



王步标 华 明 邓树勋 等

高等学校教材

运动生理学

高等教育出版社

高等学校教材

运动生理学

王步标	肖泽亮	许永佩
张一鹏	华明	曾凡弟
李妙琴	曹志发	金岭松
孙光英	杨洪勋	刘文兴
洪泰田	邓树勋	汪锡福
乔德才	吕东旭	(排名按
章顺序)		

高等教育出版社

(京) 112号

内 容 提 要

本教材是根据国家教委于1986年和1988年分别公布的“高师体育专业教学计划试点改革方案”和“全国普通高等学校体育本科专业目录”的要求,将高师体育教育专业所开设的人体生理和运动生理两门课程的内容,融合为一体编写的,符合1991年国家教委颁发的《高师体育教育专业教学计划》的要求。全书共分肌肉活动及其控制;氧运输系统;新陈代谢;感觉、整合及运动技能;体育教学和训练的生理学分析;年龄、性别、环境与运动等6篇20章。

本书可作为高师体育系、科及体育学院体育教育专业教材;也可供运动生理和运动医学专业工作者及教练员、运动员参考。

高等学校教材

运动生理学

王步标 华 明 邓树勋 等

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

国防工业出版社印刷厂印刷

开本 850×1168 1/32 印张 20.625 字数 530 000

1992年5月第1版 1993年2月第2次印刷

印数 4 771—22 779

ISBN 7-04-003824-2/G·261

定价 7.55 元

编写说明

1986年国家教委公布的“高等师范体育专业教学计划试点改革方案”，将原教育部颁布的教学计划中的《人体生理学》和《运动生理学》合并为一门生理学开设。为进行这一试点改革，经国家教委同意，由湖南师大体育系主持，于1987年在岳阳召开了《生理学》试点改革教学大纲研讨会，制定了相应的教学大纲，供各校自行试用。1988年国家教委公布的“全国普通高等学校体育专业目录”，再次确定将两课程合并为一门课程开设。为加速这一新的教学计划的执行，我们于1989年秋以通信方式总结了执行试点改革教学大纲的经验，并据此对该大纲进行了修改，由原两教材统稿人单位湖南师大上报国家教委，建议以此大纲为基础，对原两教材进行修订。1990年3月，在湖南师大召开第一次教材修订会，讨论了教材修订原则、书名和各编写人根据大纲提出的编写提纲。讨论后认为：将书名由《生理学》改为《运动生理学》，更能反映教材性质的特征和更有利于突出专业特点及其需要。同年8月，在福建师大召开了教材初稿讨论会，会后，由王步标、华明、邓树勋根据讨论意见分别对有关篇章进行修改，再由王步标对全书进行统笔后，打印送审。中国生理学会副理事长徐有恒教授对本书进行审阅后，除肯定本书已达到高师体育教育专业教材的要求，建议高教出版社出版外，还提出了宝贵的修改意见。我们又根据这些意见对书稿进行再次修改后，送请高教出版社出版。

运动生理学是体育教育专业的专业基础理论课。为使教材更好地符合体育教育专业的培养目标，在加强思想性、科学性及系统性的基础上，突出体育教育专业特点及应用方向。在体系上既打破了按器官系统编排的纯生理学体系，又突破了已往把正常人体生

理和运动生理分成两大部分并列的方式，而将正常人体生理知识和运动生理知识有机地揉为一体，分6篇20章写出。在内容的取舍与安排上，主要根据专业需要而不纯拘泥于生理学本身需要；在不削弱生理学基本理论和基础知识的同时，加强应用知识和资料的介绍，使理论紧密联系实际；并根据运动生理学近年来的发展成果，对内容进行了增补和更新，如新辟环境与运动一章，加强了激素与运动知识的阐述等。

参加本教材编写的成员有：王步标（第1、2章）、肖泽亮（第3章）、许永佩（第4章）、张一鹏（第5章）、华明（第6、7章）、曾凡弟（第8章）、李妙琴（第9章）、曹志发（第10章）、金岭松（第11章）、孙光英（第12章）、杨洪勋（第13章）、刘文兴（第14章）、洪泰田（第15章）、邓树勋（第16、20章）、汪锡福（第17章）、乔德才（第18章）、吕东旭（第19章）。

本教材虽经数次讨论并三易其稿，但限于我们的业务水平，在体系和内容上，尚存在不当与错误之处，敬请批评指正。

王步标 华明 邓树勋

1991年5月湖南长沙

目 录

第一章 绪论	1
第一节 运动生理学的研究对象、任务和方法	1
第二节 生命活动的基本表现	3
第三节 生理功能的反应和适应及其调节	17

第一篇 肌肉的活动及其控制

第二章 肌肉的活动	24
第一节 肌肉收缩	25
第二节 肌肉收缩的形式及力学分析	42
第三节 肌纤维类型与运动能力	61
第四节 肌腱和肌中结缔组织的功能	71
第三章 肌肉活动的神经控制	75
第一节 肌紧张和姿势反射的神经控制	75
第二节 高位中枢对肌肉活动的控制	88
第三节 随意运动	97

第二篇 氧运输系统

第四章 呼吸	103
第一节 肺通气	104
第二节 肺换气	126
第五章 血液	131
第一节 概述	131
第二节 血液的载氧与释氧功能	137
第三节 血液的其它功能	143
第六章 血液循环	152
第一节 心泵功能	152

第二节	心肌的特性和体表心电图	172
第三节	血管生理	180
第四节	心血管活动的调节	196
第七章	最大吸氧量和无氧阈	207
第一节	概述	208
第二节	最大吸氧量	212
第三节	无氧阈	225

第三篇 新 陈 代 谢

第八章	物质代谢	233
第一节	消化和吸收	234
第二节	糖、脂肪和蛋白质在体内的分解代谢	244
第三节	代谢尾产物的排泄	260
第九章	能量代谢	275
第一节	人体的总能代谢	275
第二节	运动时能耗量的计算及其意义	285
第三节	人体运动时的能量供应	290
第十章	激素对代谢的调节	304
第一节	概述	304
第二节	某些激素对代谢的调节	312
第三节	激素在肌肉运动中的作用	328

第四篇 感觉、整合和运动技能

第十一章	感觉与运动	341
第一节	感觉的形成概述	342
第二节	视觉	350
第三节	位觉	360
第四节	其它感觉	372
第十二章	神经系统的整合功能	380
第一节	实现整合功能的神经学基础	380
第二节	运动时神经系统对人体功能的整合	392

第三节	脑的若干特殊功能在整合中的作用	403
第十三章	运动技能的学习	410
第一节	学习和记忆	410
第二节	运动技能的形成	418

第五篇 体育教学和训练的生理学分析

第十四章	运动中人体功能变化规律	435
第一节	运动练习的分类	435
第二节	赛前状态和准备活动	439
第三节	进入工作状态和稳定状态	444
第四节	疲劳和恢复过程	448
第十五章	身体素质	463
第一节	耐力素质	463
第二节	力量素质	475
第三节	速度素质	493
第四节	灵敏和柔韧素质	497
第十六章	体育教学训练原则和方法的生理学分析	503
第一节	教学训练原则的生理学分析	503
第二节	教学训练负荷阈	514
第三节	训练方法的生理学分析	521
第十七章	身体对运动的反应和适应	529
第一节	从事某些运动项目锻炼时的生理反应特点	529
第二节	生理功能适应水平的评定	538

第六篇 年龄、性别、环境与运动

第十八章	儿童少年和体育运动	549
第一节	生理功能的年龄特征	549
第二节	动作技能和身体素质的发展	559
第三节	运动定向的生理学依据	568
第十九章	女子和体育运动	575
第一节	女子的运动能力	575

第二节	月经周期与运动.....	585
第二十章	环境和运动	595
第一节	生物节律与运动.....	595
第二节	冷热环境与运动.....	600
第三节	高原环境与运动.....	618
第四节	水环境与运动.....	621
附录一	英中专业名词对照	625
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.....	648
附录三	度量衡对照表	649

第一章 绪 论

第一节 运动生理学的研究 对象、任务和方法

一、运动生理学的研究目的和任务

运动生理学是生理学的一个分支，是一门应用生理学。它研究人在体育运动中，或在长期系统的体育锻炼影响下，人体各种功能发展变化的规律，指导人们合理地从事体育锻炼，或科学地组织运动训练。

运动生理学是体育教育专业的专业基础理论课，体育教育专业学生学习运动生理的目的任务是：①掌握正常人体生理活动的基本规律及原理，在此基础上，进一步掌握在体育锻炼过程中和在长期系统的锻炼下，人体生理功能所产生的反应和适应变化及其规律。②掌握体育锻炼及运动训练的基本生理学原理，特别是青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青少年业余训练提供理论基础。③初步掌握评定人体功能能力的基本科学方法和依据人体功能变化特点从事体育教学和训练的基本原理。

二、运动生理学研究的基本方法

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，但动物实验也是运动生理学一项常用的实验方法。从生物进化观点看，人同各种动物，特别是哺乳动物，有许多结构和功能是基本相似的。因而在恰当地估计人与实验动物的区别的前提下，用动物实验的资料来间接探讨人体生

理功能的变化及其机制是合乎逻辑的。特别是当某些实验需要损伤机体才能获得研究结果的情况下，常用动物进行实验。例如，在研究快肌纤维和慢肌能否互相转变的某些实验中，需对机体进行交叉神经支配的手术，即将支配快肌和慢肌的神经切断后，再分别交叉植入对方的肌纤维中，或者在去除神经后埋入电极，进行模拟电刺激，这些研究只有应用动物做为实验对象才能实现。

动物的实验方法一般分为慢性实验和急性实验两类。慢性动物实验方法主要是无菌条件下对健康动物进行手术，暴露要研究的器官或摘除、破坏某一器官，然后尽可能在接近通常生活条件下观察其功能变化。如摘除雄性腺后，观察动物肌肉体积及力量的变化。急性动物实验又可分为在体与离体两种。在体实验方法是指在麻醉条件下剖开动物，对某个器官的功能进行观察。如观察各种神经、体液因素对动物血压的影响。离体实验方法是从动物体内取出某一器官或组织，置于适宜环境下，对它的某项功能进行观察。如在蛙体内分离出坐骨神经腓肠肌标本，以观察肌肉的收缩功能。

常用的对人体实验和测定的方法有：①运动现场测定法。这种方法是在运动现场直接对运动者运动时（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。借以了解不同运动项目的生理特点，或不同的人群在完成同一项目时的生理反应水平。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。但由于易受运动环境、运动者的心理状态等因素的影响，研究条件不易控制，给测量结果的准确性和精确分析造成一定的困难。②实验性训练法。这种方法是让受试者按照一定的研究目的而设计的实验训练方案，在实验室内利用一定的训练器械如跑台、自行车功量计，各种力量训练装置等进行数周至数月的实验训练，并在训练前后或过程中，对欲研究的生理功能进行测定，以了解各种锻炼和训练方法（不同

训练方式，不同强度，不同间歇时间等）的训练效果及其对人体某些生理功能的特定影响。这种方法的优点，是研究条件容易控制，重复性好，对欲研究的问题能较深入的分析，但易受设备的限制而不能大规模使用。（3）功能的测试和评定。即通过不同年龄、不同性别的经常锻炼者和不锻炼者或不同训练水平，不同运动项目的运动员在一定条件下（安静时、定量工作时、极量工作时）各种生理功能状态或变化进行测定，以了解体育锻炼和运动训练对提高人体各种生理功能的作用和规律。

目前，由于新的研究方法的建立和新的科学仪器的采用，如肌组织活检法的创立，微量和超微量分析和遥测技术，如遥测心电、肌电的采用等，运动生理的研究不论在广度上和深度上都日益发展，特别是分子生物学出现后，运动生理学在深入开展宏观研究的同时（如对最大吸氧量和无氧阈的研究），也开始微观的即分子水平的研究（如运动训练与两类肌纤维功能关系特性的研究）。

第二节 生命活动的基本表现

生物体与非生物体的根本区别是，只有活的生物体才具有生命活动。通过对各种生物体，从单细胞生物以至高等动物基本生命活动的观察和研究，发现所有活的生物体至少包括三种基本活动，这就是新陈代谢，兴奋性与生殖。换言之，只有具有这三种基本活动的生物体才能认为具有生命活动，因而把它们称为生命活动的基本表现。这里仅就前二者加以阐述。

一、新 陈 代 谢

新陈代谢是包括人体在内的一切生物体存在的最基本特征，是生物体不断与环境进行物质和能量交换中实现自我更新的过程。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，放出能量以供其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。新陈代谢是不能停止的，一旦停止生命也就结束。

人体内进行新陈代谢的场所是细胞，生活在体内各处的细胞之所以能与外环境进行物质交换，是以内环境为中介才得以实现的。这里分别介绍什么是内环境和细胞与内环境是如何进行物质交换的。

（一）内环境

内环境是细胞生活的液体环境，它由细胞外液构成。人体含有大量液体，总称体液。其总量约占体重的60%。其中，存在于细胞内的液体称细胞内液，是构成细胞原生质的主要成分，约占体重的40%；存在于细胞外的液体称细胞外液，约占体重的20%，它包括组织液和血浆，分别占体重的15%和5%（图1-1）

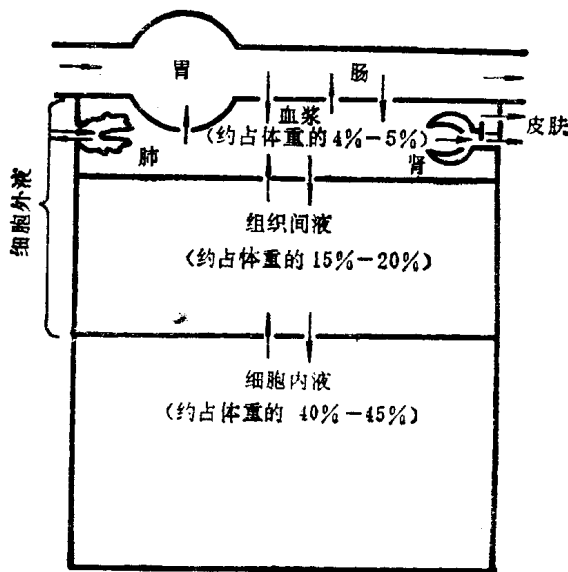


图1-1 体液分布及其物质交换示意图

内环境是体内细胞与外环境进行物质交换的桥梁。通过它，体内各处细胞虽不与外环境相接触，但都能与外环境进行物质交换而实现新陈代谢这一最基本的生命活动。其中，组织液在血管外浸浴各处细胞，可直接地与各处细胞进行物质交换；而循环运行于心血管系统中的血浆，即是体内物质的运输媒介，它既可通过毛细血管壁与全身各处的组织液进行物质和水分的交换，又可通过消化、呼吸、排泄等渠道与外环境相沟通。例如，人体通过呼吸和消化活动，将从环境中摄取的氧和营养物质吸收入血。心脏推动血液沿血管系统在全身循环运行，将氧和营养物质送到全身各处，通过毛细血管壁进入组织液，再由组织液进入各处细胞中，供新陈代谢之用。与此同时，各细胞产生的 CO_2 和其它代谢尾产物也经组织液、毛细血管壁而进入血液，通过血液循环运送到肺和肾，最后排出体外。消化、呼吸、循环与泌尿这四个功能系统（即所谓“内脏”系统），一方面源源不断地向内环境补充被细胞消耗了的营养物质和氧，同时又持续地向外环境排出细胞产生的各种代谢尾产物与 CO_2 等，从而实现了细胞与外环境之间的物质交换。

（二）细胞与内环境间物质交换的形式

细胞与其生活的内环境（具体说是组织液）之间，隔有一层厚约7.5—10nm的细胞膜，细胞膜由脂质双分子层为基架构成，其中镶嵌着许多具有不同功能的球形蛋白质。要使细胞内新陈代谢能不断的进行，就必须通过细胞膜有选择地在细胞与内环境间不断进行各种各样的物质交换，包括从离子和小分子物质到大分子的蛋白质，以及团块状物质和液体。现已知道这些品种繁多、理化性质各异的物质能够通过细胞膜而在细胞内、外进行交换，有赖于细胞膜具有多种形式的物质转运功能。细胞膜常见的物质转运形式有如下几种：

1. 单纯扩散 扩散是一种不耗能量的被动的物理过程，是

分子或离子从浓度高的一侧通过细胞膜向浓度低的一侧运动。通过细胞膜扩散过去的物质的量与细胞膜两侧该物质的浓度差即浓度梯度成正比。浓度梯度愈大，扩散率愈大。但由于细胞膜是一层脂质膜，因而只有能溶于脂质的物质分子，才有可能由膜的高浓度的一侧向低浓度一侧运动。人体内依靠单纯扩散而通过细胞膜的物质是较少的，主要有 O_2 和 CO_2 等气体分子。

2. 易化扩散 易化扩散是指一些不溶于脂质的物质或亲水的物质，如钾、钠离子、葡萄糖、氨基酸等小分子物质，在细胞膜蛋白的帮助下，由膜的高浓度一侧向低浓度一侧扩散或转运过程。这一过程是不耗能的。膜蛋白以怎样的方式把这些物质转运出入细胞，一般认为，至少可区分为两种类型。

一种是以“载体”为中介的易化扩散。即细胞膜中存在有各种载体，它首先在膜的一侧与某种特异性物质结合成复合体，然后从膜的这一侧运动（摆渡）或旋转（翻斜）到膜的另一侧，再与此种物质解离，从而将此物质转运过细胞膜。即载体象渡船一样，往返于膜两侧面之间，完成物质的转运（如葡萄糖通过一般细胞膜）。载体扩散具有高度的特异性，只有某种特异性的化学结构物质才容易通过。因此，一定的载体只能转运一定的物质。

另一种是以“通道”为中介的易化扩散。它们常与如 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 这些离子由膜的高浓度一侧向低浓度一侧的移动有关。所谓通道是指细胞膜中一些贯穿膜内、外的嵌入蛋白质，它好象一厚壁的管道，其分子中有沟通细胞膜内、外的专属通道，允许某一种离子或某一类物质沿浓度梯度扩散通过，故称做通道蛋白质或简称通道。由于蛋白质的化学构型易于改变，故通道蛋白质可在某些化学物质作用下或在膜电位改变的情况下改变构型，而使其通道开放或关闭，从而改变膜对某种物质的通透性。由于构型变化极为迅速，通道可以在数毫秒或数十毫秒之间的极短时间内形成，而后又迅速关闭，从而使膜可迅速改变该物质的

通过量。

3. 主动转运 上述两种扩散都是沿浓度梯度不消耗能量的被动转运过程，而主动转运是被称做“泵”的膜蛋白质将某种物质逆浓度梯度的转运过程。即将物质由低浓度一侧通过细胞膜主动转运到高浓度一侧的过程，这是一种消耗能量的过程，犹如水泵消耗能量，克服水位差，将水从低处泵向高处一样，故使用“泵”这个词。

人体细胞中存在着各种不同功能的“泵”，但在细胞的主动转运中最普遍的是“钾-钠泵”（简称钠泵）对钠、钾离子的主动转运。人和动物的各种细胞、细胞内、外虽只有一膜之隔，但膜内、外钠、钾离子浓度差别却很大。正常时，膜内 K^+ 浓度约为膜外的20—40倍。膜外的 Na^+ 浓度约为膜内的7—12倍。现已知道，这种浓度差的形成和保持，是靠细胞膜上存在的“钠泵”对 Na^+ 、 K^+ 主动转运来实现的。即依靠钠泵的经常活动，不断的逆浓度梯度把进入细胞的 Na^+ 泵出膜外，而把细胞外的 K^+ 泵入膜内，从而保持细胞内外 Na^+ 、 K^+ 的正常浓度差。这种浓度差的保持，则是细胞得以产生兴奋的物质基础（见后述）。

近年来大量实验证明，钠泵是镶嵌在细胞膜上的一种特殊蛋白质，它本身具有ATP酶的活性，可分解ATP以获得能量。并利用此能量将膜内的 Na^+ 移出膜外，将膜外的 K^+ 移入膜内。故又将钠泵称为“ Na^+-K^+ 依赖式ATP酶”。人体消耗的总能量中，约有20%的能量消耗在钠泵的转运上（不同细胞这一比例不同）。由此也可见钠泵在实现人体功能中的重要作用。除钠泵外，人体中还有许多重要的泵，如骨骼肌和心肌纤维内部的钙泵，甲状腺细胞上的碘泵等。

4. 出胞和入胞 上面叙述的三种物质转运形式，都是物质以离子或分子的形式通过细胞膜的。对于某些大分子物质或物质团块，还可通过膜的更为复杂的结构和功能的变化，使之进出细胞。可分别称之为出胞和入胞。出胞是指这类物质从细胞内排出

的过程。如外分泌腺分泌某些酶原颗粒，内分泌细胞分泌激素，以及神经末梢释放神经递质，都是出胞的表现形式。当进行出胞时，细胞内含有上述分泌物的囊泡向细胞膜移动，最后与细胞膜接触和融合，并在融合处出现裂口，囊泡一次排出胞外。

入胞和出胞相反，指细胞外某些物质团块（如侵入体内的细菌，病毒或血浆中的大分子蛋白质等）进入细胞的过程，此时若进入物为固体物，称为吞噬；若进入物为液体，则称为吞饮。吞噬时，具有吞噬功能的细胞（如白细胞）先伸出伪足将异物包绕，然后发生细胞膜的融合和断裂，异物和包绕它的那部分细胞膜整个地进入胞浆，再由细胞中的溶酶体内的各种水解酶对它进行消化分解。

二、兴 奋 性

（一）兴奋和兴奋性

当机体生活的环境发生变化时，细胞、组织或机体的内部代谢和外部表现都将发生相应的改变，这种改变称为反应。环境中各种能引起机体发生反应的变化称为刺激。

实验发现，当各种组织受到刺激时，虽然其外部反应表现可能不同，如肌细胞表现机械收缩，腺细胞表现分泌活动等，但它们都有一个共同的最先出现的反应，这就是在受到刺激处的细胞膜两侧，产生一次电位变化，称作动作电位。各种细胞所出现的上述特有的外部表现都是由动作电位进一步触发或引起的。因此，在生理学中，将组织受刺激后产生动作电位的过程或动作电位本身称为兴奋，组织这种受刺激后产生兴奋的能力则称为兴奋性。实际上，几乎所有的活组织都具有一定的兴奋性，但由于神经、肌肉和某些腺细胞的兴奋性较高，只需要较小强度的刺激就能迅速表现出某种形式的反应。故生理学中又将这些细胞称为兴奋细胞。