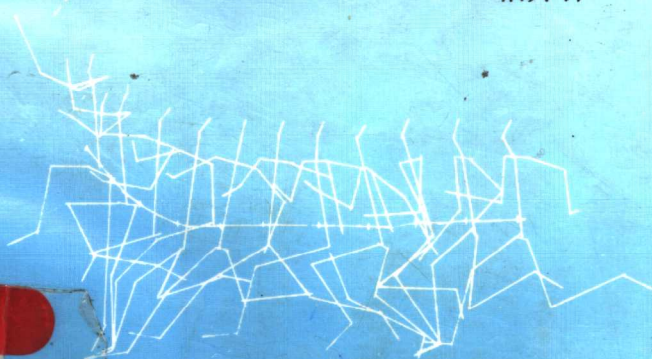


运动生物力学

主 编 张昌亨
副主编 李玉刚
参 编 严发本
柏开祥



武汉体育学院期刊社

运动生物力学

主 编 张昌亨
副主编 李玉刚
参 编 严发本
柏开祥

武汉体育学院期刊社

主 办:武汉体育学院
编辑出版:武汉体育学院期刊社
学报编辑部
地址:中国武汉卓刀泉
邮政编码:430070

主 编:孙汉超
常务副主编:叶成万
副 主 编:郑宝田 陈绍敏
照 排 印 刷:湖北省林业勘察设计院印刷厂
出 版 日 期:1996 年 6 月 25 日

刊 号: $\frac{\text{ISSN1000}-520\text{X}}{\text{CN42}-1105/\text{G8}}$

定价:7.60 元

前 言

为了适应体育院校各系专科和函授专科体育教育事业的发展,在武汉体院教材委员会领导下,受教务处和成人教育部的委托,武汉体院运动生物力学教研室主持编写了本教材。此教材是结合体育院校学生实际情况,以初等数理知识为基础而编写的,力图体现体育专科、函授教育的特点,使其符合培养规格,保证教学质量。本教材一方面结合体育运动的特点,较系统介绍了人体运动的力学基础(它包括人体运动器官的力学特性,人体运动的静力学、运动学、动力学、转动力学、流体力学以及实验);另一方面着重说明这些知识在体育中的应用。此外,每章节还附有部分思考题和计算题。

本书由武汉体院张昌亨教授任主编、李玉刚副教授任副主编,主审了全书。参加各章编写人员有张昌亨(绪论、第二章、第三章、第四章);李玉刚(第一章、第五章);柏开祥(第六章和各章习题);严发本(第七章)。高立和严发本同志负责封面设计和全部插图。

由于编者水平有限,时间仓促,书中缺点错误在所难免,恳请同志们批评指正。

武汉体育学院《运动生物力学》教材编写组

1996.3.1

目 录

绪 论	(1)
-----------	-----

第一章 人体运动器官的生物力学特征

第一节 骨的力学性质和功能的适应性	(7)
一、骨的材料力学特性	(8)
二、骨的功能适应性理论	(13)
三、软骨的力学特性	(14)
第二节 关节力学	(17)
一、关节的结构和力学特性	(17)
二、关节运动的自由度和运动幅度	(19)
第三节 肌肉力学	(22)
一、肌肉结构力学	(23)
二、肌肉收缩力量、速度及功率间的关系	(26)
三、肌肉功率在性别、项目上的差异	(29)

第二章 人体运动的静力学

第一节 人体平衡的力学条件	(34)
一、肌力在完成人体平衡动作中的作用	(34)
二、作用于人体平衡动作的外力	(36)

三、人体平衡的力学条件·····	(37)
第二节 人体静力学的力学基础 ·····	(38)
一、几个有关的概念·····	(38)
二、静力学公理和推论·····	(38)
三、力矩和力矩定理·····	(44)
四、力偶和力的平移定理·····	(45)
五、应用·····	(49)
第三节 人体平衡的分类及特点 ·····	(52)
一、根据重心和支点的位置关系分类·····	(52)
二、根据人体受一破坏平衡力作用后,能否恢复 平衡状态来区分·····	(53)
三、下支撑有限稳定平衡的稳度·····	(54)
四、人体平衡的特点·····	(59)
第四节 人体的重心 ·····	(61)
一、重心的概念·····	(61)
二、人体重心变化的特点·····	(63)
三、测定人体重心的方法 ·····	(64)

第三章 人体运动的运动学

第一节 有关运动的基本知识 ·····	(74)
一、参照物和坐标系·····	(74)
二、质点和人体的运动·····	(76)
三、描述人或器械质点运动的几个基本物理量·····	(78)
第二节 直线运动 ·····	(83)
一、匀速直线运动·····	(83)
二、匀变速直线运动·····	(83)

三、匀变速直线运动的特例·····	(85)
第三节 运动的合成与分解·····	(87)
一、运动独立性原理·····	(88)
二、运动的合成·····	(88)
三、运动的分解·····	(90)
第四节 抛体运动·····	(91)
一、运动规律·····	(91)
二、对影响抛体远度因素的讨论·····	(93)
三、出手点高于落地点的抛体运动·····	(94)
四、出手点低于着落点的抛体运动·····	(97)
五、例题·····	(102)
第五节 人体运动的分析和运动学量的特征·····	(104)
一、对人或器械运动的分析·····	(104)
二、运动学量的特征·····	(104)

第四章 人体运动的动力学

第一节 人体运动中的力·····	(109)
一、动力和阻力·····	(110)
二、外力和内力·····	(110)
第二节 牛顿三定律及其在体育运动中的应用·····	(113)
一、牛顿第一定律及其应用·····	(113)
二、牛顿第二定律及其应用·····	(117)
三、牛顿第三定律及其应用·····	(121)
第三节 动量定理、动量守恒定律及其应用·····	(123)
一、动量和冲量·····	(123)
二、动量定理·····	(125)

三、动量定理在体育运动中的应用	(127)
四、动量守恒定律	(129)
五、动量守恒定律的应用	(132)
第四节 功能定理及其应用	(134)
一、功和功率	(134)
二、机械能	(136)
三、动能定理	(138)
四、功能定理	(139)
五、机械能转换与守恒定律	(140)
六、人体运动中的功能转换与计算	(141)

第五章 人体运动的转动力学

第一节 人体运动中转动动作	(150)
一、体育运动中人体转动动作的类型	(150)
二、形成人体转动的力学条件	(154)
第二节 转动力学基本物理量	(156)
一、转动运动学基本物理量	(156)
二、转动动力学基本物理量	(158)
第三节 有支撑状态时人体的转动动作	(164)
一、有支撑状态时人体转动的力学依据	(164)
二、有支撑状态时加大人体转动效果的方法	(165)
第四节 人体在腾空状态下的转动动作	(169)
一、腾空状态时人体转动动作的基本力学	
原理——动量矩守恒定律	(170)
二、动量矩守恒定律在体育中的应用	(170)

第六章 体育运动中的流体力学

第一节 流体静力学	(178)
一、流体中的压强	(178)
二、流体的浮力	(178)
第二节 流体动力学	(180)
一、流体的连续原理	(180)
二、伯努利定律	(181)
第三节 流体阻力与升力	(183)
一、表面阻力	(184)
二、形状阻力	(185)
三、波浪阻力	(189)
四、升力	(190)
五、总阻力的讨论与计算	(191)
第四节 流体定律在体育中的应用	(192)
一、人体跑步时空气的阻力	(192)
二、游泳时水对人体的阻力	(193)
三、运动器械飞行的空气动力学效应	(195)
四、球体飞行的空气动力学特征	(196)

第七章 运动生物力学实验

实验一、人体一维重心位置的测量	(200)
实验二：绘制人体运动简图和人体重心运动轨迹	(203)
实验三：测定人体运动时的平均速度和即时速度	(207)

实验四:测定投掷铅球时的出手速度、出手角度和 出手高度的方法	(210)
实验五:人体原地纵跳支撑反作用力的动力学 测试	(213)
实验六:茹可夫转椅实验	(217)
实验七:马格努斯效应	(218)

绪 论

一、生物力学

生物力学和其它学科比较起来是一门年轻的综合性学科。它是将力学和生物学知识结合起来,研究生物体机械运动的一般规律的科学。

生物力学涉及的很广,它研究的范围主要包括:

1. 一般生物力学:即研究生命体(包括动物)的系统内部力学结构及其在内外力相互作用下产生机械运动的规律。

2. 人类工程生物力学:即从研究机器入手,进一步研究人体的机能,从研究人体的机能去改造机器,也就是如何发挥人的活动效率的工程学问题。

3. 医用生物力学:通过研究人体机能,从适应人的机能出发,研制和改进各种医疗器械。

4. 康复生物力学:如人的某一肢体残废了,需做假手假脚,以及如何进行康复锻炼,也要以生物力学为基础。

5. 生物力学研究方法:一门科学的发展有赖于研究方法,而研究方法的发展便能促进这门学科的发展,因此研究方法本身也成为了一门科学。

6. 运动生物力学:即研究与人体运动有关的生物力学。由于它是揭示人体从事各项体育运动原因的科学,所以在当今体育运动水平已达到很高水平的年代,要想提高运动成绩,充分发挥人的效率,不以生物力学的研究为基础是不行的。

此外,如生物材料力学、生物流体力学、仿生工程等等也都在生物力学研究之列。

对于以上这些学科的研究,它对于国防、工农业生产的发展,医疗设备的改进,机器人的设计,劳动效率和运动技术的提高都起很大的作用。

二、运动生物力学研究的对象和作用

由上述可知,运动生物力学是生物力学的一个分支。它是以运动解剖学、生理学、力学等学科的理论为基础来研究人体运动一般规律的科学。运动生物力学研究的对象有别于解剖学、生理学、力学的研究对象。解剖学、生理学所研究的是人体形态结构和机能的变化规律;力学是研究物体的机械运动,而运动生物力学所研究的是人体在体育运动中的机械位移和产生这种机械位移的内在原因。它所关心的是人体运动中,根据人体形态和机能的特点,研究符合力学原理的最合理、最有效的运动技术,以求达到最佳的运动效果。它既研究人体的整体运动,也研究人体各部分之间的相对运动(即人体运动的各种姿势),同时也包括运动器械及其位移的规律。

人体整体及其各部分环节的运动,和自然界其它物质一样,符合物质运动的基本规律,它是属于宏观低速物体运动。所以,我们可用牛顿的基本定律来解释人体运动的静力学、运动学、动力学等问题。然而人不是一个刚体或质点,人的运动又和动物的活动有本质的区别。人能进行思维,能认识到自己活动的目的、意义。人所进行的并不是简单的机械运动,而是对自己的运动能进行监督和控制,有一定目的和意义的行为。因而又不能机械地、生搬硬套地将力学定律运用到人体运动中去。否则会得到一些从力学定律角度来看是有利可行的,然而考虑到人体形态、机能特点后就不适宜了。因此,对

于人体运动的研究,尽管力学定律在分析人体运动中占有重要地位,但对于人体形态机能的复杂性以及高级神经系统对人体运动的指导作用一定不能忽视。

那么,究竟怎样进行运动生物力学的学习和研究呢?

1. 从人体形态结构出发,了解人体运动器官的结构和机能。如骨骼系统的结构及其杠杆作用怎样,关节是怎样连接的,肌肉是怎样配布,又是怎样活动的。这是研究人体运动的前提,如果不了解这些,我们的就无法研究生物力学。

2. 从神经支配、控制论的观点来研究。因为没有肌肉的活动也就没有人体的运动,而肌肉的活动是在神经支配下进行的。

△ 3. 从力学的角度进行研究。因为人体的运动表现为从一个位置移到另一个位置,它是遵循力学规律的。人体运动的速度、加速度、运动规律如何变化,即研究人体运动的过程和产生运动的原因时,一定要用牛顿的基本力学原理对人体运动时各种运动学、动力学参数进行分析。

4. 从能量的观点进行研究。因为人的运动是由肌肉的收缩(内力作用)所引起的,而肌肉活动的能量是体内提供的,这一过程即是将化学能转化为物理能的过程。人体的运动怎样用最少能量去发挥人的最大能力,产生最好的运动效果,也是教练员、运动员十分关心的问题。

由上分析可知,运动生物力学的任务是:

(1)研究人体从事体育运动的“运动学”特征,即人体运动的速度、加速度、运动轨迹和运动的规律。

(2)研究人体从事体育运动的“动力学”特征,即引起各种运动的力或能量转换的关系。

(3)研究人体从事体育运动过程中,解剖、生理学特征,即各器官系统在运动中的活动规律。

(4)最后综合上述研究人体从事体育运动中的动作技术,即分析影响技术动作的各种因素,如何去评价各种技术动作,如何去改进技术,以寻求根据人体解剖、生理机能,符合力学规律各种技术的最佳化方案,得出各种动作的技术原理。

通过对人体运动的运动生物力学如上述内容的研究,可获得人体运动各种力学参数,并进而研究它们之间的关系,得出人体运动的规律和技术动作的最佳化。从而为运动技术的改进,有效训练手段的选择,以及合理运动技术结构提供理论依据。同时也可对运动器械的改进提供理论依据。

三、运动生物力学的发展简介

生物力学是一门新兴的年轻学科。它的发展是从 40 年代开始的。一方面是战后伤员的出现,假肢的制做;另一方面是工业的发展,人类工程的出现,交通事故的增多导致了生物力学的发展。到了 60 年代,随着现代化科学技术的发展,电子计算机的出现,这门学科才得到迅速发展。它主要表现在以下几个方面:

1. 国际性生物力学学术交流相当频繁

从 1967 年开始在瑞士的苏黎世召开了第一届运动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分别召开了第二、三、四届会议。同时在美国召开的这次会议上正式成立了国际运动生物力学学会的机构,会议选举美国的尼尔逊担任主席。并规定每二年召开一次国际性学术讨论会。然后第

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 年在波兰的华沙、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,其报告的内容之广,都反映了近代国际运动生物力学的发展。

2. 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、电影及图象解析仪、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。

3. 十分注意研究方法

当前运动生物力学的蓬勃发展,是与其研究方法的突破分不开的。随着现代化科学技术的发展,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。从平面研究发展到立体研究,从单一指标到多项指标的综合研究,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总支撑反作用力的特性,而人体运动的动力是肌肉收缩的结果,肌肉是化学能转为机械能的器官,肌肉的收缩又是直接受神经系统所控制的。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。对人体形态结构力学特征和对人的走、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。

4. 我国运动生物力学的发展与现状

我国的运动生物力学最初(1956—1958年)是由前苏联专家贝科夫在北京体院讲授“动态解剖学”开始。其后引进苏联顿斯科依“运动生物力学”教材,并在北京体院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,我国大多数体育院系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、科研方面初步打开了局面。但经历十年“文化大革命”浩劫,使我国在这方面的的工作停了下来。而在同时期内,这门学科在世界上发展得非常迅速,因而使我国运动生物力学这门学科在国际上处于相当落后的地位。1976年以后我国实行了开放政策,为促进我国运动生物力学的发展,国家体委采取了一系列积极措施,有力地促进了我国运动生物力学的发展。

目前,运动生物力学已规定为体育院、系学生必修的专业基础理论课程,大多数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、教学和科研有关人员的共同努力,运动生物力学一定会得到更快更好的发展。

第一章 人体运动器官的生物力学特征

体育运动中引起人体运动的外力,基本上是通过肌肉活动使人体与外界产生相互作用而实现的。因此人体结构机能的力学特性是运动生物力学的重要内容之一。

事实上,人体的运动是以骨为杠杆,以关节为枢纽,以肌肉收缩为动力而实现的。因此,运动器系一般指骨、关节、肌肉。在本章里主要研究骨、关节、肌肉等运动器官所具有的生物力学属性以及体育运动对这些器官的影响。但由于人类对自己的深入认识受到较大的局限性,如缺少在活体上直接测试生物材料力学性能的实验手段和方法,故目前尚未建立起完善的活组织力学结构关系的理论。因此在较大程度上只能把人体运动器系进行抽象简化为模型,从而得到其一定的有关生物力学特性。随着科学技术的不断发展,人类对人体自身的认识将会更加深入和更加广泛。

第一节 骨的力学性质和功能的适应性

不论是从形态学的观点还是力学的观点来看,骨都是非常复杂的。目前,任何一个高明的力学专家和工程师都无法用工程的方法制造出像骨这样优良的受力结构,骨的这种最优结构决定了骨的多种机能,从运动生物力学等观点来看,骨的