

高等教育体育专业通用教材



运动生理学

YUNDONG SHENGLIXUE

主编：汪 军

编委：于 亮 石丽君 汪 军 周 越

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

图书在版编目 (CIP) 数据

运动生理学 / 汪军主编. — 北京 : 北京体育大学出版社, 2016. 5

高等教育体育专业通用教材

ISBN 978-7-5644-2277-6

I. ①运… II. ①汪… 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(2016)第110223号

运动生理学

汪军 主编

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: 北京昌联印刷有限公司
开 本: 710×1000毫米 1/16
印 张: 16.75
字 数: 308千字
成品尺寸: 240×170

2017年8月第1版第2次印刷

定 价: 35.00 元

(本书因印制装订质量不合格本社发行部负责调换)

前 言

本教材是根据教育部关于体育院校和师范院校体育系学生体育基础理论教育的有关规定,在北京体育大学出版社统筹规划安排下,再结合作者多年的体育基础理论教育的实践编写而成的。本教材主要对象为各师范院校体育系学生和体育院校运动系、体育教育专业和社会体育教育专业等本科和专科学生,也可以供体育爱好者、体育工作者从事体育教学和训练工作时参考,是全国体育和师范院校体育基础理论教育系列教材之一。

本教材在编写时,主要内容和章节来源于全国体育院校统编运动生理学教材,但又不拘泥于该教材,主要内容、编排方式和教学形式有较大改变,为了更加便于学生理解和老师的教学。本书主要分为运动生理学基础部分、运动训练生理学和运动健身生理学三个部分。其中运动生理学基础部分包括运动与骨骼肌、运动与物质能量代谢、运动与氧摄取和运输以及运动时的神经体液调节等。这样编排对整个个体生理学的理解有个系统性和整体性的认识,但又通俗易懂。运动训练生理学包括有氧无氧工作能力、身体素质、运动过程中人体机能变化规律、特殊环境生理学和运动技能的学习等章节。这些内容是运动训练学的基础知识,是运动训练实践和基础生理学理论相结合的部分,不仅让学生知道怎么训练,还要让他们知道为什么要这样训练?运动健身生理学包括运动健身处方制定、运动与慢性疾病如肥胖、糖尿病和心血管疾病、运动与年龄、性别有关的问题等。这些知识点的学习为学生今后参加全民健身工作建立一定的知识积累。每章的开始有本章教学提示,包括教学重点和难点,每章的结尾有知识点思考题有助于学生更进一步理解该章节的内容,还有参考文献让有能力的学生对知识进行拓展,这样有利于学生经过自学,来达到提高理论知识的目的。

本教材在总体上体现了前沿性、系统性、适用性和实用性等特点,力求做到教师能教,学生能懂,读者能用,并且有理论,有实践,有突破。

本教材由北京体育大学汪军副教授主编,北京体育大学运动生理教研室其他老师也参与了相关章节的编写。其中周越教授(第一章、第三章),石丽君教授(第十三章),于亮讲师(第二章,第五章,第十二章),汪军副教授(绪论,第四章,第六章,第七章,第八章,第九章,第十章,第十一章,第十四章)。由于编写时间仓促,不足之处殷切希望广大教师、学员和读者提出宝贵意见。

目 录

绪 论

- 第一节 运动生理学概述 / 1
- 第二节 人体生理机能的维持与调节 / 4
- 第三节 运动生理学的发展历史与研究现状 / 7

第一篇 运动生理学基础

第一章 运动与骨骼肌

- 第一节 肌纤维的结构及功能 / 17
- 第二节 骨骼肌的收缩形式 / 19
- 第三节 肌纤维类型与运动能力 / 23

第二章 运动时的物质与能量代谢

- 第一节 物质代谢 / 31
- 第二节 能量代谢 / 41
- 第三节 运动时能量代谢的测量与计算 / 48

第三章 运动与氧摄取和运输

- 第一节 运动与呼吸系统 / 55
- 第二节 运动与血液系统 / 65
- 第三节 运动与心血管系统 / 70

第四章 肌肉运动的调节

- 第一节 神经调节 / 83

第二节 体液调节 / 91

第二篇 运动训练生理学

第五章 有氧无氧工作能力

第一节 概 述 / 98

第二节 有氧工作能力 / 101

第三节 无氧工作能力 / 113

第六章 身体素质

第一节 力量素质 / 121

第二节 速度素质 / 129

第三节 耐力素质 / 133

第四节 平衡、灵敏、柔韧和协调 / 135

第七章 运动过程中人体机能变化规律

第一节 赛前状态与准备活动 / 143

第二节 进入工作状态 / 148

第三节 稳定状态 / 150

第四节 运动性疲劳 / 152

第五节 恢复过程 / 159

第八章 特殊环境与运动

第一节 高原环境与运动 / 167

第二节 高温高湿环境与运动 / 178

第三节 冷环境与运动 / 183

第九章 运动技能

第一节 运动技能的概念和分类 / 188

第二节 运动技能的学习进程 / 190

第三节 影响运动技能学习发展的因素 / 193

第三篇 运动健身生理学

第十章 运动健身与运动处方

第一节 运动处方的基本要素 / 201

第二节 运动处方的制定 / 206

第三节 运动处方的实施 / 208

第十一章 运动与身体成分控制

第一节 肥胖概述 / 212

第二节 身体成分测试方法 / 217

第三节 运动减肥方法 / 222

第十二章 运动与糖尿病

第一节 概述 / 230

第二节 预防与治疗机理及方法 / 231

第十三章 运动与心血管疾病

第一节 概述 / 237

第二节 预防与治疗机理及方法 / 242

第十四章 运动生理学中的年龄和性别因素

第一节 儿童青少年与体育运动 / 248

第二节 女性与体育运动 / 253

第三节 老年人的生理特点与体育锻炼 / 258

参考文献 / 262

绪 论

本章教学提示

1. 本章学习重点是运动生理学的概念和任务；生命的基本特征。
2. 本章学习难点是人体生理机能的维持与调节；运动生理学的研究重点领域等。

第一节 运动生理学概述

一、运动生理学的概念和任务

生理学是生命科学的一个分支，是研究生物体的各种生命现象，特别是机体各组成部分的功能及实现其功能的内在机制的科学。依据研究对象，可将生理学分为细胞生理学、植物生理学、人体生理学等。

人体生理学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，是体育科学中一门重要的应用基础理论学科。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，进而观察其对人体运动能力的影响；同时，还要观察运动对人体的形态和机能产生适

应性变化的影响。

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，揭示体育运动对人体机能影响的规律及机理，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的运动锻炼，以达到提高竞技运动水平、增强体质、延缓衰老、提高工作效率和生活质量的目的。

二、生命的基本特征

生物体的生命现象主要表现为以下五个方面的基本特征，即：新陈代谢、兴奋性、应激性、适应性和生殖。

（一）新陈代谢

新陈代谢是生物体自我更新的最基本的生命活动过程。新陈代谢包括同化和异化两个过程。生物体不断地从体外环境中摄取有用的物质，使其合成、转化为机体自身物质的过程称为同化过程，也称合成代谢；生物体不断地将体内的自身物质进行分解，并把所分解的产物排出体外，同时释放出能量供应机体生命活动需要的过程称为异化过程，也称为分解代谢。在新陈代谢过程中，物质合成时，即在同化过程中需要吸收能量；而在物质分解时，即在异化过程中将释放出能量。因此，在新陈代谢过程中，物质代谢和能量代谢是同时进行的，是同一过程的两个方面。任何物质都蕴藏着一定的能量，同样，物质代谢也必然伴随着能量的产生、转移和利用，任何能量的转移也必然伴有物质的合成和分解。同化过程和异化过程是同时进行和相互依存的两个生理过程。由此可见，生物体通过同化和异化过程可以不断地自我更新。新陈代谢是生命活动的最基本特征，新陈代谢一旦停止，生物体的生命活动也就结束。

（二）兴奋性

机体所处的环境是经常变化的，在正常情况下，机体可感受外界环境变化的刺激并做出适当的反应。

在生物体内可兴奋组织具有感受刺激、产生兴奋的特性称为兴奋性。能引起可兴奋组织产生兴奋的各种环境变化称为刺激。神经、肌肉和腺体等组织受刺激后，能迅速地产生可传布的动作电位，即发生兴奋，这些组织被称为可兴奋组织。在生

理学中将这些可兴奋组织接受刺激后所产生的生物电反应过程及表现称之为兴奋。因此，可兴奋组织感受刺激产生兴奋能力的高低反映了该组织兴奋性的高低。

（三）应激性

人体内各种组织对外界环境变化（刺激）具有不同的反应，可兴奋组织受到刺激后可产生兴奋，如肌肉表现为收缩，腺体表现为分泌，神经的反应则表现为产生并传导神经冲动。而其他组织，如上皮、骨骼等，它们不属于可兴奋组织，受到刺激后不能产生兴奋，但可引起细胞代谢发生改变等变化，这种细胞代谢等方面的变化也是一种反应。机体或一切活体组织对周围环境变化具有发生反应的能力或特性称为应激性。

（四）适应性

生物体长期生存在某一特定的生活环境中，在客观环境的影响下可以逐渐形成一种与环境相适应的、适合自身生存的反应模式。生物体所具有的这种适应环境的能力称之为适应性。例如，长期居住在高原地区的居民，其血液中的红细胞数量远远超过平原地区的居民。这种适应性反应对高原居民是十分必要的，因为血中红细胞数量的增多大大提高了血液运输氧的能力，从而有效地克服了高原缺氧给人体带来的不良影响，创造了适应客观环境而生存的条件。再如，运动员经过长期的力量训练可使肌肉的力量和体积增加；长期经过耐力训练可使肌肉耐力、心肺功能得到改善等，这些都是人体对环境变化产生适应的结果。

（五）生殖

生物的生命是有限的，必须通过生殖过程进行自我复制和繁殖，使生命过程得到延续。人体发育到一定阶段时，男性和女性发育成熟的生殖细胞在适宜的环境中结合时，可孕育出与他们相似的子代个体，这一生理过程称为生殖。因此，生殖是生命的基本活动。但是，近几年由于生物技术的发展，可以通过克隆技术使生命得到复制，传统的生殖理论和观念受到挑战。

第二节 人体生理机能的维持与调节

一、内环境及其稳态

人体由各种细胞、组织和器官所组成。它们的生理活动在空间和时间上紧密配合，相互协调成为一个统一的整体。人体的细胞、组织与外界环境不发生直接接触，而是生存于细胞外液之中。细胞新陈代谢所需的养料由细胞外液提供。细胞的代谢产物也排到细胞外液中，通过细胞外液再与外环境发生物质交换。因此，细胞外液被称为机体的内环境，以别于整个机体所生存的外环境。

细胞生存要求内环境各项理化因素相对稳定。然而，内环境理化性质不是绝对静止不变的，而是各种物质在不断交换、转变中达到相对平衡状态，即动态平衡状态。这种平衡状态称为稳态。由于细胞不断进行着新陈代谢，新陈代谢本身不断扰乱内环境的稳态。特别在运动过程中，人体的内环境可由某些代谢产物的陡增而发生急剧变化，外环境的强烈变化也可影响内环境的稳态。为此，机体的血液循环、呼吸、消化和排泄等生理功能必须不断地进行调节，使内环境处于相对稳定状态。

稳态是一种复杂的动态平衡过程，一方面是代谢过程使稳态不断地受到破坏，而另一方面机体又通过各种调节机制使其不断地恢复平衡。总之，整个机体的生命活动正是在稳态不断受到影响，而又不断得到维持的过程中得以顺利进行的。

二、生理机能的调节

机体与外界环境之间保持相互联系和彼此影响，人体对内、外环境变化能产生适应性反应，正是因为人体具有十分完善的调控机制对各种生理功能进行相应调节的结果。人体各种生理机能的调节主要是通过神经调节和体液调节实现的。

（一）神经调节

神经调节是指在神经活动的直接参与下所实现的生理机能调节过程，是人体最重要的调节方式。神经活动的基本过程是反射，反射活动的结构基础是反射弧。反射弧包括感受器、传入神经纤维、反射中枢、传出神经纤维和效应器五个环节（图0-1）。感受器能接受刺激并产生神经冲动；传入神经将感受器所产生的神经冲动传入中枢；中枢在脑和脊髓，能对各种刺激进行分析判断，产生反应信息；传出神

经则将中枢对刺激所作出的反应信息传递至效应器；效应器对刺激产生相应的生理反应。反射弧的任何一部分的结构或功能受到损坏，反射活动都不能完成。

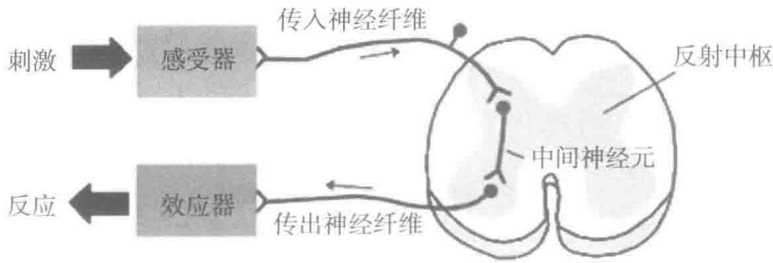


图0-1 反射弧示意图

神经调节具有反应快、准确、作用时间短的特点。

(二) 体液调节

人体血液和其他体液中的某些化学物质，包括激素、组织细胞产生的化学物质、细胞的代谢产物等可借助于血液循环的运输，到达全身或某些器官、组织，而引起某些特殊的生理反应。这种调节过程是通过体液的运输来实现的，因而称为体液调节。被调节的细胞或组织称为靶细胞或靶组织。许多内分泌细胞所分泌的各种激素，就是借体液循环的通路对机体的功能进行调节的。例如，胰腺分泌的胰岛素能调节组织、细胞的糖与脂肪代谢，有降低血糖的作用。当血糖浓度升高时，胰岛素分泌增多，机体对血糖的吸收和利用加强，最终使血糖浓度保持相对稳定。

在人体内很多内分泌腺本身直接或间接地受到神经系统的调节。在这种情况下，体液调节是神经调节的一个传出环节，是反射传出通路的延伸。这种情况可称为神经-体液调节（图0-2）。

神经调节的特点是比较迅速而精确，体液调节的特点是比较缓慢、持久而弥散，两者相互配合使生理功能调节更趋于完善。

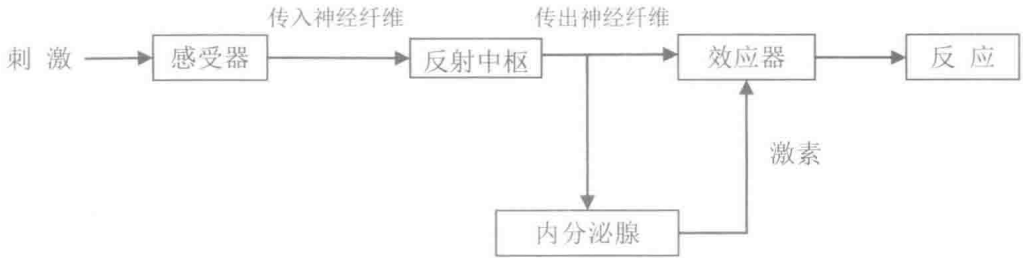


图0-2 神经-体液调节示意图

三、人体生理机能调节的控制

在控制系统中，控制部分不断受受控部分的影响，即受控部分不断有反馈信息返回输入给控制部分，并改变它的活动，这种控制系统称为反馈控制系统。反馈控制系统是一个闭环系统，具有自动控制能力（图0-3）。

在人体生理功能调节的自动控制系统中，如果受控部分的反馈信息能减弱控制部分活动，这样的反馈称为负反馈。负反馈是可逆的，是维持人体生理机能活动经常处于稳态的重要调节机制。如在人体正常体温、血压、心率和某些激素水平等指标的维持过程中，负反馈调节发挥着重要作用。

与负反馈相反，如果反馈信息能促进或加强控制部分活动，这种反馈称为正反馈。正反馈往往是不可逆的，是不断增强的调控过程，直到整个生理过程结束为止。如排尿反射、分娩过程、血液凝固等均属于正反馈调控过程。

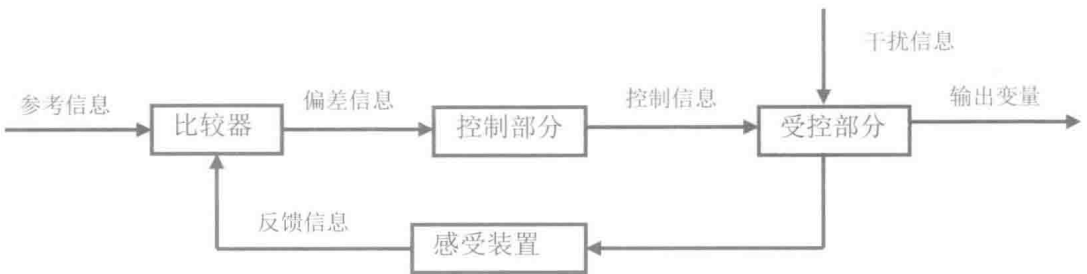


图0-3 反馈控制系统示意图

第三节 运动生理学的发展历史与研究现状

一、运动生理学的发展历史

(一) 运动生理学萌芽

运动生理学是在医学和生理学的基础上发展起来的较年轻的一门学科。运动生理学的萌芽出现在19世纪末20世纪初的欧洲。1889年,法国的拉格朗日出版了《人体运动生理学》,这是运动生理学第一本教科书。另外对运动生理学有突出贡献的首推英国伦敦大学的希尔、德国基尔大学的梅耶霍夫和丹麦哥本哈根大学的柯劳格三位科学家,其中希尔被称为运动生理学之父。

(二) 哈佛疲劳实验室对运动生理学发展的贡献

在运动生理学发展历史上,哈佛疲劳实验室(Harvard Fatigue Laboratory)的建立具有里程碑的意义。其主要在以下两个方面为运动生理学的发展做出了突出贡献:第一,该实验室是培养国际运动生理学杰出人才的摇篮,培养了一批年轻的运动生理学精英。第二,该实验室的研究广泛、深入,其研究内容构成了现代运动生理学的框架和基础,有些研究领域仍然是当今的热点问题。

(三) 其他地区运动生理学的发展对运动生理学的影响

20世纪30年代,三位年轻的北欧生理学家克里斯汀森、阿斯特姆森以及尼尔森来到美国哈佛疲劳实验室工作。三位年轻人学成回国后继续从事运动生理学研究并培养了一批运动生理学工作者。奥斯特兰德在20世纪50—60年代,进行了大量的有关耐力运动及身体素质方面的研究,制定了间接测定最大摄氧量的标准和方法;萨尔庭在研究运动时骨骼肌能量代谢方面颇有建树。

(四) 中国运动生理学的发展历程

我国最早的《运动生理学》教科书是程瀚章1924年所著,书中从运动对血液系统,呼吸系统,循环系统,骨、关节和肌肉系统,泌尿系统,中枢神经系统以及运动对皮肤散热和体温调节的影响等方面一一作了阐述;提出了各系统的科学运动方

式以及运动中的注意事项；对某些简单动作（比如跳跃）还从生物力学的角度作了分析；并且对于不同肌肉、肌群的锻炼方式或方法，以及如何预防不良姿势等给予了科学的指导；还特别阐述了儿童心血管系统生理特点以及在运动中的注意事项，其涉及面极广，内容极详尽。

继程翰章之后，我国著名的生理学家蔡翘于1940年出版了侧重劳动生理学的《运动生理学》一书，以及赵敏学1951年编著的《实用运动生理学》都是主要的运动生理学教学参考书。

直到20世纪50年代初期，在中国有关运动生理学的教学与研究工作却进行得甚少。在20世纪50年代末，运动生理学才在我国有了第一次飞跃性的发展。1957年，北京体育学院为我国首次培养出第一批运动生理学研究生。他们在我国运动生理学发展过程中做出了重要贡献。20世纪70年代末至80年代，是我国运动生理学第二次飞跃发展时期，全国体育院系相继开展了运动生理学研究生培养工作，使我国的运动生理学教学、科研和人才培养工作得到了蓬勃发展。

经过半个多世纪的发展，我国的运动生理学研究在探讨人体生命活动规律、运动健身的理论与方法、运动训练提高运动员运动能力的理论与方法等方面取得了飞跃性的进展，形成了一支人员素质较高的研究队伍，知名专家在国际学术界享有一定声望。在某些研究领域，接近、达到甚至超过了世界先进水平。这一切为未来我国运动生理学继续发展奠定了良好的基础。

二、运动生理学研究现状

（一）微观研究不断深入

随着研究的不断深入和研究手段的不断提高，运动生理学研究从宏观水平研究深入到细胞和分子的微观水平。例如，在对骨骼肌的研究中，已经深入到通过观察骨骼肌纤维在大负荷运动后超微结构、蛋白代谢、细胞内离子浓度等变化以及骨骼肌蛋白代谢的信号转导等。

（二）宏观研究备受重视

虽然进行细胞、分子水平研究的优点是可直接、客观地研究分析某一生理现象的机制，但是只能得到一些零散的生理生化指标，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。然而，揭示在运动中人体的整体机能变化和运动对整个人的影响是运动生理学研究任务的最终任务。因此，在运动生理学研究中，必须在宏观研究的指导下，开展深入的微观研究，然后再将微观研究的结果进行综合分析，在整体水平上分析人体的机能变化及其规律，已成为运动生理学研究的必经之路。

（三）研究方法日益创新

随着科学技术的发展，许多新仪器、新技术和新的研究方法应用到运动生理学的研究中。如核磁共振（NMR）、阳离子放射（PET）、质谱分析、放射免疫、高效液相色谱、超声诊断、膜片钳等先进研究技术，将在体育科研中发挥重要作用。

计算机技术在运动生理学中的应用对运动生理学的发展起到了巨大的推动作用。计算机图像分析处理技术的应用，使生物学图像的处理更加精确和方便，计算机模拟技术等也为运动生理学研究提供了新方法、开辟了新领域。而互联网技术的发展，为运动生理学工作者获取信息、进行学术交流提供了极大的方便。

（四）应用研究规模扩大

运动生理学应用研究的规模和范围不断扩大。运动生理学研究属于应用基础研究。运动生理学在基础理论研究不断深入的同时，必须把基础理论的研究成果应用于运动训练的实践中去，为运动训练实践服务。运动生理学在为运动实践服务的同时，也在积极地加强运动健身的基础理论和应用的研究。

（五）学科交叉广泛深入

近代自然科学的发展趋势是：一方面学科的划分有越来越细的趋向；另一方面各学科的相互渗透和交错在学科发展上相互促进。运动生理学这门年轻的学科从一诞生起就与医学、生物化学、解剖学、遗传学、生物学以及其他自然学科有着密切联系，而且这种联系正在日益加强。

研究运动对人体生理机能的影响以及人体对运动的适应是运动生理学的任务。而寻求其变化机理时，总是要从分子水平、离子水平、基因水平着手找原因，这就时常进入了生物化学、细胞生物学、分子生物学、遗传学等研究领域。现代运动生理学在许多情况下，学科之间界限特别模糊，学科互相交叉、互相渗透、互相

补充现象非常普遍，新的边缘学科不断出现。可见，学科之间相互交叉与覆盖，是现代运动生理学研究的显著特征。

三、运动生理学研究的重点课题

（一）运动时物质与能量代谢

研究表明，最大摄氧量（ $\dot{V}O_{2\max}$ ）是评价耐力运动员身体机能的重要指标，两者有着极大的正相关。在运动生理学发展早期，直接测量运动员运动过程中的摄氧量是十分困难的。20世纪50年代，瑞典著名运动生理学家奥斯特兰德（Åstrand）首创了间接测定最大摄氧量的列线图法，使得这一指标的应用具有简易、经济、快速等特点。自动气体分析仪的出现，使得在运动实践中用直接法测定最大摄氧量成为现实，也使得最大摄氧量这一指标在运动科研和实践中的应用更加广泛和深入。随着研究的逐步深入，发现运动员在运动中乳酸阈能更好地反映其有氧代谢能力，在运动训练中采用乳酸阈能更好地指导运动训练。

（二）运动性疲劳产生机理及其消除方法

在运动生理学发展的早期，运动性疲劳就是运动生理学研究的核心课题。疲劳是一种机体的整体机能水平或工作效率降低的生理现象，应同疾病和运动训练中的过度训练相区别。运动性疲劳是一个特别复杂的生理过程。它是由运动引起的，全身多器官、系统机能变化的综合结果。因此，必须从整个机体的角度来考虑这一问题。

（三）运动与氧化应激

随着自由基理论在运动生理学领域受到关注，运动与自由基的研究已经成为运动生理学研究领域一个备受关注的研究课题。研究证实，急性剧烈运动可使体内自由基的浓度增加，引起体内氧自由基代谢失衡而产生氧化应激。运动引起的氧化应激，会导致脂质过氧化反应加强，而对组织和细胞造成损伤。

（四）运动对骨骼肌形态和机能的影响

超过习惯负荷的运动训练或体力劳动能引起骨骼肌延迟性酸痛（Delayed-Onset