

运动生物力学

李良标 吕秋平 等编著



北京体育学院出版社

运动生物力学

北京体育学院出版社

责任编辑 张义霄

责任校对 一 肖

封面设计 王玉璞

运动生物力学

李良标 吕秋平等编著

北京体育学院出版社出版发行
(北京西郊圆明园东路)

新华书店总店北京发行所经销
地质出版社印刷厂印刷

开本: 787×1092毫米1/32 印张: 15.75 定价: 4.25元 (压膜装)

1991年6月第1版 1991年6月第1次印刷 印数: 2000册

ISBN 7—81003—455—3/G·346

(凡购买本版图书因装订质量不合格本社发行部负责调换)

编者的话

本教材根据运动生物力学专业的培养目标，在尽量反映本学科国内外现状的基础上编写而成。为了体现本学科的实验性和应用性的特点，教材内容除了运动生物力学基本知识理论外，还注重了测试手段和分析方法的理论与实践。其目的是培养学生的分析问题和解决问题的能力。

本教材是国内外第一本针对运动生物力学专业本科生的教材。它是在我院历届运动生物力学专业教学实践与经验的基础上，参考1988年编写的运动生物力学专业生用《运动生物力学讲义》编写成的。

本书共12章，前3章包含绪论、运动生物力学研究方法概论及人体惯性参数，它是一本教材的准备部分；第4至第7章，讲授人体运动的力学原理及研究方法；第8至第10章，着重讲授人体运动器官系统的生物力学；第11章为人体基本活动，讲授人体基本活动原理，为分析研究人体复杂运动及竞技运动技术提供理论基础；第12章是运动技术生物力学。它包含两方面内容：前两节讲授运动技术生物原理及分析方法的总论；其余各节讲授各项运动技术的生物力学原理及分析方法。

本教材由李良标主持编写工作。吕秋平编写第1、4、5章；谭订编写第6章（其中第1、2节由吕维加编写，谭订作了修改），李德坚编写第7章；李良标编写第2、3、

8、9、10、11及12章（其中第七节由吕维加编写）。

本教材定稿后请苏品、卢德明先生审校，报院教材委员会郑嘉浩等先生审阅，副院长张思温同志审定，他们为提高本教材的质量提出了恳切的意见和建议，对此深表谢意。

由于时间仓促，以及限于编著者的水平，教材中难免有不妥甚至错误之处，恳切希望读者批评指正。

编 者

1990年10月于北京体育学院

目 录

第一章 绪论	(1)
一、运动生物力学的概念.....	(1)
二、运动生物力学与相关学科的关系.....	(2)
三、运动生物力学的任务.....	(3)
四、运动生物力学的发展简史.....	(5)
第二章 运动生物力学研究方法概述	(8)
第一节 研究方法.....	(8)
第二节 运动生物力学研究的基本任务和特点.....	(10)
第三节 运动生物力学的研究类型.....	(11)
第四节 运动生物力学的研究手段.....	(13)
一、高速摄影.....	(14)
二、影片解析仪.....	(15)
三、三维测力台.....	(15)
四、肌电仪.....	(17)
五、人体模型.....	(18)
六、其它.....	(21)
第三章 人体惯性参数	(22)
第一节 人体总质心位置及转动惯量.....	(22)

一、人体总质心位置	(22)
二、人体转动惯量	(24)
三、人体总质心位置及转动惯量测定方法	(25)
第二节 人体环节惯性参数	(32)
一、环节惯性参数的测量方法	(33)
二、人体环节的划分	(53)
三、环节长轴的确定	(58)
四、人体环节惯性参数值	(61)
五、影片上人体转动惯量计算方法	(68)
第四章 人体平衡	(80)
第一节 人体的平衡	(80)
一、人体平衡概述	(80)
二、人体平衡的分类	(81)
第二节 人体平衡的稳定性	(84)
一、稳定性概述	(84)
二、影响人体平衡稳定度的因素	(87)
三、人体平衡的破坏和恢复	(90)
第五章 人体运动学及研究方法	(93)
第一节 人体运动学概述	(93)
一、运动学特征量	(93)
二、人体运动学研究方法	(94)
第二节 平面摄影测量	(97)
一、影片拍摄	(97)
二、影片的数据化	(102)
第三节 平面拍摄测量的误差源	(103)
一、系统误差	(103)

二、随机误差	(105)
第四节 数据平滑	(106)
一、信号与噪音	(106)
二、数据信号的频谱分析	(107)
三、平滑方法	(110)
第六章 人体动力学及研究方法	(114)
第一节 动力学基本定理及其在体育中的运 用	(115)
一、牛顿定律及其在体育中的应用	(115)
二、动量定理及其在体育中的应用	(122)
三、动量矩定理及其在体育中的应用	(126)
四、动能定理及其在体育中的应用	(134)
五、人体运动的机械效率	(140)
第二节 动态测力的理论与方法	(143)
一、三维测力台的力学模型与测力原理	(144)
二、三维测力台输出信号的数字计算	(151)
三、测力台与计算机联接	(157)
四、三维测力台的应用	(162)
五、其它动态力的测试方法	(164)
第三节 多刚体系统动力学基础	(169)
一、基本概念与刚体运动学基础	(170)
二、刚体动力学基础	(180)
三、多刚体系统的运动学及动力学方程	(187)
第四节 人体运动仿真	(200)
一、概述	(200)
二、人体模型和数学模型	(202)

三、人体腾空运动仿真系统	(208)
四、仿真系统用于人体运动修改和设计的	
实例	(215)
五、运动生物力学研究中的计算机技术	(218)
第七章 人体运动中的流体力学及研究方法	(226)
第一节 游泳运动员的水阻力特性	(226)
一、同一姿势下的水阻力	(227)
二、不同姿势下的水阻力	(227)
三、水阻力的成分	(231)
四、动态阻力	(231)
第二节 模型手的水动特性	(232)
一、手和前臂的划水推进作用	(232)
二、手的水动力特性	(234)
第三节 自行车运动的空气阻力	(237)
一、骑姿与空气阻力	(237)
二、跟骑时的阻力	(239)
第四节 滑雪飞行阶段的气动特性	(240)
第五节 空气对体育器械的作用	(242)
一、标枪	(242)
二、铁饼	(247)
三、飘球	(249)
第八章 骨的生物力学	(255)
第一节 骨的力学性质	(255)
一、骨的应力——应变曲线	(255)
二、骨的强度	(257)
第二节 骨骼受力形式与表现	(259)

一、不同载荷下骨的表现	(259)
二、肌肉活动对骨骼应力分布的影响	(263)
三、体育活动中骨骼的受力形式及其强度	(264)
第三节 机械应力对骨结构的影响	(266)
第四节 骨的能量贮存	(267)
第五节 重复载荷下的骨骼疲劳	(269)
第六节 骨骼的大小和形状对强度和刚度的 影响	(270)
第九章 肌腱与韧带装置的生物力学	(280)
第一节 腱和韧带对伸展的应答反应	(281)
第二节 韧带和腱之间力学性能与负荷作用时间 之间的关系	(284)
第三节 影响韧带和腱的力学性能的因素	(286)
第十章 肌肉生物力学	(288)
第一节 离体肌生物力学基础	(288)
一、三元素模型	(289)
二、肌肉收缩力——长度特性	(289)
三、肌肉收缩力——速度特性	(292)
第二节 肌肉收缩生物力学	(296)
一、肌肉的激活状态	(296)
二、肌肉松弛	(298)
三、载荷对肌肉收缩力学量的影响	(298)
四、肌肉收缩力的功、功率	(300)
五、肌肉与腱的生物力学性能对于运动效率的 影响	(306)
六、肌肉收缩形式与其特性	(310)

第三节	控制肌肉激活性的生物力学观点	(312)
第四节	肌电与肌肉活动	(324)
一、	肌电能良好地表征肌肉用力特征	(324)
二、	运动技术的肌电诊断	(330)
第十一章	人体基本运动	(335)
第一节	影响人体基本运动能力的因素	(335)
一、	相关原理	(335)
二、	相对原理	(339)
三、	测不准原理	(340)
第二节	人体基本运动形式	(344)
一、	上肢基本运动形式	(344)
二、	下肢基本运动形式	(346)
三、	全身基本运动形式	(347)
第三节	人体基本运动原理	(348)
一、	杠杆原理	(348)
二、	复杠杆原理	(349)
三、	关节活动顺序性原理	(350)
四、	鞭打动作原理	(353)
五、	缓冲与蹬伸动作原理	(355)
六、	摆动动作原理	(358)
七、	躯干扭转原理	(360)
八、	相向运动原理	(361)
第十二章	运动技术的生物力学	(365)
第一节	运动技术的生物力学原理及其对技术训练的 指导作用	(365)
一、	运动技术的生物力学原理	(365)

二、运动技术的生物力学原理对技术训练的指 导作用	(375)
第二节 分析研究运动技术的一般方法	(377)
一、了解运动技术的一般过程	(377)
二、明确动作技术本身所需要达到的目的.....	
任务	(381)
三、明确运动技术的关键环节	(382)
四、揭示动作技术的生物力学特征及规律	(383)
五、作出结论	(383)
第三节 跑的生物力学	(384)
一、起跑与加速跑	(384)
二、途中跑	(390)
第四节 跳的生物力学	(405)
一、跳的一般原理	(406)
二、跳远	(410)
三、跳高	(414)
第五节 投掷的生物力学	(417)
一、各项投掷的一般生物力学原理	(417)
二、投掷标枪的生物力学	(425)
第六节 游泳的生物力学	(431)
一、出发技术分析	(430)
二、游泳划水的推进力	(433)
三、游泳中两腿动作的力学分析	(446)
第七节 骑自行车的生物力学分析.....	(451)
一、自行车骑行过程中的肌肉用力特点	(454)
二、骑行时的运动学特征与动作的关系	(455)

三、骑行时的动力学特征与动作关系	(458)
四、空气阻力对骑行的影响	(461)
第八节 射箭的生物力学	(466)
一、撒放动作运动学特征	(467)
二、撒放阶段弓弦运动轨迹	(468)
三、弓弦的S形运动轨迹及箭弯曲的原因	(469)
四、影响箭弯曲的因素及对飞行的影响	(470)
五、撒放动作技术	(474)
第九节 举重的生物力学	(476)
一、引言	(476)
二、方法	(476)
三、结果与分析	(480)
四、讨论	(487)
五、小结	(488)

第一章 绪 论

一、运动生物力学的概念

运动生物力学是一门新兴的边缘学科，它是生物力学的一个分支。

生物力学是研究生物体的机械运动规律及其与其他运动形式相互转化规律的科学。它的研究范围很广，包括植物、动物及人体的各种力学现象。生物力学包括许多分支学科，诸如人类工程生物力学、医学生物力学、康复生物力学及运动生物力学等。运动生物力学是它的一个主要分支。

运动生物力学是研究体育运动中人体及器械的机械运动规律及其与其他运动形式相互转化规律的一门学科，它以经典力学的理论和方法为主要工具，研究体育运动中的各种力学现象。

运动生物力学的主要研究对象是人体。人体的机械运动包括人体空间位置的变化和空间形状的变化。在研究人体的空间位置变化时，常常把人体的肌肉和内脏等的形变忽略不计，而把人体简化为一个具有刚性连接的多刚体系统，这是因为肌肉、内脏的形变量相对于人体的位置移动是一个小

量。在研究人体的空间形状变化时，一般认为骨骼系统是小变形体，而认为软组织系统是大变形体。

从运动生物力学角度看，要建立运动技术的力学模型，必须知道内在规律和约束条件两类因素。这里的约束条件不仅包含力学条件，还包含人体生物学条件和专项技术条件，甚至还包含场地环境和裁判规则等约束条件。约束条件的复杂性正是运动生物力学研究工作比一般力学研究工作复杂得多的主要原因之一。只有全面掌握这些约束条件，才能建立精确的运动技术力学模型，对专项运动有实际的指导意义。

二、运动生物力学与相关学科的关系

（一）运动生物力学与力学的关系

运动生物力学与力学有极其密切的关系，力学知识是运动生物力学知识的核心。运动生物力学以力学的原理和方法为主要工具，研究体育运动中的力学现象。例如采用理论力学的原理和方法研究专项技术动作的运动规律；采用流体力学原理和方法研究体育运动中的流体力学现象（如游泳、潜水、田径等项目）；采用材料力学和弹性力学的原理和方法研究运动器械和场地设施的变形规律等。

（二）运动生物力学与生物科学的关系

运动生物力学主要是研究人体的运动规律，必然会涉及到人体结构和机能方面的知识。运动解剖学、运动生理学及生物力学等人体生物学科的知识，是运动生物力学研究的主要理论依据之一。

（三）运动生物力学与体育专项理论的关系

运动生物力学的主要研究对象是运动状态下的人体，其中绝大部分是从事各种不同运动项目的运动员，由于人体活动特性和各种专项规则的特殊要求，人体的运动有着不同的条件和限制，因此要使运动生物力学的研究结果有真正的实用价值，必须结合各运动项目的技术理论和专项技术特点。

（四）运动生物力学与电子学科的关系

运动生物力学的研究方法还涉及到物理、电子技术等学科的知识，尤其是计算机科学。计算机在运动生物力学研究中的数据测试、处理和计算中起着极其重要的作用，它是运动生物力学的主要研究手段之一。

三、运动生物力学的任务

运动生物力学主要承担以下几项研究任务：

（一）研究人体结构和机能的力学特性

运动生物力学的主要研究任务之一就是揭示人体结构、机能的力学特性，诸如骨骼、关节的强度、肌肉收缩特性等。除此之外，人体的一些“超常”能力，比如硬气功师能够以头撞击石碑，或赤脚踏击碎玻璃等，这些也是运动生物力学有待研究的问题。

（二）揭示运动技术原理，进行技术诊断

从运动生物力学角度看，体育运动是人体和器械的机械运动，许多项目都是竞争远度、高度、速度、力量等力学量的大小，因此，我们可以采用运动生物力学为主要工具，揭示运动技术的力学原理，结合运动员的生物学特点和专项特

点，建立合理的动作技术模式，并分析不同运动员的技术，找出不合理之处，提出改进措施，从而提高运动成绩。这是运动生物力学应用研究的主要目的所在。

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。采用运动生物力学的原理和方法分析优秀运动员的专项技术，保留合理方面，改正不合理之处，建立“最佳”动作技术模型，并对不同运动员进行技术诊断，这样可以避免盲目地模仿优秀运动员动作技术的现象，从而达到“去粗取精，去伪存真”的目的。

技术诊断工作在国际上非常普及，西方和东欧的体育强国在它们的训练基地装备许多生物力学测试仪器，比较成功地实现了对运动员的技术改进工作，提高了运动成绩。在我国这一工作正在开展，并取得了一定的成绩。

（二）设计和改进运动器械

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，田径撑竿跳高项目就是一个典型的例子。从最早的竹竿到现在的玻璃钢竿和碳素纤维竿的不断更新，为优秀撑竿跳高运动员不断创造新的世界纪录奠定了基础。再比如，西方的运动生物力学专家分析了短跑运动员脚、踝部运动特点，经过大量的实验测试，研制出新型的运动生物力学“跑鞋”，目前这种高性能新型跑鞋，是国际优秀短跑运动员的必选用鞋。

（四）为防治运动损伤提供力学依据

体育运动中的损伤一般都是机械损伤，例如骨折、软组织拉伤等。运动生物力学可以揭示这种机械损伤的力学机制，揭示骨骼和软组织在什么情况下容易造成损伤，从而为