

Yundong Shengwu Lixue

主编 李玉刚 柏开祥

运动生物力学



华中师范大学出版社

运动生物力学

主 编 李玉刚 武汉体育学院

柏开祥 武汉体育学院

副主编 王 平 长江大学体育学院

易名农 武汉体育学院

参编人员 (以姓氏笔画为序)

严发本 武汉体育学院

姚 婕 武汉科技大学

袁春平 江汉大学体育学院

崔志勇 郑州大学体育学院

华中师范大学出版社

新出图证(鄂)字 10 号

图书在版编目(CIP)数据

—武汉:华中师范大学出版社,2006.7

ISBN 7-5622-3402-7

I. 运… II. ①李… ②柏… 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(2006)第 053977 号

运动生物力学

主编:李玉刚 柏开祥◎

责任编辑:吴小岸

责任校对:罗 艺

封面设计:甘 英

编辑室:教材研发中心

电话:027-67867361

出版发行:华中师范大学出版社

社址:湖北省武汉市珞喻路 152 号

电话:027-67863040(发行部) 027-67867361(邮购)

传真:027-67863291

网址:<http://www.ccnp.com.cn>

电子信箱:hscbs@public.wh.hb.cn

经销:新华书店湖北发行所

印刷:湖北省工商行政管理局印刷厂

督印:姜勇华

字数:240 千字

开本:850mm×1168mm 1/32

印张:10

版次:2006 年 7 月第 1 版

印次:2006 年 7 月第 1 次印刷

印数:1-6000

定价:22.80 元

欢迎上网查询、购书

敬告: 欢迎举报盗版,请打举报电话 027-67861321

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、民族传统体育等多方面体育人才之需求。根据教育部《关于高等体育院校教学计划》,我们编写了该书。其目的在于为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、柏开祥任主编;王平、易名农任副主编;参编人员有严发本、姚婕、袁春平、崔志勇。具体分工为:李玉刚编写第九章(第五、六节);柏开祥编写第一章、第九章(第一、二、三节);王平编写第三章、第八章;易名农编写第四章;严发本编写第九章(第四节);姚婕编写第五章;袁春平编写第六章;崔志勇编写第二章、第七章。最后由李玉刚、柏开祥串编定稿。

本书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、运动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

2006年3月

目 录

第一章 运动生物力学概述.....	1
一、运动生物力学的概念.....	1
二、运动生物力学的任务.....	2
三、运动生物力学原理对技术训练的指导作用.....	4
四、运动生物力学发展.....	6
第二章 人体结构的力学特性.....	9
第一节 骨骼力学.....	9
第二节 关节力学.....	20
第三节 肌肉力学.....	27
第三章 人体运动的静力学.....	41
第一节 人体平衡.....	41
第二节 人体平衡的力学分析.....	58
第三节 人体的重心及测定.....	70
第四章 人体运动的运动学.....	79
第一节 基本运动学量.....	80
第二节 运动的合成与分解.....	87
第三节 人体运动的描述方法.....	92
第四节 体育运动中直线运动的特点及规律.....	98
第五节 体育运动中的抛射运动.....	106
第五章 人体运动的动力学.....	120
第一节 人体运动中的力.....	120

第二节 牛顿定律及应用	125
第三节 动量定理在体育运动中的应用	136
第四节 体育运动中的功与能	142
第六章 人体运动的转动力学	152
第一节 人体运动中的转动动作	152
第二节 转动力学基本概念	156
第三节 有支撑状态时人体转动动作分析	168
第四节 腾空状态下人体转动动作的分析	176
第七章 人体基本运动形式	182
第一节 技术动作的基本形式	182
第二节 骨杠杆原理及应用	187
第八章 体育运动中的流体力学	194
第一节 基本概念与原理	194
第二节 流体对人体运动的影响	201
第三节 流体对运动器械的影响	206
第九章 动作技术的运动生物力学分析	213
第一节 跑步动作技术的运动生物力学分析	213
第二节 跳跃动作技术的运动生物力学分析	225
第三节 投掷动作技术的运动生物力学分析	241
第四节 散打动作技术的运动生物力学分析	251
第五节 网球动作技术的运动生物力学分析	273
第六节 跆拳道动作技术的运动生物力学分析	291
主要参考文献	312

第一章

运动生物力学概述

一、运动生物力学的概念

生物力学与其他学科比较起来是一门年轻的综合性学科。它是将生物学和机械力学的原理有机结合起来,研究生物体机械运动的一般规律的科学。

在生物力学体系中,由于研究的领域和具体对象的不同,生物力学又可分为生物材料力学、生物流体力学、生物医学工程、康复生物力学以及运动生物力学等。

运动生物力学是生物力学的一个发展较为迅速的分支,它是以运动解剖学、运动生理学、机械力学、材料力学、理论力学、高等数学等有关学科的理论为基础,研究人体运动的一般规律的科学。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与分析,并结合运动解剖学和运动生理学等生物学原理对运动技能进行综合评定。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,它密切关注并研究体育运动对人体有关器官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,并从中丰富和完善自身的理论和体系。

二、运动生物力学的任务

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

（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，揭示人体运动，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到充分的发展，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，它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）揭示技术动作原理，建立合理技术动作模式

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为缓慢。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技术动作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的基础上,揭示更为科学的技术动作原理,并通过高水平运动实践的检验,来建立技术动作模式。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,即使运动员知其然,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,运动生物力学将更有助于创立新的更加合理的技术动作。如背越式跳高技术和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提出。

(三) 进行运动生物力学诊断, 制定最佳运动技术方案

结合运动员个人身体形态、机能和运动素质等特点,研究适合个人的最佳技术动作方案,是运动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。

三、运动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

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。符合动作技术的生物力学原理诸要素的最佳组合,构成了合理的技术动作特点,对该项技术原理的要素进行认真的分析和研究,并找出决定技术效果的主要因素,而后进行有针对性的训练。如在投掷标枪动作技术的几个主要环节中,投掷步是其中的关键环节。而投掷技术动作本身,又包括进入投掷步后超越器械的身体姿态,臂、腿的关节角度,下肢蹬地力量的大小及方向,从超越器械姿态到最后用力前的身体位移速度,出手时鞭打动作的速度和角度,身体各环节的相互配合等要素。在诸多要素中,下肢蹬地力的大小和出手速度与角度又是主要因素。因此在投掷标枪技术训练中,无论是方法与手段的选择,还是技术训练的内容,都必须围绕改进和提高投掷步技术为主要侧重点,这样,才能提高技术训练的质量和效果。

(二) 技术动作训练中各要素的总体最佳化

技术动作的运动生物力学原理各要素之间,既相互联系又相互制约。它们之间合理而有机地匹配与组合,最终必须服从于提

高运动成绩这一目的任务，并反映出专项技术的本质规律。按照系统论的观点，只有当系统内部的各要素之间高度协调，才能使系统的功能产生正效应（增量），否则会出现内耗并产生负效应（减量）。因此，在学习和改进技术的训练过程中，在突出和重视主要因素合理性的同时，还必须重视各要素之间的有关联系。在选择训练的方法手段时，无论采用分解练习、辅助练习还是完整技术练习，都应重视动作技术要素的整体效应，使之达到最佳化，切勿顾此失彼。

如在散打的侧踹技术训练中，如果只重视了进攻腿的动作以及身体重心的位置，而忽视了支撑腿有力的蹬伸以及节奏的把握，必然会影响整体的打击力量与打击速度。所以，在改进技术的训练中，必须注意分析研究某一要素的改进可能会给其他要素带来不利影响，并采取相应措施或要求。

（三）通过技术诊断调控技术训练过程

对于优秀运动员和教练员来说，在技术训练过程中，及时得到技术动作有效程度的反馈信息，有助于改进技术训练方法和手段，改善、调控技术训练过程。要实现这一目的，必须借助于科学的测试与诊断，即采用先进的生物力学测试仪器、方法进行诊断，然后结合教练员的实践经验进行综合评价，以便为运动员和教练员提供更多的、有价值的信息。

如武汉体育学院科技人员研制的“搏击项群训练测试仪”就能针对这一问题，对搏击运动员的技术动作实施实时监控，对实测的有关技术动作参数进行诊断与分析。其结果为教练员根据运动员的动作特点制定训练计划提供了可靠的依据。

（四）技术训练中的区别对待

在运用技术动作的运动生物力学原理指导训练的过程中，还

应重视运动员的个人特点。技术动作的运动生物力学原理只是从生物力学角度反映了各项技术动作带有共性的普遍规律,而每个运动员的技术特点各有不同,他们的技术训练也不应该按一个不变的模式进行。因此要求教练员在技术训练的过程中,经过实践逐步摸索出适合于运动员个人特点(身体的、素质的、心理的)的合理技术是极其重要的。

以散打的抱腿摔动作为例,虽然从整体上说臀位太低不利发力,但又不是绝对的,而要视运动员的身体特点而定。腿短、躯干长、腿部力量强、腰部力量弱者,就应采用臀位相对较低的摔法技术,这样才能扬长避短,充分发挥其腿部力量。

四、运动生物力学发展

运动生物力学是一门新兴的年轻学科。它的发展是从20世纪40年代开始的。一方面是战后伤员增加,假肢的制作;另一方面是工业的发展、人类工程的出现、交通事故的增多从而推动了运动生物力学的发展。到了20世纪60年代,随着现代化科学技术的提速,电子计算机的出现,这门学科得到迅速的发展。它主要表现在以下几个方面:

(一) 国际性学术交流频繁

从1967年开始在瑞士的苏黎世召开了第一届生物力学的国际性学术讨论会后,1969年在荷兰的因都温,1971年在意大利的罗马,1973年在美国的宾夕法尼亚召开了第四届会议,并正式成立了国际生物力学学术机构,会议选举美国的尼尔逊担任主席。在这次会议上还规定每两年召开一次国际性学术讨论会。此后,第五届1975年在芬兰的亚瓦斯基拉、第六届1977年在丹麦的哥本哈根、第七届1979年在波兰的花山、第八届1981年在日

本的名古屋召开。在这些讨论会上,参加论文报告的国家之多,报告的内容之广,都反映了近代国际运动生物力学的发展。

至1982年成立国际运动生物力学学会(International Society For Biomechanics In Sport 简称为ISBS)以来,国际性学术会议更加频繁,参加会议的人数和所涉及到的学科领域也越来越多。目前,世界上有40多个国家和地区的科研工作者积极参加了国际运动生物力学学术活动。大型的国际运动生物力学学术会议已成功召开了23届,其中第23届于2005年8月在北京召开。

(二) 现代化测试仪器不断出现,促进了生物力学的发展

目前,在研究、分析人体运动技术时常采用高速摄影机、高速摄像机、电影及图像解析仪、测力台、肌电仪、计算机等。利用这些先进的仪器设备,帮助我们获得人体运动时各种信息和运动参数,从而为我们分析人体的各种技术动作提供可靠的客观依据。

(三) 十分注意研究方法

运动生物力学的蓬勃发展,与其研究方法的突破是分不开的。随着现代科学技术的发展,利用各种先进精密的仪器来客观记录人体运动的运动学和动力学特征成为现实。从平面研究发展到立体研究,从单一指标到多项指标综合研究,从技术动作到电子计算机模拟,其研究领域不断扩大。然而,采用三维测力装置只能反映支撑反作用力的特征,而人体运动的动力是肌肉收缩的结果,肌肉是化学能转化为机械能的器官,肌肉的收缩又是直接受神经系统所控制的,所以在生理、生化方面,目前还有许多问题有待解决。

具体来讲运动生物力学研究领域包括三个方面:第一,应用研究。这种研究着重在各项运动技术的分析,它为运动训练和运

动成绩的提高服务。第二,基础研究。对人体形态结构特征和对人的走、跑、跳、投等基本动作进行研究,为研究更复杂的动作奠定基础,为应用研究提供依据。第三,理论研究。即揭示人体复杂运动的各种原因的基础研究。包括肌肉神经控制、肌肉收缩的机制、能量的转化与守恒、数学模型化等。

(四) 我国运动生物力学的发展与现状

我国的运动生物力学最早(1956年—1958年)是从前苏联专家贝科夫在北京体育大学讲授“动态解剖学”开始。其后引进前苏联顿斯科依“运动生物力学”教材,并在北京体育大学举办了第一期运动生物力学教师进修班。1959年第一届全运会后,我国大多数体育院校先后开设了这门课程或进行一些讲座。有些体育工作者对短跑、跳高等项目也作了一些运动生物力学研究,在教学、训练、科研等方面初步打开了局面。但是在十年“文化大革命”浩劫中,我国在这方面的工作停顿下来。而在同时期内,这门学科在国际上发展得非常迅速,导致我国运动生物力学在国际上处于相当落后的地位。1976年以后我国实行开放政策,为促进我国的运动生物力学的发展,国家体育总局采取了一些积极措施,有力地促进了我国运动生物力学的发展。

目前,教育部已明确规定运动生物力学是体育院、系学生必修的专业基础理论课程。大多数体育院、校和体育科学研究所都非常重视运动生物力学研究室的建设,引进和研制了不少现代化的仪器设备,具有了相当水平的研究能力。但运动生物力学对我国来讲还是一门新的学科,要赶上世界先进水平,还得经过一番艰苦的努力。我们相信,随着我国科学事业的发展,经过广大的教练员、运动员和教学、科研人员的共同努力,我国运动生物力学一定会得到更快的发展。

第二章

人体结构的力学特性



第一节

骨骼力学

为了对骨进行受力分析,首先要了解骨的基本力学性能。这些性能主要是在拉伸、压缩、弯曲和扭转等状态下的极限强度、极限应变及结构关系。统计表明,这些数据和函数关系随试件的不同而差异很大。不仅人和其他脊椎动物的骨性能有很大差别,就人来说,年龄、性别、职业、生活经历、生活方式、遗传基因和营养状况等因素都在很大程度上影响着骨的力学性能。如青年人的骨强度比老年人高百分之十以上,男性比女性约高百分之五。运动员与体力劳动者经常用到的那一部分骨的力学性能显著超出了其他人。即使是同一个人,因不同部位的骨骼功能的不同,力学性能也不一样。例如胫骨和桡骨在人体中是强度最高的骨骼,而一般人的右腿性能又高于左腿性能。顶骨的抗拉强度远低于抗压强度,这是因为它通常以受压的形式保护脑部。此外,骨骼系统的作用是保护内脏器官,为肌肉提供坚强的支撑及附着,以利于肌肉及人体运动。

一、骨的生物力学特性

(一) 骨的应力与应变曲线

图 2-1 表示某一韧性材料的假想载荷——变形曲线。在曲线

弹性范围 (A~B) 内加载, 卸去载荷后结构可以复原, 即不发生永久性变形。如继续加载, 材料最外层的纤维在某一点 (B) 上开始屈服, 此点称为屈服点。载荷继续增加超过屈服点而进入曲线的非弹性 (塑性) 范围, 将成为永久性变形。如在非弹性范围继续加载, 则达到结构的极限断裂点 (C)。

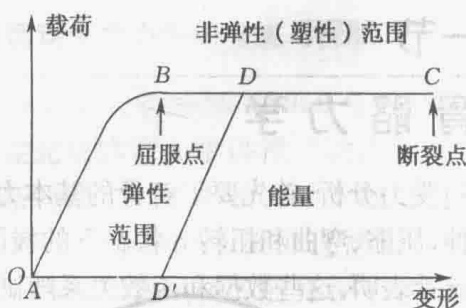


图 2-1 某一韧性材料的载荷——变形曲线

载荷——变形曲线显示出确定结构强度的三个参数：①结构在破坏前所能承受的载荷；②结构在破坏时发生的变形；③结构在破坏前所能贮存的能量。在曲线图上，由载荷与形变所表达的强度可用极限断裂点来表示。由能量贮存所表达的强度，则以整个曲线下方的面积大小来表示。此外结构的刚度，则用弹性范围的曲线的斜率来表示。

载荷——变形曲线可用于测定大小、形状和性质不同物体的强度和刚度。当检查某一确定材料的力学性能，以及比较不同材料的力学性能时，必须使试件和试验条件标准化。当测试标准、大小和形状相同的试样时，可用测定单位面积上的载荷以及长度来表示形变量，所绘制的曲线称为应力——应变曲线。应力表示结构内在某一平面对外部负荷的反应，用单位面积上的力表示。测定骨试样的应力最常用的单位是牛顿/平方厘米。结构内某一

点受载时所发生的变形称应变。应变有两种基本形式：即法向应变和剪应变，法向应变为长度的改变，剪应变为角度的改变。

将一骨组织的标准试件置于夹具中加载至破坏，即可获得骨的应力和应变值，所形成的变形可在应力——应变曲线中表示出来如图 2-2 所示。

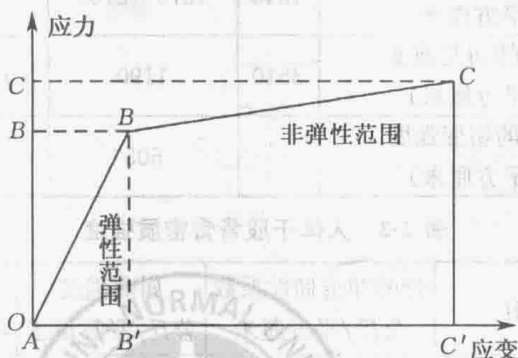


图 2-2 拉伸试验时皮质骨的应力——应变曲线

应力——应变曲线各区与载荷——变形曲线相似，在弹性范围内的载荷不会造成永久性变形，然而一旦超过屈服点，则将发生永久性变形。骨的刚度以曲线在弹性范围的斜率表示，若以能量贮存的方式表示强度的话，则以整个曲线下的面积来表达。

(二) 骨的强度

骨的力学性质受多种因素影响，如种族、性别及年龄等，甚至同一根骨的不同部位，其性质也不同。与其他材料相比较，骨的密度比钢小得多，它的强度虽小于钢，但比花岗岩、洋松要大得多，如表 2-1 所示。这说明骨作为人体的建筑材料是合乎理想的，即强度大、重量轻。研究表明，股骨骨密质的强度，在 30 岁～40 岁时达到最高，随着年龄的增长而相应减小，如表 2-2 所示。