四节 计算机数值仿真	53
第五节 能量法	63
第六节 理论方法解题实例	67
第四章 人体运动系统的生物力学	78
第一节 人体骨骼生物力学	78
第二节 肌肉生物力学	82
第三节 关节生物力学	87
第五章 运动生物力学在体育中的应用	95
第一节 标枪最佳出手角问题的研究	95
第二节 百米跑速度分配问题的研究	98
第三节 步枪立姿射击的稳定性	100

第四节 单杠大回环动力学特征的研究	103
第六章 结束语	109
参考文献	115

第一章 绪 论

一、运动生物力学的定义

运动生物力学是研究生物体运动与力学规律之间关系的一门学科。生物体和人体的运动是自然界最复杂的运动形式,对它运动规律的研究至今仍是最具挑战性的问题。人体(生物体)的运动不仅受人的大脑思维所控制,而且也必须遵循运动基本的力学规律。这决定了它与研究机械运动规律的经典力学方法根本性的不同。因此,也产生了一门专门研究人体(生物体)运动规律的学科——运动生物力学。

运动生物力学也是一门应用性很强的学科。它在充分阐明各种运动力学原理的基础上,探求人体运动动作的合理性和最佳运动方式,这为竞技体育运动(研究运动技术的最佳模式)和大众健身运动(研究运动形式与健康之间关系)的研究提供了理论依据,并在实践中得到了广泛的应用。

二、运动生物力学的分类和研究任务

按研究方法划分,运动生物力学学科大体可分为两类:

一是实验研究方法,它通过各种实验手段,测试记录人体运动的整个过程,并将其进行图数转换,用数学和物理的方法,对实测数据进行分析比较,从而对所测的实际运动合理性进行判别和诊断。这种方法以具体的运动个体作为研究对象,着重强调测试仪器的先进性、准确性和有效性,强调数据分析技巧和解释实际运动的经验与能力。它与精密仪器、计算机技术、数理统计及体育学科密切相关,是一门新型的实验学科。

二是运动生物力学理论研究方法,它侧重研究人体运动带有普遍意义的运动规律。它研究的途径是首先对人体运动建立与其相应的数学、力学模型,然后应用现有的力学理论,推导、计算、分析模型的运动,寻找其运动规律,并在此基础上指导人们进行符合力学规律的合理性运动。

运动生物力学的研究任务主要有以下几个方面:

1. 研究人体结构和机能的生物力学特征,其中包括人体呼吸系统、循环系统、神经控制系统及骨骼肌肉系统的力学特征。这些问题的研究与流体力学、粘弹性体力学、系统动力学等学科密切相关,是研究整个人体运动的基础工作,也是区别运动生物力学与经典刚体力学的本质所在。

2. 将人体视作由关节铰、肌肉骨骼及内部存在控制源和内能源的多体系统,用数学、力学模型对其运动进行模拟,从而进一步探索整个人体运动的规律,这部分研究与经典力学、数学密切相关,是运动生物力学理论研究方法的核心部分。

3. 用精密仪器、计算机模拟技术等高科技手段,对人体内外各部各局部及整体的运动作尽可能精确的测量,力求使人体运动图形全面数字化,从而对所需的各个局部运动及整体运动进行有效的数值分析。这部分研究内容与仪器测量、电子技术、计算机技术密切相关,是运动生物力学实验方法的核心内容。

三、运动生物力学的发展史

早在公元前,生物体的运动就引起古希腊的哲学家和自然学家亚里士多德(公元前 384 ~ 322)的兴趣,他注意在日常生活中观察人和动物运动的力学问题。15 世纪末意大利科学家 Leonardo Da Vinci(列奥纳尔德·达·芬奇)(1452 ~ 1519)用人的尸体研究解剖学,从解剖学和力学的基础上来研究人体的各种姿势和运动,并提出人体的运动必须服从于力学定律。他认为:“力学之所以比其他科学更为重要和实用,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。”17世纪意大利解剖学家 Alfoonso Borelli (阿·鲍列里)(1608~1679)进一步把力学和解剖学结合起来,研究人体运动。他完成了第一部运动生物力学的著作《论动物的运动》。19世纪德国生理学家 W. Weber(维伯尔)兄弟、法国生理学家 Mahler(马勒)、美国摄影师 Mayberry(麦布里奇)等开始采用带尺、秒表、照相技术等对人体运动的空间和时间进行客观描述,使运动生物力学的研究具备了基本的实验条件。

俄国 И. М. Семенов(谢琴诺夫)(1829~1905)提出对人体运动要从生理学和生物力学角度进行分析。他在《人体功能运动概论》中阐述了人体运动各器官的功能,在运动中骨杠杆和肌肉拉力作用及神经支配等问题。Ч. X. Лескавт(列斯加夫特)(1837~1909)于1877年所著的《身体运动理论》以人体形态、生理机能和生物力学观点阐述学生身体练习的任务。两者均被称为俄国运动生物力学的奠基人。

进入20世纪中叶,体育、医学和康复医学的发展,对运动生物力学提出了不少值得研究的课题。医学和生物学家们逐渐地意识到要解决这些问题不考虑力学的因素是不行的,应采用已成熟且系统的力学理论来研究生物的运动、生理与病理和力之间的关系。而力学工作者们正在寻求力学发展和应用的新领域,他们发现用力学分析方法研究生物和人体运动有广阔的前景。两者结合的结果,使生物力学这门边缘学科应运而生,得以发展。

20世纪初,德国 Braune(布拉温)和 Fisher(菲舍尔)是用解剖尸体的实验方法测定人体各部分相对重量和重心位置,并开始用动力学的方法研究人体运动。他们提供的数据得到生物力学的科技工作者广泛使用。

20世纪30年代,英国生理学家 Hill(希尔)对肌肉力学的研究获得诺贝尔奖,他取青蛙的离体缝匠肌进行实验,得出著名的 Hill 方程,即肌肉收缩的力速方程。他还提出估算人体运动时,空气阻力的经验公式。前苏联现代运动生物力学创始人之一 Bernstein.

H. A(伯恩斯坦),他主张从神经控制论观点来研究人体运动,他在1947年所著的《论动作的结构》中,反映了系统论、控制论和信息论的观点。他的动作系统和运动行为结构的思想原则,以及运动感觉修正的理论对今后运动生物力学研究的发展具有重要的意义。

1967年召开第一届国际生物力学学术讨论会,1973年正式成立国际生物力学学会(International Society of Biomechanics,简称ISB)。1975年开始每两年召开一次学术论文报告会,出版一集论文集。近30年运动生物力学得到迅速的发展,20世纪80年代运动生物力学在体育界可称鼎盛时期,康复医学的发展更为迅速,为此1982年先后成立了国际运动生物力学学会(International Society for Biomechanics in Sport,简称ISBS)和国际康复医学学会(International Society of Rehabilitation Medicine,简称ISRM)。

新中国成立前有些师范体育系就已开设“人体机动学”课程。1959年开始引进前苏联顿斯柯依的《运动生物力学》教材,此后我国大多数体育院、系相继开设了《运动生物力学》课程。国家体委体育科研所建立了生物力学研究室,在我国初步形成一支教学和科研队伍。1980年我国成立了中国体育科学学会,同时成立中国运动生物力学学会。不少省市的体育科研所也建立了生物力学研究室,十分重视实验室的建设,引进和研制了不少现代化的仪器设备,具有较高的研究能力。体育院校、系规定运动生物力学是学生的必修的专业基础理论课程。非体育院校的力学工作者也积极参加人体的基本参数的测定、人体运动的分析和仪器的研制,现已形成较强的科研队伍。

随着工业的发展和生活水平的提高,对康复医学和康复器械的要求也高了,对保护人的生命、伤前后的定量诊断和科学治疗均亟待解决,因此20世纪中叶逐步形成颅脑损伤生物力学、骨生物力学和康复医学等学科。它们的任务是研究损伤机理、损伤的发展过程及对其严重程度做出判断,为损伤防护、治疗以及制定某些

规范和措施提供理论依据。在 20 世纪 80 年代我国发展十分迅速,已有部分医学院校设立康复医学专业,不少大医院的骨科也设立生物力学研究室,形成医学与力学的结合点。中国力学学会和中国生物医学工程学会联合组建了生物力学专业委员会。至 1996 年已召开五届全国生物力学学术会议,交流论文的深度和广度一届比一届有明显地提高。其最大的特点是:力学与医学结合逐渐密切,研究成果的水平有了很大提高;重视科技开发工作;一批年轻的生物力学工作者正在迅速成长。

第二章 运动生物力学实验方法概述

运动生物力学实验方法是运动生物力学重要研究方法之一。它的基本内容在体育院校编写的运动生物力学教材中均有比较完整阐述。本书重点突出运动生物力学理论方法,但对运动生物实验也将从不同于一般体育院校教材的角度进行扼要的阐述,主旨将突出实验方法中深层的测试原理探索和测试技术规范化的论述。

第一节 运动生物力学常用的基本参数

运动生物力学的常用基本参数大致可分为三类。根据牛顿力学的基本公式 $[F] = [M] \cdot [a]$,常用参数分为人体惯量参数、力参数和运动学参数。

人体惯量参数是与被测量的个体人体形态有关的参数,主要有人体各分体的质量 m_i ,各分体的质心位置 c_i ,各分体绕三个轴的转动惯量(总称为人体惯性张量) J_{ix} 、 J_{iy} 、 J_{iz} 。这些是人体质量基本参数,如有进一步深入研究需要,尚能模拟测量骨骼的弹性模量,肌肉的粘弹性系数及血液流变学参数等(这些与运动生物医学工程学相关,本书不作赘述)。由于人体是有意识的生命体,所以人体惯量参数测量十分复杂,已超出了普通测量学范围,是一项很有研究价值的系统工程。这项工程经各国专家半个多世纪的研究,已完成了各具特色的人体惯量参数系统。目前在运动生物力学研究中主要应用大致有日本松井秀治系统、前苏联扎齐奥尔斯基系统和美国汉纳范系统。特别需要一提的是我国清华大学与白求恩医科大学在郑秀瑗教授主持下,在 1995 年通过鉴

定的《中国正常人体惯性参数测定与统计》的研究成果,研制成了一套中国人体质量参数,填补了我国没有自己人体惯量参数系统的空白。

力参数是运动生物力学测量的另一项重要参数,主要包括外力 F 、外力矩 M 及人体各分体间的内力与内力矩。其测量的主要仪器和方法是用测力平台测外力和外力矩,用肌电测仪和等速测力仪测试内力和内力矩。除此之外,还有一些特殊的运动配有专用的各种测力仪器。这些将在以下几节中作进一步阐述。

运动学参数的测试是运动生物力学实验方法中应用最广泛的实验测量。其主要参数包括人体各分体运动的位移 $\vec{s}$ 、速度 $\vec{v}$ 、加速度 $\vec{w}$ 及角位移 $\vec{\theta}$ 、角速度 $\vec{\omega}$ 、角加速度 $\vec{\epsilon}$ 。测量这些参数的主要仪器是带有高速摄像的图数转换系统。它的测量方法、测量原理及各项应用技术是运动生物力学实验方法中最核心的内容。

第二节 人体惯量参数与力参数的测定

人体惯量参数与力参数的测定都是相当复杂的实验方法。在近期出版的《运动生物力学进展》(国防工业出版社)和《运动生物力学测量方法》(北京体育大学出版社)对这内容有相当详尽的介绍,故本书仅作较简单的提纲式论述。

一、人体惯量参数测定

人体整个惯量参数系统包括人体形态参数和质量惯量系数,它随着不同的个体而不同,但其中也存在共性的规律。下表为中国青年女性基本人体惯量参数,见表 2-1。