

实用运动生理学

SHIYONG YUNDONG SHENGLIXUE

杨锡让 主编



北京体育大学出版社

实用运动生理学

杨锡让 主编

北京体育大学出版社

〔京〕新登字 146 号

责任编辑:张义霄

责任校对:宇奕

责任印制:长立

图书在版编目(CIP)数据

实用运动生理学/杨锡让主编. —北京:北京体育大学出版社,1994.10

ISBN 7-81003-877-X

I. 实… II. 杨… III. 运动生理-高等学校-教材 IV. G804.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 08611 号

实用运动生理学

杨锡让 主编

北京体育大学(北京体育学院)出版社出版
(北京西郊圆明园东路 邮编:100084)

新华书店北京发行所发行
雅艺彩印有限公司印刷

开本:850×1168毫米 1/32
1994年10月第1版

印张:15.625
1994年10月第1次印刷

定价:10.80元
印数:1200册

ISBN 7-81003-877-X/G·676

(本书因装订质量不合格本社发行部负责调换)

前 言

本教材是由北京体育大学生理教研室为体育生物科学系本科专业生编著的一本“运动生理学”。文字量是按规定的72学时考虑的,从内容上看,在基础理论、基础知识和基本技能等方面,比以前的教材有较大的提高和改进,主要表现在:

第一,有较好的科学性和先进性。由于选用了大量七、八十年代以后的国内、外科研成果,有相当的深度和广度,重点突出,内容充实,编写出了目前运动生理学的热点内容。如:个体乳酸阈与无氧阈的论证,对过量氧耗和氧债的探讨,产生运动性疲劳机制的最新研究成果,以及反馈学说在形成运动技能中的作用等。特别应提出的是,本教材并未只局限在对这些内容的传统性的描述上,而是在分析国内外科研新成果的基础上,进行了较深入地探讨,这就大大拓宽了教材的深度和广度。

第二,有较好的实用性。教材力求密切联系运动实际,几乎在每一个基础理论问题上或者以运动实践佐证理论,或者以基础理论解释运动实践中的现象,此外,还提供了一些有实用价值的测定方法、评价标准和训练方法,如关于身体素质的测量,把过去只局限于力量、速度、耐力几种基本素质的讲解,拓宽到十种素质。这样不仅对基础理论工作者有用,也对从事训练工作的教练员和体育教师有较高的实用价值。

第三,有较好的可接受性。全书共十五章,结构精炼,安排合理,论述客观,引证严谨,论据可靠,能与中等以上自然科学基础理论知识相衔接,又由于各章节都配有适当的图表、说明,有利于阅读,每张图表都注有出处,改变了过去教材中只管引用,而无出处

的不足。编者还注意突破以前教材的一些框架,增补了遗传、身体成分、合理使用训练以外的强力手段等新的章节,为运动生理学教材提出了一个新的体系。

全书的编写过程都是在全国体育学院教材委员会、北京体育大学教材委员会和生物科学系的领导下完成的,在此,我们深表谢意。

本教材是经全国体育学院教材委员会运动生理学教材组严格审查、热诚帮助、逐字逐句审定后定稿的。他们是陈家齐教授、佟启良教授(评审组长)、黄瑞馨教授、李玉林教授、谢业琪副教授、梁述祖副教授以及王义润教授和乔居庠研究员等,我们对他们的辛勤劳动,再次表示深切感谢和敬意。

在他们的建议下,我们曾作过三次较大的改动,尽管我们在主观上力求把这本教材编著得好一些,但由于我们的条件和水平有限,且编写时间仓促,错误之处,在所难免,敬请批评指正。

最后要提到的是,本教材的编写工作是受北京体育大学生理教研室的委托,由杨锡让教授任主编,组织了一批有博士和硕士学位而又基础好、专业知识强的中青年副教授、讲师完成的。

为了做到文责自负,各章具体的编写人是:杨锡让教授(第一、四、六、七、九章);王瑞元硕士、副教授(第二、十一章);田野博士、副教授(第八、十二章);胡扬硕士、副教授(第五、十二章及第十三章部分);田时佳副教授(第十四章);刘柏硕士、讲师(第三章及第十三章部分);王从容博士(第十五章);兆兆伟老师(第十章部分)。

为了使这本教材更加完善,拟在明年编写出与之相配套的运动生理实验指导书和一本有关某些章节的教法指导书,以方便教师 and 同学们的使用。

编 著 者

1994年2月25日

目 录

第一章	绪论	(1)
第二章	运动对肌肉功能的影响	(11)
第三章	运动对心血管功能的影响	(97)
第四章	运动员的有氧代谢和无氧代谢	(138)
第五章	运动与内分泌	(159)
第六章	运动技能的形成与改进	(184)
第七章	运动员身体素质的测量与评价	(214)
第八章	运动能力的遗传与选材	(241)
第九章	运动过程中运动能力的阶段性变化	(283)
第十章	运动员的性别与年龄特征	(301)
第十一章	人体运动时对特殊环境的适应	(336)
第十二章	运动性疲劳	(391)
第十三章	合理使用训练以外的强力手段	(426)
第十四章	训练方法的生理学分析	(447)
第十五章	身体成分与肥胖的生理学分析	(477)

第一章

绪 论

一、运动生理学的任务及研究方法

运动生理学是人体生理学的分支,是专门研究人体的运动能力及对运动反应和适应的过程,是体育科学中一门重要的基础理论学科。运动生理学的研究任务是:在对人体的机能活动规律有了基本认识的基础之上,进一步探讨体育运动对人体机能影响的规律及机制,阐明体育教学和运动训练过程中的生理学原理,研究不同年龄、性别和训练水平的人群进行运动时的生理特点,以达到增强体质、防治某些疾病和提高运动技术水平的目的。

运动生理学的研究方法主要是实验,通过实验观察和分析机能活动的变化过程及其因果关系。运动生理学的研究按研究对象不同可分为三个层次,即整体水平、器官和系统水平、细胞或分子水平。随着现代科学技术的发展,实验手段有了很大的改进。利用各种遥测、换能、多导记录等技术,可以在不影响人体运动状态的前提下,获得多种生理现象的实验数据,使对整体水平的研究有了新的发展。而肌肉活检、电镜观察、微电极技术的超微分析等技术已把实验者的视野带进了细胞分子水平的微观世界。有些实验可以在对人体无损伤的条件下进行,而另一些实验则需要给人体造成一定的损伤,或必须摘取少量标本进行离体观察,因此有相当一

部分实验只能用动物来进行。

运动生理学的各种理论和观点绝大部分是从实验中获得、总结出来的,并不断在实践中受到检验。运动生理学只有和体育教学与运动训练的实际工作以及其它基础学科相互配合,进行综合、系统、深入的研究,才能对体育运动实践做出更大贡献。

二、运动生理学的发展过程

(一)运动生理学的简史

运动生理学在科学发展的长河中是一门十分年轻的学科,作为生理学的一个分支,还仅仅是本世纪初的事,而生理学迄今为止已有三百多年的历史。

从世界范围内纵观运动生理学的发展,在本世纪初应首推英国的生理学家希尔(Hill),在当时曾出版了他的三部运动生理学名著:《肌肉活动》、《人类的肌肉运动——调节速度与疲劳的因素》、《有生命的机械》等。为此,一些生理学工作者认为,希尔是“运动生理学之父”。在同一时期,还有其他国家的一些重要代表人物,也为运动生理学做出了辉煌的贡献,例如苏联的克利斯托夫尼柯甫(Krestovnikoff)、日本的吉田章信、英国的班布里奇(Bainbridge)和美国的麦克津(Mckenzie)。这些运动生理学家在不同的领域内,都进行了大量的研究工作,其有影响的代表作分别是:班布里奇出版了《肌肉运动生理学》一书。论述了运动时能量变化的过程及其在肌肉中是怎样进行的;肌肉活动时氧及营养物质供应的调节机制,以及肌肉运动的机械装置。他的论著可认为是奠定了肌肉运动生理学理论基础。吉田章信很早就写了一本《运动生理学》,到1932年这本书已经再版了九次,可认为是亚洲运动生理学早期的代表作。苏联的克利斯托夫尼柯甫是对运动生理学的发

展有重大贡献的早期学者之一。他是巴甫洛夫的学生，克氏是苏联运动生理学的创始人，他在1936年先后出版了三本《运动生理学论文集》。汇集了大量的实验资料，阐述了各项运动的生理学特点，对科学训练起了重要的促进作用，特别是新中国成立后对我国运动生理学的发展具有着指导意义。美国的麦克津曾出版《运动在教学与医学中》一书，讨论了运动中的呼吸、循环机能的变化，运动损伤的防治等。我国解放前，仅在1940年由生理前辈蔡翘教授出版了《运动生理学》一书，其后还有赵敏学的一本专著。这是我国最早的两本运动生理学代表作。

从本世纪20年代运动生理学成为一门独立的学科开始，随着其它自然学科和生物学科的发展，运动生理学在这半个世纪的发展也十分迅速。首先，研究的领域更加广泛，层次也更加深入，从整体、器官水平的研究深入到细胞、亚细胞及分子水平的研究。其次，在研究方法上随着电子技术的高速发展，分析化学的进展及其在生理学上的应用，运动生理学在研究手段、实验方法上也引进了不少的新技术、新成果。第三，随着各门学科的互相渗透，运动生理学和运动医学、运动生物化学等学科也互相渗透，从而使研究的领域日益开阔，对问题的研究也愈加深入。

(二)运动生理学的研究现状

运动生理学的发展是随着整个科学技术的发展而发展的，处在世界科学技术迅速发展的今天，运动生理学在各个方面的研究展示了如下的趋向。

1. 从整体、器官水平的宏观研究深入到细胞水平与分子水平的研究

在这一趋向中，特别是对骨骼肌的研究，越来越受到更多人的青睐，主要原因有二：一是从1962年伯格斯特龙(Bergstrom)创造了活体肌肉检查法(Biopsy)以来，借助电子显微镜的精密观察，

使直接研究运动给人体肌肉组织带来的影响可以成为现实,从而开拓了运动生理学工作者对骨骼肌超微结构研究的新天地。二是在对骨骼肌研究的领域打开之前,运动生理学对运动员心肺功能和最大有氧能力的研究较多,然而研究成果表明,近 20 多年来优秀运动员的心肺功能、心脏容量方面的变化不大,但近年来运动员的有氧竞技能力和运动成绩,却有了大幅度的提高。例如在 60 和 70 年代所测得的优秀运动员的心容量为 18—20 毫升/公斤·体重,最大摄氧量为 80—90 毫升/公斤/分,与今天测得数字相比变化并不大,但是运动成绩在周期性运动项目上却有了大幅度的提高。因此,这些年来认为运动员有氧竞技能力的提高与心肺功能的变化关系不大,更主要的是骨骼肌代射能力的提高,这就诱使更多的运动生理学家对骨骼肌的研究发生了更大的兴趣。在这方面不少国家的学者对快慢肌纤维与体育运动的关系进行了研究。高尼科(Gollnick)、萨尔庭(Saltin)、柯斯蒂尔(Costill)、库珀(Komi)等等,他们的研究工作都在不同程度上阐明了快、慢肌纤维的生理、生化特性,如运动项目与快、慢肌纤维特征的依存关系;骨骼肌纤维在力竭性运动后 Z 带和 M 线的变化;不同肌纤维的自由基变化、酶的氧化反应等。它们不仅是基础理论的研究,而且有一定的实用价值。如提出静力牵张、针刺等方法,能加速运动后骨骼肌的恢复过程等等。

2. 最大摄氧量、个体乳酸阈、无氧功率的研究是当前各国研究的热门课题

尽管早在希尔(Hill)的年代就倡导用这一反应人体心肺整体功能的指标,但是直到本世纪 50 年代,瑞典著名运动生理学家阿斯特兰德(Åstrand)第一个创造了间接测定最大摄氧量的列线图。自 60—70 年代以来,这一研究日益迅速,差不多在大多数运动员运动能力的研究文献中都有最大摄氧量的指标,这方面的研究受到广泛重视的原因有三:首先,它们具有极大的实用性,大量的

研究成果表明,最大摄氧量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。而个体乳酸阈训练又是提高极限下强度跑的最佳手段,为此极易受到广大教练员和运动员的欢迎。其次,最大摄氧量的间接测定法被确认以后,免除了直接测定法的一系列不便之处,使得这一指标的应用更具备简易、经济、快速、普及等特点,因此被人们乐于选用。第三,自从80年代中期美国布鲁克斯(Brooks)等人提出对氧债、氧亏和无氧阈这三个概念的争论后,引起了更多人对大强度运动后,体内是否缺氧问题的争论,这些论战在近些年的历届运动医学学术报告会上都有专题讨论,引起很多人的关注与兴趣。如斯克耐尔(Skinner)、布鲁克斯(Brooks)、大卫(David)、克斯蒂尔(Costill)、库珀(Cooper)等人研究了在不同速度跑时肌乳酸拐点和酶活性;耐力项目对个体乳酸阈、最大摄氧量和心输出量的影响,不同运动项目乳酸阈、肺通气阈的关系,以及 $\text{VO}_{2\text{max}}$ 在康复医学和无氧阈在运动处方中的应用。这些方法在当前已经成为综合评定人体机能水平不可缺少的生理指标。

3. 对研究方法的探讨

随着电子技术的发展,很多新技术、新仪器被移植到运动生理的研究范畴来应用,当前很多高质量的研究成果的出现,与采用了自动化分析仪器设备、电镜及核磁共振仪和电脑的信号处理等密不可分。但是不可忽视的是,在采用高、新、精、尖仪器的同时,研究简易方法的科学性、准确性和可重复性,也被许多运动生理的专家们注意到了。因为这些简易的方法可以用来直接为运动实践服务,既省力、经济、方便,又用实效,理所当然地受到广大教练员的欢迎。这种思路早在第二次世界大战初期的哈佛实验室就已经开始萌芽了,例如用著名的哈佛台阶实验(Harvard Step Test)研究人体的机能水平。但是进行较大范围的探讨,却是从本世纪50年代瑞典的阿斯特兰德(Åstrand)创建了 $\text{VO}_{2\text{max}}$ 的间接评定法的列线图以后。到目前为止,各国运动生理工作者根据本国具体种族、性

别、年龄、专项、训练水平的不同,而制定了 30 个回归方程式,间接推算 $\text{VO}_{2\text{max}}$,其中很多方程式与直接测定 $\text{VO}_{2\text{max}}$ 相比,都获得了较高的相关系数。康西尔曼(Counselman)在 60 年代末还试图用纵跳的方法间接推算快慢肌纤维类型的百分比。在 1990 年亚科会上,有人以数理分析为基础,借助电子计算机和拟合技术,根据人体的定量负荷,建立了体能动态数学模型,定量而力求客观地评价人体工作能力。还有人试图用脉搏去代替乳酸和肺通气量而测定个体无氧阈,也就是想建立脉搏阈的概念,这种思路是好的,但其重复性极低,仍未得到公众的认可。近年来对中枢神经系统研究的指标很少,目前有人开始探讨中枢皮层脑波的关联复变化(CNV),研究专项训练和先天遗传因素与 CNV 特征的关系,从而开发对皮层活动的研究方法。当然用更贵重的仪器开发研究运动生理学还正处在方兴未艾的阶段,例如利用核磁共振研究运动时的疲劳,用 CT 断层方法研究身体的组成等等。

但是不管是贵重的精密仪器的采用或者简易方法的开发,都必须经过反复实践,重复验证,并经受住公众的认可,从不被承认到被承认的过程是既漫长而又严苛的,但只要有点滴进步就是可喜的,因为它确实经受住了使用者的千锤百炼,为广大群众的使用提供了方便。

4. 提高人体机能辅助方法的研究

近年来由于运动竞赛的日益剧烈,迫使运动员抓住一切可能,提供能增强人体机能的物质和手段提高运动成绩。这种方法被很多国家的运动医学工作者所研究,统称为增进机能的辅助手段(Ergogenic aids)。包括合成类固醇一类的兴奋剂、吸氧、血液回输、麦胚芽油、维生素、生物电刺激、针灸、气功等方法的应用。在这些方法中有些是合法的,有些是被禁用的。目前有些运动生理学家在研究针灸对提高人体机能的作用,例如在第十一届亚运会科学大会上,就有人报道了针刺内关穴对提高运动时心肺功能和室壁

运动的影响,并确认了二维超声心动是评定室壁运动和左心室功能的敏感技术。还有人研究了练太极拳时的肌电图积分值(IEMG)和功率谱(PS)相关函数的变化,为练太极拳对调节神经系统、提高肌肉收缩和放松能力提供了科学依据。还有人研究了气功、经络运行锻炼对能量消耗和微循环方面的影响,这些方法的研究对加速运动员运动后的恢复过程,提高运动成绩都有着实用价值。

5. 密切联系运动竞赛

注意经济效益与社会效益也是当前运动生理学研究工作的特点之一。在当今竞技运动为夺取金牌而拼搏的热潮中,运动生理学也必须为运动实践服务。为此广大运动生理学工作者走出实验室,到运动场做现场的研究。近几十年这方面的工作,深受教练员和运动员的欢迎。如监测运动员的生理机能;合理安排运动负荷;探讨加速运动员恢复的手段;在不同时间间隔内测量乳酸含量,为加大运动强度提供依据;研究心肺功能为跑步节省化提供建议等等。这些直接为运动实践服务的研究给运动生理学的发展以极大的生命力。

(三)运动生理学学术机构的发展

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。这种趋势在生理学中表现也很明显。运动生理学这门年轻的学科从一诞生起就带着和运动医学、运动生物化学相互交错渗透的影子,而在学术机构上一开始就隶属运动医学学术机构之中。

追溯到1928年2月,瑞士的克耐尔(Knoll)和法国的拉特扎特(Lotazet)筹备成立了第一个学术机构,同年8月在阿姆斯特丹第九届奥林匹克运动会上,举行了国际运动医学首次会议,共有20多个国家的281名医生和体育专家参加。会议决定成立国际运

动医学会协会(AIMS),与运动有关的生物学科研究,都包括在这个协会之内,运动生理学作为重要的一个分支隶属该协会。1933年9月在意大利都灵召开了第二次会议,从会议讨论内容来看,都涉及到运动生理学的重要课题,并在这次大会上正式改名为“国际运动医学科学联合会”(Federation International Medicine Sport,简称FIMS),并在法国举行了第三次会议。至今,50多年来FIMS得到很大发展,目前已有50多个国家参加了这个组织,运动生理学在这个组织内占有众多的席位。运动生理学因隶属于运动医学的总名称之下,因此,运动生理学的年会多数与运动医学的年会同时召开。比较固定的运动生理学可以参加的科学报告会有:四年召开一次的FIMS会议;四年召开一次的奥运会和亚运会科学报告会;每年召开一次的美国运动医学会;香港运动医学会;四年召开一次的世界体育科学大会,以及我国不定期的运动生理专业学术会议(自1980年成立以来,在1984和1986年分别在天津和成都开过两次)。在运动生理学的组织建设和过程中,我国的运动生理学在解放前基本是空白,运动生理学在我国真正成为一门独立学科,是在解放后,首先在北京体育学院成立了运动生理教研室,先后聘请了吉潘莱特尔(Гилленрейтер)和柏钦科(Байцик)两位原苏联学者培养了我国第一批运动生理研究生,为新中国运动生理学的建立和发展建立了重要的功绩,尽管这两位学者都已经逝世,但是在我国运动生理学的发展史上不能忘记他们。

在我国解放后运动生理学的创立和发展过程中,王义润教授为学科的建设与人才的培养、教材的建设与改革,以及实验室的创建和科研水平的提高都做出了贡献。在写运动生理学在我国的发展时,她作为早期的运动生理学工作者,我们不能不提到她的名字和业绩,她是我国运动生理学的开拓者。

自1958年成立了我国第一个体育科学研究所以后,到1991年全国已成立了32所体育科学研究所,在这些研究所内基本上都

建立了运动生理研究室。80年代以后,随着国家对体育科学研究的重视,我国的科研水平有了较大的提高,研究工作也越来越深入,仅1990年第十一届亚运会科学大会,所收集到的运动生理学论文就有200多篇,从深度来看包括了运动时肌肉酶活性的变化;遗传工程在选材中的应用;在特殊环境下人体的工作能力;心肌细胞超微结构的变化等等,都已接近世界的先进水平。1992年12月在山东省潍坊市召开的第四届全国体育科学大会上,运动生理学的专题报告从数量和质量上又都有了新的进步和发展,引起人们的广泛重视和兴趣。

展望未来,运动生理学的发展,必将是伴随着整个科学技术的发展和进步,日趋深入,并为体育事业的发展做出重大贡献。

主要参考文献

1. 杨锡让:实用体育生理,北京体育学院出版社,1985。
2. 杨锡让等译:运动生理学,北京体育学院出版社,1990。
3. 佟启良、杨锡让:运动生理学,北京体育学院出版社,1991。
4. 体育学院教材编审组:人体生理学,人民体育出版社,1990。
5. William D,Victor L:Exercise Physioloxy. Philadelphia, 1981.
6. Astrand P-O,Podahl K:Textbook of work physioloxy. New York,1986.
7. Morehouse C A:Development and mainteance of isometric strenhth of subjects with diverse initial strenhths,Res. Quart. 1967.
8. American College of Sports Medicine;Guidelines for Exercise Testing. Lea Febiger,Philadelphia,1975.
9. Jackson A:Fitness and performance,A,A of Health,1989.

第二章

运动对肌肉功能的影响

一、肌肉的收缩形式

当肌肉收缩时,肌原纤维内的肌纤蛋白丝和肌凝蛋白丝相对滑动。其滑动的幅度,可根据肌肉工作需要而定。肌肉收缩可表现为整块肌肉的长度发生变化,也可不发生变化。根据肌肉收缩时长度的变化,把肌肉收缩的基本形式分为四种基本的收缩形式,即:向心收缩(Concentric Contraction)、等长收缩(Isometric Contraction)、离心收缩(Eccentric Contraction)及等动收缩(Isokinetic Contraction)。在完成工作或对抗地心引力对身体的作用时,这几种收缩往往同时或按顺序发生。

(一)向心收缩

肌肉收缩时,长度缩短的收缩称为向心收缩。这种收缩的特点是,肌肉收缩使肌肉的长度缩短、起止点相互靠近,因而引起身体的运动。肌肉张力增加出现在前,长度缩短发生在后。但肌肉张力在肌肉开始缩短后即不再增加,直到收缩结束。故这种收缩形式又称为等张收缩(Isotonic Contraction)。有时也称为动力性或时相性收缩。肌肉向心收缩时,是做功的。其数值为负荷重量与负荷移动距离的乘积。