

高等学校教材

运动生物力学学习指导

李建设 潘慧炬 陆阿明 编

高等教育出版社

高等学校教材

运动生物力学学习指导

李建设 潘慧炬 陆阿明 编

高等教育出版社

内容提要

本书主要介绍了运动生物力学教学要求、教学重点、教学内容和运动生物力学的基本概念、基本定理和基本公式。阐述了运动生物力学习题指导,并按专题进行解题技巧的指导。对高等学校教材《运动生物力学》全部内容给出了题解和参考答案,并增选了部分研究生入学考试题。

图书在版编目(CIP)数据

运动生物力学学习指导/《运动生物力学学习指导》
编写组编. —北京:高等教育出版社,2000(2001重印)
ISBN 7-04-007969-0

I. 运… II. 运… III. 运动生物力学-高等学校-
教学参考资料 IV. G804.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 17625 号

运动生物力学学习指导

《运动生物力学学习指导》编写组 编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 高等教育出版社印刷厂

开 本 850×1168 1/32

版 次 2000 年 5 月第 1 版

印 张 4.25

印 次 2001 年 6 月第 3 次印刷

字 数 100 000

定 价 5.10 元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等
质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

运动生物力学是高等学校体育教育专业一门应用性很强的专业理论课程。长期以来,我们就希望有一本既有助于培养学生分析问题和解决问题能力,又有助于系统掌握运动生物力学基本理论的习题指导书。尤其是本学科及相关学科研究生入学普遍加试运动生物力学以来,这种需求就显得更为迫切。同时,在我们多年讲授运动生物力学的过程中,也深感这类书籍的良好作用。有感于此,在1997年新版高等学校教材《运动生物力学》启动时,我们就萌生了写一本运动生物力学习题指导书的想法,并得到了高等教育出版社的支持和指导。

为结合教学,本书按高等教育出版社新版《运动生物力学》教材的章节顺序,并在内容安排上参考了体育学院通用教材和一些国外的同类教材。在编写形式上,我们着重做了三方面的工作。其一是提出运动生物力学教学指导纲要,阐述了运动生物力学教学要求、教学重点、教学内容和基本概念、定理和公式。其二是撰写了运动生物力学习题指导,并分成若干专题结合典型实例进行解题思路和方法上的指导,希望能给学生以解题技巧上的训练。其三是对《运动生物力学》教材的全部内容按章节顺序给出了题解和参考答案,并增选了部分研究生入学试题。我们的想法是,学力学不做习题是不行的,但泡在题海中也是不行的,这就牵涉到一个学习方法问题,本书不仅希望给学生提供一些可供选择的习题,更重要的是希望通过习题指导以提高解题技巧。

本书受高等教育出版社的委托,由浙江大学体育系李建设教授牵头主编,浙江师范大学体育系潘慧炬副教授和苏州大学体育学院副教授陆阿明合作编著,浙江师范大学杜利民副编审帮助绘

图。苏州大学体育学院叶永延、郑亦华教授主审。赵焕彬、王小虹、许红峰、钱雯、李树屏、邓重生、柳方祥、张国棣提供了部分习题，值此，一并致谢！

本书可作为高等学校体育教育专业师生学习运动生物力学的配套教材，对准备报考体育学院有关学科和术科研究生的同学尤为合适。

由于编写时间较紧，且限于我们的水平，书中错误在所难免，敬请读者指正。

李建设

一九九九年二月于杭州

目 录

第一章 运动生物力学教学指导纲要	1
一、绪 论	1
二、运动器系的生物力学特性	2
三、人体惯性参数	4
四、人体平衡的生物力学	6
五、人体运动的运动学	8
六、人体运动的动力学	11
七、体育运动中的流体力学	14
八、人体基本体育动作的生物力学	16
九、运动生物力学研究方法和测量技术	17
十、运动生物力学教学实验	18
第二章 运动生物力学习题指导	20
一、解题的一般程序	20
二、解题的基本方法	22
三、参照系、坐标系的选择	28
四、关于牛顿定律解题	31
五、关于动量定理解题	37
六、关于功能原理解题	40
七、关于守恒定律解题	43
八、关于极值问题	51
九、关于问答题	54
十、关于是非题和选择题	56
十一、关于答案正误的检查	58
第三章 运动生物力学习题解	61

一、绪论题解	61
二、运动器系的生物力学特征题解	62
三、人体惯性参数题解	64
四、人体平衡的生物力学题解	65
五、人体运动的运动学题解	71
六、人体运动的动力学题解	78
七、体育运动中的流体力学题解	84
八、人体基本体育动作的生物力学题解	89
九、运动生物力学研究方法和测量技术题解	91
第四章 运动生物力学习题选编	93
一、综合题	93
二、计算题	96
第五章 附录	112
一、三角函数表	112
二、平方根表	113
三、常用对数表	114
四、人体惯性参数	115
五、基本力学常数与单位换算	123
六、人体运动特征指标	123
七、希腊字母表	124
主要参考文献	125

第一章 运动生物力学教学指导纲要

一、绪 论

(一) 教学基本要求和教学重点

1. 教学基本要求

本章主要阐述运动生物力学学科的定义、任务、内容及与相关学科的关系,学习运动生物力学的指导思想和运动生物力学的发展简史与发展趋势。要求掌握运动生物力学学科的概念和课程任务,理解运动生物力学作为交叉学科的性质和学习运动生物力学的意义。明确运动生物力学与相关学科的关系及其学科任务,并了解运动生物力学的指导思想和运动生物力学的发展简史及其发展趋势。

2. 教学重点

- (1) 运动生物力学的学科定义及学科任务;
- (2) 人体运动与机械运动的区别及人体机械运动的表现形式与特点;
- (3) 学习运动生物力学的指导思想及学科发展史。

(二) 教学内容概述

1. 运动生物力学概述

- (1) 运动生物力学概念;
- (2) 运动形式:简单的、低级的运动形式,复杂的、高级的运动形式;

- (3) 人体运动的复杂性;
- (4) 人体机械运动的特点、表现形式和约定条件。

2. 运动生物力学的任务和内容

- (1) 运动生物力学的任务: 学科任务, 课程任务;
- (2) 运动生物力学的课程内容。

3. 运动生物力学与相关学科的关系

- (1) 运动生物力学与运动解剖学;
- (2) 运动生物力学与运动生理学;
- (3) 运动生物力学与力学、生物力学;
- (4) 运动生物力学与运动人体科学。

4. 学习运动生物力学的指导思想

- (1) 系统分析的观点;
- (2) 发展变化和对立统一的观点;
- (3) 内、外力相互作用和人体内力起主导作用的观点。

5. 运动生物力学发展简史与发展趋势

- (1) 运动生物力学发展简史;
- (2) 运动生物力学发展趋势: 理论研究、应用研究、方法学研究。

(三) 基本概念

力学、生物力学、运动生物力学。

二、运动器系的生物力学特性

(一) 教学基本要求和教学重点

1. 教学基本要求

本章主要阐述运动器官和系统的力学结构及其整体的生物力学特性, 运动中骨、关节、肌肉的相互作用规律。要求掌握运动

器系结构的生物力学特性及其在运动中的表现形式，特别是骨骼肌的生物力学特性及其在体育运动实践中的意义，明确运动器系生物力学特性是学习运动生物力学的基础。初步掌握运动器系整体活动的生物力学性能与特点及人体动作系统的概念。了解人体材料力学的基本性质。

2. 教学重点

(1) 人体骨骼、软骨、关节、韧带和肌腱的生物力学特性及其在运动中的表现；

(2) 骨骼肌的生物力学基础及其在体育运动实践中的应用；

(3) 运动器系整体活动的生物力学特征与规律。

(二) 教学内容概述

1. 生物材料力学的基本概念

2. 骨的生物力学特性

(1) 骨结构的生物力学特性：骨的形态结构及理化特性对力学特性的影响，骨组织的力学特性；

(2) 骨的力学特性：骨密质的力学性质，骨松质的力学性质；

(3) 骨疲劳；

(4) 肌肉活动对骨应力的影响。

3. 关节软骨、韧带、肌腱的生物力学特性

(1) 关节软骨的力学特性：渗透性，材料力学性能与负载速度的关系，单轴向张力条件下关节软骨的性能，关节软骨的蠕变反应，润滑作用，磨损；

(2) 韧带、肌腱的生物力学特性：应力-应变曲线，韧带、肌腱力学特性的影响因素。

4. 人体关节力学

(1) 关节运动学；

(2) 关节动力学。

5. 骨骼肌的生物力学特性

(1) 骨骼肌的结构模型;

(2) 肌肉长度与肌肉收缩张力的关系: 收缩成分的长度-张力关系, 并联弹性成分的长度-张力关系, 肌肉长度-总张力关系, 串联弹性成分对肌肉收缩长度-张力曲线的影响;

(3) 肌肉收缩的张力-速度关系: 快速释放实验, 希尔方程及其力学意义, 肌肉离心收缩的张力-速度关系;

(4) 肌力变化的梯度。

6. 运动器系整体的生物力学性能与特点

(1) 环节、运动链与骨杠杆: 环节、生物运动链、骨杠杆;

(2) 骨骼、关节、肌肉的相互作用: 生物运动链的运动行为、生物运动链的动力学、生物运动链中肌群的协调与配合。

7. 人体动作结构与动作系统

(1) 人体动作系统: 动作和动作结构、动作系统、动作系统结构的发展;

(2) 人体动作信息反馈和人体自控规律: 信息结构、自控结构。

(三) 基本概念

载荷、粘弹性、应力-应变曲线、骨疲劳、润滑作用、松弛、蠕变、骨骼肌模型、主动张力、被动张力、平衡长度、静息长度、希尔方程、肌力梯度、环节、运动链、骨杠杆、动作结构、动作系统、生物力学系统。

三、人体惯性参数

(一) 教学基本要求和教学重点

1. 教学基本要求

本章主要阐述人体惯性参数的概念、人体惯性参数的测量原理和测量方法。要求掌握人体质心的测量原理与方法、人体转动

惯量的测量原理与方法，明确人体惯性参数模型是人体运动规律研究数学化和力学化的基础。了解其他人体惯性参数的测量方法与实践意义。

2. 教学重点

- (1) 人体惯性参数模型的建立；
- (2) 人体质心的测量原理与方法；
- (3) 人体转动惯量的测量原理与方法。

(二) 教学内容概述

1. 人体惯性参数概述

(1) 质量与转动惯量：质量，转动惯量，回转半径，形状规则物体的转动惯量，计算转动惯量的基本定理；

(2) 人体惯性参数的基本测量方法：尸体解剖测量法，活体射线测量法；

(3) 人体惯性参数模型。

2. 人体环节质心和人体质心

(1) 人体各环节的划分；

(2) 人体各环节与关节点的判定：判定基础，判定原则，判定方法；

(3) 人体各环节质量、环节质心及测量方法；

(4) 人体质心测量原理与方法：人体总质心位置及影响因素，人体总质心位置的测量原理与方法。

3. 人体转动惯量及其测量方法

(1) 人体转动惯量及其可变性；

(2) 人体转动惯量的测量原理与方法。

(三) 重要概念、定理

人体惯性参数、人体惯性参数模型（人体质量几何分布模型）、质量、转动惯量、平行轴定理、垂直轴定理、人体质心、

环节质心、转动半径。

四、人体平衡的生物力学

(一) 教学基本要求和教学重点

1. 教学基本要求

本章主要阐述体育运动中人体平衡动作的力学原理，人体局部和整体平衡的生物力学条件，人体平衡动作的生物力学分析。要求掌握人体静平衡和动平衡时的受力分析、人体局部平衡和整体平衡的生物力学分析和人体整体平衡的生物力学特点，理解人体运动与平衡之间的内在联系及其相互转化。基本掌握人体运动中基本平衡动作的生物力学分析方法。

2. 教学重点

- (1) 力和力系的概念及人体受力分析；
- (2) 力系的简化与平衡、人体局部平衡与受力分析；
- (3) 人体平衡的类型、影响人体平衡的因素和人体平衡的生物力学特点。

(二) 教学内容概述

1. 人体平衡动作的力学原理

- (1) 基本概念：力与力系，约束与约束反力，力的独立作用原理，力的可传性原理，力的平移定理，研究对象的受力分析；
- (2) 力的合成与分解：合力与分力，力的合成，力的分解；
- (3) 力系的简化与平衡：共点力系的简化与平衡，共面力系的简化与平衡，空间力系的简化与平衡。

2. 人体整体平衡的生物力学条件和特点

- (1) 人体平衡的力学条件；
- (2) 人体平衡的类型：上支撑平衡、下支撑平衡、混合支撑

平衡, 稳定平衡、不稳定平衡、随遇平衡;

(3) 人体平衡的稳定性: 支撑面大小, 重量及重心高度, 稳定角, 稳定系数;

(4) 人体平衡的生物力学因素: 人体平衡的相对性, 人体有效支撑面小于理论支撑面, 人体姿势改变对平衡的调节, 心理因素的影响。

3. 人体平衡动作的生物力学分析

- (1) 燕式平衡;
- (2) 吊环十字支撑;
- (3) 直角支撑;
- (4) 力量训练中颈后负铃动作;
- (5) 起跑动作;
- (6) 技巧造型动作。

(三) 基本概念、定理、公式

1. 基本概念、定理

力、力系、约束、约束反力、力的独立作用原理、力的可传性原理、力的平移定理、力的合成与分解、力系平衡、局部平衡、关节力、稳定性、支撑面、稳定角、稳定系数。

2. 基本公式

- (1) 共点力系平衡条件:

$$\sum F_x = 0; \sum F_y = 0$$

- (2) 共面力系平衡条件:

$$\sum F_x = 0; \sum F_y = 0; \sum M = 0$$

- (3) 空间力系平衡条件:

$$\sum F_x = 0; \sum M_x = 0$$

$$\sum F_y = 0; \sum M_y = 0$$

$$\sum F_z = 0; \sum M_z = 0$$

五、人体运动的运动学

(一) 教学基本要求和教学重点

1. 教学基本要求

本章主要阐述描述人体平动、转动的运动学特征和抛体运动的运动学规律。要求掌握人体运动的空间、时间和时空特征以及抛体运动的运动学规律,明确描述人体运动的运动学参数的物理意义和在体育运动中的实践意义。基本掌握人体运动的简化、简化模型的建构和运动学分析。

2. 教学重点

- (1) 人体运动的空间、时间和时空特征描述;
- (2) 人体运动速度的描记与变化规律;
- (3) 体育运动中抛体运动的规律。

(二) 教学内容概述

1. 人体运动的简化

- (1) 人体运动的简化:质点及质点模型,刚体及刚体模型,人体简化物理模型的条件和意义;
- (2) 实体模型的建构。

2. 人体运动的参照系和坐标系

- (1) 运动的绝对性和相对性;
- (2) 参照系:惯性参照系,非惯性参照系;
- (3) 坐标系:直角坐标系,包括一维坐标系、二维坐标系(平面坐标系)、三维坐标系(立体坐标系),极坐标系,球坐标系。

3. 人体运动的分类和运动学特征

- (1) 人体运动的分类:直线运动和曲线运动,平动、转动和

复合运动；

(2) 人体运动的运动学特征：空间特征，时间特征，时空特征；

(3) 运动学参数的特征：瞬时性，矢量性，相对性，独立性。

4. 人体运动速度的变化规律

(1) 平均速度和瞬时速度：平均速度，瞬时速度；

(2) 平均加速度和瞬时加速度：平均加速度，瞬时加速度，曲线运动中的瞬时加速度；

(3) 速度的合成与分解：运动的独立性原理，绝对速度、相对速度与牵连速度，速度的合成与分解，加速度的合成。

5. 人体转动运动

(1) 角位移；

(2) 角速度与角加速度：角速度，角加速度；

(3) 角速度、转动半径与线速度的关系；

(4) 角位移、弧长和肌拉力角的关系。

6. 体育运动中的抛体运动

(1) 平抛与斜抛运动；

(2) 抛点与落点在同一水平面上的斜抛运动；

(3) 抛点与落点不在同一水平面上的斜抛运动：抛点高于落点，抛点低于落点。

(三) 基本概念、定理、公式

1. 基本概念、定理

模型(质点、刚体、实体)、参照系(惯性参照系、非惯性参照系)、坐标系、匀变速直线运动、平动、转动、复合运动、时间、时刻、路程、位移、速度、速率、平均速度、瞬时速度、平均加速度、瞬时加速度、法向(向心)加速度、运动的独立性原理、绝对速度、相对速度、牵连速度、角位移、角速度、角加速度、肌

拉力角。

2. 基本公式

(1) 匀加速直线运动的方程:

速度公式: $v_t = v_0 + at$

路程公式: $S = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$

速度、路程公式: $v_t^2 - v_0^2 = 2as$

(2) 线速度、角速度与转动半径的关系:

$$v = \omega \cdot R$$

(3) 抛点与落点在同一水平面的斜抛:

飞行时间: $T = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$

抛体最大高度: $H_m = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$

抛体射程: $s = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$

(4) 抛点高于落点的斜抛:

飞行时间: $T = \frac{v_0 \sin \alpha + \sqrt{v_0^2 \sin^2 \alpha + 2gh}}{g}$

抛体射程: $s = \frac{v_0^2 \cos \alpha \sin \alpha + v_0 \cos \alpha \sqrt{v_0^2 \sin^2 \alpha + 2gh}}{g}$

最佳出手角: $\alpha_{opt} = \sin^{-1} \frac{v_0}{\sqrt{2(v_0^2 + gh)}}$

(5) 匀加速度转动运动的方程:

$$\omega_t = \omega_0 + \beta t$$

$$\varphi = \omega_0 t + \frac{1}{2} \beta t^2$$

$$\omega_t^2 - \omega_0^2 = 2\beta \varphi$$