

运动生理学

(第三版)

邓树勋 王健 乔德才 郝选明 主编

王健 乔德才 郝选明 主编

《《》》



“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

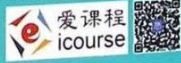
(第三版)

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

绪 论

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应用分支学科,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的适应所引起的机体结构和机能变化的规律。运动生理学研究人体在体育活动和运动训练影响下结构和机能的变化,研究人体在运动过程中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、运动营养学等相互联系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,它已经在数代生理工作者的努力下建成了自己的理论基础、实验手段,有较成熟的专著、教材、成果以及一支高水平的队伍,可以说已建成了较成熟的学科。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,所有实际应用问题的解决又促进运动生理学的发展。

(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功能的变化规律,同时又为人体健康水平的提高、身体功能的增强和锻炼训练效果的优化提供生理科学的指导。

随着社会的发展和进步,人类对健康的需求、延缓衰老、疾病的预防与治疗、提高生命质量和整体健康水平成为了社会关注的焦点,推动了各国运动生理学应用研究的日趋发展。各国在运动生理学的应用研究领域开展了大量健身方面的研究,如针对不同人群及特殊个体进行科学健身指导的健身运动处方研制;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开发提高运动员运动能力和一般人群健康水平的应用研究,依据自身条件开发特色和优势的领域,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、体育锻炼健身处方的研制等。

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、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能力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、免疫学、细胞和遗传学等学科交叉融合,从宏观方面的研究,到深入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,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运动现场实验和实验室实验。运动现场测定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、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。近年来,随着物理、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、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17世纪列文虎克(Anthony 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、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基础。

早期运动生理学的研究萌芽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运动生理学的研究热潮，至此运动生理学开始步入全盛时期。1888年法国的拉格朗热（Fernand LaGrange）出版了运动生理学早期的教科书《身体运动的生理学》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，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，30年代经过龙斯加德（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紧密结合运动实际，为理解整个身体能量代谢提供了基础研究框架，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 Dill）牵头的哈佛疲劳实验室为后来的现代运动生理学研究的蓬勃发展奠定了基础，掀开了运动生理学系统实验新的一页，该实验室从事不少关于耐力运动的生理机制、运动与环境等的研究。哈佛疲劳实验室培养的国际运动生理学杰出人才遍布世界各地。

在现代运动生理学的发展进程中，北欧的学者们在运动、环境、营养等方面的研究不断拓展运动生理学的知识体系和技术手段。伯格斯特隆（J.Bergström）将肌肉组织的针刺活检技术应用到运动生理研究，开创研究人类肌肉生化和肌肉营养方法学。奥斯特朗（Åstrand）曾经进行过大量关于体适能和耐力能力的研究工作。最先由希尔提出的作为运动机能评定指标的“最大摄氧量”概念通过奥斯特朗等人确定了它的实用价值及测定标准。有氧工作能力、无氧工作能力和PWC₁₇₀等概念在运动生理学科中至今仍广为沿用。奥斯特朗等人所著的各具特色的《运动生理学》，详实反映了现代运动生理学的科研成果并深受学术界的青睐。

在运动生理学的发展中，前苏联对运动生理学研究的贡献不容忽视。前苏联运动生理学研究沿着巴甫洛夫(I.P. Pavlov)高级神经活动学说的理论基础建立了

独具特色、具有相对完整体系的学科，对运动生理学的发展产生了深远的影响。在亚洲，日本的吉田章信、猪饲道夫等人成为日本现代运动生理学的拓建者，为日本培养了运动生理学的专门人才。虽然运动生理学在我国作为独立学科的研究历史起步较晚，但早在 1924 年程瀚章编写的中国近现代早期运动生理学专著——《运动生理》昭示着我国在运动生理学领域的研究已初见端倪，随后蔡翘教授编写的《运动生理学》（1940 年），赵敏学编著的《实用运动生理学》（1951 年）等专著成为我国当时体育系、科的主要参考书。我国各地开始运动生理学外文专著的翻译以及实验研究器材的引进，运动生理学术活动、国际间的学术交流日趋活跃，使我国运动生理学成为一门独立的学科而迅速崛起。

现代科技发展既高度分化又高度综合的新趋势，使得在系统观点下围绕功能问题展开整合化研究成为运动生理学发展趋势。因此，在加强分子水平研究的同时重视整体、器官、组织水平上的研究，尤其是整体水平的综合性研究，实现宏观与微观、形态与机能、基础研究与运动实践、优势与特色相结合的研究，实现整合性研究中将研究成果高效转化应用，为锻炼健身和竞技训练提供不可替代的科技支撑，为竞技体育与大众健身事业可持续发展提供生理科学基础。

二、生命活动基本特征

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

一切生物体存在的最基本特征是在不断地破坏和清除已经衰老的结构，重建新的结构，这是生物体与周围环境进行物质与能量交换中实现自我更新的过程，称为新陈代谢(metabolism)。

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。人体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；同时又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。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。新陈代谢一旦停止，生命也就终结。

（二）兴奋性

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(excitability)。兴奋性是一切生物体所具有的生理特性,是生物体生存的必要条件。

电生理技术的发展,发现神经、肌肉、腺体等机体的一些组织,当受到一定刺激后能产生某种特殊的生物电反应,因此又将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。

(三) 生殖

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(reproduction)。高等动物是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、机体内环境与稳态

(一) 内环境

人体内含大量的液体,称为体液,约占体重的60%~70%左右。其中一部分存在于细胞内,称为细胞内液;一部分存在于细胞外,包括存在于血液中的血浆和存在于各种组织细胞间隙的组织液等称为细胞外液。细胞外液是细胞生活的直接环境,又称为内环境(internal environment),相对于人体生存的外界环境。

内环境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。所以,内环境的相对稳定是细胞进行正常新陈代谢,维持细胞正常兴奋性和各器官的正常机能活动的必需条件。

(二) 稳态

机体细胞外液构成细胞生活的内环境,细胞新陈代谢以及外界环境的变化会直接或间接影响内环境理化性质的稳定,如温度、渗透压、各种化学物质的含量等。在一定范围内,经过体内复杂的调节机制,维持不断变化的内环境理化性质保持相对动态平衡的状态称为稳态。稳态的概念是在20世纪40年代由美国生理学家坎农(W.B.Cannon)提出的。

稳态是机体进行正常功能活动的基础,是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。

四、人体生理功能活动的调节

调节是指机体根据内外环境的变化实现体内活动的适应性调整,使机体内部以及机体与环境之间达到动态平衡的生理过程。由人体内三种调节机制相应调整机体各器官系统活动才能维持内环境的稳态和对环境的适应,这三种调节机制是神经调节、体液调节及器官、组织、细胞的自身调节。

(一)神经调节

神经调节(neuroregulation)的基本方式是反射,是人体内最主要的调节机制。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,反射弧是由感受器、传入神经、神经中枢、传出神经和效应器五个部分组成。

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;条件反射是在非条件反射基础上形成的,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

体液调节(humoral regulation)主要是通过人体内分泌细胞分泌的各种激素分泌入血液后,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,故称体液调节。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。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,相当于反射弧传出通路的一个延伸部分,可称为神经-体液调节。

(三)自身调节

当体内外环境变化时,器官、组织、细胞可以不依赖于神经或体液调节而产生的某些适应性反应,称自身调节(autoregulation)。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,从而使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、反馈与前馈

在机体内进行各种生理功能的调节时,被调节的器官功能活动的改变又可通过回路向调节系统发送变化的信息,改变其调节的强度,这种调节方式称为反馈(Feedback)。根据反馈信息的性质和作用,可将反馈分为正反馈和负反馈两类。正反馈可促使某种生理过程逐渐加强,例如排尿反射时,膀胱收缩初期的反馈信息传入排尿中枢,可加强中枢原有的排尿活动,促进膀胱进一步收缩将尿液完全排出;负反馈的作用是减弱反射中枢对效应器的影响,在人体正常血压、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。

负反馈调节的特点是受外界干扰后才发生作用,具有时间的滞后性。实际上,在调控系统中,干扰信息可以直接通过受控装置作用于控制部分,引起输出效应发生变化,具有前瞻性的调节特点,称为前馈。人体参加比赛或训练前可感知周围环境的变化,使身体各器官和系统产生一系列条件反射,表现为神经系统的兴奋性适度提高、物质代谢加强、体温升高及内脏器官活动增强,有利于加快机体调节稳态的速度,这就是前馈性控制的表现。例如,当人们进行冬泳前,游泳环境产生的各种视觉、听觉以及对皮肤冷感受器的刺激,产生的信息就已通过条件反射的方式发动中枢神经系统内的体温调节机制,增加产热和控制散热以保持体温相对恒定。

推荐读物

1. 王步标, 华明, 邓树勋主编. 人体生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1994.
2. 周衍椒, 张镜如主编. 生理学. [M]. 北京: 人民卫生出版社. 第三版, 1995.

思考题

1. 你对运动生理学和体育运动的关系有哪些认识?
2. 生命活动有哪些基本特征?
3. 人体生理功能活动有那三种调节机制?
4. 运动生理学研究有哪些方法?

(华南师范大学 邓树勋)