

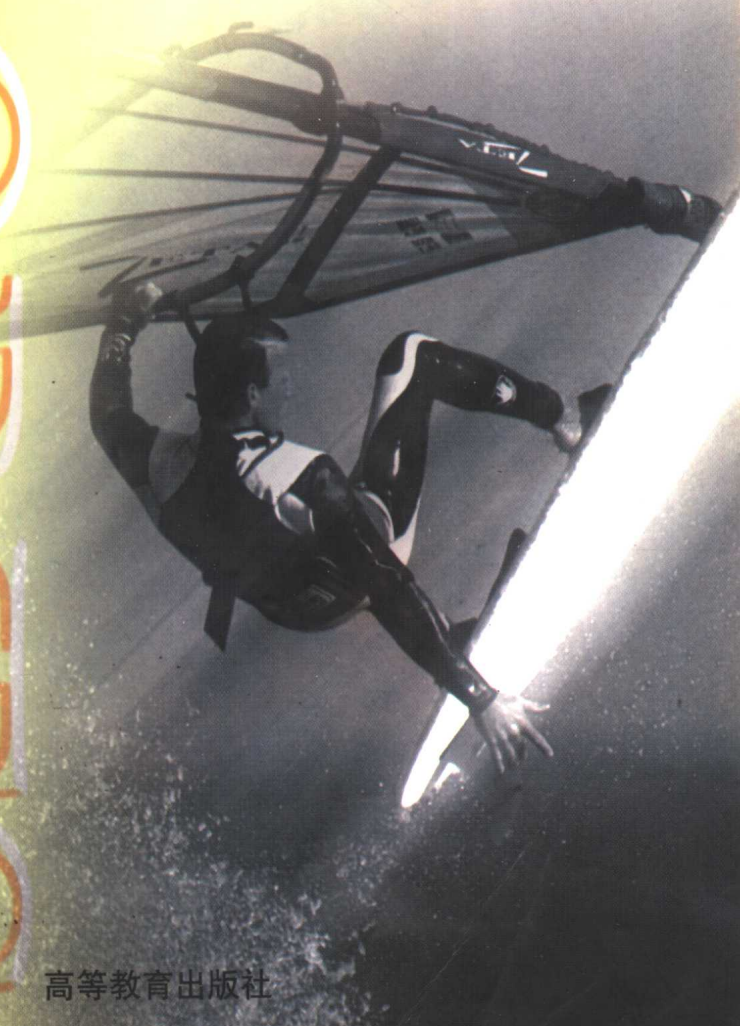


普通高等教育“九五”国家教委重点教材

运动生理学

邓树勋 洪泰田 曹志发 主编

SPORTS



高等教育出版社

普通高等教育“九五”国家教委重点教材

运动生理学

主 编：邓树勋 教 授 华南师范大学
洪泰田 教 授 福建师范大学
曹志发 教 授 徐州师范大学
副主编：何玉秀 副教授 河北师范大学
刘善云 教授 天津体育学院
黄玉山 教 授 河南师范大学

编写成员 (按姓氏笔画):

王 健 副教授 浙江大学
王体影 副教授 南京师范大学
王凤阳 副教授 河北师范大学
王维群 副教授 苏州大学
乔德才 副教授 山西大学
汤长发 副教授 湖南师范大学
吴纪饶 教 授 江西师范大学
肖国强 副教授 华南师范大学
林 华 副教授 辽宁师范大学
洪 峰 副教授 北京体育师范学院
胡柏平 副教授 陕西师范大学
郭层诚 副教授 西北师范大学
党晓云 副教授 河南师范大学

高等教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

运动生理学/邓树勋主编. —北京:高等教育出版社,
1999(2001 重印)
ISBN 7-04-007255-6

I. 运… II. 邓… III. 运动生理-生理学 IV. G804.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 04997 号

运动生理学

主编 邓树勋 洪泰田 曹志发

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 1999 年 7 月第 1 版
印 张 17 印 次 2001 年 6 月第 5 次印刷
字 数 440 000 定 价 23.80 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

内 容 提 要

本教材为普通高等教育“九五”国家教委重点教材。由全国 16 所高等学校的 19 位常年从事本学科教学工作的教师参加编写。本书具有起点高、体系新，信息量大等特点。全书包括绪论、肌肉的活动、氧运输系统、肌肉活动与物质能量代谢、肌肉活动的神经和体液调节、运动过程中人体功能变化的规律等 6 篇 20 章内容。本书为高等学校体育教育专业教材，也可作为自学和体育爱好者、教练员、运动员的参考书。

编写说明

1997年，原国家教委正式公布了《全国普通高等学校体育教育专业本科专业课程方案》（试行），根据新课程方案的要求，组织了9门主干课程教学指导纲要的编写，《人体生理学课程教学指导纲要》由华南师范大学、福建师范大学、徐州师范大学、天津体育学院、河北师范大学共同草拟，几经讨论修改后已由高等教育出版社正式出版。

根据新课程方案及教学指导纲要的要求，由全国高等学校体育教学指导委员会组织对《人体生理学》教材进行编写。华南师范大学作为召集单位，由华南师范大学邓树勋教授、福建师范大学洪泰田教授、徐州师范大学曹志发教授任主编，全国16所院校的19位老师参加编写。1997年7月在徐州师范大学召开新教材编写纲目讨论会，拟定了编写纲目；1997年9月在河北师范大学召开了新教材编写工作会议，明确了编写工作具体要求及编写分工；1998年1月在福建师范大学召开了教材初稿讨论会，会后各编者对初稿进行了修改；1998年6月在华南师范大学进行审稿定稿会议，请湖南师范大学王步标教授、杭州大学华明教授对全书进行了细致的评审，会后由正、副主编根据审稿意见对各篇再进行修改，最后由邓树勋教授对全书进行统稿后交高等教育出版社出版。

本书主编是邓树勋、洪泰田、曹志发，副主编是何玉秀、刘善云、黄玉山。参加编写的有：邓树勋（绪论）、吴纪饶（第1章）、王健（第2章）、王维群（第3章）、王竹影（第4章）、洪泰田（第5章）、肖国强（第6、9章）、何玉秀（第7章）、王凤阳（第8章）、乔德才（第10章）、郭层诚（第11章）、曹志发（第12章）、胡柏平（第13章）、刘善云（第14章）、洪峰（第15章）、汤长发（第16章）、党晓云（第17章）、林华（第18、

19章)、黄玉山(第20章)。

本教材的编写出版,得到我国高等学校生理学专家王步标教授及华明教授对书稿详细审阅及提出许多宝贵修改意见,香港教育学院体育系主任、运动生理学博士钱铭佳先生也对书稿部分内容作了审阅,华南师范大学运动生理学硕士郭红老师为本书的修改、打印等工作付出了辛勤劳动,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,但限于我们的业务水平,不足之处在所难免,敬请批评指正。

邓树勋、洪泰田、曹志发

1998年9月于广州

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 肌肉的活动

第一章 肌肉的兴奋与收缩	13
第一节 神经肌肉的兴奋性和生物电现象	13
第二节 肌肉收缩的原理	26
第三节 肌肉收缩的形式与力学特征	35
第四节 肌肉结缔组织对肌肉收缩的影响	45
第五节 肌电图在体育科研中的应用	47
第二章 骨骼肌纤维类型与运动	53
第一节 不同类型骨骼肌纤维的形态、功能特征	53
第二节 骨骼肌纤维类型与运动的关系	67

第二篇 氧运输系统

第三章 呼吸	79
第一节 肺通气	80
第二节 气体的交换	86
第三节 呼吸运动的调节	90
第四章 血液	96
第一节 概述	96
第二节 血液的功能	103
第五章 血液循环	114
第一节 心肌的生理特性	115
第二节 心动周期及周期中各种变化	120
第三节 心输出量和心脏做功	126
第四节 血管中的血压与血流	131
第五节 心血管活动的调节	141

第六章 运动中的氧供与氧耗	155
第一节 需氧量与吸氧量	155
第二节 氧亏	160
第三节 乳酸阈与通气阈	163

第三篇 肌肉活动与物质能量代谢

第七章 物质代谢	171
第一节 营养物质的消化与吸收	172
第二节 主要营养物质的体内中间代谢简述	179
第三节 代谢尾产物的排泄	193
第八章 能量代谢	206
第一节 人体内能量的来源与去路	206
第二节 人体运动的能量供应	210
第三节 人体能量代谢的测定	221

第四篇 肌肉活动的神经和激素调节

第九章 感觉与运动	235
第一节 感觉生理概述	235
第二节 位觉	240
第三节 本体感觉	244
第四节 其他感觉	246
第十章 肌肉活动的神经控制	255
第一节 神经系统概述	255
第二节 运动的神经控制	265
第十一章 运动技能的学习	286
第一节 动作技能学习的神经基础	286
第二节 运动技能的形成	290
第三节 运动技能形成的过程及影响因素	298
第十二章 肌肉活动的激素调节	304
第一节 概述	304
第二节 垂体激素	314
第三节 甲状腺激素	316

第四节	胰岛素	318
第五节	肾上腺皮质激素	321
第六节	肾上腺髓质激素	325
第七节	其他激素	329

第五篇 体育教学、训练与健身锻炼的生理学分析

第十三章	运动过程中人体功能变化的规律	339
第一节	赛前状态与准备活动	339
第二节	进入工作状态和稳定状态	342
第三节	运动性疲劳	346
第四节	恢复过程	354
第十四章	身体素质的生理学分析	362
第一节	力量素质	363
第二节	速度素质	370
第三节	耐力素质	374
第四节	灵敏与柔韧素质	380
第十五章	体育教学与课余运动训练的生理学分析	385
第一节	体育教学与训练原则的生理学分析	386
第二节	体育教学与业余训练的负荷阈	392
第三节	体育教学与课余运动训练效果的生理学评定	396
第十六章	健身活动的生理基础	403
第一节	健身活动的意义	403
第二节	健身运动处方	411
第三节	身体成分与减肥	417
第四节	运动与免疫	424

第六篇 年龄、性别、环境与体育运动

第十七章	儿童少年与体育运动	435
第一节	儿童少年的生理特点	435
第二节	动作技能和身体素质的发展	443
第三节	运动定向的生理学依据	451
第十八章	女子与体育运动	457

第一节	女子运动能力的特点	457
第二节	月经周期与运动	462
第十九章	老年人与体育锻炼	469
第一节	衰老的概述	469
第二节	体育锻炼对延缓衰老过程的影响	470
第三节	老年人体育锻炼的生理原则	475
第二十章	环境与运动	478
第一节	冷热环境与运动	478
第二节	水环境与运动	492
第三节	高原环境与运动	495
第四节	生物节律与运动	499
附录一	英中文专业词汇对照	505
附录二	若干常用生理参数旧制计量单位和法定国际单位 制换算表	530
附录三	度量衡对照表	531

绪 论

读书对于智慧，就像体操对于身体一样。

——爱迪生

没有智慧的头脑，就像没有蜡烛的灯笼

——列夫·托尔斯泰

一、什么是生理学 (physiology)

生理学是一门研究生物体生命活动规律的科学。只有活的机体、器官和细胞才有生命。因此，生理学的研究对象是活体。人们对生物体生命活动规律的了解，并不是来自于想象和推理，而是来自于实验。17世纪以前，人们对心脏的功能并没有正确的认识，对血液在体内的流动流行着一些错误的见解。现代生理学的奠基人，英国生理学家威廉·哈维 (William Harvey, 1578—1657) 通过动物实验和对人体的观察，在1628年发表的研究结果证明，血液是在心脏和血管系统中不断循环流动的。从而开创了通过实验研究机体生理功能的重要阶段，推动了生理学的发展。我们今天学习的生理学知识，都是前人在动物和人体上的实验和观察而获得的大量有关机体生命活动规律的知识。可见，生理学是研究生物体生命活动规律的科学，是一门实验性的科

学，一切生理学的理论均来自实验。

人体生理学是生理学的一个分支，是研究正常人体生理活动规律的科学。但对体育教育专业的学生而言，除需学习和研究正常人体的基本生理活动规律和原理外，还必需学习和研究人在体育运动过程中，或在长期系统的体育锻炼影响下，人体生理活动发展变化的规律，并应用它去指导人们合理地从事锻炼和科学地进行体育教学或运动训练。而后一方面的研究，已形成一个独立的生理学分支，称为运动生理学。所以，体育教育专业所开设的人体生理学课程，其内容包括正常人体生理学和运动生理学的内容。

运动生理学是生理学中一个十分年青的学科分支，是人们从事锻炼健身和体育教学、运动训练的重要科学基础。20世纪20年代，英国生理学家希尔（A. V. Hill）以他关于人体运动的生理学著作，开始了运动生理学的研究。这以后，各国有志于运动生理学研究的学者在这一领域作了大量研究，我国著名生理学家蔡翘教授就是我国在运动生理学研究上的先驱者。几十年来，由于科学技术的迅猛发展，运动生理学的研究手段日益先进，研究内容也日渐深入，取得了不少可喜成果，但是仍有不少问题至今未明了，有待继续探索研究。

二、生命活动的基本表现

蛋白质和核酸是一切生命活动的物质基础，生命活动至少包括新陈代谢、兴奋性和生殖三个基本特征。

（一）新陈代谢（metabolism）

生物体是在不断地更新自我，破坏和清除已经衰老的结构，重建新的结构。这是一切生物体存在的最基本特征，是生物体不断地与周围环境进行物质与能量交换中实现自我更新的过程。新陈代谢一旦停止，生命也就终结。

新陈代谢过程中，分解自身的结构称为分解代谢；合成和重建自身的结构称为合成代谢。体内一切分解、合成、转化、利用

等等活动都是在水溶液中进行的，而且绝大多数反应都是由酶催化完成的生物化学反应。生物体一方面不断地利用从外界环境中摄取来的营养物质合成为自身的组成成分和能源物质；另一方面，人体又不断地将已衰老的组成成分和能源物质进行分解，放出能量以供合成体内新物质和完成各种生理功能，并把分解产物排放到外环境中。生物体的新陈代谢实际上是一种高级的、复杂的物质运动形式。生命活动就是这种运动形式的表现。

(二) 兴奋性 (excitability)

兴奋性是一切生物体所具有的特性，是生物体生存的必要条件。生物体生活在一定的外界环境中，当环境发生变化时，细胞、组织或机体内部的新陈代谢及外部的表现都将发生相应的改变，这种改变称为反应。各种能引起细胞、组织或机体发生反应的环境变化称为刺激。生物体对刺激发生反应的能力称为兴奋性。

随着电生理技术的发展，实验中发现，机体的一些组织，当受到一定刺激后能产生某种特殊的生物电反应，如神经、肌肉、腺体等，受刺激后产生的生物电反应称为兴奋。具有对刺激产生生物电反应的能力称为兴奋性。刺激有强弱或大小的差别，凡能引起某种组织产生兴奋的最弱（最小）刺激强度称为阈刺激。组织对刺激的反应能力大小也有不同，也就是组织的兴奋性高低存在差异。如果组织对很小、很弱的刺激就能产生兴奋，表明它的兴奋性很高，反之则低。就是说，各种组织兴奋性的高低可用刺激的阈值来表示，阈值小，说明这一组织容易发生兴奋，即兴奋性高；阈值大，则说明此组织不易发生兴奋，即兴奋性低。

(三) 生殖 (reproduction)

生物体生长发育到一定阶段后，能够产生与自己相似的子代个体，这种功能称为生殖。单细胞生物通过一个亲代细胞分裂为两个子细胞而完成生殖过程。高等动物则由雄性与雌性的生殖细胞结合以生成子代个体。生物的个体都有由新生到死亡的过程，但可以通过生殖延续种系。

三、稳态 (homeostasis)

人和高等动物生存在大气环境中,但体内多数细胞并不直接和大气(外环境)接触,而是生活在细胞外液中,这就是内环境。内环境所起的作用是为机体细胞提供必要的理化条件,使细胞的各种酶促反应和生理功能得以正常进行;同时也为细胞提供营养物质,并接受来自细胞的代谢产物。

1859年,法国著名生理学家克劳德·贝尔纳(Claude Bernard)首先指出,只有保持内环境相对稳定,复杂的多细胞动物才有可能生存。但内环境理化性质的相对稳定并不是一种凝固的状态,而是各种物质在不停地转换中达到平衡状态,即动态平衡。美国生理学家坎农(Walter Cannon, 1887—1945)将这一内环境的相对稳定及调节过程称为稳态。

稳态是一种复杂的由体内各种调节机制所维持的动态平衡:一方面是代谢过程使这种相对恒定遭到破坏,另一方面是通过调节使平衡恢复。整个机体的生命活动正是在稳态不断受到破坏而又得到恢复的过程中得以维持和进行的。

稳态的概念虽然最初用来描述内环境理化性质的相对稳定,实际上从细胞、器官、系统乃至整个人体,它们的功能活动通常也都是在变化着的内、外环境中保持着动态平衡,只在一定范围内波动,这些也是稳态的表现。例如,在正常情况下,人体中的动脉血压、体温均保持相对的稳定。就整个机体来说,稳态的维持是体内各细胞、器官进行正常功能活动的基础。

四、人体功能活动的调节

生命活动的基本特征反映了人体与其周围环境的紧密联系。同时,人体是一个统一的整体,各器官系统的活动又是密切联系、相互依存和相互制约的,人体对环境变化的反应总是以整体活动的形式进行。譬如,人体在进行肌肉活动时,不仅肌肉活动的速率、强度、时间等需要协调调节,而且还要调节内脏器官活

动以维持内环境的稳定。这些调节是由下述三个调节机制来完成的。

(一) 神经调节 (neuroregulation)

神经调节是人体内最主要的调节机制,实现这一调节的基本方式是反射。所谓反射,是指在中枢神经系统参与下,机体对内、外环境刺激产生的应答性反应。实现反射的结构基础是反射弧。反射弧由感受器、传入神经、神经中枢、传出神经和效应器五个缺一不可的部分组成。

反射活动可分为非条件反射和条件反射两类。非条件反射是生来就有的、固定的反射,是一种较低级的神经活动。如声音所引起的朝向反射(头朝向声源方向)。条件反射是在非条件反射基础上形成,是人或高等动物在生活过程中根据个体所处的生活条件而建立起来的,所以是后天获得的,是一种高级神经活动。

(二) 体液调节 (humoral regulation)

体液调节主要是通过人体内分泌细胞分泌的各种激素来完成的。这些激素分泌入血液后,经血液循环运送到全身各处,主要调节人体的新陈代谢、生长、发育、生殖等重要基本功能。大多数激素通常是通过血液运输到距离较远的部位而起作用,故称为体液调节。

与神经调节相比较,体液调节的作用具有缓慢、广泛和持久的特点。除内分泌腺分泌的激素外,某些组织细胞所产生的一些化学物质或代谢产物,可以在局部组织液内扩散,改变附近的组织细胞的活动。这也可以看作是一种体液调节,称为局部体液调节。在人体内,大多数内分泌腺是直接或间接接受中枢神经系统控制的。在这种情况下,体液调节成了神经调节的一个环节,相当于反射弧传出道路的一个延伸部分,可称为神经-体液调节。

(三) 自身调节 (autoregulation)

自身调节是指当体内外环境变化时,器官、组织、细胞不依赖于神经或体液调节而产生的适应性反应。例如,心肌收缩力量在一定范围内与收缩前心肌纤维的长度成正比,即在一定范围内

收缩前心肌纤维越长，收缩时产生的力量越大。因此，当心室中充盈的血量增多时，心室肌纤维即被拉长，因而心肌收缩力量增大，使搏出血量增多，从而心容量又保持相对恒定。一般说来，虽然自身调节的幅度较小，也不十分灵敏，但这类调节对人体生理功能的调节仍有一定意义。

五、反馈的概念

在人体整体内进行各种生理功能的调节时，往往被调节的器官（效应器），在功能活动发生改变时，其变化的信息又可以通过回路反映到调节系统，改变其调节的强度，形成一种调节回路，人们常常用反馈（feedback）一词表示这种调节方式。反馈表示在某种变化过程中其终产物或产生的结果，反过来影响这一过程的进展速度。

反馈按其所起作用可分为两类。若反馈信息的作用是增强反射中枢对效应器的影响，即称为正反馈。如排尿反射，当排尿一旦开始，来自膀胱的反馈信息就使排尿过程逐步加强，直至完成排尿。若反馈的作用是减弱反射中枢对效应器的影响，即称为负反馈。在人体内，负反馈联系不仅是大量的，而且是维持稳态的重要调节途径。例如，人体中正常动脉血压的保持，就是通过负反馈机制而实现的。当体内血压升高时，大动脉中的压力感受器把这一信息反馈到心血管调节中枢，通过一定的调节使血压降低，从而使血压保持正常，并经常稳定在一定水平。

负反馈调节的特点是只有输出信号出现偏差之后才发挥作用，其纠偏总要滞后一段时间。实际上，正常机体在环境因素不断干扰下，仍能保持良好的稳态。进一步的研究已表明，干扰信号还可直接通过体内的感受装置作用于控制部分，对输出变量可能出现的偏差及时发出纠正信号，做到防患于未然。干扰信号对控制部分的这种直接作用称为前馈。例如，运动员进入训练和比赛场地，通过各种视觉、听觉刺激，以条件反射方式发动神经系统对心血管、呼吸和骨骼肌等器官活动进行调整，以适应即将发

生的代谢增强的需要，就是前馈性控制的表现。

六、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，生理学的学习中一定要重视实验，培养实验动手能力、掌握基本的研究方法。

生理学的实验可分多类。例如，根据实验对象的不同可将实验分为人体实验和动物实验；根据实验的进程可将实验分为急性实验和慢性实验；根据实验所观察的水平又可将实验分为整体、器官、细胞、亚细胞、分子水平的实验；根据实验的场所又可分为运动现场实验和实验室实验等。

运动生理学的研究对象是人，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；将动物去势造成雄激素缺乏，以研究雄激素对运动能力的影响等。

俄国著名生理学家巴甫洛夫（Pavlov, 1849—1936）在进行食物条件反射实验研究时，就是采用慢性实验的方法，在狗的腹部人工做了一个胃瘘，以便长期观察狗胃的消化活动，获得了大量有关胃功能的知识。慢性实验的优点在于可以在动物清醒条件下长期观察其某一生理活动，所获得的结果更接近正常生理状态。

20世纪80年代，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从整体、器官、细胞、亚细胞和分子水平等不同水平上深入开展。然而，必须指出的是，机体是作为一个整体进行活动的，不同水平的研