



运动训练生物力学基础

YUNDONG XUNLIAN SHENGWU LIXUE JICHU

主编 李玉刚 葛新发



运动训练生物力学基础

YUNDONG XUNLIAN SHENGWU LIXUE JICHU

主 编 李玉刚 葛新发

副主编 易名农 张豪杰

参 编 王允民 李正荣 刘明

图书在版编目(CIP)数据

运动训练生物力学基础/李玉刚主编. —武汉: 湖北
科学技术出版社, 2003. 7
ISBN 7-5352-3008-3

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(2003)第 055399 号

运动训练生物力学基础

©李玉刚 葛新发 主编

责任编辑:李荷君

封面设计:喻杨

出版发行:湖北科学技术出版社

电话:87679468

地址:武汉市洪山雄楚大街 268 号 B 座

邮编:430070

印刷:湖北省工商行政管理局印刷厂

邮编:430077

850mm×1168mm 32 开 9.75 印张

236 千字

2003 年 7 月第 1 版

2003 年第 7 月第 1 次印刷

印数:0 001—3 000

ISBN 7-5352-3008-3/G·733

定价:20.00 元

本书如有印装质量问题,可找承印厂更换

前 言

为了适应我国体育事业的发展，满足社会对体育教育、运动训练人才的需求。根据体育学院的发展规划及相关培养方向，在武汉体育学院教材委员会的领导下，受院教务处和运动系的委托，我们编写了该书。其目的在于培养合格的体育师资以及教练员，使之掌握与了解必备的运动训练生物力学基础知识，并能正确应用于教学、训练实践之中，以提高教学、训练的质量。

本书以精泛兼容，深浅相宜为原则，集我们多年的教学、科研和训练之精华，充分发挥编写人员所从事的专业与专项之特长，经过反复论证与推敲本书体系和所涵盖的内容而合成。

本书由李玉刚副教授、葛新发教授任主编，易名农副教授、张豪杰高级教练员任副主编，参编人员有：王允民副教授、李正荣副教授、刘明副教授。具体分工为：李玉刚编写第一章、第六章、第八章的节四~六节，葛新发编写第二章的第一~三节，易名农编写第四章、第五章，张豪杰编写第三章、第八章的第八节，王允民编写第七章、第八章的第七节，李正荣编写第二章的第四节、第八章的第九节，刘明编写第八章的第一~三节。最后由李玉刚、葛新发串编定稿。

本书经武汉体育学院教材委员会、教务处审定，既可作为体育院校本、专科学生的教材使用，也适合广大教练员和体育工作者参阅。

在本书编写中，因参加人员较多，所涉及的知识面较广，难免存在不完备的地方，恳请广大读者批评指正。

作者

2003年6月（武汉）

目 录

第一章 生物力学概论	1
一、生物力学的定义	1
二、人体机械运动的特点	2
三、生物力学的任务	4
四、生物力学原理对技术训练的指导作用	6
第二章 肌肉生物力学	9
第一节 肌肉的力学特性	9
一、肌肉的伸展性和弹性	9
二、肌肉的粘滞性	10
三、肌肉的松弛	10
第二节 肌肉结构的力学模型	11
一、模型的建立	11
二、模型的性质	12
第三节 肌肉收缩的力量、速度及功率的关系	13
一、肌肉收缩力——速特性	13
二、肌肉收缩的力学效应与特点	15
三、肌肉收缩的功率	20
第四节 肌肉力量训练的生物力学	24
一、力量素质的概念	24

二、现代爆发力训练方法简介	26
第三章 人体运动的静力学	35
第一节 身体的平衡	35
一、身体平衡条件	35
二、影响身体平衡的力学因素	36
第二节 运动中身体平衡的破坏与恢复	41
一、身体平衡的破坏	41
二、身体平衡的主动恢复	42
第三节 人体重心及测定	43
一、人体重心的概念与位置	43
二、人体重心与技术动作的关系	45
三、测定人体重心的方法	46
第四章 人体运动学与测试方法	52
第一节 运动的相对性及参考系	53
一、运动的相对性	53
二、参考系与坐标系	54
第二节 人体运动的基本形式	55
一、上肢运动的基本形式	55
二、下肢运动的基本形式	57
三、躯干运动的基本形式	58
第三节 运动的基本特点与规律	59
一、基本物理量与特性	59
二、运动的合成与分解	64
三、质点的复合运动	66
四、运动学参量的特性	68

五、描述人体运动的基本方法	69
第四节 运动学参数测试方法	77
一、电学法	77
二、光学法	77
三、光电图像分析系统	78
第五章 人体动力学与测试方法	79
第一节 运动中的力	79
一、动力与阻力	80
二、外力与内力	80
第二节 牛顿三定律在体育运动中的应用	83
一、牛顿第一定律及其应用	83
二、牛顿第二定律及其应用	85
三、牛顿第三定律及其应用	88
第三节 动量定理在体育运动中的应用	89
一、动量与冲量	90
二、动量定理	91
三、动量定理的应用	93
第四节 功能原理在体育运动中的应用	95
一、机械功	96
二、机械功率	97
三、机械能	98
四、动能定理及应用	100
第五节 动力学参数测试方法	102
一、肌力矩的测试方法	102
二、动态测力的方法	104

第六章 人体转动力学	109
第一节 人体的转动	109
一、人体转动动作的类型.....	109
二、人体转动的力学条件.....	111
三、人体转动的物理量.....	113
第二节 有支撑状态时人体转动的力学依据	120
一、转动定律.....	120
二、动量矩定理.....	120
三、动量矩守恒定律.....	121
第七章 人体运动的流体力学	123
第一节 流体力学的基本知识	123
一、静止流体中的压强和浮力.....	123
二、理想流体·流线·流管.....	126
三、流体的连续原理.....	127
四、流速和压强的关系——伯努利定律.....	128
五、片流和湍流·涡动和涡旋.....	128
六、马格努斯效应.....	129
第二节 人体运动时所受流体的阻力	130
一、空气对人体运动的阻力.....	131
二、游泳时水对人体的阻力和动力.....	132
第三节 运动器械飞行的空气动力效应	135
一、铁饼、标枪飞行的空气动力学特征.....	135
二、球体飞行的空气动力学特征.....	139
第八章 动作技术的生物力学分析	142
第一节 跑的生物力学分析	142

一、影响跑步速度的要素·····	143
二、短跑动作技术的生物力学分析·····	144
第二节 跳的生物力学分析·····	155
一、跳的一般原理·····	155
二、跳远·····	160
三、跳高·····	167
第三节 投掷的生物力学分析·····	172
一、影响投掷距离的要素·····	173
二、投掷标枪动作的生物力学分析·····	173
第四节 跆拳道横踢动作的生物力学特征分析·····	183
一、横踢腿动作下肢肌群工作特征分析·····	183
二、横踢腿打击力量特征分析·····	189
三、横踢腿打击速度特征分析·····	191
四、横踢腿打击冲量特征分析·····	193
五、横踢腿打击功率特征分析·····	195
六、横踢腿转力动力学特征分析·····	198
第五节 拳击动作的生物力学分析·····	205
一、拳击左直拳的生物力学分析·····	205
二、拳击摆拳动作的生物力学分析·····	209
第六节 举重的生物力学分析·····	215
一、举重技术的基本原则·····	216
二、举重动作技术的生物力学分析·····	222
第七节 游泳动作的生物力学分析·····	228
一、出发技术分析·····	228
二、游泳划水的推进力学·····	230
三、游泳中两腿动作的力学分析·····	244
第八节 摔跤技术动作的生物力学分析·····	248

一、摔跤运动中的力学原则·····	248
二、摔跤运动中的爆发力·····	253
三、摔跤常见技术动作开始的发力特征研究·····	258
四、主要站立技术的生物力学分析·····	264
第九节 网球技术动作的生物力学分析·····	270
一、网球发球技术的生物力学分析·····	270
二、网球运动中动态球的力学分析·····	281

第一章 生物力学概论

一、生物力学的定义

生物力学是研究生物系统机械运动特点及规律的科学。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,又包括从宏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科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、运动生物力学等等。

运动生物力学(Sport Biomechanics)是研究体育运动中人体机械运动特点及规律的科学。从运动生物力学的研究领域来着,运动训练生物力学是其中一个较重要的方向。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行为作定量描述和分析,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,最终以指导运动训练为宗旨。

由此可见,运动训练生物力学的研究目的主要是探索不同运动项目的力学原理与规律,为科学训练提供必要的理论依据以及方法,以提高竞技体育成绩和增强人类体质。

二、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成的一种外部表现。尽管所有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变化。对于人体的运动而言,后一种表现形成占据了重要的地位。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的最有效的运动技术,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个方面的研究内容:一是提示动作技术原理,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生物力学研究的特点。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。

三、生物力学的任务

生物力学是一门理论与实践紧密结合的应用科学,它具体研究体育运动中各项动作技术的运动生物力学原理。因此,其任务主要包括以下四个方面。

(一) 研究人体结构和机能的生物力学特性

任何运动项目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(包括一般身体素质和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

技术动作的形成有两个途径: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就可以逐步形成相应的技术动作形式。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经过了一百多年的历史。随着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技术运动进行深入研究的条件,因此可以在对优秀运动员的技术动作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,总结出先进的技术动作原理,以建立技术动作模式。科学的技术动作原理可明确指导技术动作应该怎么做和为什么这样做,既使运动员知其然,又使其知其所以然。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,在研究现有技术动作的前提下,生物力学将更有助于创立新的更佳合理的技术动作。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。

搏击项群运动也是如此,虽然在我国起步较晚,但其发展的规

律与其它运动项目是完全一致的。即：离不开相关学科的理论为基础，特别是离不开生物力学的分析与评价。

（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技术动作方案，是生物力学的重要任务之一。一个运动员，即使是优秀运动员，其技术有合理的一面，也有不合理的一面。在遵循一般技术动作原理的前提下，对个别运动员的技术动作进行生物力学诊断，发现个人的技术特点和存在的问题，保留其合理的特点，纠正其错误之处，做到扬长避短。这是一个“去粗取精，去伪存真”的过程，从而为个别运动员制定出最佳技术动作方案，提高教学和训练的科学性，这无疑是有重要意义的。

（四）为设计和改进运动器械提供生物力学依据

运动创伤的发生一般有两个方面的原因。第一是运动员采取了不科学的技术动作，违背了人体自身的结构机能规律；第二是由于运动项目的特殊性，身体某一部位受到超过其安全系数的打击力或外来的扭转力矩而产生创伤。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，为制定技术动作方案和选择训练手段提供依据。通过研究不同的动作对人体局部力量负荷的状况，可以发现运动创伤产生的原因和规律，从而采取相应的预防措施，同时也有助于选择伤后的康复手段。

四、生物力学原理对技术训练的指导作用

（一）运动技术训练必须符合动作技术的生物力学原理

动作技术训练的目的，旨在使运动员学习和掌握合理、先进的技术，充分发挥其身体能力的潜力，提高运动成绩。而动作技术生