

高等学校教材

运动生物力学 (第二版)

《运动生物力学》编写组 编

高等教育出版社

高等学校教材

运动生物力学

(第二版)

《运动生物力学》编写组 编

高等教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

运动生物力学/《运动生物力学》编写组编. —2 版.

北京:高等教育出版社,2000 (2002 重印)

ISBN 7-04-007968-2

I. 运… II. 运… III. 运动生物力学-高等学校-教材 IV. G804.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 20065 号

运动生物力学 (第二版)

《运动生物力学》编写组 编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 高等教育出版社印刷厂

开 本 850×1168 1/32

版 次 1988 年 3 月第 1 版

印 张 12.75

2000 年 5 月第 2 版

字 数 320 000

印 次 2002 年 5 月第 4 次印刷

定 价 13.10 元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

内 容 提 要

本书依据全国普通高等学校体育教育专业课程方案的精神、在总结十余年第一版教材实践经验的基础上编写而成。全书分绪论、运动器系的生物力学特性、人体惯性参数、人体平衡的生物力学、人体运动的运动学、人体运动的动力学、体育运动中的流体力学、人体基本体育动作的生物力学、运动生物力学研究方法和测量技术、运动生物力学教学实验以及参考文献共 10 章。

可作为全国普通高等学校体育教育专业学生用书。本书同时编写出版了配套习题指导教材。

责任编辑	肖彤岭
封面设计	张楠
责任绘图	李维平
版式设计	周顺银
责任校对	尤静
责任印制	韩刚

编写说明

运动生物力学教材以1997年2月国家教委办公厅颁发的《全国普通高等院校体育教育专业课程方案》(试行)中培养目标的要求,以及运动生物力学课程基本要求为依据,坚持教育改革方向编写而成。全国高校体育教育指导委员会指定由苏州大学为全国运动生物力学教材编写工作召集单位,并组成教材编写组。编撰而就。

全书共分九章,由叶永延教授主编,李建设教授、潘慧炬教授任副主编,参加编写的有(按教材章序)李建设、叶永延(第一章 绪论);赵焕彬、陆阿明、王小虹(第二章 运动器系生物力学特性);许红峰(第三章 人体惯性参数);钱雯(第四章 人体平衡的生物力学);郑亦华、潘慧炬(第五章 人体运动的运动学);叶永延、李建设(第六章 人体运动的动力学);李树屏(第七章 体育运动中的流体力学);邓重生、陆阿明(第八章 人体基本体育动作的生物力学);潘慧炬(第九章 运动生物力学研究方法与测量技术);王小虹、赵焕彬(第十章 运动生物力学教学实验),黄敏和张秋霞也参加了工作。

本教材编写前进行了深入的讨论,经过两次修改,又进行书面联系修改,有的院校还对新编教材内容进行实验性教学,再广泛听取意见。1998年底召开审稿会议,听取专家、教授的意见,参加审稿的有教育部全国高校体育教育指导委员会委员、技术组副组长、苏州大学体育学院院长王家宏教授,南京体育学院戴玉生教授,上海师范大学体育与卫生学院林锡乾教授。

本教材在编写过程中贯彻教学改革的要求、明确指导思想,精选教材内容。教学内容是根据体育教育专业培养中学体育师资

的要求,结合中学体育教学实际介绍运动生物力学的规律。本教材主要特点有:①运动生物力学以研究人体运动为目标,以体育动作为核心,结合力学的规律,对运动生物力学概念提出了新的看法。②增添“运动器系生物力学特性”一章,分别从骨、关节、骨骼肌进行阐述,又将三者构成一整体“运动链”进行阐述。③人体惯性参数这一章除了介绍国外人体惯性参数外,第一次在教材中选用了中国人体惯性参数的科研成果。④人体运动包括平动、转动的运动构成完整的一章,将人体各种运动状态变化的原因列为人体运动的动力学一章,删去“人体转动力学”一章,增加“人体基本体育动作的生物力学”一章,并列在基本理论介绍之后,可以充分利用已学的理论进行生物力学分析,同时结合起跳对一个整体动作进行分析,有利于提高分析动作的能力。⑤运动生物力学教学实验作为第十章,克服过去缺少实验内容的不足,形成前面讲理论,后面有实验以培养学生动手能力。⑥每章结束有习题,全书后面有英汉对照专业词条,以及参考文献,有利于学生复习、作业、学习和查找。

运动生物力学是一门新的交叉学科,在学科体系上还不够成熟和完整,在内容方面尚不够完善。本教材在汲取了国内、外科研成果和教学经验的基础上,经过反复研究而确定本教材的体系和内容,使之具有自己的特色。

由于我们业务水平有限,本书在较短时间内编写而成,疏漏与不妥之处敬请读者提出批评指正,以便进一步修改。

编 者

1998年12月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 运动生物力学概述	1
第二节 运动生物力学的任务和内容	5
第三节 运动生物力学与相关学科的关系	10
第四节 运动生物力学发展简史	11
第二章 运动器系的生物力学特性	18
第一节 材料力学基本概念	18
第二节 骨的生物力学特性	26
第三节 关节软骨、韧带、肌腱的生物力学特性	37
第四节 人体关节力学	48
第五节 骨骼肌的生物力学特性	51
第六节 运动器系整体的生物力学性能与特点	62
第七节 人体动作结构与动作系统	68
第三章 人体惯性参数	75
第一节 人体惯性参数概述	75
第二节 人体环节质心和人体质心	87
第三节 人体转动惯量的测量原理与方法	100
附表	106
第四章 人体平衡的生物力学	122
第一节 人体平衡动作的力学原理	122
第二节 人体整体平衡的生物力学条件和特点	136
第三节 人体平衡动作的生物力学分析	144
第五章 人体运动的运动学	154
第一节 人体的简化	154

第二节	人体运动中的参照系与坐标系	157
第三节	人体运动的分类和运动学特征	164
第四节	人体运动中速度变化的规律	177
第五节	人体转动运动	188
第六节	体育运动中的抛体运动	193
第六章	人体运动的动力学	204
第一节	人体运动中的力	205
第二节	牛顿运动定律及其在体育运动中的应用	217
第三节	动量定理和动量守恒定律在体育运动中的应用	230
第四节	人体转动力学在体育运动中的应用	241
第五节	人体运动的功、能及其转换	255
第七章	体育运动中的流体力学	264
第一节	流体的主要物理性质及连续介质模型	264
第二节	流体静力学	267
第三节	流体运动的连续方程和伯努利方程	275
第四节	人体和器械在流体中运动的阻力和动力	281
第五节	运动器械飞行的一般特性	291
第八章	人体基本体育动作的生物力学	297
第一节	推与拉动作	297
第二节	鞭打动作	301
第三节	缓冲与蹬伸动作	303
第四节	扭转、相向运动与摆动动作	307
第五节	各种起跳的生物力学分析	311
第九章	运动生物力学研究方法和测量技术	319
第一节	运动生物力学参数特征	321
第二节	运动生物力学研究方法	329
第三节	运动生物力学测量技术(简介)	347
第十章	运动生物力学教学实验	360
第一节	实验须知	360

第二节 实验内容	362
附录 运动生物力学常用英汉词汇	382
参考书目	395

第一章 绪 论

〔内容提要〕 本章阐述运动生物力学概念、人体机械运动表现形式与特点；提出运动生物力学的学科任务和课程任务，明确学习运动生物力学的指导思想；论述运动生物力学与运动解剖学、运动生理学、力学等相关学科的关系，介绍运动生物力学的发展简史和发展趋势。

第一节 运动生物力学概述

一、运动生物力学概念

自然界是由物质组成的，自然界的各种现象都是物质运动的形式。“就最一般的意义来说，运动是物质的存在形式、物质的固有属性，它包括宇宙中所发生的一切变化和过程，从简单的位置变动起到思维止”。

运动分广义和狭义两种。广义的运动是指自然界各种物质存在的形式，物质固有的属性。狭义的运动是指物体的机械运动。运动生物力学中所指的运动是运动动作或体育动作。

生物学是研究物体生命现象规律的科学，它研究生物体形态、结构、功能及其统一；生物体内部之间的相互作用，局部和整体的统一；生物体与外界环境之间的相互作用中生物体与环境的统一。运动生物力学中指的生物是活的人体。人体既从属于自然科学中生物科学规律的生物人，又从属于社会科学规律的社会人。

力学是研究物体机械运动规律的科学。它所研究的客体是物

体的空间位置随时间变化的规律以及变化的原因，几乎在物质的一切运动形式中都包含有这种最基本、最简单的运动形式。

生物力学作为生物物理学的一个分支，是力学与生物学交叉、渗透、融合而形成的一门边缘性学科。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，它是从力学的原理出发来研究复杂的生物体。由于研究的对象和领域不同，生物力学又分为人类工程生物力学、劳动生物力学、整形生物力学、康复生物力学、医用生物力学等。生物力学本身已超越了传统的学科界线，它已是数学、力学等学科与生物学相互渗透的新兴学科。

运动生物力学并非体育学、生物学和力学的简单总和，而是几大学科之间的交叉学科。运动生物力学是生物力学的一个分支学科，过去学者们对这门学科的命名并不统一。有把这门学科定名为“运动学”(Kinesiology)或称“人体运动学”(The Kinesiology of Human Body)，意思是研究人体运动的科学；日本使用“身体运动学”，还有称“人体运动力学”(The Mechanics of Human Movement)；也有称为“运动技术生物力学”(The Biomechanics of Sports Techniques)，指研究运动技术的生物力学，有些国家称此学科为“动作分析”。目前国际上比较统一的学科名称是运动生物力学(Sport Biomechanics)。

Sport Biomechanics 中的 Sport 可以译为“运动”或“体育运动”，人们理解 Sport 指的是竞技运动，这样就误解了运动生物力学学科，认为是仅与竞技体育有关的学科。原苏联称该学科为 Биомеханика Физических Упражнений，译成汉语也是运动。运动生物力学，就字面而言是身体练习的生物力学。不同学者对运动生物力学学科的定义有不同的看法，较具代表性的观点认为运动生物力学是研究人体机械运动规律的科学；也有认为运动生物力学是研究人体运动力学规律的科学。问题的关键是机械运动规律不足以表征人体运动的力学规律，因为人不是机器。人的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。以体育中手臂的鞭打动作为例，一般机械运动可解释为角动量由近侧端环节依次制动而传递至远侧端，直至末端环节——手，然而手臂鞭打过程中肌肉参与工作的方式，肌肉协作与肌肉对抗，关节结构特点和关节内摩擦以及骨杠杆活动都对手臂鞭打、制动起着重要的作用。

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。运动生物力学研究体育运动中人体所进行的各种体育动作，以及在各种不同条件下，人体产生运动和运动状态改变的力学和生物学原因。因此，运动生物力学研究应以体育动作为核心，运用人体解剖学、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规律，并根据影响人体运动的内部和外部条件寻求人体运动技术的合理性和更佳化，以及训练手段的有效性，为发展运动能力提供理论依据。由此可知，运动生物力学是体育科学中的一门交叉的新兴边缘学科。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。

二、运动形式

自然界物质的运动，在其发展过程中可经历多种运动形式，极为复杂，但归纳起来不外乎两种：一种是简单的、低级的运动形式。例如，物理运动、化学运动、机械运动等。另一种是复杂的、高级的运动形式。例如，生物运动，人还有更高级的运动及其产物，即思维。

简单的、低级的运动形式中，物理运动、物态的改变，热、电、声、光等的分子运动，化学运动、化合物分解与合成的原子运动形式，以及一个物体相对于另一个物体的位置改变均属于机械运动。

复杂的、高级的运动形式是生物运动。生物运动包括新陈代

谢、生长发育等，其基本特征是新陈代谢，这是生物体包括人体所固有的属性。新陈代谢包含有物质代谢和能量代谢，对人体而言，还包含一种更为复杂的运动，即思维和意识。

运动生物力学的研究对象是活的人体，是对人体运动力学规律性的研究，因为人体所进行的简单的、低级的运动形式必然受到人体高级的、复杂的运动形式所支配、控制，受到思维、意识的调节，而人体进行的复杂的、高级的运动形式中也必然包含有简单的、低级的运动形式的存在。因此，人体运动的一切运动技术动作都是后天形成的，是有意识的运动行为。人体高级的运动形式最终的外部表现一定是肌肉活动导致人体局部和整体在空间和时间的位移。

三、人体运动的复杂性

人体运动是自然界最复杂的现象之一，活的人体就其本质是一个开放的、复杂的巨系统。“开放”是指人体与环境而言，人体与环境有交流，有物质和信息的交流。复杂是指组成成员数目极多，达数十亿，种类多，各不相同，而成员之间的相互作用又多种多样，异常复杂，人体是一个不连续的多界面、多细胞结构、多功能的复杂神经反馈作用的，具有情感意识的复杂生物材料系统。人体运动是在内外动因作用，由神经系统协调全身各器系，通过运动器系活动直接完成运动动作。人的意识又参与人体运动的控制，使人体运动动作成为自觉的、有目的的、有意识的行为活动，通过人体神经的不断正、负反馈使动作达到准确精细的程度。

四、人体的机械运动

（一）人体机械运动的表现方式

人体机械运动的表现方式有：人体某一部分相对身体另一部分的空间、时间位移；人体整体相对外界环境的空间、时间位移；由人体局部位移而造成器械的空间位移。

(二) 人体机械运动的特点

第一, 人体机械运动有很大的主动性和可变性, 而不决定于外部条件。人体系统本身具有能量储备, 可不随外界影响而随时释放, 并可转化为对外界做功。

第二, 人体长时间连续工作或运动后, 易出现疲劳, 但经过休整可以完全恢复; 物体(机械)虽能较长时间连续工作, 一旦发生“疲劳”就不可完全恢复。

第三, 人体的大部分机械运动形式, 尤其是体育技术动作都是后天、自发或自觉地形成的。语言文字在人体机械运动特别是在体育技术动作的形成、重建、巩固和自动化过程中起着极为重要的作用。

第四, 人体机械运动受大脑皮质的控制、调节并有意识参与。

第二节 运动生物力学的任务和内容

一、运动生物力学的任务

运动生物力学对于体育教育专业学生既是一门专业基础理论学科, 又是与体育实践紧密相连的应用性学科。

(一) 运动生物力学学科任务

运动生物力学学科的任务极为广泛, 不仅对促进全民健身锻炼科学化, 而且对提高运动员竞技运动水平都具有重要的指导意义。其主要任务应包括以下几个方面:

1. 研究人体结构与运动功能之间的相互关系 在人体运动中, 局部与整体, 各个器官系统之间的协调是发展运动能力, 提高运动水平的生物力学基础, 也是运动生物力学理论研究的基本任务。

2. 研究人体技术动作的规律 人体技术动作千差万别, 要

研究引起这些差别的原因,研究人体运动的力学原因和生物学原因,研究体育教学中人体各项动作技术的生物力学原理,揭示动作技术结构的规律性和合理性,指导体育教学和运动训练。

3. 研究运动技术的最佳化 通过对各项优秀运动员运动技术的生物力学研究,进行技术诊断,提出合理的生物力学参数,找出改进技术的措施,探索合理和最佳的动作技术方案,以提高竞技运动训练的科学性和竞技运动水平。

4. 研究、设计和改进运动器械 体育运动中,人体或器械运动,都是人体与运动场地或运动器械相互作用的结果,因此研究、设计和改进运动器械,使之符合生物力学原理,既符合于体育运动实际的需要,又为运动成绩的不断提高创造了条件。为全民健身战略的实施服务,为运动生物力学学科的应用研究提出了丰富的研究任务和更高要求。

5. 研究运动损伤的原因和预防措施 通过对人体运动器系的生物力学研究和对运动技术的生物力学分析,一方面可以揭示运动器系的形态结构和运动功能的统一性和相互制约性,从而建立合理的动作技术以防止运动器系发生损伤。另一方面,可以揭示不同运动动作对人体局部载荷的影响,找出运动器系发生损伤的力学原因和生物学原因,从而采取预防措施,一旦发生运动器系损伤,可以选择合理的生物力学康复手段。

6. 为运动选材提供生物力学参数 研究各项运动技术的生物力学特征,提出完成动作时人体应具备的形态、功能素质的条件。例如,投掷运动员在技术素质相同的情况下,身材较高为好;又如,跳跃运动员腿长有利等,为运动选材提供生物力学理论依据。

(二) 运动生物力学课程任务

高等学校体育教育专业将运动生物力学作为一门必修的专业基础理论课程,其主要教学任务如下:

第一,深刻理解体育动作的生物力学原理,探索运动技术的

力学规律。例如，人体落地时屈膝可以达到对力的缓冲，为什么？生物力学的理论依据是什么？前滚翻时为什么要强调团身的力学意义？等等。

第二，扩大知识视野。人体在完成各种体育动作时，可运用人体解剖学的知识进行动作分析，又可以运用生理学的知识进行解释，同时可以运用运动生物力学的知识进行力学评价。

第三，学习从事运动技术科学研究的生物力学理论和方法。本科学学生应具有基本的体育科学研究能力，开设和学习运动生物力学课程可以帮助学生掌握人体运动时的运动生物力学指标。例如，起跳速度、瞬时速度、人体重心位置等，并且运用运动生物力学的原理和方法测定与计算所需的指标参数。

二、运动生物力学的课程内容

运动生物力学在高等学校体育教育专业课程方案中作为必修课，其主要教学内容有：

(一) 运动生物力学绪论

阐述运动生物力学的定义，人体机械运动及其特点。了解运动生物力学学科任务及教学任务和内容，了解运动生物力学与相关学科的关系，了解运动生物力学发展简史及发展趋势。树立正确的学习指导思想，激发学生对本课程的学习兴趣。

(二) 人体运动器系的生物力学特性

阐述人体骨、关节、韧带、肌腱的生物力学特性，重点阐述骨骼肌的生物力学特性。介绍骨骼肌三元素模型，阐述肌肉收缩张力与肌长度变化间的关系、肌肉收缩张力与肌肉收缩速度的关系，力变化的速度（力的梯度），阐明运动器系整体的生物力学特性，骨、关节、肌肉的相互作用。分析人体运动动作结构与动作系。

(三) 人体惯性参数

阐述人体惯性参数的概念，阐述人体重心、环节重心的测量方法、分析方法和人体转动惯量的测量方法及计算方法。明确建