

YUN DONG SHENG LI XUE

● 师范专科学校体育专业运动生理学编写组



高等师范专科学校体育专业试用教材

运动生理学



高等师范专科学校体育专业教材

运 动 生 理 学

(试用本)

主 编：黄超文

审 阅：王步标 华 明

邓树勋 张焕玉

编写者：曹建中（山东济宁师专）

吴鉴鑫（广西玉林师专）

李石光（湖南邵阳师专）

高永三（福建宁德师专）

陈俊民（青海师范大学）

王珍武（大连师范学院）

黄超文（湖南益阳师专）

师范专科学校体育专业运动生理学编写组

编写说明

本教材是根据国家教委（原教育部）1980年颁发的“高等师范院校体育专业教学计划”（试行草案）和1985年高等教育出版社出版的“高等师范专科学校体育专业运动生理学教学大纲”的基本要求编写的。由湖南益阳师专、山东济宁师专、广西玉林师专、湖南邵阳师专、福建宁德师专、青海师范大学和大连师范学院七所师范院校协作完成。

运动生理学是在学生已经掌握人体生理学的基础上开设的，是师专体育专业的一门专业基础课。在教材编写过程中，我们认真总结了师专多年来的教学实践经验，在充分考虑师专培养目标、课程设置、学制学时等特点的基础上，从教学计划对本门课程的要求出发，坚持教材的科学性、系统性和可读性。贯彻理论联系实际的基本原则，把重点放在本课程的基本理论、基本知识和基本技能方面。教材内容的选择，注意适当地反映本学科近期发展的新成果，尤其注重阐明儿童少年生理功能的年龄、性别特征以及中学体育教学和业余运动训练对人体生理功能的影响及其产生适应性变化的一般规律。为兼顾教学与自学两方面的需要，教材在每一章前面附有目的要求，在每一章后面附有复习思考题。我们期望，本书在提高师专运动生理学教学质量的实践中能起到一定的促进作用。

本教材于1987年3月在广西玉林通过审定。湖南师大王步标教授、杭州大学华明副教授、华南师大邓树勋副教授以及高等教育出版社的张焕玉编辑组成的审稿小组对全书进行了认真、仔细的审阅和修改，认为：教材基本符合师专教学大纲要求，内容深广度上较能体现师专的特点，基本符合教材科学性、系统性及可读性的要求。在当前师专无正式教材的情况下，这本教材对提高师专《运动生理学》教学质量将有良好作用。建议修改后试用本可在师专教学中试用，听取意见后进行修改加工并推荐给出版部门作正式教材出版使用。

几乎任何一门科学，都要在历史的长河中积累大量的专业知识。然而，运动生理学毕竟是一门很年青的科学。作为一门独立的学科，不少学者认为这只是本世纪20年代的事。在我国，把它作为单独一门课程从生理学中分离出来加以系统地介绍也是1985年才首次出现于高师体育专业的本科教材中。因此，在这种既无经验、又乏资料的情况下，加之我们业务水平不高，时间紧迫，故教材在体系的安排、内容的选择以及文字的描述上都是不尽人意的。这些，还有待各位读者多提宝贵意见，以使这门学科更加科学、系统与日臻完善。

高师体育专业教材编审委员会付主任王步标教授直接指导了本书的最后修改与审定。这是本书修订工作能够取得一定进展的原因。

另外，在教材编写和发行过程中，我们得到了广西玉林师专、辽宁大连师专、湖南益阳师专教务处和总务处以及岳麓印刷厂的全力支持，特别还得到了湖南师大常灿如、李喻军以及益阳师专邓鸣皋、刘俊池、王蓉等同志的鼎力相助，在此深表谢意。

黄超文

1986年5月20日于益阳迎丰桥

目 录

绪 论	(1)
一、运动生理学的研究目的、任务以及与其它人体科学的关系	(1)
二、运动生理学的研究方法	(2)
三、人体对运动的反应与适应	(3)
四、运动生理学发展简述	(4)
第一章 肌肉工作的生理学分析	(6)
第一节 肌肉工作的特征	(6)
一、肌肉的物理特性与生理特性	(6)
二、肌肉的收缩成份与弹性成份	(6)
三、肌肉工作的形式	(7)
四、肌纤维类型与运动能力	(8)
第二节 肌肉收缩的力量与速度	(12)
一、肌肉收缩的力量	(12)
二、肌肉收缩的速度	(14)
第二章 有氧工作能力	(18)
第一节 有氧工作能力的生理学基础	(19)
一、呼吸、循环系统的功能	(19)
二、肌组织的有氧代谢功能	(21)
第二节 评定有氧工作能力的指标	(22)
一、需氧量与摄氧量	(22)
二、氧亏与氧债	(23)
三、最大摄氧量	(25)
四、无氧阈	(30)
第三节 有氧工作能力的训练	(34)
一、提高有氧工作能力的训练方法	(34)
二、儿童少年的有氧工作能力训练	(35)
三、有氧工作能力训练的生理学效果	(36)
第三章 运动与供能系统	(39)
第一节 运动时的能量供应	(39)
一、肌肉工作时的直接能源——ATP	(40)
二、肌肉工作时ATP的再合成	(42)
第二节 人体内三种能量系统的特性	(42)
一、磷酸原系统	(42)

二、乳酸能系统.....	(42)
三、有氧氧化系统.....	(43)
四、运动活动与能量连续统一体.....	(44)
第三节 运动训练对供能系统的影响.....	(47)
一、运动训练对供能系统的影响.....	(47)
二、能量系统理论在体育实践中的应用.....	(48)
第四章 运动技能形成的生理学分析.....	(51)
第一节 运动技能形成的两种不同学说介绍.....	(51)
一、运动技能形成的神经控制论观点.....	(51)
二、运动技能形成的条件反射学说.....	(54)
第二节 形成运动技能的时相变化.....	(55)
一、泛化阶段.....	(55)
二、分化阶段.....	(55)
三、巩固阶段.....	(56)
四、自动化阶段.....	(56)
第三节 影响运动技能形成与发展的因素.....	(57)
一、发挥和利用感官功能优势,沟通与本体感觉的联系.....	(57)
二、信息反馈在形成运动技能中的特殊作用.....	(57)
三、第二信号系统在形成运动技能中的意义.....	(58)
四、运动技能形成的强化与消退.....	(58)
第五章 运动过程中人体功能水平变化的规律.....	(60)
第一节 赛前状态、进入工作状态和稳定状态.....	(61)
一、赛前状态.....	(61)
二、进入工作状态.....	(61)
三、稳定状态.....	(63)
第二节 运动性疲劳和恢复过程.....	(64)
一、运动性疲劳.....	(64)
二、恢复过程.....	(67)
第三节 准备活动和整理活动.....	(69)
一、准备活动.....	(69)
二、整理活动.....	(70)
第六章 体育教学与训练的生理学基础.....	(72)
第一节 训练原则与方法的生理学分析.....	(72)
一、训练原则的生理学分析.....	(72)
二、几种训练方法的生理学分析.....	(77)
第二节 生理负荷量.....	(80)
一、影响生理负荷量的主要因素.....	(80)
二、生理负荷量的评定.....	(81)
第三节 体育教学与训练效果的生理学评定.....	(85)

一、锻炼与训练对机体某些生理功能的影响·····	(86)
二、定量负荷时的生理功能反应特点·····	(87)
三、最大运动负荷时的生理功能反应特点·····	(88)
第七章 儿童少年的解剖生理特点与体育运动·····	(90)
第一节 儿童少年的生长发育·····	(90)
一、生长发育的一般规律·····	(90)
二、影响儿童少年生长发育的因素·····	(91)
三、青春发育期·····	(22)
第二节 儿童少年各器官系统的特点与体育运动·····	(94)
一、运动系统·····	(94)
二、心血管系统·····	(95)
三、呼吸系统·····	(96)
四、神经系统·····	(97)
第三节 儿童少年身体素质的发展特征·····	(97)
一、力量素质的发展特征·····	(98)
二、速度与速度耐力素质的发展特征·····	(100)
三、一般耐力素质的发展特征·····	(102)
四、灵敏与柔韧素质的发展特征·····	(102)
第八章 儿童少年的体质评定·····	(105)
第一节 体质评定的意义及其指标·····	(105)
一、体质的内容·····	(105)
二、体质测试和评定的意义·····	(106)
三、体质测试和评定的常用指标及注意事项·····	(106)
第二节 体质评定的方法·····	(707)
一、身体形态和功能发育的评定方法·····	(107)
二、身体素质的评定方法·····	(115)
三、体质的综合评定·····	(120)

绪 论

目 的 要 求

了解运动生理学的研究方法及其发展简史，掌握运动生理学的研究目的和任务以及人体对运动的反应与适应规律。

一、运动生理学的研究目的、任务以及与其它人体科学的关系

运动生理学是生理学的一个分支，是在人体生理学的基础上发展起来的。它主要研究在体育运动中，或在长期系统的体育锻炼影响下，人体各种生理功能发展变化的规律；探讨体育运动对提高人体功能能力的作用和机制；指导人们合理地从事体育锻炼或科学地组织运动训练。

运动生理学是师专体育专业的专业基础理论课，对于体育专业的学生来说，学习运动生理学的具体要求是：(1) 掌握在体育运动影响下，人体各种生理功能（如肌肉活动、心肺功能、能量供应等）的急性反应和慢性适应及其规律，进而了解体育锻炼或运动训练对提高人体各种活动能力（如力量、速度、耐力等）的作用及其生理机制。(2) 掌握体育锻炼及运动训练的基本生理学原理，特别是儿童少年生理功能的年龄、性别特征与体育锻炼的关系，为科学地从事体育教学和儿童少年的业余体育训练打下理论基础。(3) 初步掌握评定人体功能能力的基本科学方法，并依据人体功能变化规律及特点，将有关的理论运用于体育教学和运动训练实践。

人体的功能和形态是密切联系的。因此，学习运动生理学不但要从人体生理学入手，还需掌握人体解剖学的基本知识。为了进一步阐明某些生理现象的产生机理，也要了解相关的运动生物化学知识，因为运动生物化学所阐明的运动时人体内的生化变化规律，对认识运动时人体生理功能的变化具有重要意义。由于运动生理学的研究范围限于人体在正常状态下的功能活动，所以它又需与各种病理现象相鉴别，并为运动参加者的功能评定、医务监督等体育保健的内容提供理论依据。

运动生理学是一门应用科学。在发展体育科学理论，加强体育教学的理论与方法和增强体质、不断提高运动训练水平、提高运动竞技能力等方面，运动生理学应与人体解剖学、运动生物化学、体育保健学等相互配合，进行综合、系统的研究，才能为体育实践作出更大的贡献。

二、运动生理学的研究方法

运动生理学的研究对象是人。运动生理学的知识主要是通过对人体的实验测定而获得的。但是,在恰当地估计人与实验动物区别的前提下,用动物实验的资料来间接探讨在某一特定条件下运动对人体的影响以及人体在运动过程中生理功能的变化和发生机制亦合乎逻辑,特别是当某些实验需要损及机体才能获得研究结果时。例如,为了研究雄性激素对运动能力的影响,必须分别观察体内雄性激素增高时和缺乏时运动能力的变化,其中增高雄性激素可以用肌肉注射的方法,但要使雄性激素缺乏就必需将雄性个体去势(阉割),而这在人体实验中却是难于实现的。另外,用多种动物观察同一器官的功能活动,可以从共同的表现中找出具有普遍性的规律,很可能也适用于人体。因此,动物实验方法在推动运动生理学的发展中仍然起着极为重要的作用。由于动物实验的研究方法已在人体生理学中作了详细介绍,在此便不再赘述。这里主要介绍对人体实验和测定常用的两种方法,即运动现场测定法和实验研究法。

(一) 运动现场测定法

运动现场测定法是指在运动现场直接对运动者运动过程中(包括运动前、运动中、运动后即刻和恢复期,或运动中完成某项练习后)某些生理变化进行测定。这种测定方法的特点是符合运动的实际情况,且随着遥测仪器的使用,已能在运动过程中直接对某些生理指标进行测定,如心率。但这种方法易受运动环境、运动者心理状态等因素的影响,研究条件不易控制,影响测量的准确性,对正确分析所得的生理指标造成一定困难。

(二) 实验研究法

实验研究法是让受试者按照研究目的所预定的运动方式和训练方案,在实验室内或限定的运动场所利用各种训练器械如跑台、自行车功量计等进行实验性训练,并在训练前后或训练中进行某些生理指标的测定,以了解各种运动项目或不同训练方式等与某些生理功能的变化关系或对人体某一功能的特定影响。它包括横向研究和纵向研究两种方式。

横向研究是通过同时对不同年龄、或不同性别、或不同训练水平、或不同运动项目的人群,进行一过性实验测定,从中得出某些生理功能变化规律。如通过对8—16岁各年龄组的儿童少年台阶试验后的心率测定,以了解儿童少年台阶试验后心率变化的年龄特征。这种方法实用性强,而且比较准确,对学校体育、群众体育和业余训练的研究都比较适用。但横向研究方法的缺点是:所得的训练效果,究竟是体质上原有的先天差别,还是后天体育锻炼或其它因素影响的结果,难以确切地加以证实。例如某些优秀运动员所具有的高水平的最大摄氧量,其中遗传、个体体质等因素占了多大比重而训练到底又起了多大的作用?显然,横向对比的研究方法解决不了先天遗传的问题,只能一般地说明锻炼或训练对身体具有良好作用。

纵向研究是对同一组或同一受试者进行长时间的甚至多年性的连续追踪研究。这种方法相对来说较为精确,但也并非完美无缺。因为在研究过程中,受试者的人数往往会由于各种原因而越来越少,即便少数受试者能坚持到底,也会由于生活方式的改变、疾病等因素而影响实验结果及研究的可靠性。

由上可见,从人体想要得到实验研究精确、可靠的数据并非易事,这是一项非常细致和艰巨的工作。因此,对运动生理学的实验研究,不论是在实验设计、研究组织方面,还是在实验

方法、实验仪器的取舍上都应当予以足够的重视。尤其应注意人的年龄、性别、个性、生活条件、运动项目、健康状况、遗传因素等特点。对其生理功能进行评价时，应作全面的系统分析，而不能只根据个别的、局部的变化就作出定论，因为某项单一生理指标的改变，并不能说明其整体的变化和水平。因此，从某种意义上说，运动生理学是从整体水平来研究人体功能的科学。这一点对于我们在分析某些运动生理的研究结果时，或在设计某项运动生理学实验研究方案时，具有重要的指导意义。

目前，由于现代科学技术的发展，运动生理学的研究在实验手段和方法上都有了很大地改进。一方面，肌肉活检、电镜观察、微电极生理和超微分析等技术已把研究者的视野带进了以分子为基础的微观世界；另一方面，多种生理现象又可通过换能、遥测、多导记录等，在不影响人体运动状态的条件下获得实验数据；而且，利用电脑记忆、系统处理、综合分析等，使动态和整体水平的研究也达到了新的高度。

三、人体对运动的反应与适应

反应，在运动生理学中，是指单次运动所引起的机体生理功能暂时性变化，如运动中出现的心率加快、呼吸频率增加、血流速度加快、心输出量增加、血中 pH 值下降等。这些变化在运动后一段时间内消失并恢复到安静时水平。

适应，一般是指反复、多次、长时间（几天、几周、数月乃至几年等）的运动所引起的身体形态、生理功能的持久性（相对而言）变化，如长期体育锻炼和运动训练后使机体发生的一系列适应性变化：运动系统中骨骼、肌肉、关节良好地适应性增强；呼吸系统、心血管系统各器官功能能力的普遍提高以及感觉器官前庭稳定性，本体感觉敏感性的提高等等。

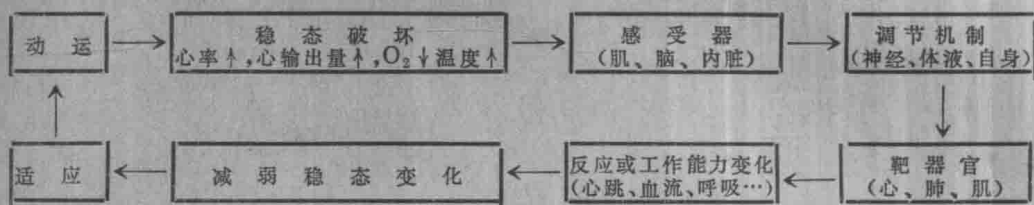
正常情况下，人体各器官、系统的活动相互制约、相互协调，处于一种相对平衡的状态，即稳态。稳态的维持是人体生命存在和人体功能正常活动的必要条件。当外环境发生变化时，机体内环境的相对平衡状态（稳态）受到破坏，体内各种功能不得不重新调整，以维持机体稳态。

人体对外环境变化的反应，总的是与这些环境变化相适合的，而且总是作为一个整体来进行的。整体反应包括两个方面：一个方面是运动系统按一定方向路线进行一系列活动；另一方面则是内脏系统活动作相应地调整。这是因为运动系统的活动必将影响到人体的新陈代谢活动，从而影响内环境的稳态。有些剧烈地外环境变化（如运动），即可直接破坏稳态，必须相应地调整内脏活动才能维持稳态。如剧烈运动时，机体能耗量急剧增加，因此，不仅需要较安静时增大几倍至十几倍，同时代谢产物也相应增多。因而必须充分动员身体中呼吸循环和排泄等器官的功能，使之与肌肉工作协调配合，为肌肉运动提供所需要的氧，清除代谢终产物和维持内环境的恒定。这样，运动才得以持续进行。所以在人体对环境变化发生相应反应时，既要调节运动系统以完成一定的动作，又要调节内脏活动以保持稳态；而这些调节是由人体内三种调节机制来完成的，即神经调节、体液调节与器官、组织、细胞的自身调节，其中神经调节是人体内最重要的调节机制。

体育锻炼与运动训练是一种主动改造人体形态结构、提高人体功能能力的过程。运动中，主要是采用施加运动负荷的方法，有意识地打破机体内环境的相对平衡，使之发生向较高功能水平的转化，从而在与施加的运动负荷相适应的水平上重新获得相对平衡。即：稳态—打破稳态—机体产生反应—多次打破稳态—机体适应。因此，人体在运动的影响下，各种

生理功能势必会发生一系列的急性反应与慢性适应。而这种反应与适应的过程，正是体育锻炼与运动训练提高人体功能能力的生物学基础。

运动中的反应与适应是紧密相连的。因为，机体只有经过无数次的对运动的反应过程，才能达到机体功能与外界环境变化相适应的水平。可以说，反应是适应的前提，适应是长期反应的结果。人体对运动反应与适应的一般模式及调节机制可简示如下图：



反应与适应的模式图

人体对运动的反应，尤其是通过体育锻炼与运动训练导致组织、器官在形态结构和功能上发生的适应性改变，将有助于保持机体内环境的相对稳定状态，以达到机体不受损害，并进一步扩大机体功能能力的目的。了解了这一点，对于我们学习运动生理学，无疑具有十分重要的指导意义。

四、运动生理学发展简述

运动生理学的研究始于十九世纪末，意大利的A·莫索1892年发表了有关肌肉收缩的理论，随后，法国的F·拉格朗热出版了《不同年龄人身体锻炼的生理学》。此外，丹麦的A·克罗，英国的F·A·班布里奇和A·V·希尔等人的著作。都为运动生理学的建立奠定了基础。其中，尤以A·V·希尔所进行的系统研究贡献最大。他的系统研究，被不少学者认为是运动生理学正式作为一门独立学科的开始。还有美国的P·V·卡波维奇，瑞典的P·O·阿斯特兰德、苏联的A·H·克列斯托甫尼科夫、H·B·济姆金、B·C·法尔费利、H·H·亚科夫列夫和日本的猪饲道夫等人的研究工作，都为运动生理学的发展做出了重要贡献。

从本世纪20年代运动生理学成为一门独立的学科开始，随着数学、物理、化学、生物等自然科学及各种先进实验技术的发展，运动生理学在这半个多世纪内发展亦十分迅速。它体现了下述特点：第一，随着生理学的研究从整体水平、器官水平的宏观研究深入到细胞、亚细胞及分子水平的微观研究的发展，运动生理学也趋向宏观和微观结合水平上的研究，尤其是本世纪60年代以来这一发展更为迅速。如骨骼肌研究方面对快慢肌纤维的研究及心脏方面对心肌超微结构的研究就是一个代表。第二，随着电子技术的高速发展，分析化学技术的进展及在生理学研究中的应用，运动生理学在研究手段、实验方法上也引进了不少新技术、新成果。如针状活体肌组织检查术的创立，电子显微镜的应用等。第三，随着各门学科的互相渗透，运动生理学和运动生物化学、体育保健学、运动心理学等日益相互交错，使研究的领域愈觉开阔，问题的研究日益深入。

运动生理学在我国成为一门独立的科学，约比国际上运动生理学发展晚30年左右。我国第一部运动生理学专著，是蔡翹1940年编写的。但在这一阶段，有关运动生理学的具体研究工作却进行得甚少。

全国解放后，随着科学、教育和体育事业的发展，运动生理学的研究也有很大的进展。

1957年北京体育学院为我国首次培养出运动生理学研究生。1958年成立了体育科学研究所，其中设置了运动生理研究室，这是我国第一个专门研究运动生理学的科研机构。1961年出版了我国第一本高校体育系用人体生理学(含运动生理学)自编教材。1964年在北京举行的全国第一届体育科学论文报告会和1966年在长沙举行的第一届运动医学专题学术讨论会以及1980年在北京，1981年在杭州，1983年在武汉，1984年在天津，1986年在成都召开的体育科学学术报告会和运动医学(含运动生理生化)学术会上，均发表了有一定数量和质量的学术论文，显示了我国运动生理科学解放以来的较快发展。

70年代中期，我国运动生理学的教学、科研工作迅速获得蓬勃发展。为适应人才培养的需要，高等学校分别按体育学校和师范院校体育专业编写了教学大纲和教材，总结了我国自己的教学、科研经验，反映了运动生理学界科研新成果。不少学校开始培养攻读硕士学位的研究生。不少省市的体育科研所，相继设立运动生理研究室，专门从事运动生理的研究。目前，我国在最大摄氧量、无氧阈，运动与心功能、运动与肌电图以及青少年的体质、生理特点等基础研究方面都取得了一定的成果。同时，也开始了运动与肌纤维类型的研究。可以预期，随着我国经济体制和教育体制改革的实现以及教育、科技、体育事业的发展，运动生理学也将在我国取得更大的成就。

(黄超文)

复习思考题

1. 运动生理学的研究目的和任务是什么？
2. 何谓反应、适应？它们之间有什么关系？

第一章 肌肉工作的生理学分析

目的要求

了解肌肉力量与速度的分类及影响因素。掌握肌肉工作的基本形式和力学表现。以及不同类型肌纤维的生理特征与运动能力的关系。

肌肉是人体运动的动力器官。人体任何一种运动动作，都是在神经系统支配下，由骨骼肌产生收缩与放松，牵拉骨杠杆而实现的。

肌肉工作能力的水平，不仅决定于肌肉本身的解剖生理特点，而且与肌肉工作时的能量生成，内脏器官的功能配合以及神经调节等因素有关。本章主要讨论运动实践中有关肌肉的一些生理特征。

第一节 肌肉工作的特征

一、肌肉的物理特性与生理特性

肌肉的物理特性主要为伸展性、弹性和粘滞性。

当肌肉受外力（牵拉或负重）作用时，其长度增加，这种性质叫伸展性。当外力取消之后，肌肉又恢复其原长度，这种性质称为弹性。由于具有伸展性，肌肉能够防止外力骤然冲击时发生断裂的危险；由于具有弹性，收缩前预先拉长肌肉，形成弹性紧张，肌肉收缩时就能更迅速有力。因此，在投掷、跳跃等爆发性用力时，常常预先拉长肌肉以增加其收缩力量。

粘滞性是由于肌浆内各分子之间相互磨擦所产生的一种阻力。它阻碍肌肉的快速缩短和拉长，并额外消耗一部分能量。气候寒冷时，肌肉粘滞性增大，准备活动后，由于肌温升高可减低粘滞性，从而能提高肌肉收缩和放松的速度，并能避免肌肉的拉伤。

肌肉的生理特性主要指肌肉的兴奋性与收缩性，关于这一点，人体生理学中已作详尽叙述，在此不再介绍。

二、肌肉的收缩成份与弹性成份

肌肉，同身体中其它器官一样，由几种组织构成。构成肌肉的基本组织有肌组织（由肌纤维组成）、结缔组织、神经组织。此外，肌肉还分布有丰富的血管网。肌纤维构成肌肉的主体，肌肉器官的绝大部分（大于90%）由肌纤维组成，它是肌肉的收缩成份，其功能是通过收缩而产生拉力。肌肉中的其它组织则起着调节、支持和营养作用。

肌肉中的弹性成份,由肌肉中的结缔组织、肌、腱Z线等组成,它与肌肉中的“收缩成份”成并连或串连存在(图1-1)。其中肌肉中的结缔组织是肌肉中“弹性成份”的最重要部分。

在肌肉的收缩过程中,弹性成份起着重要的作用。当收缩成份缩短时,弹性成份被拉长而将前者释放的部分能量吸收贮存起来,这如同通过一条橡皮带提起一个重物,开始时橡皮带被拉长而贮存能量,当能量贮存足够时(即相当于重物时)重物即被提起。这种贮存的能量,其后即以弹性反作用力的形式发挥出来,而促使肌肉产生更大的力量和更大的运动速度。例如跑步中发挥蹬地力量的肌群如股四头肌、臀大肌等,在蹬地前所做的伸展,实际上是利用它来贮备能量(力)

以便其后将它转化为向前的推进力,而增进跑速。实验证明,跑中消耗的能量有40—50%是用于此种作用力的。此外,由于弹性成份的伸展特性可吸收一部分力,从而使收缩成份产生的张力变化趋于缓和,在完成跳跃、跑步、投掷等急剧运动时,起着保护作用,防止肌肉发生损伤。

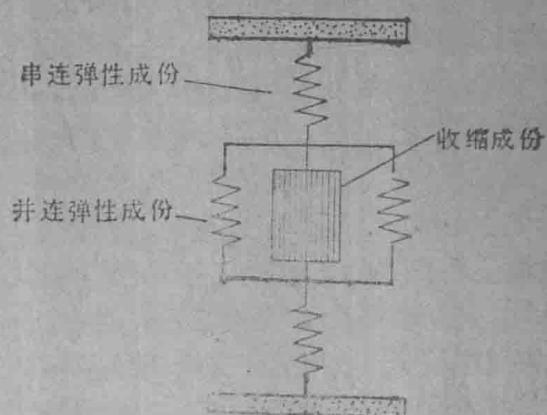


图1-1 肌肉的收缩成份和弹性成份排列示意图

三、肌肉工作的形式

肌肉的主要功能是通过肌纤维的收缩和舒张来完成各种运动动作或工作。这实际上是由肌纤维在收缩过程中产生的长度和张力的变化来完成的。根据肌肉收缩时长度和张力变化的相互关系,肌肉的工作可分为三种形式。

(一) 缩短收缩

缩短收缩又称向心收缩或等张收缩。当肌肉收缩时所产生的张力大于外加阻力(负荷)时,肌肉缩短,并牵拉杠杆做向心运动,这种收缩叫缩短收缩。同时,由于在这种收缩中,当张力发展到足以克服外加阻力后,其张力在收缩全过程中就不再变化而保持恒定故又称等张收缩。缩短收缩是人体得以实现各种加速运动或位移运动的基础,人体各种动力性工作,如跑、跳、空翻等,都是通过肌肉以缩短收缩为主的方式来实现的。缩短收缩时,肌肉消耗了大量的能量用以完成外功。

(二) 拉长收缩

拉长收缩又称离心收缩。当肌肉收缩时所产生的张力小于外力时,此时,肌肉虽积极地收缩,但仍然被拉长了,这种收缩称为拉长收缩。实际工作中,把肌肉进行缩短收缩与拉长收缩称之为动力性工作。拉长收缩在实现人体运动中,起着制动、减速和克服重力等作用,拉长收缩时,肌肉做负功。例如,在跑步中,当屈髋肌群用力收缩而使大腿快速抬高到一定限度时,伸髋肌群即积极收缩以制止其过分上抬。但由于伸髋肌群的张力小于屈髋的力量,此时,它虽然积极收缩,但仍然被拉长了。这不仅制止了大腿的过分高抬,同时也为伸髋肌群在后继的伸髋动作中发挥更大的力量,创造了前提条件。在肌肉工作过程中,拉长收缩和缩短收缩常常相互联系形成牵拉—缩短环。即肌肉在缩短收缩前先产生拉长收缩,再继之以缩短收缩,把拉长收缩时贮存的弹性力量,供其后缩短收缩利用,从而使肌肉产生比单纯缩短收

缩时更大的力量和速度。在跑步过程中是如此，在跳跃、投掷中更是如此。

(三) 等长收缩

当肌肉收缩产生的张力等于外力时，肌肉虽然积极收缩，但长度并不变化，这种收缩叫等长收缩。值得注意的是，进行等长收缩时，虽然整块肌肉没有出现缩短，但收缩成份却在积极收缩，并产生很大的张力，此张力使弹性成份拉长并作用于外力（图1-2）。等长收缩时，肌肉张力可发展到最大，但由于没有位置的移动，等长收缩又叫静力性工作，在运动实践中，等长收缩起着支持、固定和保持某一姿势的作用，人体的各种静力性工作，如站立、悬垂、支撑等，都是通过肌肉以等长收缩为主的方式来实现的。从物理学上讲，等长收缩时，肌肉没有做外功，但消耗了很多能量以维持肌肉的收缩。

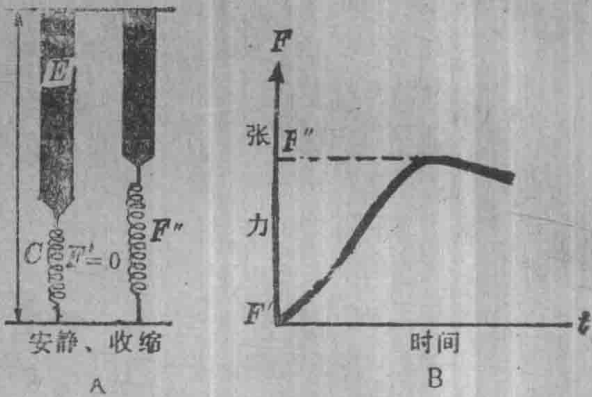


图1-2等长收缩的力学观

A. 等长收缩时，肌肉的收缩成份(E)和弹性成份(C)的机械变化示意图 B. 等长收缩时张力的变化
 L = 肌肉的长度， F' = 安静时张力， F'' = 收缩时的张力

总之，人体的任何一个运动动作的实现，都有赖于这三种肌肉工作形式的配合。如此分类只是表明在某一动作过程中，某种肌肉工作形式起主要作用而已。

三种肌肉工作形式的比较如表1-1。

表1-1 肌肉的三种工作形式的比较

工作形式	肌肉长度变化	外力与肌张力的比较	在运动中的功能	肌肉对外所作的功	能量供给率
缩短收缩 (向心收缩)	缩 短	小于肌张力	加 速	正	增 加
拉长收缩 (离心收缩)	拉 长	大于肌张力	减 速	负	减 少
等长收缩	不 变	等于肌张力	固 定	未	小于缩短收缩

四、肌纤维类型与运动能力

研究发现，人类的骨骼肌肉由两类肌纤维组成：一类收缩速度较慢，称慢肌纤维（ST），另一类收缩速度较快，称快肌纤维（FT）。根据它们的颜色及在机体中担负工作的性质，慢肌又称红肌或紧张性运动单位，快肌又称为白肌或时相性运动单位。此外，又称慢肌为Ⅰ型纤维，快肌为Ⅱ型纤维。快肌又可分为三个亚型，分别称为快A（ⅡA）、快B（ⅡB）和快C（ⅡC）纤维。其中，快B纤维是典型的快肌纤维。

两类肌纤维在结构和功能或工作能力上，均有明显差异。对体育活动或运动训练的反应，也各具不同的特征。

(一) 两类肌纤维的形态、功能及代谢特征

1. 形态学特征 (1) 结构特征 快肌纤维的直径较慢肌纤维大, 肌浆网较慢肌纤维发达两倍, 故快肌纤维肌浆网摄 Ca^{2+} 速度大于慢肌纤维, 从而加速了快肌纤维的反应速度。

慢肌纤维线粒体的数量较快肌纤维多而直径大, 同时慢肌纤维周围的毛细血管比快肌纤维多, 其比例为 1:0.8, 故慢肌纤维的血液供应较快肌好

(2) 神经支配 支配快肌纤维的是大运动神经元, 其神经纤维直径粗且传导速度快 ($80-40\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 米/秒)。而支配慢肌纤维的是小运动神经元, 神经纤维直径细且传导速度慢 ($2-8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)。快肌纤维和慢肌纤维神经支配上的这种差异, 在决定它们的不同收缩速度上有重要意义。

由于一个运动神经元及其所支配的全都肌纤维所组成的功能单位称为运动单位, 并且同一运动单位只包含同一类肌纤维, 所以, 一个大运动神经元高同它所支配的快肌纤维, 称快运动单位; 一个小运动神经元连同它所支配的慢纤维称慢运动单位。

2. 代谢特征 (1) 无氧氧化能力 快肌纤维高于慢肌, 这是由于快肌纤维中参与无氧氧化过程的酶活性较慢肌高。例如快肌中 Mg^{2+} 激活三磷酸腺苷酶的活性较慢肌纤维高13倍, 肌激酶的活性为慢肌纤维的1.3倍。这两种酶是促进肌肉中高能磷酸物 (ATP和CP) 迅速分解放能的标兵酶。同时, 促进糖酵解的的乳酸脱氢酶的活性快肌比慢肌纤维高 2—2.5 倍。此外, 糖酵解的底物肌糖元的含量, 快肌纤维亦高于慢肌纤维, 约为 $402\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ (毫摩尔/公斤) 肌干对 $344\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ 干肌。

(2) 有氧氧化能力 慢肌纤维大大高于快肌纤维。如慢肌纤维氧化脂肪的能力为快肌的 4 倍, 这是由于慢肌中: ①线粒体多且体积大, 线粒体蛋白含量高。线粒体是细胞内有氧氧化的场所, 组成线粒体蛋白的大部分是多种氧化酶, 线粒体蛋白含量高, 就促进了有氧氧化能力。②肌红蛋白含量高, 毛细血管丰富, 这就大大提高了慢肌纤维的供氧能力, 为有氧氧化提供了前提条件。

3. 生理特性 肌肉的生理功能是收缩, 两类肌纤维在生理特性上的差异, 主要表现在肌纤维收缩时产生的速度和张力及抗疲劳的差异上, 而这些又取决于它们的形态和代谢上的差异。

(1) 收缩速度 快肌纤维的收缩速度快于慢肌, 其收缩时间 (从动作电位开始到出现最大张力之间的时间) 及放松时间

(从出现最大张力到肌纤维停止收缩的时间) 均较慢肌纤维少 3 倍 (图 1—3)。在人体, 快肌纤维百分比较高者, 其收缩速度也较快。这与快肌纤维受冲动传导速度快的大运动神经元支配、肌原纤维 ATP酶活性高和无氧代谢能力高、以及肌浆回收 Ca^{2+} 速度较快等因素有关。

(2) 收缩力量 快肌纤维收缩时产生的力量大于慢肌纤维。人体中快肌纤维百分比较高者, 其收

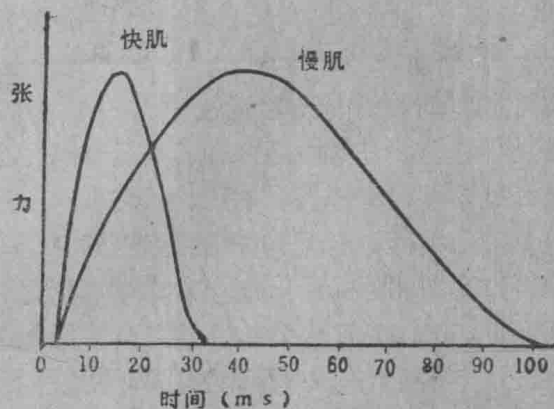


图1-3 快肌纤维(FT)和慢肌纤维(ST)的收缩-放松曲线

缩力量也较大。两类肌纤维产生张力的差异，与肌纤维的直径及兴奋阈不同有关。慢肌纤维直径小，支配慢肌纤维的小运动神经元兴奋阈值低，只要较低的刺激强度即可引起其兴奋，因而收缩时产生的张力较小。快肌纤维直径大，并且支配快肌纤维的大运动神经元兴奋阈值高，必须较强的刺激强度才能引起兴奋，因而收缩时产生的张力也较大。

(3) 抗疲劳能力 慢肌纤维抗疲劳能力比快肌强。快肌纤维虽然能产生较大的力量，但比慢肌纤维容易疲劳，且快肌纤维百分比高者更易疲劳。动物和人的实验均证明了这一点。

两类骨骼肌纤维的特性总结如表 1—2

表 1—2 人两类骨骼肌纤维的特性

特 性	慢肌 (I)	快A (II A)	快B (II B)
肌纤维大小	小	大	大
肌球蛋白ATP酶活性	低	高	高
肌球蛋白类型	慢	快	快
肌浆网的发达程度	差	发达	发达
对Ca ²⁺ 的亲合力	差	高	高
线粒体数量	多	多	少
线粒体酶活性	高	高	低
毛细血管数量	多	中等	低
糖原贮量	少	多	多
糖酵解能力	低	高	高
有氧氧化能力	高	高	低
神经元大小	小	大	大
神经元阈值	低	高	高
收缩速度	慢	快	快
收缩力量	小	快	大
能量产生效率	高	低	低
抗疲劳性	强	弱	弱

(二) 肌纤维类型与运动能力

骨骼肌中两类肌纤维的百分组成与运动能力存在密切关系。研究发现，由于项目不同，运动员肌纤维类型的比例也有不同。从表 1-3 可以看出，优秀的速度项目运动员(短跑)，慢肌纤维百分比很低，而快肌纤维百分比很高；与此相反，耐力性质运动员(长跑)，却是慢肌纤维百分比占优势；而无氧能力和有氧能力均需很高的中跑运动员，则快肌和慢肌纤维的比例相近。因此，可以认为，运动员肌纤维组成的差异是获得该专项优异成绩的先决条件之一。但也有报道指出，世界优秀的马拉松运动员组的慢肌纤维平均为82%，但其中也有个别运动员只为50%；优秀短跑运动员组的快肌纤维百分比平均达79%，其中也有个别运动员仅为48%。因此，同样可以认为，肌纤维类型的配布只是取得良好成绩的许多因素中的一个因素。因为优秀运动成绩的取得，是生理、生化和生物力学等因素综合的结果。即使没有这种纤维类型的优势，也有可能取得良好成绩。

表 1—3 不同项目运动员两类肌纤维百分比

运动专项	性 别	人 数	慢 肌%
短 跑	男	2	24.0(21.0—27.0)
	女	2	27.4(26.6—28.2)
中 跑	男	7	51.9(40.5—69.4)
	女	7	60.6(44.0—73.3)
长 跑	男	5	69.4(63.8—73.8)
跳 跃	男	2	46.7(44.0—49.3)
	女	3	48.7(38.6—61.2)
铅球、铁饼	男	4	37.7(13.3—52.0)
	女	2	51.2(48.3—54.3)
举 重	男	8	47.0±8.6

(三) 训练对两类肌纤维的影响

1. 运动时快肌和慢肌纤维的募集 实验表明：虽然在许多运动动作中，快肌和慢肌纤维两者都可能使用，但在进行强度较低或耐力性活动时，优先使用慢肌；而在进行大强度或速度类活动时，则优先使用快肌。其所以如此，是由于这两类肌纤维的生理特性和代谢能力不同之故。由于快肌纤维的兴奋性高，因而只有在大强度的刺激时它才进入活动，这在运动训练中有很重要的应用价值。显然，为了增进快肌纤维的代谢能力，训练活动必须由大强度的练习组成，才能保证快肌纤维在训练中优先活动；同理，要增强慢肌纤维的代谢能力，训练活动必须由强度低，持续时间长的练习组成，才能保证慢肌纤维在训练中优先使用。

2. 训练对肌纤维横断面积的影响 训练可使肌纤维出现选择性肥大，即不同形式的训练优先增大某类肌纤维。实验证明，力量训练可使快肌纤维出现选择性肥大；速度（短跑）训练可使慢肌和快肌纤维面积增加。但由于快肌纤维比慢肌纤维增加得多，故慢肌纤维的相对面积趋向减低，耐力训练可使慢肌纤维出现选择性肥大。亦有人报告，越野跑运动员腿部肌肉的面积，特别是腓肠肌中的慢肌纤维有减少的趋向。并认为慢肌纤维面积的缩小，毛细血管的增生，有利于缩短氧的弥散距离，而便于氧运输到肌纤维的各个部份，是耐力训练的适应表现。之所以出现这种矛盾的结果，可能与训练强度有关。前者采用的训练强度较大，因而其张力发展较大，故慢肌纤维也出现明显肥大。

3. 训练对代谢特征的影响

(1) 对有氧能力的影响 实验表明，耐力训练可明显地使肌纤维中线粒体的数目和体积增大，容积密度增加，线粒体中有氧酶系的活性增加，从而提高肌纤维的有氧氧化能力。据报道（S.Boros-Hatfaludy等,1986），经过耐力训练的竞走运动员腓肠肌中柠檬酸合成酶的活性大大高于中跑与短跑运动员。柠檬酸合成酶是调节有氧氧化的重要限速酶，其活性的提高，无疑提高了肌纤维的有氧代谢能力。相反，大重量的力量训练，虽然使肌纤维的面积大大增加，而线粒体却未有相应增加，故线粒体容积密度降低，可能导致整个肌肉氧化能力的下降而限制其耐力工作能力。其次，耐力训练亦可使快肌纤维中琥珀酸脱氢酶的活性明显增加，说明两类肌纤维均具有提高氧化潜力的适应性，因而快肌纤维百分比高的人，通过耐力