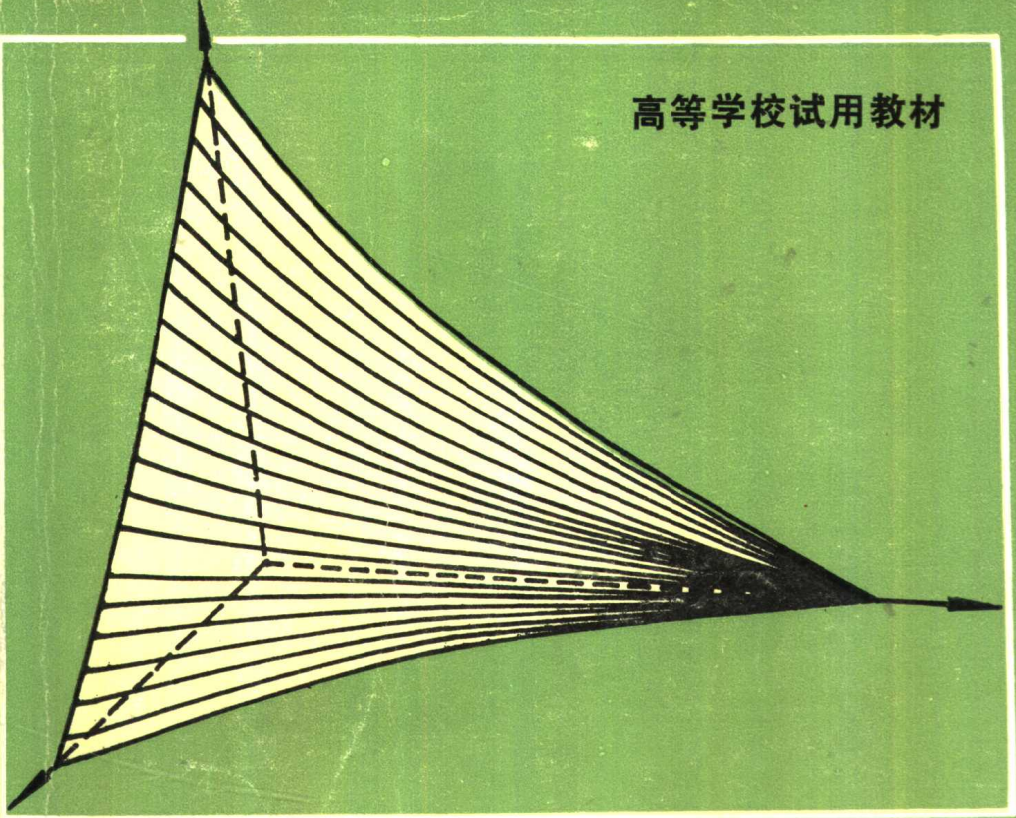


高等学校试用教材



运动生物力学

运动生物力学教材编写组

高等教育出版社

高等学校试用教材

运动生物力学

运动生物力学教材编写组

高等教育出版社

内 容 提 要

本书共分 10 章,重点阐述人体运动的动作构成和组合;人体运动的静力学、动力学、运动学;体育运动中的转动力学、流体力学;身体运动的能量、功率和动作效率,以及运动生物力学的研究方法与测试手段、人体运动的生物力学特征与动作分析。

本书可作为高等学校体育专业的教材,也可供体育科研人员、教练员的参考。

高等学校试用教材

运 动 生 物 力 学

运动生物力学教材编写组

*

高等教育出版社出版

新华书店总店北京科技发行所发行

文字六〇三印刷厂印装

•

开本 850×1168 1/32 印张 15.125 插页 2 字数 364 000

1988 年 4 月第 1 版 1991 年 4 月第 1 次印刷

印数 9401—14412

ISBN 7-04-000893-9/Q·58

定价 4.75 元

编写说明

本教材是以1980年原教育部颁发的《高等师范院校体育专业教学计划》(试行草案)、1982年《关于编写高等师范院校体育专业各科教材的通知》精神,以及1985年颁布的《高等师范院校体育专业运动生物力学教学大纲》为依据,由东北师范大学为教材编写工作的召集单位,并组成教材编写组集体完成的。

本教材共分10章。参加编写的有(按教材章序):程国庆(东北师大)撰写第1、2、10章;何捷(杭州大学)撰写第3章;郑亦华(苏州大学)撰写第4章;叶永延(苏州大学)撰写第5章;秦正光(北京体育师范学院)撰写第6、7、8章;李隽培(杭州大学)撰写第9章。此外,傅震(上海师范大学)和刘厚生(华中师范大学)也参加了编写组的工作。本书最后统稿人程国庆。

编写组对教学大纲进行认真讨论后写出初稿,半年后经修改形成了二稿,油印成册发送给全国有关高等师范院校的本专业任课教师征求意见。1984年8月,在北京体育师范学院召开了编写组扩大会,根据大家意见对书稿做了修改,形成三稿,作为试用本供内部使用,同时进一步广泛征求意见,经过修改和加工,于1985年7月在青岛召开了审稿会。审稿人员有彭望震(武汉化工学院)和秦正光(北京体育师范学院)。

本教材在编写过程中,贯彻了高等师范院校体育专业教材编写工作的各项原则和有关规定,努力做到以马列主义为指导思想,通过学科具体内容体现辩证唯物主义观点;在加强“三基”的基础上力求反映本学科国内外先进科研成果,反映现代科学技术的新成就;力求做到理论联系实际,在加强基础理论的同时,注重基本技能的培养。

应当指出,运动生物力学是门新兴的边缘学科,在学科体系和内容方面尚不够完整统一。我们在汲取国内外新成果和教学实践经验的基础上,经过反复研究确定了本教材的结构体系和内容。本教材的主要特点是在第二章中确立了一个对运动动作、动作系统、运动行为、自我控制及其发展规律的较为完整的学科理论体系;在第八章做为本学科的新领域从热力学角度引入了人体运动的能量、功率,以及体育运动的动作效率的内容。

由于我们的业务水平有限,不妥之处敬请同志们提出宝贵意见,以便进一步修改。

运动生物力学编写组

1987年8月

目 录

第一章 绪论	1
一、概述	1
二、运动生物力学的任务和内容	5
三、研究运动生物力学的指导思想	7
四、运动生物力学发展简史	9
第二章 人体运动的动作构成和组合	14
第一节 人体运动的动作抽象和简化	14
一、人体简化模型	14
二、生物运动链	17
三、生物运动链的运动	20
四、运动的自由度和约束度	22
第二节 人体运动的动作结构	24
一、动作结构的概念	24
二、动作形式(运动学特征)	25
三、动作中力的作用(动力学特征)	27
第三节 体育运动的动作组合	29
一、动作系的组成	30
二、动作系的结构特点	31
三、动作系的发展方向	35
四、动作系结构的发展	38
第四节 运动动作的自控体系	41
一、信息结构	41
二、自控结构	42
第三章 人体运动的静力学	44
第一节 体育运动中的静力性动作	44

一、静力性体育动作的特点	45
二、平衡的种类	46
第二节 静力性动作的力学原理	48
一、基本概念	48
二、力系的简化和平衡	55
第三节 静力性平衡动作的生物力学条件	72
一、人体重心概念	72
二、人体平衡的力学条件	74
三、下支撑静力性动作稳定性的判定	78
四、人体平衡的生物学因素	81
第四节 测定人体重心的方法	84
一、人体各环节相对重量和重心位置的确定	84
二、图解法测定人体重心	85
三、分析法测定人体总重心	87
四、用第二类杠杆法直接测定人体总重心	88
五、用等边三角形平衡台直接测定人体总重心	89
附一、松井秀治的数据	90
附二、扎齐奥尔斯基的数据	92
附三、日制运动分析仪(或称影片分析仪)	95
第四章 人体运动的运动学	96
第一节 人体运动的相对性和参照系	97
一、质点运动与人体运动	97
二、运动的相对性	99
三、参照系和坐标系	99
四、惯性参照系与非惯性参照系	104
第二节 人体运动的形式	106
一、直线运动和曲线运动	107
二、平动、转动和平面运动	110
三、人体运动时运动学量的四个特点	112
第三节 人体运动的速度、加速度变化规律	113
一、几个基本概念	113
二、速度矢量的合成和分解	117

三、匀速直线运动	120
四、变速直线运动	121
第四节 人体及器械的抛物体运动	131
一、抛物体的运动	131
二、运动的叠加原理	131
三、抛出点与落地点在同一水平面上的斜抛物体运动	132
四、抛出点与落地点不在同一水平面上的斜抛物体运动	134
五、抛物体运动的总体规律	137
第五节 人体整体及局部肢体的转动和平面运动	140
一、曲线运动的概念	140
二、圆周运动	141
三、曲线运动中的瞬时加速度	144
第五章 人体运动的动力学	148
第一节 人体运动中的力	148
一、力的概念	149
二、人体内力	149
三、人体外力	150
四、人体内力与外力的相对性及其关系	150
第二节 牛顿第一运动定律——惯性定律	151
一、惯性定律的概念	151
二、惯性定律的内容	152
三、惯性定律在体育运动中的应用	155
第三节 牛顿第二运动定律——加速度定律	155
一、加速度定律的概念	155
二、应用牛顿第二定律应注意的几点	157
三、力的单位	158
四、隔离法与受力分析	158
五、第二运动定律在体育运动中的应用	158
第四节 牛顿第三运动定律——作用与反作用定律	162
一、牛顿第三定律的概念	162
二、牛顿第三运动定律在体育运动中的应用	163

第五节 动量定理和动量守恒定律	166
一、动量的概念	166
二、冲量和动量定理及其在体育运动中的应用	167
三、动量守恒定律及其在体育运动中的应用	173
第六节 体育运动中人体所受的主要外力	177
一、重力	177
二、弹性力	179
三、摩擦力	180
四、支撑反作用力	183
五、介质作用力	185
六、向心力	186
七、非惯性参照系与惯性力	189
第七节 功、能及其原理	190
一、功	191
二、功率	193
三、机械能	195
第六章 体育运动的转动力学	203
第一节 体育运动中的转动动作	203
一、体育运动中人体转动动作的种类	203
二、体育运动中各种转动动作的目的性和特点	206
三、有关刚体转动的力矩和偏心推力	208
四、形成人体转动的力学条件	212
第二节 人体肢体的杠杆和摆振系统	213
一、人体肢体杠杆的功能及形式	213
二、人体的摆振模型及摆振动作中运动学、动力学参数的数学模型(表达)	216
三、人体摆振模型及其相关理论在动作实践中的应用	226
第三节 转动定律	229
一、刚体转动时的转动惯量	229
二、人体转动惯量	234
三、转动定律	239
第四节 动量矩守恒原理在体育各种转动动作中的应用	241

一、空间动量矩的矢量守恒	241
二、动量矩守恒原理在各种转动动作中的应用	244
第五节 有支撑状态下加大人体转动效果的方法	249
一、平动位移运动时身体某点被制动	249
二、在推撑或蹬伸位相中要获得必要的偏心推力——冲量矩	252
三、利用身体或局部肢体贮备动量矩向特定部位转移	253
第六节 空间转体和复合轴转动动作的生物力学特点	256
一、人体空间转体的形式和动力学条件	256
二、角动量不等于零非惯性转体的理论依据和转体的机制	259
三、空间复合轴转动动作的生物力学特点	262
第七章 体育运动中的流体力学	264
第一节 连续介质的理论模型及基本原理	264
一、连续介质的理论模型	264
二、流体力学的基本概念和原理	266
第二节 体育运动中流体对人体的作用规律和特点	277
一、空气对人体的作用	277
二、水中位移运动——游泳时人体所受水的作用	282
第三节 空气对投掷器械和球体的作用	293
一、空气对投掷器械的作用	293
二、空气对球体的作用	300
第八章 身体运动的能量、功率和动作效率	309
第一节 身体运动的热力学及热力学定律	309
一、身体运动的热力学	309
二、热力学第一、第二定律在身体运动中的运用	312
第二节 身体运动的能量	315
一、身体运动和能量代谢	315
二、基础代谢	317
三、不同项目的体育动作中人体的能量代谢率	319
第三节 人体(肌肉)的功率	324
一、人体功率的含意	324
二、决定肌肉功率的瞬时肌力是指有效力并且是可变的	327

三、肌肉瞬时功率的表现形式和特点	332
四、性别及不同运动项目中肌肉功率表现的差异	337
五、提高人体肌肉瞬时功率的途径和方法	339
六、人体周期性运动中持续功率的表现形式和特点	345
第四节 人体运动的动作效率	352
一、人体动作效率的含意和表示式	352
二、几个不同体育动作中身体的效率	354
三、提高人体效率的原则	360
第九章 运动生物力学的研究方法 with 测试手段	366
第一节 运动生物力学参数检测的特点及信息特征	369
一、运动生物力学参数的非线性特征	369
二、生物活体的生物拒测性特征	371
三、运动生物力学参数的随机分散性特征	373
四、运动动作的相对最佳化特征	375
五、运动能力单项极值指标的不可计测性特征	376
六、反馈(Feed-Back)与生物信息的相对稳定性特征	378
七、人体运动热力学的非平衡态特征	380
八、群体信息的统计学特征	381
第二节 运动生物力学研究及实验设计的方法论	383
一、经典力学的研究方法	384
二、数学的研究方法	390
三、生物学的研究方法	391
四、各种研究方法的综合处理	396
第三节 运动生物力学的检测技术与测试手段	397
一、运动生物力学检测系统的总体构成	399
二、“运动学”各参数的测定(光学部分)	401
三、“运动学”各参数的测定(其他手段)	407
四、“动力学”的测试手段	410
五、遥测技术概述	415
第四节 运动生物力学研究方法论的发展与测试手段的进展概述	419
第十章 人体运动的生物力学特征和动作分析	424

第一节 短跑	424
一、短跑的动作系结构特点	424
二、支撑阶段和腾空阶段的动作分析	426
三、影响跑速的主要因素	428
四、缓冲和后蹬技术	430
第二节 急行跳高	431
一、动作系结构特点	432
二、适宜的起飞角	434
三、背越式跳高分析	435
四、朱建华跳高技术分析	437
第三节 投标枪	439
一、标枪在空间飞行的旋转	440
二、标枪飞行中的空气动力学特征	442
三、不同风向对标枪飞行路线的影响	445
四、确保标枪飞行稳定性的诸因素	448
五、确保最大初速度和最大旋转效果的力	450
第四节 大回环	451
一、动作系结构特点	452
二、外力作用特点	453
三、肌肉工作特点	454
四、回环动作分析	455
第五节 篮球投篮	460
一、擦板投篮	460
二、空心投篮	463
三、投篮距离与命中率的关系	465
第六节 乒乓球	466
一、外力相互作用特点	466
二、几种主要打法分析	469
主要参考书	472

第一章 绪 论

一、概 述

(一) 运动生物力学是一门新兴的学科

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及其空间位置的变化和变化的原因，或是研究物体的机械运动和引起运动的原因。

生物学是研究生命的科学，它包括生物体的结构和功能的统一，生物体内部之间的相互作用中局部和整体的统一，以及生物体与外界环境之间的相互作用中机体和环境的统一等。人体是一个生物体，但它高于生物界的其它一切生物。

生物力学是研究活体系统，即有生命物体的机械运动规律的科学。它是随着科学的发展和实践的需要而逐渐发展起来的一门新兴的边缘性科学，是生物物理学的一个分支，它从力学原理出发研究复杂的生物体的机械运动规律。生物力学本身已经超出了传统的学科界线，它是数学、力学等学科与生物学相互渗透的新学科。

由于研究的领域和范围不同，现代生物力学又分一般生物力学、人类工程生物力学、医用生物力学、运动生物力学、康复生物力学等学科。

运动生物力学是研究体育运动过程中人体的运动动作，以及在各种不同条件下运动动作产生的力学和生物学原因，由此而决定的完整的运动行为的不同特点。也就是说，运动生物力学是从

力学角度和生物学角度来研究体育运动过程中人体的机械运动规律和特点的学科。

运动生物力学对体育运动中的动作技术,运用生物学和力学的观点及方法,使复杂的体育动作技术基于基本的生物学及力学的规律,把生物学因素和力学因素互相结合,并通过对体育动作的各种形式加以定量描述,使人们可以依据所测定的生物力学参数来指导运动训练、改进运动技术。

运动生物力学是一门很年轻的科学,其名称有一段时期未统一。美国原先称人体运动学(Kinesiology),后又称运动技术生物力学(The Biomechanics of Sports Techniques);苏联早期称动力解剖学(Динамическая Анатомия),以后改称运动生物力学(Биомеханика Физических Упражнений);日本称身体运动学;德国则使用“动作分析”的名称。1973年8月在美国召开的第四届国际生物力学会议上,决定采用运动生物力学作为学科的统一名称。此后,对本学科世界各国也都统称为运动生物力学(Sport Biomechanics)。

从学科命名的不统一,可以看出研究的内容也不尽相同。关于学科的定义观点也不完全一致,有的学者认为,运动生物力学是用力学的方法研究人体运动的科学,生物学是条件。有的学者则认为,运动生物力学是研究作用于人体的内力和外力以及这些力所产生作用的科学。另有学者认为,运动生物力学是力学定律在活体结构,尤其是人体运动器官中的应用。但上述这些定义都未被普遍接受,这是因为运动生物力学还是一门年轻的学科,还处于发展阶段的缘故。我们认为,运动生物力学是研究体育运动中人体机械运动规律的学科,它以力学、解剖学、生理学和各项技术理论为基础,研究人体运动器系的力学特征和体育运动中动作技术的一般规律,揭示其内在联系并直接为体育运动实践服务。

(二) 运动形式的概念

运动是物质的固有属性，是物质存在的形式。同客观世界的多样性一样，运动的形式也是多种多样的。

物质的运动，在其发展进化的过程中，包括宇宙中发生的一切变化和过程，是从最简单的位置移动（机械运动）到最高级、最复杂的思维运动。所以我们研究运动的形式和性质时，应当先从最简单的、最低级的形式开始，然后逐步地对更复杂、更高级的运动形式进行研究。

整个天体和地球上的万物都在不停的发生着相互位置的变动，这就是物质的最简单的运动形式，即机械运动。接着是物态的改变，即热、电、声、光等分子的运动形式，即物理运动。然后才是化合物分解与合成等的原子的运动形式，即化学运动。所有这些，机械运动、物理运动和化学运动都是属于无生命的简单的运动形式。

在生物体内进行的是复杂的生命运动，它包括新陈代谢、生长发育等等，这是一切生物体所特有的，对于最高级的动物——人类来说，还有一种更高级的运动形式，即社会运动，它包括着社会活动和思维。

从无生命的简单的运动形式直到有生命的高级的运动形式，从所产生的一切变化和过程可以看出，运动形式发展的每一个阶段，都有其越来越复杂的特性，及其存在和发展的规律性。

每一种复杂的高级的运动形式，总是要包括着较为简单的和低级运动形式。最简单最低级的机械运动是无所不包的。但是，运动形式越高级，机械运动的意义越不显著，因为每一级水平上的运动的质的特点皆决定于它的高级运动形式。所以每一种高级运动形式都有其质的特征，绝对不是几种低级运动形式的简单“总和”。当然，两者之间仍然有着不可分割的关系。

运动生物力学研究的人体机械运动，它是运动行为（生产劳动、体育运动、社会活动等）的直接目的，是最基本、最简单、最普遍的运动形式。但是，人体所进行的机械运动都是在高级的运动形式（意识）的参与和控制下完成的，比无生命的和一般生物体的机械运动要复杂得多，而且有本质的区别。

（三）生物体的机械运动

生物体，即活体系统的机械运动表现方式有两种：一是生物体自身发生形变，即生物体的一部分相对于另一部分的位移运动；二是生物体相对于环境而发生的位移运动。

牛顿力学基本定律描述的是无形变的绝对刚体的运动。生物体运动时要发生明显的不遵循固体力学规律的形变。例如脊柱和胸廓的形变是最明显的。因此，各种力对生物体所作的功，既消耗于整体的位移，又消耗于形变。总是存在着能量的损失和耗散，如机械能转化为热能。生物体的运动，是在肌肉张力和外部机械力（重力、支撑反作用力、摩擦力等）相互作用下产生的。而肌肉张力则受神经系统所调节，受生理过程所制约。所以，要全面理解生物体运动的本质，既要研究力学因素，又要研究生物学因素。正是生物学方面的因素才是组成各种机械力的原因。

应该指出，生物界并不存在特殊的力学定律。但是由于生物体（即活体系统）有别于抽象的绝对刚体，所以生物体的机械运动要比绝对刚体的运动复杂得多。因此在把一般力学定律应用于活体对象时，既要考虑到它的力学特点，又必须估计到它们的生物学特点。

（四）人体机械运动的特点

人体的运动是客观世界中最复杂的现象之一。这不仅是因为运动器官的构造和功能十分复杂，更重要的是因为意识参与了这项活动。

人体的运动活动同动物的活动有着本质的不同：第一、人所进行的是自觉的、有目的的活动，人能够理解运动的意义；第二、人能够监督、控制和有计划地改善自己的动作，把运动置于意识支配之下；第三、人可以通过体育运动积极改造自己的身体素质，增强体质。

人同动物的运动之间的相同之处仅在纯生物学的水平上。

必须明确，人所进行的运动，不单纯是动作，而是以各种运动行为的形式实现的，是一种完整的行为。行为又总是有它的目的性，而动作的合理性和目的性又应当是一致的。

人体的各部分的动作，组合成完整的、成套的、可控制的动作系统（即动作系），构成整体的运动行为。反之，运动行为则是由许多相互联系的具体动作有机组成的动作系统。

每个动作都在整体行为中起着一定的作用，各自适应着行为的总目的。如果运动员能理解每个动作的目的，以及它们在整体行为中所起的作用，并能实现各动作的目的，那么他在整体行为中也必然能更好地适应既定的目的。

二、运动生物力学的任务和内容

（一）运动生物力学的任务

运动生物力学是一门理论与实践紧密结合的应用科学，它直接为增强人民体质和提高运动技术水平服务。因此，运动生物力学的任务应当包括以下几个方面。

1. 研究人体机械运动的特点及其规律 机械运动是最简单、最低级的运动形式。运动生物力学是研究人体机械运动规律的学科，首要任务是研究人体机械运动的规律及其区别于其它机械运动的特点。