



经全国高等学校体育教学指导委员会审定通过
全国普通高等学校体育专业专科主干课程系列教材

运动生理学

○ 卢昌亚
○ 李 洁
主编

YUNDONG SHENGLIXUE



GUANGXI NORMAL UNIVERSITY PRESS

广西师范大学出版社



经全国高等学校体育教学指导委员会审定通过
全国普通高等学校体育专业专科主干课程系列教材

运动生理学

YUNDONG SHENGLIXUE

主 编 卢昌亚 李 洁
副主编 龙之友



GUANGXI NORMAL UNIVERSITY PRESS

广西师范大学出版社

· 桂林 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

运动生理学 / 卢昌亚, 李洁主编. —4 版. —桂林:
广西师范大学出版社, 2006.8
(全国普通高等学校体育专业专科主干课程系列教材)
ISBN 7-5633-0831-8

I. 运… II. ①卢… ②李… III. 运动生理—生理学—高等学校—教材 IV. G804.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 069220 号

广西师范大学出版社出版发行

(广西桂林市中华路 22 号 邮政编码: 541001)
(网址: <http://www.bbtpress.com>)

出版人: 肖启明

全国新华书店经销

广西南宁交通印刷厂印刷

(广西南宁市友爱南路 6 号 邮政编码: 530012)

开本: 720 mm × 960 mm 1/16

印张: 12.75 字数: 235 千字

2006 年 8 月第 4 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

印数: 0 001~5 500 册 定价: 15.50 元

如发现印装质量问题, 影响阅读, 请与印刷厂联系调换。

出版说明

(最新修订版)

面对 21 世纪现代科学技术的快速发展,社会对体育专业人才的要求越来越高,构建反映时代发展特征、符合高等学校体育课程改革需要的体育专业专科教材体系,是社会发展的需要,也是高等学校体育课程改革的重要任务。在全国高等学校体育教学指导委员会的统一部署下,我们对广西师范大学出版社 2000 年出版的全国普通高等学校二、三年制体育教育专业系列教材进行了全面修编。修编后的教材突显以下特色:

1. 教材结构更趋合理 本次修编,围绕新世纪体育专业专科层次教育培养的要求和体育课程改革的方向,对原有教材品种进行调整,修编出版的全套教材共 17 种,其中主干课程教材 13 种:《运动解剖学》、《运动生理学》、《体育心理学》、《体育保健学》、《学校体育学》、《田径》、《篮球》、《排球》、《足球》、《体操》、《健美操》、《武术》、《体育学概论》;必修课程教材 4 种:《健康教育学》、《体育统计学》、《舞蹈 体育舞蹈》、《体育社会学》。在修编中,对教材的编写体系和内容进行了调整,在知识介绍中强化体育理论与体育运动实践的联系,引入按类别划分课程的新理念,在编写中增加了相关体育项目内容的介绍,教材结构更趋合理。

2. 内容简洁,针对性强 在教材的修编中,明确教材的定位,针对当前我国基础教育体育与健康课程改革以增进学生健康为最终目标的要求,将“健康第一”的观念贯穿知识阐述的全过程,摒弃原教材内容中繁、难、偏、旧的现象;贯彻“以人为本”的教育思想,在教材内容选择上,注重与学校教学条件相适应,与学生的生活实践和生活需要相联系;针对培养目标的特征,引入一定的游戏内容,增强教材的实用性和可读性。

3. 具有时代特征 了解体育科学研究和体育运动发展的新进展,主动适应当今知识经济社会快速发展的需求,是培养“厚基础、宽口径、高素质、广适应、强能力、重创新”的复合型体育专科人才的需要。在教材的修编中,结合学科特点介绍一些体育学术研究的前沿问题与热点问题,如运动休闲、奥林匹克文化、亚健康问题、健康体适能的相关知识等,帮助学生开拓知识视野,树立正确的健康观。

本系列教材自1990年正式出版以来,曾于1992年、1995年、2000年根据课程方案的改革进行3次全面修订,同时补充新设置的教材。本次修编,除重点对教材结构和内容进行更新外,还注意吸收国内外优秀教材编写的长处,如精心设计编写体例,将教材中的一些手绘插图改成拍摄的插图,部分教材配备了教学附件(如光盘),等等。通过这些改进,我们希望教材在结构与内容上能够与时俱进,能够在高等学校体育课程改革中更好地发挥作用。

《运动生理学》教材是本套教材中的主干课程教材,由卢昌亚、李洁任主编,龙之友任副主编。参加编写的人员有(以姓氏笔画排序)龙之友、卢昌亚、李洁、阳源、张广群、邱少霖和黎健民。该教材编写分工如下:上海师范大学卢昌亚(编论,第一章,第二章,第十一章,实验指导,参考文献);上饶师范学院邱少霖(第三章,第四章);西北师范大学李洁(第五章,第六章);抚顺师范高等专科学校张广群(第七章);安顺师范高等专科学校龙之友(第八章,第九章);康定民族师范高等专科学校阳源(第十章,第十三章);玉林师范学院黎健民(第十二章)。全书由卢昌亚统稿。

本教材通过全国高等学校体育教学指导委员会审定,审定专家为邓树勋教授、杨永亮教授。

本套教材的修编,是在国家教育部体育卫生与艺术教育司和全国高等学校体育教学指导委员会的全程指导下进行的,得到广西壮族自治区教育厅体育卫生与艺术教育处的关心和支持、广西师范大学领导的高度重视与大力支持、广西师范大学体育学院的积极协助。在此,我们向所有参与、关心、支持和协助本套教材编写、出版的单位、领导和教师表示深深的谢意。

本套教材的修编是对高等学校体育专业教学改革、教材建设的探索与尝试,不妥之处敬请各位读者批评指正。

编委会

目 录

绪论	1
第一章 肌肉收缩	5
第一节 肌肉的细微结构与生理特性/6	
第二节 肌肉的收缩原理/9	
第三节 肌纤维类型与运动能力/14	
第二章 肌肉活动的神经调控	19
第一节 神经系统概述/20	
第二节 中枢神经系统对躯体运动的调控/24	
第三章 血液与运动	32
第一节 血液的组成与特性/33	
第二节 血液的功能/37	
第四章 呼吸与运动	43
第一节 肺通气/44	
第二节 气体的交换/47	
第三节 呼吸的调节/49	
第五章 血液循环与运动	53
第一节 心脏的泵血功能/54	

	第二节 血压与血流/58	
	第三节 心血管功能的调节/62	
第六章	物质代谢与能量代谢	66
	第一节 物质代谢/67	
	第二节 能量代谢/74	
第七章	内分泌与运动	84
	第一节 内分泌概述/85	
	第二节 激素对运动的反应与适应/90	
第八章	感觉与运动	94
	第一节 感觉功能概述/94	
	第二节 某些特殊感觉与运动的关系/96	
第九章	身体素质及其训练	103
	第一节 力量/104	
	第二节 速度/108	
	第三节 耐力/111	
	第四节 灵敏性与柔韧性/117	
第十章	运动中人体生理功能状态变化的规律	120
	第一节 赛前状态和准备活动/121	
	第二节 运动性疲劳/125	
第十一章	体育教学与训练的生理学基础	134
	第一节 体育教学与训练的生理学本质/135	
	第二节 体育教学与训练的生理负荷量/138	
	第三节 体育教学与训练效果的生理学评定/141	
第十二章	不同人群的体育锻炼特点	146
	第一节 儿童青少年的生理特点与体育锻炼/147	
	第二节 女子的生理特点与体育运动/152	
	第三节 老年人的体育锻炼/155	

第十三章 环境与运动	160
第一节 冷热环境与运动/161	
第二节 水环境与运动/167	
第三节 高原环境与运动/169	
运动生理学实验指导	174
实验一 肌肉力量的测定/174	
实验二 血红蛋白测定及血型鉴定/176	
实验三 安静时和运动后人体心率与动脉血压的测定/179	
实验四 人体在运动过程中心率的测定/181	
实验五 人体身体成分的间接测定/182	
实验六 最大吸氧量和 W_{170} (PWC_{170}) 的测定/185	
实验七 心功能指数与哈佛台阶指数的测定/188	
实验八 无氧功率的测定/190	
主要参考文献	192



绪 论

本章提要

本章简要说明高等专科学校体育专业运动生理学课程的性质、研究内容、学习目的和任务,本教材的特点,运动生理学的发展方向,以及运动生理学与健身体育、竞技体育的关系,并简要介绍人体的基本生理特征和人体生理功能的调节方式。

一、运动生理学的课程性质与研究内容

运动生理学是人体生理学的一个分支,属于应用生理学的范畴。运动生理学是研究在体育运动的过程中或长期系统的体育锻炼影响下人体机能活动变化规律的科学。运动生理学是体育专业专科学生一门重要的必修基础课程。

运动生理学以运动过程中或运动影响下的人体为研究对象,通过人体实验或测试了解在运动过程中或运动影响下人体各种功能的变化与适应。

二、专科学生学习运动生理学的目的和任务

体育专业的专科学生学习运动生理学的目的是:贯彻健康第一的体育教育思想,掌握儿童青少年在运动生理学方面的规律与特点,为科学地指导儿童和青少年的体育教学与体育锻炼打下坚实的理论联系实际的基础。

体育专业的专科学生学习运动生理学的任务是:①了解人体基本生理活动规律,特别是儿童青少年的生理特点,进一步认识体育锻炼与运动训练对儿童青少年体格

和运动素质发展的促进作用及其规律。②运用体育锻炼与运动训练的基本生理学原理,科学地从事体育教学和组织青少年业余训练。③初步掌握几种主要的人体功能的测试与评价方法,并能将其运用于体育教学和运动实践中。

三、本教材的特点

本教材强调应用性,注重理论联系实际,特别是联系中小学体育教学训练和儿童青少年健身锻炼的实际,在阐述生理学和运动生理学基本原理和机制时,注意结合儿童青少年健康教育方面的内容。本教材在每章的思考与练习中,安排了联系儿童青少年体育教学与身体锻炼方面的内容,以及要求在理论联系实际的基础上回答的综合题。本教材在实验的选择上与前一版教材相比有所增删,注意尽可能选用一些有实用意义和有条件操作的实验。

四、运动生理学的发展方向

在科学技术方法学飞速发展的现代,一方面,研究方法日趋微观化,运动生理学各个领域的研究也逐步深入到细胞、亚细胞和分子水平;另一方面,围绕整体功能展开整合调控的宏观研究也是运动生理学发展的重要组成部分。一些传统的研究手段,如心肺功能检测、能量代谢、血液流变学、身体成分等经典方法仍有普遍的应用价值。但目前处于运动生理学研究前沿的课题更为广泛,比如从基因与体能的遗传角度研究人体的运动能力、运动性心脏重塑的基因表达发生机制,以及细胞凋亡和氧化应激等信号的传导途径,等等。所有这些研究都需要方法学的进步。目前被引入运动生理学领域的新技术有:放射免疫测定、显微操作、计算机 X 线断层摄影技术(CT)、核磁共振技术(MRI)、自旋共振技术、生物芯片技术、聚合酶链式反应法(PCR)、基因表达检测技术、激光扫描聚焦显微技术、纳米技术和克隆技术等。现代运动生理学的发展还寄希望于各学科的融合和渗透,运动生理学与医学遗传学、免疫学、生物力学、生物化学、物理学、人体工程学甚至生物数学等学科的交叉,将打开运动生理学研究的新视野。

五、运动生理学与体育健身、竞技体育的关系

运动生理学是一门应用性很强的学科,它与贴近人民生活的大众体育健身和展示人类体能极限的竞技体育密切相关。

从运动生理学的角度可以对大众健身的诸多课题展开广泛深入的研究,针对不同的人群和个体设计不同的运动处方,进行科学健身指导,对某些疾病的体育康复。

例如:对国民体质的全面测试及其指标与标准的确定;向处于生长发育中的青少年推荐适宜的运动内容、运动量和运动形式;为需要减肥的人确定合理的锻炼措施;为糖尿病患者安排体育康复的疗程;为中老年人预防疾病、延缓衰老提供最佳的体育保健咨询;等等。

运动生理学对于竞技体育方面的应用研究已经越来越先进,研究的目的主要是解决运动员在训练和比赛中出现的各种实际问题,为提高运动成绩和取得比赛胜利创造体能条件。未来竞技运动场上的较量会更多地借助高科技手段提高运动员身体功能和改进运动技能。例如:运动训练对不同专项运动员体能的影响及其生理学机制的研究;不同训练方法的生理学评定;运动训练时运动员机能状态的监控;高原或低氧训练对人体功能的影响;运动性疲劳机制和身体机能恢复手段的研究;运动性损伤与疾病治疗康复中的生理学理论和实践问题;等等。

运动生理学在体育科学领域中具有重要的理论与应用价值。对于体育专业的专科学生来说,一定要努力学好这门课程,以便将来更好地从事体育教学、体育训练和体育科学研究,同时也便于用所学的知识指导自己的体育锻炼。

六、人体生理功能的调节

运动生理学是以运动状态下的人体生理机能为研究和阐述对象的。人体的生理机能具有一些基本的生命特征,如新陈代谢、兴奋性和适应性等。在正常的情况下,人体的机能处于完整、统一、协调的工作状态。各种组织、细胞、器官和系统之间机能分工不同,但彼此之间不是孤立的,而是密切配合、协调一致的,这在生理学上称为稳态。这种整体的协调关系是依靠生理功能的调节来实现的。

(一)神经调节

神经调节通过神经系统对各种机能活动进行调节,这是人体中最重要的调节机制,其基本活动方式是反射。所谓反射,是指在中枢神经系统的参与下,机体对环境变化产生的适应性的应答。例如:强光照射使瞳孔缩小;运动时心跳加快、加强,呼吸运动增强;等等。实现反射的结构基础是反射弧,反射弧通常包括感受器、传入神经、神经中枢、传出神经和效应器五个基本环节。每一种反射都有一定的反射弧。例如,短跑比赛中起跑时,首先是起跑信号的声响刺激听觉感受器(耳),听觉感受器产生神经冲动,神经冲动通过传入神经(听神经)到达大脑的听觉中枢,听觉中枢对信息进行分析处理后再发出信息,信息沿传出神经分别传到效应器(骨骼肌和内脏),引起肌肉收缩产生起跑的动作,并引起内脏功能的相应变化。

神经调节的特点是潜伏期短,反应迅速、灵敏、准确。

(二) 体液调节

体液调节是指机体通过组织间液或血液循环将一些化学物质运送到一定的组织或器官,促进或抑制其活动的调节方式。体液调节的物质一般以各种内分泌腺所分泌的激素为主,如胰岛素通过其在血液中浓度的变化可以调节机体的糖代谢。

体液调节的特点是速度较慢,调节效应较持久,影响的范围较广。

机体中许多器官的功能既受神经调节,也受体液调节。一般而言,神经调节处于主导地位,两种调节相辅相成。体液调节通常也直接或间接地受神经调节的影响,因此,体液调节也称神经-体液调节。

第一章

肌肉收缩

本章提要

本章主要阐述骨骼肌的特性、收缩原理、收缩形式以及肌纤维类型与运动能力的关系。

学习目标

了解骨骼肌的细微结构与生理特性,认识肌肉兴奋时的生物电现象,掌握肌肉收缩原理与肌肉收缩的不同形式及其在运动实践中的意义,认识快慢两种肌纤维的不同特点及其与运动能力之间的关系。

重要概念

兴奋与兴奋性 肌丝滑行原理 缩短收缩 拉长收缩 等长收缩
肌纤维的百分组成

肌肉分为骨骼肌、平滑肌和心肌三大类。骨骼肌约占体重的40%(女性约占35%)。人体各种运动的完成,都是通过不同类型的骨骼肌在中枢神经系统的调控下进行有规律的收缩和舒张来实现的。

骨骼肌具有伸展性、弹性和黏滞性等物理特性,以及兴奋性和收缩性等生理特性。骨骼肌收缩是运动生理学研究 and 阐述的关键问题之一。

第一节 肌肉的细微结构与生理特性

一、肌肉的细微结构

(一)肌原纤维

骨骼肌由束状排列的肌细胞组成，又称肌纤维。一条肌纤维由许多肌原纤维组成。在光学显微镜下，肌原纤维纵向由明暗相间的区域构成一段段的肌小节。通过电子显微镜，可以观察到每一小段肌小节由粗肌丝和细肌丝组成，如图 1-1 所示。

1. 粗肌丝

粗肌丝直径约为 10 nm (10^{-9} m)，主要由肌球蛋白分子组成，其螺旋状的两束缠绕起来形成粗肌丝主干，其球状头部突出在主干表面，形成横桥(图1-2)。横桥上有能与三磷酸腺苷(即 ATP)结合的位点，被激活后其位点可与细肌丝上相应位点结合，产生逆向摆动，牵引细肌丝向粗肌丝中部滑行。

2. 细肌丝



图 1-2 粗肌丝及横桥示意图

细肌丝分布在粗肌丝之间，直径约为 5 nm ，主要由球形的肌动蛋白分子纵向聚扭成双螺旋状(图 1-3)。细肌丝上有与肌球蛋白结合的位点。细肌丝上还有原肌球蛋白和肌钙蛋白。细肌丝和粗肌丝通过横桥的结合产生滑行。

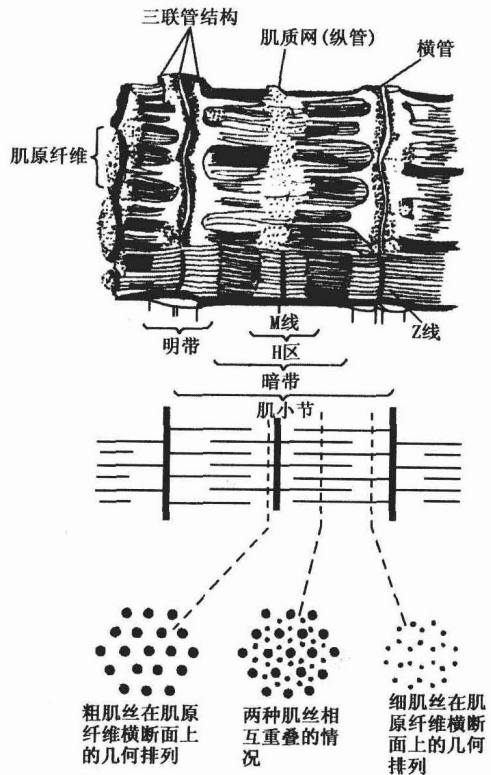


图 1-1 肌纤维结构模式图

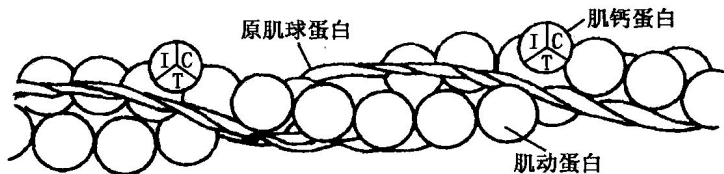


图 1-3 细肌丝结构示意图

(二)肌管系统

1. 横管系统

横管是肌细胞膜向着与肌原纤维垂直的方向凹入的部分,其作用是将肌细胞膜的兴奋传入细胞内(图 1-1)。

2. 纵管系统

纵管是肌细胞膜沿着肌原纤维平行方向分布的部分,在每个肌小节的中间形成膨大的终末池(图 1-1),可以储存、释放钙离子。钙离子在收缩过程中起重要作用。

(知识窗)

肌肉结构的超微研究

肌纤维的直径为毫米级,属于肉眼观察的水平;肌原纤维的直径为微米级,属于光学显微镜观察的水平;肌丝的直径为纳米级,属于电子显微镜观察的水平。

二、肌肉的生理特性

(一)肌肉的兴奋性

一切器官或组织的细胞都有兴奋性,但以神经、肌肉和腺体的兴奋性为最高,称为可兴奋性细胞。

1. 兴奋和兴奋性的概念

兴奋是指有机体对刺激所产生的反应;兴奋性是指有机体对刺激产生反应的能力。

2. 细胞的兴奋和生物电现象

活组织或细胞不论在安静状态还是活动状态都显示出电现象,称为生物电现象。了解相关的生物电现象及其规律,是理解细胞生理活动的基础。

(1) 静息电位。静息电位是指细胞在未受到刺激时存在于细胞膜内外两侧的电位差。若将细胞膜外的电位定为 0,则哺乳动物神经和肌细胞的静息电位为 $-70 \sim -90$ mV。静息电位产生的机制是细胞内、细胞外 K^+ 、 Na^+ 分布不均匀,以及静息时细胞膜主要对 K^+ 具有较高的通透性所致。细胞膜内的 K^+ 比细胞膜外高,细胞膜外的 Na^+ 比细胞膜内高,但静息时细胞膜对 K^+ 的通透性较高,于是 K^+ 顺浓度差而扩

散到细胞膜外,造成细胞膜外积累正电荷,不能透出的负电荷留在细胞膜内,形成外正内负的电位差,称为极化状态。当 K^+ 的净流量为0时,达到平衡。这种细胞的静息时稳定的电位差叫做静息电位。这种电位差因为是 K^+ 外流引起的,所以又称为 K^+ 平衡电位。

(2) 动作电位。动作电位是指可兴奋组织接受一定的刺激时,在静息电位的基础上发生的由去极化到反极化,再到复极化的过程。当细胞膜受到刺激时,该部位的细胞膜对 Na^+ 的通透性增加,而对 K^+ 的通透性暂时降低,又由于细胞膜外 Na^+ 的浓度高于细胞膜内,因此 Na^+ 迅速内流,造成细胞膜两侧电位差的减少,形成去极化过程。直到出现细胞膜内为正、细胞膜外为负的反极化状态时,细胞膜对 Na^+ 的通透性下降,而对 K^+ 的通透性又开始增加,形成 Na^+ 内流锐减, K^+ 外流加速,逐渐回到静息电位,此过程称为复极化。细胞受到刺激后,细胞膜两侧这一完整的电位变化构成了动作电位。动作电位变化幅度的绝对值可以达到120 mV。因此所谓兴奋,实质上就是可兴奋细胞接受刺激时产生动作电位的现象。动作电位产生后,通过耗能的 K^+-Na^+ 泵作用,把内流的 Na^+ 泵出,把外流的 K^+ 泵入,维持正常的细胞膜内外 K^+ 、 Na^+ 的浓度差,以便为下一次的兴奋创造条件。

(二)兴奋的传导

可兴奋组织受到刺激而兴奋时,动作电位会沿着整个细胞由近及远地传导。其机制是:细胞局部受到刺激后,兴奋部位的细胞膜电位由原来的外正内负转为内正外负,而邻近的未兴奋部位的细胞膜电位仍处于外正内负的静息状态,于是兴奋部位和未兴奋部位之间出现电位差,形成局部的电荷移动,即局部电流。这种局部电流又构成了对未兴奋部位的刺激,使之产生兴奋。这个过程在细胞膜上延续下去,表现为动作电位不断地向前传播,直至兴奋传导到整个细胞(图1-4)。

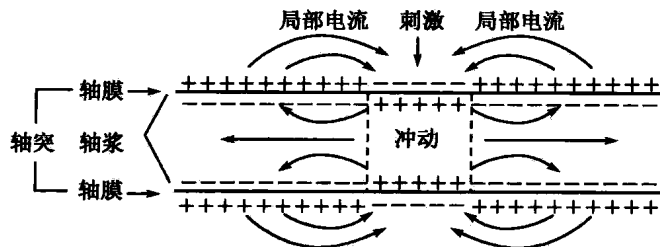


图 1-4 动作电位传导原理示意图

第二节 肌肉的收缩原理

一、肌肉收缩的过程与机制

(一) 肌肉收缩的过程

在完整的机体中,肌肉收缩是由神经冲动传来的刺激而引起的。神经冲动传到神经末梢后,通过神经末梢与肌细胞的功能连接,即神经-肌肉接点,传到整个肌膜,并由横管系统传入肌细胞,再经过兴奋收缩耦联、横桥摆动、肌丝滑行、肌小节缩短和肌肉舒张等,完成肌肉收缩的全过程。

1. 神经-肌肉接点的传递

神经末梢与肌肉衔接的部位称为神经-肌肉接点,其结构包括突触前膜、突触后

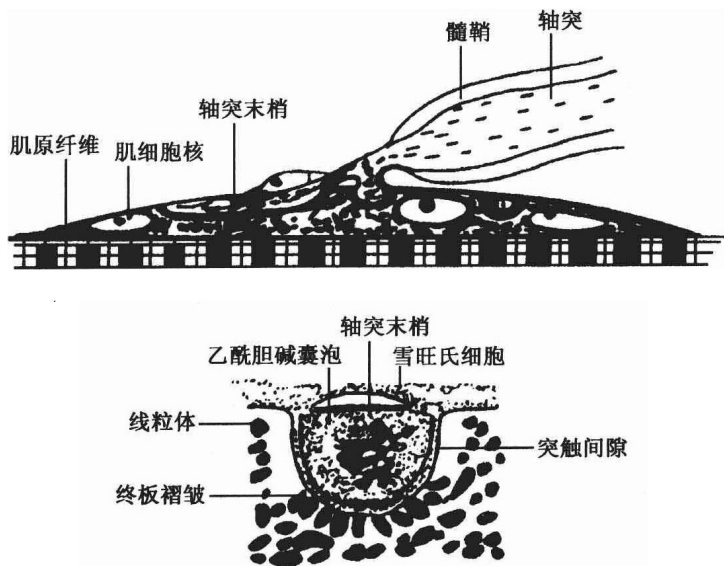


图 1-5 神经肌肉接点结构示意图

膜和突触间隙。突触前膜是神经轴突膜的增厚部分,内含储有乙酰胆碱(ACh)的囊泡。突触后膜是与神经轴突膜相对的肌细胞部分,又称运动终板。突触间隙是指前后膜之间的间隔,宽约 50 nm。运动神经元兴奋时,神经冲动传到突触前膜,使其去极化,突触前膜中的囊泡将 ACh 释放入突触间隙,ACh 作用于突触后膜,使突触后