

体育院校函授教材



TIYUYUANXIAO  
HANSHOUJIAOCAI

体育院校成人教育协作组《运动生物力学》教材编写组

# 运动生物力学



人民体育出版社



*Tiyuquanshixiao Hanshoujiaocai*

# YUNDONG SHENGWULIXUE

体育院校函授教材

# 运动生物力学

体育院校成人教育协作组《运动生物力学》教材编写组

人民体育出版社

人民体育出版社出版发行  
化学工业出版社印刷厂印刷  
新华书店经销

\*

850 × 1168 毫米 32 开本 7.5 印张 194 千字  
1999 年 12 月第 1 版 2007 年 6 月第 6 次印刷  
印数: 21,431—25,430 册

\*

ISBN 978 - 7 - 5009 - 1876 - 9

定价: 13.00 元

---

社址:北京市崇文区体育馆路 8 号(天坛公园东门)

电话:67143708(发行处) 邮编:100061

传真:67116129 电挂:9474

(购买本社图书,如遇有缺损页可与发行处联系)

### 图书在版编目(CIP)数据

运动生物力学/体育院校成人教育协作组《运动生物力学》教材编写组编. -北京:人民体育出版社, 1999

体育院校函授教材

ISBN 978 - 7 - 5009 - 1876 - 9

I. 运… II. 体… III. 运动生物力学 - 高等学校 - 教材 IV. G804.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(99)第 43631 号

# 前 言

本教材是在国家体育总局审定的全国体育院校成人教育协作组的组织领导下,由成都体育学院主持,上海体育学院、武汉体育学院、西安体育学院和天津体育学院参编,经体育院校成人教育协作组《运动生物力学》教材组编写完成的。

本教材由石玉琴教授主编。第一章由魏文仪编写,第二章由周里、石玉琴、刘北湘编写,第三章由古福明、石玉琴、魏文仪、李玉刚编写,第四章由李玉刚编写,第五章由郭静茹、石玉琴、周继和、魏文仪编写。最后由石玉琴、古福明、周继和串编定稿。

本教材经过全国体育院校成人教育协作组审定,作为体育院校函授教材使用。此外也可供广大教练员和体育工作者参阅。

本教材中凡标有“※”号的部分为选修内容,可根据教学需要取舍。

由于时间仓促和我们的水平有限,如有差错或不妥之处,诚望读者批评指正。

体育院校成人教育协作组  
《运动生物力学》教材编写组

1999年7月

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	(1)
<b>自学指导</b> .....	(1)
§ 1-1 运动生物力学的定义.....	(2)
§ 1-2 人体机械运动的特点.....	(3)
§ 1-3 运动生物力学的任务.....	(5)
一、研究人体结构和机能的生物力学特性.....	(5)
二、揭示动作技术原理,建立合理的动作技术模式 .....	(6)
三、进行生物力学诊断,制定最佳运动技术方案 ...	(7)
四、为设计和改进运动器械提供生物力学依据 ...	(7)
五、为防治运动创伤和制定康复手段提供力学依据 .....	(7)
§ 1-4 运动生物力学的发展简史.....	(8)
<b>小结</b> .....	(11)
<b>第二章 肌肉的力学特性与肌肉力量训练的生物学</b> ...	(13)
<b>自学指导</b> .....	(13)
§ 2-1 肌肉的特性.....	(14)
一、肌肉结构力学模型.....	(14)
二、肌肉的物理特性.....	(15)
三、肌肉的生理特性——收缩性、兴奋性.....	(16)
§ 2-2 肌肉收缩的生物力学特性.....	(16)
一、肌肉收缩形式.....	(16)
二、载荷对肌肉收缩的影响.....	(17)
三、肌肉收缩的功和功率.....	(19)

四、影响肌拉力大小的生物学条件·····	(22)
五、肌肉松弛·····	(25)
六、韧带和肌腱的生物力学·····	(26)
§ 2-3 肌肉力量训练的生物学·····	(29)
一、力量素质的概念·····	(29)
二、肌肉力量的分类·····	(32)
三、现代爆发力训练方法简介·····	(34)
小结·····	(42)
<b>第三章 人体运动与力</b> ·····	(45)
自学指导·····	(45)
§ 3-1 基础知识·····	(46)
一、质点、刚体和多刚体系统·····	(46)
二、力的概念和常见的外力·····	(48)
三、力矩和力的平移定理·····	(52)
四、受力分析和受力图·····	(54)
§ 3-2 人体平衡和人体总重心·····	(56)
一、人体平衡概述·····	(56)
二、人体平衡的稳定性·····	(56)
三、人体平衡的特点·····	(60)
四、人体总重心及测定方法·····	(62)
§ 3-3 人体运动学及测量方法·····	(68)
一、人体运动学特征·····	(68)
二、运动学参数的测试方法·····	(80)
§ 3-4 人体运动的动力学及测试方法·····	(81)
一、动力学基本定理及其在体育中的应用·····	(81)
二、动力学参数的测试手段·····	(94)
※§ 3-5 流体作用力对体育运动的影响·····	(100)
一、流体力学中经常使用的物理量和术语·····	(100)
二、静止流体中的压力与浮力·····	(103)
三、流动流体的作用力——流体动力·····	(105)



四、流体作用力对人体与器械运动的影响·····	(110)
小结·····	(121)
<b>第四章 人体基本运动·····</b>	<b>(127)</b>
自学指导·····	(127)
§ 4-1 人体运动的基本原理·····	(128)
一、骨杠杆原理及应用·····	(128)
二、关节活动顺序原理·····	(132)
§ 4-2 肢体的基本运动形式与原理·····	(135)
一、上肢的推、拉运动形式·····	(135)
二、下肢的缓冲、蹬伸运动形式·····	(138)
三、肢体的鞭打动作·····	(142)
四、肢体的摆动动作·····	(145)
小结·····	(146)
<b>第五章 动作技术的生物力学分析·····</b>	<b>(148)</b>
自学指导·····	(148)
§ 5-1 动作技术分析的方法和一般步骤·····	(149)
一、运动生物力学动作技术分析的概念·····	(149)
二、动作技术的生物力学基本要素及其意义·····	(150)
三、要素的组合与匹配原则·····	(154)
四、分析研究动作技术的方法和一般步骤·····	(156)
五、动作技术的生物力学原理对技术训练的指导作用 ·····	(160)
※§ 5-2 跑的生物力学分析·····	(162)
一、影响跑步速度的要素·····	(163)
二、短跑动作技术的生物力学分析·····	(164)
※§ 5-3 跳的生物力学分析·····	(173)
一、跳的一般原理·····	(174)
二、跳远·····	(178)
三、跳高·····	(186)
※§ 5-4 投掷的生物力学分析·····	(191)

一、影响投掷距离的要素 .....	(191)
二、投掷标枪动作的生物力学分析 .....	(193)
※§ 5-5 举重的生物力学分析 .....	(201)
一、举重技术的基本原则 .....	(202)
二、举重动作技术的生物力学分析 .....	(208)
※§ 5-6 竞技体操的生物力学分析 .....	(214)
一、无支撑时相向运动与制动 .....	(214)
二、力的传递 .....	(216)
三、摆动反作用力 .....	(217)
四、“鞭打”动作的作用 .....	(218)
五、起跳与推手 .....	(219)
六、破坏平衡后的紧急处理 .....	(221)
七、滚翻动作的基本规律 .....	(223)
八、后手翻隧子的基本规律 .....	(225)
九、空翻转体类动作的基本规律 .....	(227)
小结 .....	(229)

# 第一章 绪 论

## 自学指导

### 内容简介

运动生物力学在体育运动中已得到了较为广泛的应用,它是一门力学与生物学科相互结合和相互渗透的边缘学科。本章介绍运动生物力学的研究对象和研究目的、运动生物力学的任务及运动生物力学的发展简史。

### 重点

运动生物力学的定义、人体机械运动的特点及运动生物力学的任务。

### 难点

人体机械运动的特点及运动生物力学的任务。

### 教学要求

1. 掌握运动生物力学的定义和运动生物力学的任务。
2. 掌握动作技术原理与最佳运动技术两个概念的区别和联系。
3. 了解运动生物力学的发展简史。

### 学习方法

1. 认真阅读本章内容,完成思考题作业。
2. 结合本人运动专项技术理论知识,加深理解运动生物力学的研究目的和任务,以及运动生物力学理论对提高运动技术的指导作用。

## § 1-1 运动生物力学的定义

目前,“生物力学”这一专门的学科名称已被力学、生物医学工程、人机工程、医学和体育等各界广大科技人士所知晓,因为生物力学在这些科技领域中已得到了较为广泛的应用。那么,何谓生物力学?

生物力学是研究生物系统机械运动规律及其应用的科学。它既包括从宏观的角度对生物体整体和器官、组织的运动以及机械(力学)特性的研究,又包括从细观和微观的角度对不同层次的生物组织结构内部的运动和变化进行研究。生物力学的研究范围和方法已超出了传统的学科界限,是一门力学与生物学相互结合和相互渗透的边缘学科。

在生物力学体系中,由于研究的领域和具体对象的不同,生物力学又可分为人类工程生物力学、医用生物力学、康复生物力学、农业生物力学等等,而运动生物力学就是其中一个发展较为迅速的分支。

运动生物力学(Sport Biomechanics)是研究体育运动中人体机械运动规律及其应用的科学。一方面,它利用力学原理和各种科学方法,对体育运动中人体的运动进行定量描述和分析,并结合运动解剖学和运动生理学等生物学原理对运动进行综合评定,从力学和生物学的相互关系中得出人体运动的内在联系及基本规律,从而确定不同运动项目运动行为的不同特点;另一方面,密切关注并研究体育运动(包括运动素质训练)对人体有关器系的结构及机能的反作用。由此可见,运动生物力学的研究目的主要是为提高竞技体育成绩和增强人类体质服务的,并从中丰富和完善自身的理论和体系。

## § 1-2 人体机械运动的特点

人体运动是最复杂的生命运动。在人体运动中，既包含了最高级的思维运动形式，即人脑的产物——意识参与了运动，又包含了各种较低级的运动形式，它们依次为化学运动（如肌肉中ATP的水解反应）、物理运动（如肌电活动）和机械运动（肌肉收缩、位置移动）。然而，人体的运动并非是所有这些运动形式的简单叠加，而是充分表现出高级运动的本质。虽然机械运动是一种最为简单的运动形式，但是人体的机械运动将受控于人的意识，是在意识支配下所完成的带有明确目的和一定意义的一系列动作行为。因此，人体的机械运动可以说是人体高级运动形式的一种外部表现。尽管所有的机械运动都表现出位移运动的现象，但人体的机械运动不仅与一般物体的机械运动有本质的差异，而且即使与其他动物的运动相比也存在着本质的不同。这些本质的不同表现在以下三方面：第一，人所进行的是自觉的和有目的性的运动，人能够理解运动的意义；第二，人能监督、控制和有计划地不断完善自己的动作；第三，人可以通过体育运动积极改造自己的身体素质，提高自身的运动能力和强健自己的体魄。

人体机械运动是在外部作用力（如重力、摩擦力和周围物体作用力等）和内部肌肉张力作用下所产生的。肌张力受中枢神经系统的控制和调节，因此受生理过程所制约，同时也受关节生理功能（如关节运动幅度等）的制约。所以，要想揭示人体机械运动的规律，不仅要研究力学的因素，而且还必须探讨其生物学方面的因素。需要强调的一点是：对于分析一般机械系统的运动，无需对引起该系统的运动发生变化的原动力来源加以仔细研究，提供符合要求的动力装置并非是力学研究者所要研究的对象。然而，使人体运动发生变化的原动力——肌肉张力却是生

物力学研究者必须关注的一个问题。在运动生物力学中最具吸引力及最有挑战性的领域可能就是肌肉的自身问题。肌肉是人体系统最具有“活力”的部分,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领域。可以说,肌肉力学是研究人体机械运动规律的重要基础。

机械运动表现形式有两种:一是物体系统作为整体相对于周围参照物体的位移运动,二是系统本身发生的形变。对于人体的运动而言,后一种表现形式占据了重要的地位。人体在运动过程中,一般会发生明显的形变,它包括环节相对位置的改变和环节本身的形变。人体环节的相对运动具有积极的能动作用,在很多情况下它对人的整体运动产生决定性的影响。因此,为了较好地描述和分析人体的机械运动,可在忽略环节本身形变的条件下,把人体简化为一个多刚体(刚性环节)系统,各刚体之间借助于与人体关节相适应的铰链(如球窝关节对应于球座铰链、椭圆关节对应于万向铰链、滑车关节对应于插销铰链)连接而成一个犹如机器人的人体模型(亦称为人体环节模型)。如此复杂的人体运动机构导致人体机械运动的多样性和复杂性,只有人才能对这种变化万千的复杂运动进行控制和调节。

在体育运动中,不管是竞技体育、大众健身体育还是康复体育,所进行的运动都有明确的目标,特别是在竞技体育中,例如许多项目或是竞争高度,或是竞争远度,或是竞争速度,或是竞争重量等等。然而,由于人体运动具有多样性,所以为了达到预定目标所进行的运动方式并不是唯一的。同时,人体在运动过程中,既受到自身生物学和生物力学因素的制约,又受到外部力学因素和运动规则等的制约。这样,从数学的观点而言,可以将其归结为一个在约束条件下以能达到最理想目标的优化(或称最佳化)问题,因此必定存在着合理的甚至是最佳的运动技术结构。也就是说可以找到客观存在的最合理和最有效的运动技术,以求达到最好的运动成绩。

寻求合理和有效的运动技术包括两方面的研究内容:一是

揭示动作技术原理,二是制定最佳运动技术方案。

动作技术原理与最佳运动技术是两个不同的概念。动作技术原理是指完成某项动作技术的基本规律,它适用于任何人,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。而最佳运动技术则是考虑了个人的身体形态、机能、心理素质和训练水平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。

人体机械运动的特点完全决定了运动生物力学研究的特点。运动生物力学必须将力学和生物学这两个方面有机地结合起来,用生物力学的观点和原理去考察和分析人体运动变化的原因,从动作结构的相互联系当中去探索它们的规律性,并且还必须考虑到人的意识对于控制和完善人体复杂运动的作用。只有这样,才能保证在各种条件下使运动达到最佳效果。

## § 1-3 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,它直接为提高运动技术水平和增强人类体质服务。因此,运动生物力学的任务主要应当包括以下五个方面。

### 一、研究人体结构和机能的生物力学特性

因为运动的特点除了取决于运动的目的之外,还主要取决于人体本身,所以揭示人体,特别是人体运动器官系统的结构、机能和生物力学特性并综合评价身体运动素质是一项基础性的任务,诸如骨骼和关节的形态、生理功能、强度和肌肉的收缩(包括离心和向心收缩)特性等等都会对运动产生明显的影响。同时还必须认识到运动训练对于人体结构、机能和生物力学特性的

反作用,通过科学的符合生物力学原理的运动训练(包括一般身体素质 and 专项身体素质训练及运动技术训练)可以使身体某些方面的运动能力得以充分的发展,从而不断提高运动技术水平。在全面揭示运动员运动素质的同时,可以预测运动员的潜力,它不仅为运动员寻求最佳运动技术方案提供依据,也为早期选拔各专项运动员提供必要的生物力学参数。

## 二、揭示动作技术原理,建立合理的动作技术模式

动作技术的形成有两个途径:一是通过长期的运动实践,另一个是利用运动生物力学理论揭示运动技术的原理及创造新的技术动作。由于人的意识参与了人体的运动,所以通过不断的实践可以逐步形成相应的动作技术形式。然而由于人的意识受到当时科学知识和技术水平以及时间、条件、经历等各方面的限制,不一定能够完全地理解和掌握运动生物力学原理的内涵,使体育教学缺乏一定的科学性,从而导致技术发展较慢。例如从跨越式跳高到背越式跳高技术共经过了一百多年的历史。随着运动生物力学的不断发展,目前已基本具备了对各种体育项目的运动技术进行深入研究的条件,因此可以在对优秀运动员的动作技术进行深入的生物力学研究基础上,经过高水平的运动实践的检验总结出先进的动作技术原理,以建立动作技术模式。科学的动作技术原理,可明确指导动作技术应该怎么做和为什么这样做,既使学生知其然,又使学生知其所以然。这样有利于推广先进技术,提高专项运动技术水平和教学效果。值得注意的是,在研究现有动作技术的前提下,运动生物力学将更有助于创立新的更佳的技术动作,例如背越式跳高技术 and 体操单杠上的特卡切夫腾越分别在1952年和1969年就被生物力学专家所提出。



### 三、进行生物力学诊断,制定最佳运动技术方案

结合运动员个人身体形态、机能、运动素质等特点,研究适合个人的最佳运动技术方案是运动生物力学在竞技体育运动中的重要任务。一个运动员,即使是优秀运动员,其动作技术有合理的一面,也有不合理的一面。在遵循一般动作技术原理的前提下,对个别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,做到扬长避短。这一过程是一个“去粗取精,去伪存真”的过程,从而为个别运动员制定出最佳运动技术方案,提高教学和训练的科学性。

### 四、为设计和改进运动器械提供生物力学依据

在运动实践中,人体位移和器械的飞行等都受到支撑物或器械的力学性能影响,因此设计新型的运动器械,或改进旧的运动器械,可以直接提高运动成绩。撑竿跳高所使用的撑竿就是一个典型例子。它从最早的竹竿发展到现在的玻璃钢竿和碳纤维竿,为优秀运动员不断创造新的世界纪录奠定了基础。因此,在竞赛规则允许的范围内,从生物力学的观点出发,提出器械设计和改进的设想和要求,并为设计新的和改进旧的运动器械提供生物力学参数,能更有效地增进人体健康和提高运动成绩。

### 五、为防治运动创伤和制定康复手段提供力学依据

运动创伤的发生往往与运动员不科学的动作技术有关。通过对人体结构和机能的生物力学研究,能揭示运动器官结构、形态与机能相一致的关系,使人们了解什么样的动作对健康无害,什么样的动作易引起机体损伤,为制定运动技术方案和选择训