

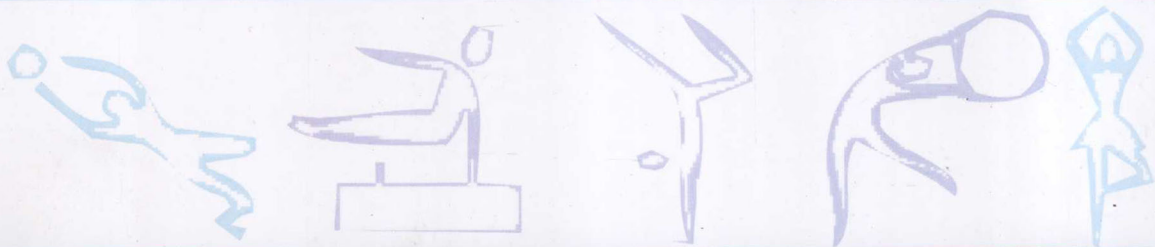


“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材  
国家级精品资源共享课配套教材  
普通高等学校体育教育专业主干课教材  
全国高等学校体育教学指导委员会审定

# 运动生理学

(第三版)

邓树勋 王健 乔德才 郝选明 主编



# SPORTS

国家级精品资源共享课“运动生理学”



高等教育出版社



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材  
国家级精品资源共享课配套教材  
普通高等学校体育教育专业主干课教材  
全国高等学校体育教学指导委员会审定

# 运动生理学

Yundong Shenglixue

(第三版)

邓树勋 王健 乔德才 郝选明 主编

高等教育出版社·北京

## 内容提要

本教材为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材，由全国17所高等学校常年从事本学科教学工作的22位教授编写。新版教材具有起点高、体系新、实用性强、信息量大等特点，全书包括绪论、肌肉活动、能量代谢、神经系统的调节功能、内分泌调节、免疫与运动、血液与运动、呼吸与运动、血液循环与运动、消化吸收与排泄、身体素质、运动与身体机能变化、运动技能的形成、年龄性别与运动、肥胖体重控制与运动处方和环境与运动共15章内容。

本书为高等院校体育教育专业本科教材，也可作为体育学科其他专业的教材，亦是体育爱好者、教练员和运动员的参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

运动生理学/邓树勋等主编. --3版. --北京:  
高等教育出版社, 2015.4

ISBN 978-7-04-042309-9

I. ①运… II. ①邓… 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(2015)第042633号

策划编辑	赵文良	责任编辑	赵文良	封面设计	王 琰	版式设计	余 杨
插图绘制	黄建英	责任校对	刘春萍	责任印制	张泽业		

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市西城区德外大街4号  
邮政编码 100120  
印 刷 北京天时捷印刷有限公司  
开 本 787mm × 960mm 1/16  
印 张 24.75  
字 数 450千字  
购书热线 010-58581118  
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landaco.com>  
<http://www.landaco.com.cn>  
版 次 2005年7月第1版  
2015年4月第3版  
印 次 2015年4月第1次印刷  
定 价 38.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换  
版权所有 侵权必究  
物料号 42309-00

## 编委名单

- 主 编** 邓树勋 (华南师范大学 教授)  
王 健 (浙江大学 教授)  
乔德才 (北京师范大学 教授)  
郝选明 (华南师范大学 教授)
- 副主编** 张 勇 (天津体育学院 教授)  
何玉秀 (河北师范大学 教授)  
刘善云 (天津体育学院 教授)  
黄玉山 (华南师范大学 教授)
- 成 员** (以姓氏笔画为序)
- 王凤阳 (河北师范大学 教授)  
王竹影 (南京师范大学 教授)  
王维群 (苏州大学 教授)  
刘一平 (福建师范大学 教授)  
刘洪珍 (曲阜师范大学 教授)  
汤长发 (湖南师范大学 教授)  
吴纪饶 (江西师范大学 教授)  
肖国强 (华南师范大学 教授)  
林 华 (辽宁师范大学 教授)  
房冬梅 (江苏师范大学 教授)  
胡 扬 (北京体育大学 教授)  
胡柏平 (陕西师范大学 教授)  
党晓云 (河南师范大学 教授)  
彭 莉 (西南大学 教授)

### 学术秘书

- 侯莉娟 (北京师范大学 副教授)

# 编写说明

本书是普通高等教育《运动生理学》教材的第三版，是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。自本书第二版出版以来，运动生理学学科有了很大发展，在科研和教学领域取得了很多成果。为此，本次编写对第二版进行了较大的修改，力求全书内容能更好地适应体育教育专业的培养目标和专业特点，在遵循学科本身的科学性及其系统性基础上，着重加强运动生理学的实用性，并对教材中一些不必要的内容进行了删减，使内容更切合专业特点。全书共分为15章，既包含了生理学的基本内容，又突出了体育专业特点；在阐明生理基本知识的同时，又增加了较多的应用内容。

根据新课程方案及教学指导纲要的要求，本教材由华南师范大学邓树勋教授、浙江大学王健教授、北京师范大学乔德才教授和华南师范大学郝选明教授担任主编，全国17所院校的22位教授参加编写。2013年12月，在华南师范大学召开新教材编写讨论会，拟定了编写纲目，明确了编写工作的具体要求及分工；2014年3月至9月，参编者对其初稿进行了认真的修改；2014年10月，在北京师范大学由主编根据审稿意见对各章内容进一步作修改，定稿后交高等教育出版社。

参加本教材编写的人员有：邓树勋（绪论）、王健（第一章）、张勇（第二章）、乔德才（第三章）、汤长发（第四章）、郝选明（第五章）、房冬梅（第六章）、王维群（第七章）、王竹影（第八章）、刘洪珍（第九章、第十章第五节）、王凤阳（第十章第一节）、肖国强（第十章第二、三节）、刘一平（第十章第四节）、胡扬（第十章第六节）、胡柏平（第十一章）、刘善云（第十二章）、党晓云（第十三章第一节）、林华（第十三章第二、三节）、何玉秀（第十四章第一、二节）、黄玉山（第十四章第三节）、彭莉（第十五章第一、二、三节）、吴纪饶（第十五章第四、五节）。此外，在教材的编写和修改过程中，北京师范大学运动生理学副教授侯莉娟博士做了大量的工作。在此对上述各位教授、专家及老师表示衷心的感谢。

本教材编写过程虽经多次讨论、修改，数易其稿，但限于专业水平有限，不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

邓树勋、王健、乔德才、郝选明

2014年11月于北京

# 目 录

绪 论 .....	1
一、运动生理学概述 .....	2
二、生命活动基本特征 .....	6
三、机体内环境与稳态 .....	6
四、人体生理功能活动的调节 .....	7
五、反馈与前馈 .....	8
<b>第一章 肌肉活动 .....</b>	<b>10</b>
第一节 细胞生物电现象 .....	11
一、刺激、反应与兴奋 .....	11
二、细胞生物电活动 .....	12
第二节 肌肉收缩原理 .....	16
一、肌肉的微细结构 .....	16
二、肌肉收缩与舒张过程 .....	20
第三节 肌肉收缩的形式与力学特征 .....	23
一、肌肉收缩的形式 .....	23
二、肌肉收缩的力学特征 .....	25
第四节 肌纤维类型与运动能力 .....	28
一、不同类型骨骼肌纤维的形态结构和功能特征 .....	28
二、肌纤维类型与运动的关系 .....	34
第五节 肌电图 .....	39
一、肌电信号的引导和记录 .....	39
二、肌电图的基本原理与正常肌电图 .....	39
三、肌电信号的分析 .....	40
四、肌电图的应用 .....	40
<b>第二章 能量代谢 .....</b>	<b>43</b>
第一节 人体能量的供给 .....	44
一、ATP 与 ATP 稳态 .....	44
二、ATP 的生成过程 .....	46
三、不同途径合成 ATP 的总量及效率 .....	49

第二节	人体能量代谢的测定	49
一、	能量代谢测定原理与方法	49
二、	影响能量代谢的因素	51
三、	基础代谢	53
第三节	运动状态下的能量代谢	54
一、	能量代谢对急性运动的反应	54
二、	能量代谢对慢性运动的适应	58
三、	与运动相关的能量代谢检测与评价	59
第三章	神经系统的调节功能	61
第一节	组成神经系统的细胞及其一般功能	62
一、	神经元	62
二、	神经胶质细胞	64
第二节	神经系统功能活动的基本原理	65
一、	突触传递	66
二、	反射活动的基本规律	68
第三节	神经系统的感觉分析功能	73
一、	感觉概述	73
二、	躯体和内脏的感觉功能	75
三、	眼的视觉功能	79
四、	耳的听觉功能	81
五、	内耳的平衡觉功能	82
第四节	神经系统对姿势和运动的调节	83
一、	运动传出的“最后公路”	83
二、	中枢对姿势的调节	84
三、	中枢对躯体运动的调节	86
第四章	内分泌调节	92
第一节	内分泌与激素	93
一、	内分泌和激素的概念、作用及其特征	93
二、	激素的细胞作用机制	97
三、	内分泌功能轴	99
第二节	主要内分泌腺的功能	100
一、	下丘脑和垂体	101
二、	甲状腺和甲状旁腺	102
三、	肾上腺	105



四、胰岛 .....	107
五、性腺 .....	109
第三节 运动与内分泌功能 .....	110
一、重要内分泌激素对运动的反应和适应 .....	110
二、激素对运动时能量代谢的调控 .....	113
三、激素对运动时水盐代谢的调控 .....	114
<b>第五章 免疫与运动 .....</b>	<b>117</b>
第一节 免疫学基础 .....	118
一、免疫系统 .....	118
二、免疫应答 .....	122
第二节 运动与免疫 .....	123
一、免疫功能对运动的反应 .....	123
二、免疫功能对运动的适应 .....	124
三、免疫功能的调理 .....	127
<b>第六章 血液与运动 .....</b>	<b>132</b>
第一节 血液的组成与特性 .....	133
一、血液的组成 .....	133
二、血液的理化特性 .....	136
第二节 血液的功能 .....	137
一、血浆的功能 .....	137
二、血细胞的功能 .....	139
三、血型与输血 .....	141
第三节 运动对血液成分的影响 .....	142
一、运动对血浆的影响 .....	142
二、运动对血细胞的影响 .....	143
三、高原训练和低氧训练对血液组成的影响 .....	145
<b>第七章 呼吸与运动 .....</b>	<b>147</b>
第一节 肺通气 .....	148
一、肺通气的动力学 .....	148
二、肺通气功能的评定 .....	150
三、肺通气对运动的反应与适应 .....	154
四、呼吸肌的训练 .....	156
第二节 肺换气和组织换气 .....	156
一、气体交换的原理 .....	156



二、气体交换的过程 .....	157
三、影响气体交换的因素 .....	158
第三节 气体在血液中的运输 .....	158
一、氧的运输 .....	159
二、二氧化碳的运输 .....	162
第四节 呼吸运动的调节 .....	163
一、呼吸中枢 .....	163
二、人体正常呼吸运动的调节 .....	163
三、运动时呼吸变化的调节 .....	165
<b>第八章 血液循环与运动 .....</b>	<b>167</b>
第一节 心脏生理 .....	168
一、心肌的生理特性 .....	168
二、心脏的泵血功能 .....	171
三、心脏泵血功能的评价 .....	172
四、影响心输出量的因素 .....	174
五、心电图 .....	176
第二节 血管生理 .....	177
一、血管的功能特点及其内分泌功能 .....	178
二、动脉血压和动脉脉搏 .....	179
三、静脉血压和静脉回心血量 .....	182
四、微循环 .....	183
第三节 心血管活动的调节 .....	184
一、神经调节 .....	185
二、体液调节 .....	187
三、自身调节 .....	188
第四节 运动对心血管系统的影响 .....	188
一、运动时心血管功能的变化 .....	189
二、运动训练对心血管系统的影响 .....	192
<b>第九章 消化、吸收与排泄 .....</b>	<b>195</b>
第一节 消化与吸收 .....	196
一、消化 .....	196
二、吸收 .....	200
第二节 排泄 .....	202
一、肾的基本结构、功能单位与血液循环 .....	202

二、尿液的生成 .....	204
三、肾在保持水和酸碱平衡中的作用 .....	207
四、运动对肾功能的影响 .....	208
<b>第十章 身体素质 .....</b>	<b>211</b>
<b>第一节 力量素质 .....</b>	<b>212</b>
一、力量素质的生理学基础 .....	212
二、力量素质的测定 .....	217
三、力量素质的训练 .....	219
<b>第二节 速度素质 .....</b>	<b>223</b>
一、速度素质的生理学基础 .....	223
二、速度素质的测定 .....	225
三、速度素质的训练 .....	227
<b>第三节 无氧耐力素质 .....</b>	<b>228</b>
一、无氧耐力素质的生理学基础 .....	228
二、无氧耐力素质的测定 .....	229
三、无氧耐力素质的训练 .....	230
<b>第四节 有氧耐力素质 .....</b>	<b>232</b>
一、最大摄氧量和无氧阈 .....	232
二、有氧耐力素质的生理学基础 .....	235
三、有氧耐力素质的测定 .....	236
四、有氧耐力的训练 .....	236
<b>第五节 平衡、灵敏、柔韧与协调素质 .....</b>	<b>239</b>
一、平衡 .....	239
二、灵敏 .....	242
三、柔韧 .....	244
四、协调 .....	248
<b>第六节 身体素质训练的几种新方法 .....</b>	<b>249</b>
一、核心力量训练 .....	250
二、振动训练 .....	253
三、呼吸肌训练 .....	255
四、低氧训练 .....	257
<b>第十一章 运动与身体机能变化 .....</b>	<b>263</b>
<b>第一节 赛前状态与准备活动 .....</b>	<b>264</b>
一、赛前状态 .....	264

二、准备活动 .....	265
第二节 进入工作状态与稳定状态 .....	265
一、进入工作状态 .....	266
二、稳定状态 .....	267
第三节 运动性疲劳 .....	268
一、运动性疲劳的特点 .....	268
二、运动性疲劳产生的生理机制 .....	269
三、运动性疲劳的检测指标 .....	272
第四节 恢复过程 .....	274
一、恢复过程的一般规律 .....	274
二、促进恢复过程的措施 .....	276
第五节 脱训与尖峰状态训练 .....	277
一、脱训 .....	277
二、尖峰状态训练 .....	278
<b>第十二章 运动技能的形成 .....</b>	<b>280</b>
第一节 运动技能的生理学基础 .....	281
一、运动技能的分类 .....	281
二、运动技能形成的生理学机制 .....	282
第二节 运动技能形成的过程 .....	285
一、泛化阶段 .....	286
二、分化阶段 .....	287
三、巩固与自动化阶段 .....	287
第三节 影响运动技能形成的因素 .....	289
一、运动技能的迁移 .....	289
二、感觉反馈的影响 .....	290
三、注意力的影响 .....	292
<b>第十三章 年龄、性别与运动 .....</b>	<b>295</b>
第一节 儿童少年与运动 .....	296
一、儿童少年的生长发育 .....	296
二、儿童少年的生理特点 .....	297
三、儿童少年的身体素质发展 .....	302
第二节 女性与运动 .....	305
一、女性的生理特点 .....	305
二、女性运动的特殊问题 .....	308

第三节	老年人与体育锻炼 .....	310
一、	老年人的生理特点 .....	310
二、	运动对老年人生理功能的影响 .....	313
三、	老年人健身运动的原则 .....	313
第十四章	肥胖、体重控制与运动处方 .....	315
第一节	身体成分概述 .....	316
一、	体重与身体成分 .....	316
二、	身体成分与体重控制的意义 .....	316
三、	理想体重与身体成分 .....	317
第二节	肥胖与体重控制 .....	319
一、	肥胖的危害及其形成机制 .....	319
二、	体重控制与运动减肥的生理学机制 .....	323
第三节	运动处方 .....	325
一、	概述 .....	326
二、	运动处方的制定与实施 .....	330
三、	运动处方实例 .....	333
第十五章	环境与运动 .....	336
第一节	冷热环境与运动 .....	337
一、	体温与调节 .....	337
二、	冷环境与运动 .....	340
三、	热环境与运动 .....	342
第二节	水环境与运动 .....	345
一、	水环境运动对人体生理功能的影响 .....	345
二、	人体对水环境的适应 .....	346
第三节	高原环境与运动 .....	347
一、	高原环境的特点及其对运动能力的影响 .....	347
二、	人体对高原环境的反应与适应 .....	348
第四节	大气环境与运动 .....	350
一、	大气环境 .....	350
二、	大气环境污染 .....	351
三、	大气环境污染对人体健康的危害 .....	353
四、	大气环境污染与运动 .....	355
第五节	生物节律与运动 .....	356
一、	生物节律及其机制 .....	357

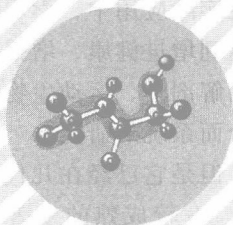
二、生物节律与运动能力 .....	359
三、运动员生物节律的调整 .....	360
参考资料 .....	362
中英文名词对照 .....	370

---

# 绪 论

---

# 0



## 一、运动生理学概述

### （一）运动生理学的性质

运动生理学起源于解剖学和生理学。解剖学的研究内容是生物体的形态结构，而生理学则是立足于以实验的方法研究和探讨生命状态下生物机体生命活动的基本规律及其机制，是生命科学的重要分支学科。体育专业本科开设的运动生理学课程体现了体育知识和生命科学知识及医学理论融会贯通的专业特色。

运动生理学是人体生理学的一门分支学科，人体生理学是研究正常人体生命活动规律和人体各器官系统生理功能的科学。运动生理学则是从人体运动的角度，研究人体在体育运动的影响下机能活动变化规律的科学，在实验基础上研究人体对急性运动的反应和长期运动训练所引起的机体结构和机能变化的规律，以及形成和发展运动技能的生理学规律。在实际应用中，学习运动生理学知识可以科学地指导体育锻炼和运动训练，以达到增进健康、增强体质、提高运动成绩的目的。运动生理学的研究通常与运动解剖学、运动生物化学、体育保健学、运动营养学等学科相互融合，进行综合而系统的研究。

运动生理学在历史的长河中虽然十分年轻，但是它已经在几代生理学工作者的努力下建成了自己的理论基础和实验手段，有较成熟的专著、教材、成果，以及一支高水平的教学和研究队伍，可以说已建成了较为成熟的学科。现代运动生理学的基础研究和应用研究呈现出前所未有的技术融合的发展趋势，既从运动实践中寻求扩展认识的边界，又在基础研究理论指导下开展应用研究，而所有实际问题的解决又促进运动生理学的进一步发展。

### （二）运动生理学的任务

运动生理学是研究人体在体育运动的影响下机能活动变化规律的科学，运动生理学的研究范围既有以探索基本现象与规律为内容的基础性研究，又有围绕体育教学训练实践的保健康复、体质测试、肥胖控制、身体机能评定、科学训练指导和教学训练生理评价等的应用性研究。基础性研究和应用性研究两者是密切联系、相辅相成的，基础性研究为应用性研究提供理论支撑，而应用性研究则可将有关基础研究的成果应用于运动实践。因此，运动生理学的任务是揭示人体在运动过程中身体机能的变化规律，同时又为人体健康水平的提高、身体机能的增强和训练效果的优化提供科学的指导。

随着社会的发展和进步，延缓衰老、疾病的预防与治疗、提高生活质量和整体健康水平成为社会关注的焦点，推动了各国运动生理学应用研究的不断发展。各国在运动生理学的应用研究领域开展了大量运动健身方面的研究，如针



对不同人群及特殊个体制订科学健身指导的健身运动处方；运动与肥胖、运动与延缓衰老、运动与营养等，从不同角度探索了运动健身的理论基础，为运动健身提供了重要的科学指导。世界各国运动生理学实验室凭借自身优势还不断进行提高运动员运动能力和一般人群健康水平的应用研究，依据自身条件开辟具有特色和优势的领域，例如运动饮料、传统中医药调理、高原训练、激光运动医学研究和体育锻炼健身处方的制订等。

在竞技体育科研中，竞技运动赛场的较量更多是借助高科技手段、先进仪器的研制开发、科技创新的辅助训练手段等实现改进运动技术和提高运动能力。除了体能恢复与运动营养的研究及应用、运动选材、疲劳与恢复、运动训练科学监控的研究与应用、运动营养补剂和反兴奋剂研究与应用等经典的研究领域不断拓展之外，竞技运动生理学研究还注重从基因与运动水平的遗传角度研究人体运动能力，解决优秀运动员的早期选材问题，并从分子水平揭示人类运动能力的遗传特征及生物学机制。

随着分子生物学和信息科学等学科的发展及微观生理学实验技术方法的改进，运动生理学与生物化学、分子生物学、生物物理学、免疫学、细胞学和遗传学等学科交叉融合，从宏观方面的研究，深入到细胞内部环境的稳态及其调节机制、细胞跨膜信息传递的机制、基因水平的功能调控机制等方面的研究，使运动生理学在各前沿研究领域不断酝酿新的突破。

### （三）运动生理学的研究方法

生理学是一门实验科学，一切生理学的知识都来自于实验。因此，在生理学的学习中一定要重视实验，培养实验动手能力并掌握基本的实验方法。

运动生理学基本的研究方法是通过对人体的实验测定而获取人体各种生理功能发展变化规律的实验资料。但是，有时为了深入观察某种特定条件下运动引起的生理变化，可能会使实验对象造成一定的损伤，此时就需要利用动物进行实验观察。例如，从动物身上摘取局部组织、器官进行离体观察等。

运动生理学研究多以人体作为对象进行实验，根据进行实验的场所可分为运动现场实验和实验室实验。运动现场实验就是在运动现场直接对运动者在运动前、运动中及运动后恢复期的若干生理指标进行测定，这类方法的最大优点是所得结果符合运动现场生理和心理的实际状况。但运动现场研究环境条件的严格性可能受到一定限制，所得结果容易受运动环境及运动者心理因素等的影响，对实验测定结果及分析的准确性带来一定影响。而实验研究是在实验室条件下进行，让实验对象按照预先设计的实验方案，在实验室采用跑台及自行车功量计等各种实验训练装置进行模拟实验性训练，观察实验性训练对机体各种生理功能的影响。实验室研究的优点是环境条件可严格控制，实验条件（训

练方式、负荷强度、训练时间等) 可准确定量, 重复性好, 所得结果严格准确。

随着分子生物学的发展, 生理学的实验研究在细胞、亚细胞和分子水平上取得了突飞猛进的进展。在人体生理学和运动生理学的研究中, 对运动中各种生理现象及生理变化的分子机制有了更深入的了解, 使运动生理学的研究在整体、器官、细胞、亚细胞和分子等不同水平上深入开展。近年来, 随着物理学、化学、数学、计算机科学等的发展, 应用这些科学成果研究人体生理功能活动, 派生出很多新兴的研究领域。例如, 肌组织活检、遥测技术、多通道实时在线记录技术、活体微透析技术、系统分析和计算机模拟, 等等。相信随着各学科领域的发展, 生理学的研究将会越来越深入。

#### (四) 运动生理学发展简史

回顾运动生理学的发展轨迹, 总是与生命科学的发展息息相关。16 世纪, 首先由维萨里 (Andreas Vesalius) 出版了具有划时代意义的医学巨著《人体的结构》。到 17 世纪, 英国生理学家威廉·哈维 (William. Harvey) 才真正开创了以实验为特征的近代生理学研究的先河。早期大多数学者对生理现象的解释仅仅拘泥于对现象的观察和表象的描述阶段, 直到列文虎克 (Anthory LeeWenhoch) 发明显微镜才终于证实肌纤维的存在。18 世纪 70 年代, 法国安东尼·拉瓦锡 (Antoine Lavoisier) 首次进行了“真正”的运动生理学实验, 测定运动状态下人体的心率及摄氧量。17、18 世纪实验技术和物理学、化学等学科的进步给运动生理学的发展奠定了坚实的理论基础和丰富的实验技术。

早期运动生理学的研究萌芽源于古希腊时代人们对运动、竞技和健康相关人体机能研究的关注。19 世纪 80 年代现代奥林匹克运动的复兴和 1894 年国际奥委会的组建掀起了运动生理学的研究热潮, 运动生理学开始步入全盛时期。1888 年法国的拉格朗热 (Fernand LaGrange) 出版的《身体运动的生理学》是运动生理学早期的教科书, 汇集了当时有限的研究成果。1892 年意大利学者莫索 (A. Mosso) 首次设计和制造了肌功描记器, 对肌肉疲劳现象进行了系统的研究。1923 年, 自德国的梅霍耶夫 (O. Meyerhof) 通过无氧实验发现糖酵解产生乳酸为肌肉收缩提供能量的事实以来, 20 世纪 30 年代又经过龙斯加德 (E. Lundsgaard) 等人的探索和校正, 最终建立了肌肉收缩过程中 ATP 分解供能的系统理论。运动生理学的先锋、诺贝尔奖获得者——希尔 (A. V. Hill) 和他的同事的研究成果论述精辟并密切结合运动实际, 为理解整个身体能量代谢提供了基本研究框架, 许多关于肌肉工作的论点至今仍为学者们所引用。1891 年, 第一个正规的运动生理学实验室在美国哈佛大学成立。1927 年, 由美国生化专家亨德森 (L. J. Henderson) 建立、蒂尔 (David Bruce