



高 / 等 / 教 / 育 / 体 / 育 / 学 / 精 / 品 / 教 / 材

运动生理学

EXERCISE PHYSIOLOGY

运动生理学编写组 编

北京体育大学出版社



运动生理学

Exercise Physiology



北京体育大学出版社

出版人 李 飞
责任编辑 佟 晖
审稿编辑 董英双
责任校对 未 茗
版式设计 佟 晖
绘 图 叶 莱 李 鹤
责任印制 陈 莎

图书在版编目(CIP)数据

运动生理学 / 运动生理学编写组编. — 北京 : 北京体育大学出版社, 2013. 8
高等教育体育学精品教材
ISBN 978-7-5644-1402-3

I. ①运… II. ①运… III. ①运动生理学—高等学校—教材 IV. ①G804.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第189855号

运动生理学 《运动生理学》编写组 编

出 版 北京体育大学出版社
地 址 北京市海淀区信息路48号
邮 编 100084
邮购部 北京体育大学出版社读者服务部 010-62989432
发行部 010-62989320
网 址 <http://cbs.bsu.edu.cn>
印 刷 北京瑞禾彩色印刷有限公司
开 本 787×1092毫米 1/16
印 张 27.75

2014年7月第1版第1次印刷

定 价: 84.00元

(本书因装订质量不合格本社发行部负责调换)

序



人才培养是高等学校的根本任务，对处于学校工作中心地位的教学工作来说，其质量建设是高等学校的永恒主题。作为传授知识、掌握技能、提高素质的载体，教材在人才培养过程中起着非常重要的作用，是高等学校提高教学质量，促进内涵发展的有力抓手。

一本好的教材，不仅要充分体现教材应有的基础性、示范性和权威性，还要正确把握教学内容和课程体系的改革和创新方向，充分反映学科的教育思想观念、人才培养模式以及教学科研的最新成果，集中展现教材体系的创新，教材内容的更新和教学方法、手段的革新，善于处理好理论与实践、继承与创新、广度与深度、知识与技能、利学与利教的关系，成为开拓学生视野、引导学生探索、鼓励学生奋进的学业与人生兼备的“工具书”。

从中央体育学院到北京体育学院再到北京体育大学，这 60 年的办学历程，是继承发展的 60 年，是改革创新的 60 年，也是教材建设硕果累累的 60 年。学校不断探索教材建设的内在规律，引领高等体育教育教材建设的创新之路，发展了具有自身特色的教材体系，形成了特色鲜明的三个发展阶段。第一阶段是在上世纪 50 年代至 60 年代，我校教师在苏联专家的指导下，制定和编写了各专业的教育计划、大纲和主要教材。这批教师在主持和参与 1961 年国家体委组织的体育院校 18 门课程教材编著工作中发挥了重要作用；而这批教材也成为我国独立编写的、对苏联教材模式有所突破的第一批体育院校教材。第二阶段是上世纪 70 年代末至 90 年代，我校教师在大量承担第二次重编体育院校教材牵头组织工作的同时，针对学校“三结合”的办学目标和人才培养模式，开始了多学科、多专业的自编教材建设。第三阶段是进入 21 世纪以后，特别是国家体育总局于 2002 年下拨教材建设专款 480 万元之后，我校教材建设在数量和质量上都取得了重大突破。至 2010 年共立项建设了涵盖我校各专业课程的 187 项教材，其中有 4 项教材获得国家级优秀（精品）教材称号，14 项教材获得北京市精品教材称号。可以说上述三个阶段的发展，使我校教材建设水平达到了一个空前的高度，为高等体育人才的培养发挥了重要的作用。

为全面提高高等体育教育质量，深化高等体育教育教学改革，继续加强体育学精品教材建设，2012 年初，在北京体育大学教学指导与教材建设委员会的具体指导下，我们启动了高等教育体育学精品教材建设工程。学校遴选教育部新颁布的体育学类所属的体育教育、运动

训练、社会体育指导与管理、武术与民族传统体育、休闲体育、运动康复、运动人体科学7个本科专业的部分基础课程和主干课程开展精品教材建设。我们整合了全校的优质资源，组织专家、教授全程参与教材的规划、编写、初审、终审等过程。按照精品教材的要求，以优秀的教学团队编写优质的教材，出精品、出人才为建设思路，编委会优选学术水平与教学水平兼备、具有创新精神的专家、教授担任教材主编，组织优秀教学团队成员参与教材编写；精确定位教材适用对象，准确把握专业知识结构、能力结构和综合素质要求，深刻领会课程内涵，简洁洗练地表达知识点、能力点和素质点；融入最新的教改成果和科研成果，吸收国外优秀教材的先进理念和成果，创新利于学生自学和教师讲授的教材体例；学校还投入专项资金，对教材进行一体规划、一体设计、一体编审，并采用多色印刷技术增加教材的可读性；为全力保证教材编写质量，北京体育大学出版社资深编辑深度介入教材编写的所有环节。当这批教材展现在读者面前时，我们充满了期待。

岁月如流，薪火相传。60年的教材建设成绩斐然，推动着体育学教材建设步入新的起点、站在新的高度。展望未来，一批批体育学精品教材将随世界一流体育大学的建设进程应运而生，不仅在学校内涵式发展的改革进程中发挥重要作用，而且在全国高等体育院校人才培养中做出积极贡献，在高等教育教材建设中留下浓墨重彩的一笔。

北京体育大学校长
校教学指导与教材建设委员会主任
2013年9月



北京体育大学高等教育体育学 精品教材编委会

顾 问：田麦久 金季春 邢文华

主 编：杨 桦

副主编：池 建 谢敏豪 刘大庆 胡 扬

编 委 (以姓氏笔画为序)：

马鸿韬 王瑞元 王荣辉 孙 南

毕仲春 朱 晗 曲 峰 李 飞

祁 兵 迟立忠 张延安 张 健

张 凯 邱俊强 罗冬梅 周志辉

高 峰 唐建军 曹建民 章朝琿

葛春林 温宇红 蔡有志 熊晓正

樊 铭

教材编写组

组 长：王瑞元

副组长：周 越

成 员：（以姓氏笔画为序）

于 亮 王瑞元 王 艳 石丽君

朱 荣 刘 阳 李 丽 许寿生

孙君志 张 纓 汪 军 何 辉

严 翊 周 越 赵 丽 曾凡星

熊开宇 廖 鹏

前 言



为适应体育院校运动人体科学、运动康复等专业运动生理学教学和学习需要，编写了本教材。学习本教材首先需要学习人体生理学。在掌握了人体正常的生理功能的基础上，才能较好地学习和掌握运动条件下人体生理活动的基本规律。

本书可作为体育院校运动人体科学、运动康复等专业运动生理学的教学和学习的教材，也可作为体育学领域研究生学习以及生理学工作者的参考用书。

本教材编写经过了认真调研和论证。在明确了体育学领域运动人体科学、运动康复等专业人才培养定位和需求的基础上，组织了以北京体育大学运动生理学教研室教师为骨干，广泛吸纳了相关领域优秀的教学和科研人员，经过充分地讨论和反复修订，编写了本教材。新教材坚持了“三基”（基础理论、基本知识、基本技能）、“五性”（思想性、科学性、先进性、启发性、适用性）、“三特定”（特定的对象、特定的要求、特定的限制）的原则，在完整呈现运动生理学内容的前提下，对传统的运动生理学理论和知识体系进行了有机调整。改变了重视运动训练，轻视运动健身的做法，增加了大量与运动健身有关的生理学内容，做到了运动训练和运动健身并举。

新教材分为三部分。第一部分，运动生理学基础，介绍了运动生理学的基本理论和基本知识。第二部分，运动训练生理学，介绍了与运动训练关系比较密切的运动生理学理论和知识。掌握本部分内容，可更好地运用运动生理学的理论和知识指导体育教学和运动训练。第三部分，运动健身生理学，本部分主要由与运动健身相关的章节组成。学习这部分内容，可使学生掌握运动健身的一般原理和健身方法，更好地指导大众进行健身运动。

为了使学生更好地了解运动训练提高运动能力，以及运动锻炼促进身体健康、防治某些疾病的生理学原理，教材不但在章节和内容上有创新性调整，同时也及时补充了一些新的研究成果，吸纳了许多新的知识点，丰富了教材内容。

本教材由王瑞元教授主编并统稿。参加编写的人员有王瑞元（绪论、第二章）、朱荣（第一章）、周越（第三、十三章）、严翊（第四章）、张纓（第五章）、赵丽（第六、第十六章）、孙君志（第七章）、曾凡星、廖鹏（第八章）、熊开宇、何辉（第九章）、汪军（第十、十一、十二章）、刘阳、于亮（第十四章）、许寿生（第十五章）、王艳、

石丽君、汪军、李丽（第十七章）。

北京体育大学出版社佟晖副编审对本教材的编辑出版工作给予了极大的支持和帮助；另外，编写过程中何辉、刘阳、孙君志、于亮等人不仅参与了有关章节的编写工作，还在资料收集、初稿审校等方面做了大量的工作，在此向他们表示衷心的感谢。

为了编出一本理论体系和知识框架完整、结构合理、内容丰富的运动生理学教材，我们一直在努力探索。但书成之后，仍感离愿望甚远，鉴于水平和时间有限，书中难免存在错误或不当之处，恳请广大师生及读者提出批评及改进意见。

《运动生理学》编写组

2013年8月



目录 CONTENTS

绪论

- 2 / 第一节 运动生理学概述
- 5 / 第二节 运动生理学的历史沿革
- 11 / 第三节 运动生理学研究现状
- 13 / 第四节 运动生理学研究的热点

第一部分 运动生理学基础

第一章 运动与骨骼机能

- 21 / 第一节 骨代谢与骨钙化
- 24 / 第二节 骨的基本生理过程
- 30 / 第三节 制动和运动对骨骼系统的影响

第二章 运动与骨骼肌机能

- 34 / 第一节 肌纤维的结构
- 40 / 第二节 肌纤维的收缩过程
- 42 / 第三节 骨骼肌特性
- 44 / 第四节 骨骼肌的收缩形式
- 52 / 第五节 肌纤维类型与运动能力
- 61 / 第六节 肌电的测试与应用
- 64 / 第七节 运动对骨骼肌形态和机能的影响

第三章 运动与氧摄取和运输

- 71 / 第一节 运动与呼吸系统
- 77 / 第二节 运动与血液

82 / 第三节 运动与心血管功能

第四章 运动与内分泌功能

93 / 第一节 运动引起内分泌系统变化的基本特点

95 / 第二节 运动与下丘脑-垂体的内分泌功能

100 / 第三节 运动与心脏的内分泌功能

102 / 第四节 运动与胰岛的内分泌功能

104 / 第五节 运动与其它腺体或组织的内分泌功能

第五章 运动与免疫机能

108 / 第一节 免疫学基础概述

115 / 第二节 运动与分泌型免疫分子

117 / 第三节 运动与免疫细胞

122 / 第四节 运动与免疫调节

第六章 运动中的神经调控

131 / 第一节 神经肌肉控制

143 / 第二节 运动技能学习与控制

155 / 第三节 脑电图的应用

第二部分 运动训练生理学

第七章 运动时的物质和能量代谢

163 / 第一节 运动与物质代谢

174 / 第二节 运动时的能量供应

178 / 第三节 不同运动项目的供能分析

182 / 第四节 运动时能量代谢的测量与计算

第八章 身体素质的生物学基础与评价方法

191 / 第一节 力量素质的生物学基础与评价方法

198 / 第二节 速度素质的生物学基础与评价方法

206 / 第三节 耐力素质的生物学基础与评价方法

218 / 第四节 灵敏素质的生物学基础与评价方法

221 / 第五节 柔韧素质的生物学基础与评价方法

第九章 运动过程中人体机能变化规律

225 / 第一节 赛前状态与准备活动

230 / 第二节 进入工作状态

233 / 第三节 稳定状态

237 / 第四节 疲劳状态

237 / 第五节 恢复过程

第十章 运动性疲劳与恢复

239 / 第一节 运动性疲劳

250 / 第二节 运动后的恢复

第十一章 运动机能的生理学评定

260 / 第一节 运动员身体机能评定的概念及功能

261 / 第二节 运动员身体机能评定的指标及方法

264 / 第三节 运动员身体机能的综合评定

第十二章 特殊环境与运动

269 / 第一节 高原环境与运动

279 / 第二节 高温高湿环境与运动

284 / 第三节 冷环境与运动

287 / 第四节 微重力环境与运动

第十三章 运动训练周期的生理学原理

294 / 第一节 运动训练的周期安排及生理学原理

301 / 第二节 赛前减量训练的生理学原理

第三部分 运动健身生理学

第十四章 儿童青少年的生长发育与体育锻炼

- 309 / 第一节 生长、发育和成熟
- 310 / 第二节 儿童青少年的生长发育规律
- 315 / 第三节 儿童青少年的体质发育特点
- 320 / 第四节 儿童青少年的身体素质发育特点
- 325 / 第五节 儿童青少年体育教学的注意事项

第十五章 女性的生理特点与体育运动

- 332 / 第一节 女性不同阶段的生理特点
- 337 / 第二节 月经周期、妊娠与运动锻炼
- 345 / 第三节 老年女性骨质疏松症与运动

第十六章 老年人的生理特点与体育锻炼

- 352 / 第一节 衰老的概念与机理
- 359 / 第二节 老年人的生理特点
- 365 / 第三节 老年人心血管机能特点与锻炼
- 371 / 第四节 老年人的骨骼肌退化与锻炼

第十七章 运动促进健康的生理学

- 377 / 第一节 运动促进健康的生理学原理与运动处方
- 388 / 第二节 心血管疾病与体育锻炼
- 406 / 第三节 糖尿病与体育锻炼
- 414 / 第四节 单纯性肥胖与体育锻炼

424 / 中英文名词索引

绪论



○ 本章学习提示

通过本章的学习，要求学生了解运动生理学的起源与发展，以及运动生理学理论体系和知识框架的形成历程；掌握运动生理学的概念、研究对象和任务，以及当前运动生理学研究现状和研究的热点课题；通过本章的引导为学习运动生理学的理论和知识打下良好基础。



第一节 运动生理学概述

一、运动生理学的概念、研究对象和任务

人体生理学 (human physiology) 是一门研究人体生命活动现象和规律的科学。它主要研究正常状态下, 人体内各细胞、器官和系统的功能, 以及在整体情况下, 各器官、系统和身体部分之间的相互协调, 以达到人体适应外界环境变化的过程、规律和机理。

运动生理学 (exercise and sport physiology) 是人体生理学的一个分支, 是研究人体的运动能力和对运动的反应与适应过程的科学, 主要研究在运动过程中, 人体各细胞、器官、系统的机能变化和它们的协同工作的能力和机理, 进而观察在整体水平上人体的运动能力, 以及人体的形态和机能对运动产生适应性变化。运动生理学是体育科学中一门重要的应用基础理论学科。

运动生理学的任务是在对人体生命活动规律有了基本认识的基础之上, 揭示运动时人体机能变化规律及其机理, 阐明运动训练、体育教学和运动健身过程中的生理学原理, 指导不同年龄、性别和训练程度的人群进行科学地运动训练和体育锻炼, 以达到提高运动能力和运动技术水平、提高工作效率、增强体质、延缓衰老和改善生活质量的目的。

运动生理学不仅是研究人体短期一次性运动所产生的的形态学和功能变化, 以及人体如何维持内环境稳定, 即所谓人体对一次性运动的实时适应或短期适应; 同时研究人体对长期重复运动所产生的长期而深刻的适应性变化是运动生理学更重任务。

运动生理学可根据研究的对象和任务不同分为运动锻炼生理学 (exercise physiology), 环境运动生理学 (environmental exercise physiology), 运动训练生理学 (sport physiology)。

运动锻炼生理学是研究运动健身时人体各器官、系统产生的适应性机能变化, 以及长期从事运动锻炼人体产生的形态学和生理学适应性变化; 研究这些适应性变化的机制, 进而阐明运动健身的原理, 制定运动健身的方法, 以达到运动健身的目的。环境运动生理学研究在特殊环境中 (低氧、低温、高温、高压等) 运动锻炼和运动训练时人体产生生理适应的规律和机理, 以便在特殊环境中进行运动锻炼和运动训练时更好地适应环境, 达到运动健身和运动训练的目的。运动训练生理学研究运动员在运动训练过程中, 人体产生的形态学和生理学适应的机制, 制定合理的运动训练方案, 以达到提高运动员竞技能力的目的。正是由于运动生理学研究对象和任务不同, 使运动生理学的研究内容丰富多彩。

二、运动生理学研究的基本方法与研究水平

(一) 运动生理学研究的基本方法

实验研究法是运动生理学研究的基本方法。通过实验观察和分析人体在运动过程中机能活动的变化过程及其因果关系。

1. 动物实验法

根据生物进化观点,人同动物特别是哺乳动物,有许多结构和功能相似之处。因此,可用动物试验的研究结果间接地探讨人体的生理功能变化及其机制。

动物实验一般分为慢性实验和急性实验两类。慢性动物实验是指在完整、清醒、健康的动物体上进行各种生理实验研究的方法,如摘除或破坏动物的某个器官,以观察其生理功能及活动规律。急性动物实验又可分为在体实验和离体实验两种。所谓在体实验是指在麻醉或破坏神经中枢高级部位的条件下,解剖动物并对某个器官的功能进行观察。离体实验是指从活的或刚被处死的动物体内摘取器官、组织或细胞,置于人工控制的实验环境中,测试其组成成分,观察其生理功能。

应当指出,相当多的生理学和运动生理学的知识是从动物实验中获得的。动物实验是研究生理学和运动生理学不可缺少的手段。但是应用动物实验所得结论时,应充分考虑人与动物之间的差异,不可简单地生搬硬套。

2. 人体实验法

在运动生理学研究中,人体实验是常用的研究方法。运动生理学中的人体实验法分为运动现场测试法和实验室测试法。

实验室测试法是指让受试者在实验室进行按照一定的研究目的而设计的运动方案运动时(如在跑台、功率自行车和各种力量练习器上进行运动),利用各种仪器设备测试运动员在运动过程中的各种生理指标变化,以了解不同运动强度和运动形式的运动对人体某些生理机能的影响。

运动现场测试法是指在运动现场直接监测运动员运动前、运动中和运动后的恢复过程中,某些生理机能变化,借以了解不同运动项目的生理特点,或不同人群在完成同一运动项目时的生理反应。例如用心率遥测仪测定运动时运动员的心率变化,就是典型的运动现场测试法。这种方法的特点是符合运动的实际情况。但在运动实践中往往实验仪器和设备的限制,以及测试条件不易控制等因素难以实现。随着,实验仪器设备的改进和测试手段的提高,运动现场测试法在运动生理学研究中的应用越来越广泛。

运动生理学的各种理论和观点绝大部分是从实验中获得并总结出来,又不断在实践中受到检验。



（二）运动生理学的研究水平

运动生理学研究根据研究任务和实验对象不同可分为：整体水平、器官和系统水平、细胞和分子水平。整体、器官和系统水平的研究属于宏观研究，细胞、分子水平的研究属于微观研究。

1. 整体水平研究

整体水平研究是指在整体水平上研究人体在一定的环境条件下运动时人体的机能变化，人体各器官、系统之间的相互关系，以及人体各器官、系统对运动的适应过程。例如，研究人体运动时心血管系统的机能、呼吸系统的机能、内分泌机能、物质和能量代谢、肌肉组织利用氧能力等的变化，以及它们对运动的适应等都属于整体水平的研究。整体水平的研究是运动生理学的一个重要方面。

2. 器官、系统水平研究

人体运动时的整体机能表现，是建立在各器官、系统机能水平和机能活动的密切协调配合基础之上的。探讨人体运动时的机能变化，必须对各器官系统的机能进行研究。器官、系统水平研究是指研究每个器官、系统在运动中的机能有何变化，这种变化是怎样发生、发展的，变化的条件是什么，受哪些因素制约，以及这种变化对运动中的整体机能变化将产生什么影响等。例如，在运动中心血管系统的机能会发生较大的变化，表现为心率、血压、心输出量升高。探讨引起这些指标升高的因素及变化特点的研究就是器官、系统水平研究。

3. 细胞、分子水平研究

器官是由一些具有特殊功能的细胞群所组成。各器官、系统的生理机能取决于这些具有特殊功能的细胞群。而每个细胞的生理功能又依赖于构成细胞的生物分子（biomolecule）。细胞、分子水平的研究主要是研究运动时细胞内各亚微结构的机能，以及各生物分子的特殊理化变化过程。目前，研究大负荷后骨骼肌超微结构变化，收缩蛋白和骨架蛋白的组成变化，以及线粒体、生物膜、酶系统等功能变化，均属于细胞、分子水平的研究。

（三）宏观研究和微观研究的关系

1. 从宏观水平研究深入到微观水平研究

从宏观水平研究深入到微观水平研究，是运动生理学发展的要求和必然趋势。只停留在宏观水平的研究无法了解运动导致的人体机能和形态学适应的机制。因此，运动生理学研究必须从宏观研究深入到微观研究，以探讨运动训练和健身的生理学机制。

2. 宏观研究指导微观研究

进行细胞、分子水平研究的优点是可直接、客观地分析某一局部生理现象的机制。但是，在微观水平上采用某个或某几个指标，只能解释一些孤立的微观生理现象，或揭示一些相互独立的生理机能的成因。这样就难免存在一定程度上的片面性或不完整性。因此，在