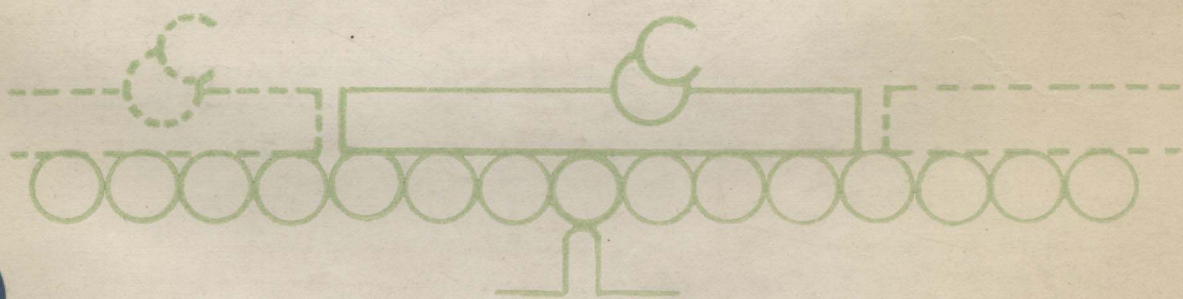


师范院校体育系科试用教材

人体生理学



师范院校体育系人体生理学编写组

第四版 第三卷

全国师范院校体育系、科试用教材

人体生理学

师范院校体育系人体生理学编写组编写

一九八三年七月

编写说明

本教材(试用本)是根据教育部80年颁发的“高等师范院校体育专业教学计划”(试行草案)和教育部82年“关于组织编写高等师范院校体育专业各科教材的通知”的要求,由教育部组织编写的。按照教育部的意见,试用本由编写本教材的召集单位湖南师院组织印刷,供全国师范院校体育系、科试用。

部颁教学计划确定,人体生理学是体育专业的基础理论课。因此,在编写中,根据高师体育系培养目标和本课程在教学计划中的地位,对人体生理学的基本理论,基本知识予以全面介绍,以便为后续的其他专业基础理论课和专业课打好基础。并力图运用辩证唯物主义的观点阐明人体机能活动的基本规律,注意贯彻理论联系实际的原则和适当地反映人体生理学的现代水平。但由于编写组人员的业务水平有限,经验不足,加之时间紧促,不当和错误之处在所难免,热切希望各院校在试用过程中提出宝贵意见,以便进一步修改定稿。

参加本书编写的单位和人员有:湖南师院王步标付教授、曾凡弟讲师;杭州大学华明付教授;河北师大王秀玲付教授;南京师院张一鹏付教授;北京体育师范学院李妙琴付教授;昆明师院许永佩付教授;西北师院汪锡福付教授;东北师大金岭松讲师;新乡师范学院许蕴璋付教授、宛霞讲师。本试用教材在编写中,曾先后在杭州大学和昆明师院进行两次讨论、修改,参加讨论、修改的单位和人员还有:北京师大张志贤付教授;上海师院邓树勋付教授;东北师大梁桂香讲师;福建师大洪太田讲师、湖南师院肖泽亮讲师。付印前,由王步标付教授进行了初步的统稿。

湖南师院电教科廖运湘同志为本书设计了封面。湖南师院教务处、湖南师院体育系、长沙岳麓印刷厂的同志,在本书付印与印刷过程中给予了大力的支持和帮助,特此表示衷心的感谢。

1983年5月 长沙

湖南师范学院图书馆藏

一九八三年三月

目 录

(82 )	.....	.....	.....
(83 )	.....	.....	.....
(83 )	.....	.....	.....
(88 )	.....	.....	.....
(88 )	.....	.....	.....
(19 )	.....	.....	.....
(20 )	.....	.....	.....
绪 论			
(89 )	.....	.....	.....
(86)	一、人体生理学的研究对象和任务	.....	( 1)
(87)	二、人体生理学的研究方法	.....	( 2)
(87)	三、学习人体生理学的指导思想	.....	( 2)
第一章 细胞的基本机能			
(87)	第一节 细胞膜的基本结构和机能	.....	( 4)
(87)	一、细胞膜的结构	.....	( 5)
(87)	二、细胞膜的机能	.....	( 6)
(87)	第二节 细胞的兴奋性和生物电现象	.....	( 9)
(87)	一、细胞的兴奋性	.....	( 9)
(87)	二、细胞的生物电现象	.....	( 11)
(87)	三、兴奋的传导与传递	.....	( 17)
(87)	第三节 肌细胞的收缩机能	.....	( 20)
(87)	一、骨骼肌细胞的微细结构	.....	( 20)
(87)	二、骨骼肌收缩原理	.....	( 21)
(87)	三、单收缩和强直收缩	.....	( 25)
第二章 血液			
(87)	第一节 概述	.....	( 27)
(87)	一、体液和内环境的概念	.....	( 27)
(87)	二、血液的组成、特性和机能	.....	( 28)
(87)	第二节 血浆	.....	( 29)
(87)	一、血浆的化学成分	.....	( 29)
(87)	二、血浆的理化特性	.....	( 31)
(87)	三、内环境相对恒定的生理意义	.....	( 34)
(87)	第三节 血细胞生理	.....	( 34)
(87)	一、红细胞	.....	( 34)
(87)	二、白细胞	.....	( 35)
(87)	三、血小板	.....	( 37)
(87)	第四节 血量和血型	.....	( 39)
(87)	一、血量	.....	( 39)
(87)	二、血型	.....	( 39)
第三章 血液循环			
(87)	第一节 心脏的泵血功能	.....	( 42)
(87)	一、心动周期	.....	( 42)
(87)	二、心脏泵功能的评定	.....	( 46)
(87)	三、心脏泵功能的调节	.....	( 48)
(87)	第二节 心机的生理特性和生物电现象	.....	( 53)

一、心肌细胞的生物电现象	(53)
二、心肌的生理特性	(55)
三、心电图	(59)
第三节 血管生理	(60)
一、各类血管的功能特点	(60)
二、血流、阻力与血压	(61)
三、动脉血压	(63)
四、动脉脉搏	(66)
五、静脉血压与血流	(66)
第四节 心血管活动的调节	(68)
一、神经调节	(68)
二、体液调节	(72)
三、器官血流量的自身调节	(74)
第五节 微循环、组织液与淋巴循环	(75)
一、微循环	(75)
二、组织液	(76)
三、淋巴的生成与淋巴循环	(77)
第四章 呼吸	
第一节 肺通气	(79)
一、肺通气的结构基础	(79)
二、肺通气的原理	(81)
三、肺的容量	(84)
四、肺通气量	(85)
第二节 呼吸气体的交换和运输	(87)
一、呼吸气体的交换	(87)
二、气体在血液中的运输	(89)
第三节 呼吸的调节	(94)
一、呼吸中枢	(94)
二、呼吸的反射性调节	(96)
三、二氧化碳、氢离子和缺氧对呼吸的影响	(97)
第五章 消化与吸收	
第一节 消化	(99)
一、口腔内的消化	(99)
二、胃内的消化	(100)
三、小肠内的消化	(101)
四、大肠内的消化	(103)
五、消化的调节	(103)
第二节 吸收	(105)
一、营养物质吸收的机理	(106)
二、各种主要营养物质的吸收	(106)
第六章 能量代谢和体温	
第一节 能量代谢	(109)
一、体内能量的来源和利用	(109)
二、能量代谢的测定	(111)

三、影响能量代谢的主要因素	(114)
四、基础代谢	(115)
第二节 体温	(117)
一、人体的正常体温	(117)
二、人体的产热和散热	(118)
三、体温调节	(120)
四、运动时体温的变化	(122)
第七章 肾脏的排泄	
第一节 肾脏的结构与机能	(123)
一、肾脏的结构特点	(123)
二、肾脏的机能特点	(125)
第二节 尿的生成	(126)
一、肾小球的滤过	(126)
二、肾小管和集合管的重吸收	(129)
三、肾小管和集合管的分泌和排泄	(130)
第三节 肾脏在维持水平衡和酸碱平衡中的作用	(131)
一、肾在维持水平衡中的作用	(131)
二、肾在维持酸碱平衡中的作用	(132)
第八章 神经系统	
第一节 反射中枢的生理	(137)
一、反射中枢	(137)
二、突触	(137)
三、中枢抑制	(142)
四、神经元的联系方式	(144)
五、反射活动的协调	(145)
第二节 神经系统的感觉机能	(146)
一、感受器	(147)
二、脊髓感觉传导的特征	(148)
三、丘脑及其投射系统	(149)
四、大脑皮层的感觉分析功能	(150)
第三节 神经系统对躯体运动的调节	(151)
一、脊髓反射	(151)
二、脑干对肌紧张和姿势的调节	(155)
三、小脑和基底神经节对躯体运动的调节	(158)
四、大脑皮层对躯体运动的调节	(159)
第四节 神经系统对内脏活动的调节	(161)
一、植物性神经系统的结构特征	(161)
二、植物性神经系统的机能	(162)
三、植物性神经末梢的兴奋传递	(163)
四、中枢神经系统各部对内脏机能的调节	(165)
第五节 脑的高级机能	(166)
一、大脑皮质的电活动	(167)
二、条件反射	(167)
三、人类的语言机能	(171)

第九章 特殊感觉器官

第一节 视觉器官	
一、眼球的结构	(173)
二、眼的折光机能	(173)
三、眼的感觉机能	(175)
四、双眼视觉与立体视觉	(178)
五、眼肌平衡	(182)
第二节 听觉器官	(183)
一、耳的传音机能	(183)
二、耳的感音机能	(183)
三、听觉的适应与疲劳	(184)
第三节 位觉器官	(186)
一、前庭器官的结构特点	(186)
二、前庭器官的适宜刺激	(187)
三、前庭器官的反射	(187)
四、提高前庭器官稳定性的锻炼方法	(189)

第十章 内分泌

第一节 概述	
一、内分泌腺和激素的概念	(192)
二、激素作用原理	(192)
三、激素分泌的调节	(192)
第二节 人体主要内分泌腺的机能	(193)
一、甲状腺	(194)
二、甲状旁腺和甲状腺滤泡旁细胞	(194)
三、胰岛	(195)
四、肾上腺	(196)
五、垂体	(197)
第三节 内分泌腺的相互关系和神经调节	(200)
一、内分泌腺的相互关系	(204)
二、内分泌腺的神经调节	(204)

第十一章 生殖

第一节 睾丸的机能	
一、睾丸的生精作用	(206)
二、睾丸的内分泌机能	(206)
三、睾丸活动的调节	(207)
第二节 卵巢的机能	(207)
一、卵巢的生卵作用	(208)
二、卵巢的分泌机能	(208)
三、卵巢活动的调节	(209)
四、月经周期	(210)
五、受精与妊娠	(211)

绪 论

一、人体生理学的研究对象和任务

人体生理学是研究正常人体机能活动规律的科学。它的任务就是要阐明人体整体及其各组成部分（从细胞至系统）的机能和实现这些机能的机制，以及体内外环境的变化对它们的影响及其适应过程或反应。

人体的结构和机能十分复杂，而且结构和机能有着密切的联系。要全面、深入了解其机能活动规律，需要从人体不同结构层次对其机能加以研究。通常从器官、系统水平，整体水平和细胞或分子水平三个方面来进行。

器官系统水平的研究，称为器官生理学。生理学的发展，首先是从研究器官系统的机能开始的。威廉·哈维在17世纪对心血管系统的研究奠定了器官生理学的基础，并使生理学确立为一门科学。器官生理学是研究人体各器官系统，如骨骼肌、呼吸、循环……的机能特性及其活动规律，以及它们在维持整体生命活动中的意义。例如对骨骼肌的研究，不仅要了解其机能特性是收缩，而且要研究这种收缩是怎样实现的，受哪些因素影响等等。器官生理学是生理学中迄今为止研究得最多、最充分的领域。本教材的内容就是以器官生理学为主，同时扼要的介绍细胞水平与整体水平的资料。

整体水平的研究是研究完整机体对环境变化的反应和适应，以及整体活动中，人体各器官系统机能活动之间相互协调、配合的关系及其调控机制。例如，研究各种特殊自然环境（高空、深水）和各种特殊活动（运动、劳动）对人体整体及各器官系统机能的影响，人体整体及各器官系统所产生的适应性变化及其规律。随着生理学的进展，对这方面的研究已发展成为专门的生理学分支，如高空生理学，潜水生理学，运动生理学和劳动生理学等。

细胞或分子水平的研究：这一水平的研究是本世纪50年代才开始的。它应用电子显微镜和微电极等现代科学技术成就，对细胞内各亚微结构（如细胞膜、线粒体）的机能和生物分子（蛋白质、核酸、脂类、糖元）的特殊物理、化学变化过程进行研究。这一水平的研究，对深入阐明各种生理机制具有重要意义。例如，通过对骨骼肌细胞（纤维）中的亚微结构肌纤维中的收缩蛋白丝和调节蛋白的分子结构及其理、化变化过程的研究，从而对骨骼肌纤维的收缩机制——肌丝滑行学说有了更深入的认识。

对体育专业的学生来说，人体生理学是其将来从事体育教学所必须具备的自然科学基础。体育教学的主要任务，就是要科学地通过各种体育活动来提高人体的机能能力，增强人体体质。而人体生理学的学习，不仅可以了解人体机能发展的客观规律、影响因素及其机制，为科学地进行体育教学和训练提供生理学上的依据，而且可以为客观地评价人体机能能力和体质提供科学的方法。

二、人体生理学的研究方法

人体生理学是一门实验科学，它的材料和理论来自生理学实验和对人体生理机能的客观测试及观察。

生理学实验是生理学知识的主要来源。即在一定的人工创造的实验条件下，对在外部不能观察到的生理变化进行直接细致的观察。但这类实验，大多会给机体造成一定的损伤，甚至危及生命，因而只能在动物身上进行实验。从生物进化观点看，人同各种动物，特别是哺乳动物，有许多结构和功能基本相似，因而在恰当地估计人与实验动物的区别的前提下，许多动物实验的资料可以用来探讨人体的生理功能及其机制。

生理学用的动物实验方法，包括急性实验和慢性实验两种。

急性动物实验又可分为离体器官、组织实验法和活体解剖实验法。离体器官组织实验法是把要研究的器官或组织从活的或刚死去的动物身上取出，放在人工环境中，设法使它在一定时间内保持其生理功能，以进行研究。例如，把蛙的坐骨神经和腓肠肌取出，制成神经肌肉标本，以观察肌肉的生理功能。活体解剖实验法是将动物在麻醉下进行手术，暴露出要研究的器官，然后进行实验。上述两种实验，由于实验过程不能持久，实验后动物往往不能生存，故称急性实验。急性实验的优点是实验条件简单，容易在控制和排除其他无关因素的干扰下，对实验对象进行直接细致的观察。

慢性动物实验是以生活在自然环境中清醒、健康的动物为实验对象，来观察某种生理功能。由于这种动物可以在较长时间内用于实验，故称慢性实验。

人体生理功能的客观测试和观察，是在无损于人体健康的前提下，应用一定的仪器，直接对人体某些生理功能进行客观的测定和细致的实验观察，然后进行分析综合，得出结论。例如，应用血压计对不同年龄，不同性别的人群安静时的血压进行测定，将所得数据进行统计处理，即可得到不同性别、年龄组的正常血压的平均值和正常变异范围，作为判断血压是否正常的标准。人体功能测试所得资料，由于直接来自完整的人体，其结果是更为符合被研究的功能在人体中的正常活动规律。但由于人体的年龄、性别不同，其机能能力也有所不同，即使同一年龄和同一性别的人群，个体之间的差异也较大，因此，在人体机能测试中必须注意年龄、性别以及健康状况等方面的区别。近数十年来，由于科学技术的发展，在人体进行无创伤的探测方法愈来愈多，如心电图、脑电图、阻抗微分图、超声心动图，以及某些遥测仪器的应用，使对人体生理机能的直接测试和实验观察有了更大的扩展，为生理学的研究开辟了广阔前景。

三、学习人体生理学的指导思想

辩证唯物主义是自然界和社会发展以及思维运动所共有的最一般的规律。“矛盾着的对立面又统一又斗争，由此推动事物的运动和变化”。生命活动就是在矛盾的斗争和统一中发展的。生命活动最基本的特征是新陈代谢，新陈代谢就包含一对矛盾即同化作用（合成代谢）和异化作用（分解代谢）。通过同化作用，人体细胞不断利用从外界环境摄取来的营养物质来合成人体自己的组织成分；通过异化作用，人体细胞又不断分解自己的组织成分以得

到赖以生存的能量，并把分解后的代谢尾产物排出体外。围绕这对最基本的矛盾，人体进行着各种各样复杂的生理活动，以保证新陈代谢的正常进行。

人体是一个对立统一的整体。组成人体的各种细胞、组织、器官和系统既都有各自的结构和机能特点，又在结构和机能上彼此相互联系、相互影响、相互制约、相互协作，成为一个对立统一的整体。人体各种细胞、组织、器官和系统与整体的关系是局部与整体的对立统一关系。整体的活动是建立在局部活动的基础上，而局部的活动又不能离开整体；整体的机能状况可以影响局部，在局部得到反映，而局部的机能又服从整体的需要，影响整体。人体就是在这种局部与整体的对立统一中成为一个完整的统一体的。

人体和外界环境也是既对立、又统一，互相联系，互相影响，不断地保持着动力的平衡。环境的变化不断作用于人体，使人体的机能发生相应的变化来适应环境的变化，例如，当环境的温度变化时，人体内产热与散热机能也发生相应的变化，使体温得以保持相对的恒定。同时，在环境变化长期而系统的影响下，人体的结构和机能也发生适应性改变，例如，在长期系统的体育锻炼的影响下，如长跑，不仅心脏的工作能力提高，而且心室腔的容积也增大。另一方面，人体也以自身的活动影响环境，改造环境，使环境符合人的需要。例如，人通过改造室内环境以及衣着等，使环境温度符合人体工作和生活的需要。

人体各组成部分以及人体与环境之所以能成为对立统一的整体，这是由于人体各组织具有兴奋性，以及人体中存在着神经调节和体液调节之故。兴奋性是指活组织具有的对刺激发生反应的能力，而刺激就是指内外环境中，各种能引起机体发生反应的变化。机体对刺激所发生的反应，若表现为发生活动或活动增强，即称为兴奋；若表现为活动停止或活动减弱，即称为抑制。人体中，专门感受内、外环境刺激的机构，称感受器。一定的感受器只能感受一定的刺激。神经调节是通过神经系统的活动对机体各部分的机能加以调节。神经调节的基本过程是反射，即在中枢神经系统参与下，机体对内外环境的刺激所发生的具有适应意义的反应。实现反射的结构基础是反射弧。它由感受器、传入神经纤维、反射中枢、传出神经纤维和效应器五个部分组成。体液调节主要是指内分泌腺所分泌的激素，经血液运送到全身各处，对新陈代谢、生长、发育、生殖等机能的调节；其次，指组织细胞的代谢产物如 CO_2 、乳酸等对血管机能的调节。这些特异性化学物质统称为体液因素。对于大多数器官，神经调节和体液调节是密切联系、相辅相成的。但神经调节处于主导地位，这不仅是由于神经调节能直接发挥控制作用，而且是由于大多数内分泌腺直接或间接受中枢神经系统的控制，在这种情况下，体液调节就成了神经调节的组成部分，相当于反射弧上传出纤维的一个延长部分。这种形式的调节称为神经-体液调节。换言之，当内、外环境发生变化时，这些变化首先以刺激的形式作用于感受器，经传入神经传送到中枢神经系统，通过中枢神经系统的活动，发出传出信息经传出神经或神经-体液环节到达有关器官，使其中一些器官产生兴奋活动，另一些器官产生抑制活动，从而统一调配各器官系统的活动，以保证人体内部各组成部分的统一协调和对外界环境的适应。

(湖南师范学院 王步标)

第一章 细胞的基本机能

细胞是基本生命单位，是实现生命活动的结构基础，人体中细胞种类繁多，形态各异，且每一种细胞都特别适合于某种特殊机能。虽然如此，但各种细胞间尚有其共同的基本结构和机能。本章将着重阐述细胞共同的基本机能如细胞膜的机能，细胞的兴奋性及生物电现象等，以及肌细胞的运动机能。至于细胞的结构可参见图 1-1。

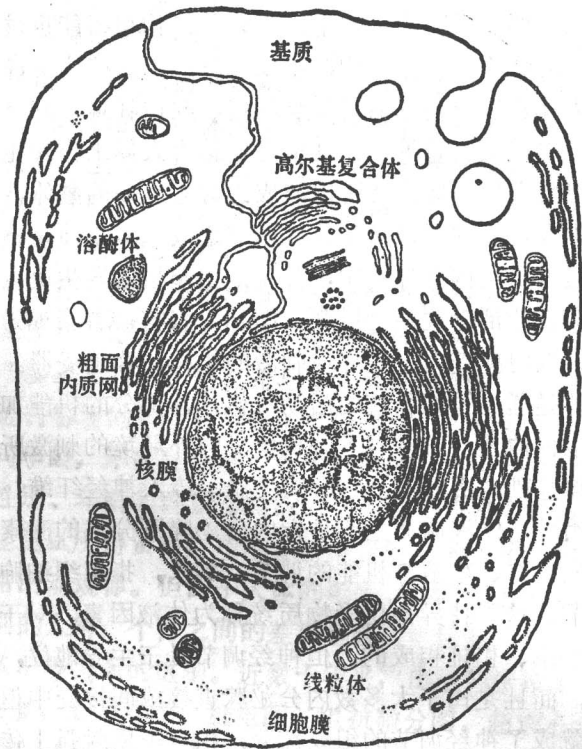


图 1-1 动物细胞的结构模式图 (根据电镜观察)

第一节 细胞膜的基本结构和机能

细胞膜是包被在细胞外面的一层薄膜。它是细胞的屏障，使细胞内容物和细胞的外部环境分隔开来，保证了细胞内的内容物不致流失和细胞内化学成分的恒定，从而为维持细胞的正常生命活动提供了前提条件。另一方面，细胞在不断新陈代谢过程中，又需经常同外界进行物质交换，摄入氧和营养物质，排出代谢废物，这些也是通过细胞膜来进行的，所以，细胞膜又是出入细胞的物质的“转运”通道。同时，细胞膜又是细胞接受外界影响的门户，细

胞膜上存在着各种受体，作用于细胞的各种激素、神经递质，以及某些进入体内的药物，很多是首先作用于细胞膜上的受体，再影响细胞内各种过程的。细胞膜还是细胞产生和传导兴奋的物质基础，各种可兴奋组织（如神经，肌肉）受到刺激时所产生的兴奋及其传导，就是细胞膜上发生的电变化和电变化的传导。此外，象细胞的运动、分裂、繁殖等功能，亦均与细胞膜有关。

一、细胞膜的结构

细胞膜是包围在细胞外的弹性薄膜，厚75—100埃（Å）。在电镜下，细胞膜或细胞内的其他膜性结构，如线粒体膜、内质网膜和核膜等，其结构均相似，均由三层组成，内外两层着色较暗，中间一层较亮，故统称为单位膜（图1—2）。

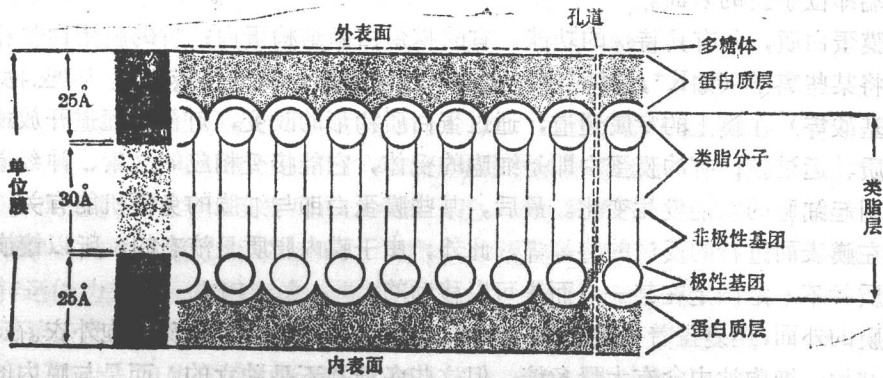


图1—2 单位膜模式图

关于细胞膜的分子结构，近年来已为人们广泛接受的是“液态镶嵌模型”学说。即细胞膜的分子结构是以液态脂质双分子层为基架，其中镶嵌着具有各种生理机能的球形蛋白质（图1—3）。而细胞膜的化学成分，主要为蛋白质和类脂，还有少量糖类。

（一）液态脂质双层

组成细胞膜基架的脂质分子，70%为磷脂（包括脑磷脂和卵磷脂），30%为胆固醇，其结构特点为具有“一头两尾”的长杆状。头为含磷酸的带正电荷的、易溶于水的极性基团，通称亲水端。尾为不溶于水而易溶于脂肪溶剂的非极性基团，通称疏水端。细胞膜就由两层这样的脂质分子

构成，故称脂质双层。构成时，两层脂质分子的亲水端都分别朝向膜的内、外表面，而两层脂质分子的疏水端则面对面地朝向双层分子的中央，借分子引力互相吸引（图1—2）。由于

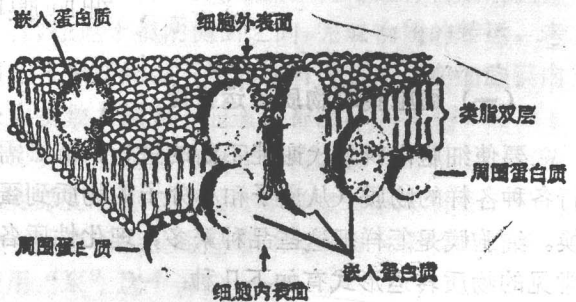


图1—3 液态镶嵌模型示意图

组成细胞膜的脂质分子所含的脂肪酸大多是不饱和的，其熔点低于体温，故在人体中，它们成液态，具有轻油般的稠度，能在同一层分子中迅速地做横向运动，相互交换位置。因而这种脂质双层是液态的，有一定程度的流动性。

细胞膜的这种脂质双层结构，使它具有很低的通透性，水溶性物质很难通过它，所以是很好的区域化隔膜，在实现细胞膜的屏障机能中起着主要的作用。

(二) 球状膜蛋白质

在细胞膜的脂质双层基架中，镶嵌着多种球状的膜蛋白质。细胞膜的多种功能就是靠这些膜蛋白质来完成的。膜蛋白质有的是椭圆形，分子较长，贯穿整个脂质双层，一端在脂质双层外侧，另一端在内侧；有的分子较小，只以一定深度嵌在膜的外层脂质或膜的内层脂质中，这些膜蛋白质均称为嵌入蛋白质。有的蛋白质不嵌入脂质双层中而只附着在膜的内表面，称为周围蛋白质（图 1—3）。通常，蛋白质分子中不带电荷的疏水端位于膜中，而带电荷的亲水端即位于膜的表面。

各种膜蛋白质，各有其特殊的功能。有的膜蛋白是结构蛋白；有的膜蛋白执行“泵”的机能，能将某些离子（如 K^+ ， Na^+ 等）主动泵过细胞膜；有的膜蛋白是某些物质（如葡萄糖、氨基酸等）在膜上的专属通道，通过蛋白质构形的改变，可使该通道开放或关闭，从而将该物质转运过膜；有的膜蛋白即是细胞的受体，它能接受相应的激素、神经递质的作用，转而引起细胞的功能发生变化。最后，某些膜蛋白即与细胞的免疫机能有关，某些膜蛋白是促进在膜表面进行的反应的酶等等。此外，由于膜内脂质是液态的，所以镶嵌在膜内的球形蛋白质并不一定固定在某一点而是可以移动的。

细胞膜的外面，还复盖着一层厚约100~200埃（ \AA ）的细胞被，也称细胞外衣。在电镜下，它呈绒毛样结构。细胞被中含有大量多糖，但这些多糖并不是独立的，而是与膜内的脂质与蛋白质结合形成糖脂或糖蛋白，其糖链即伸展到细胞膜的外侧表面。但不同细胞，细胞被的厚度和化学成分也不同。细胞被和细胞的多种功能有关，故应把细胞被看作是细胞膜的一个组成部分。例如通道或泵的特异性，在一定程度上也是由细胞被中的糖蛋白的特异性决定的。

二、细胞膜的机能

(一) 细胞膜的物质转运机能

要使细胞内新陈代谢能不断的进行，就必需通过细胞膜有选择地在细胞内、外不断地进行各种各样的物质（从离子和小分子的物质到蛋白质等大分子、以及团块状物质和液体）交换。细胞膜是怎样把这些品种繁多，理化性质各异的物质转运过膜的呢？目前已知，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，用“通量”这一概念来表示，即某种物质在每秒钟内通过每平方厘米的平面的克分子或毫克分子数。扩散通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一侧向低浓度的一侧运动，故扩散通量不仅取决于膜两侧该物质的浓度梯度，还取决于膜对该物质通过的阻力或难易程度，这称为通透性。根据目前的研究，人体内依靠单纯扩散而通过细胞膜的物质是较少的，主要只有 O_2 和 CO_2 等气体分子。

2. 易化扩散 又称通道扩散或载体扩散，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。这一过程也是不耗能的。但对膜蛋白以怎样的方式把这些物质转运出入细胞膜，目前还存在通道和载体两种不同的看法。

通道假说认为：细胞膜中，有一些贯穿膜内、外的嵌入蛋白质，好像一厚壁的管道，其分子中有沟通细胞膜内、外的专属通道，允许某一种或某一类物质或离子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是易于改变的，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。

许多实验证明，通道是确切存在的。例如，对红细胞膜来说，在同样的浓度梯度情况下，右旋型葡萄糖比左旋型葡萄糖更容易通过细胞膜，由此可见转运葡萄糖的通道蛋白质有高度的结构特异性，只有某种特异性的化学结构物质才容易通过。另一个证据是通道扩散有饱和现象。即扩散通量一般与浓度梯度的大小成正比，但当浓度梯度增大到一定限度时，扩散通量就不再增加，此时通道已全部饱和了。饱和现象说明：膜内转运某些物质的通道蛋白质的数量即其转运能力是有一定限度的。当其转运能力达到最大限度时，再增加待转运物质的量并不能增加转运量。这如同某一货物运输系统（如铁路）的转运能力有其上限一样，当其转运能力达到上限时，即使待运的货量再多加也不能增加其转运量。

尽管细胞膜对水分子的通透性要比对各种溶质的通透性大得多，但由于水和脂质是不相溶的，故也不能靠单纯扩散通过细胞膜，而是通过膜蛋白质中间的亲水性氨基酸构成的分子内间隙，才能在渗透压作用下通过细胞膜。其他如钠、钾离子也是通过各自的特异性通道而通过膜的。

载体假说认为：细胞膜中有各种载体，它首先在膜的一侧与某种特异性物质结合成复合体，尔后从膜的这一侧运动（摆渡）或旋转（翻筋斗）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。考虑到蛋白质是一种极性分子，就很难设想它们能在少耗能或不耗能的情况下，可在细胞膜内部做来回“摆渡”和“翻筋斗”的。因而近来大多数人倾向于通道的看法。

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。这犹如水泵消耗能量，克服水位差，将水从低处泵向高处一样，故使用“泵”这个词。

在细胞膜的主动转运中最重要而且研究得最充分的，是关于“钾-钠泵”简称“钠泵”对钠钾离子的主动转运。早就知道，人体各种细胞（动物亦然），其细胞内、外虽只有一膜之隔，但膜内、外钠、钾离子浓度差别却很大。以神经细胞为例，正常时，膜内 K^+ 浓度约为膜外的30倍，膜外的 Na^+ 浓度约为膜内的12倍。而且，这种浓度差的维持，对于保持细胞

兴奋能力及其他机能，是非常必要的（见后述）。现在已知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^+ 即泵入膜内，从而保持细胞内外 Na^+ 、 K^+ 的正常浓度差。

现已知道，钠泵是一种镶嵌在细胞膜上的膜蛋白。从化学本质说，它是一种具有ATP酶活性的特殊蛋白质。它可以被 Na^+ 、 K^+ 和 Mg^{++} 等激活，被激活后分解ATP以获得能量，同时将膜内的 Na^+ 移出膜外，将膜外的 K^+ 移入膜内。故现又将钠泵称为“ Na^+-K^+ 依赖性ATP酶”。细胞内的 Na^+ 浓度愈高或细胞外的 K^+ 愈高，均可使钠泵的运转更为活跃。一般认为，钠泵每分解一个ATP分子，可以排出三个 Na^+ 而移进两个 K^+ 。平均来说，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）。

除钠泵外，人体细胞中还存在着其它种“离子泵”，如肌细胞的肌浆网膜中的钙泵，甲状腺上皮中的碘泵等。

4. 胞吞作用和胞吐作用 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。此外，对于某些大分子物质和物质团块，还可通过膜的更为复杂的结构和机能的变化，使之通过细胞膜，可分别称之为胞吞作用和胞吐作用。胞吞作用又包括吞噬作用和吞饮作用。吞噬作用是具有吞噬作用的细胞（如白细胞）可以伸出伪足将细菌、衰老的红细胞等大团块固体物质吞噬进去。吞饮作用是某些细胞（如毛细血管内皮，肠上皮细胞）可以在细胞膜上先出现一个凹陷，尔后将胞外一团液体包围起来成为吞饮小泡运进胞内。

胞吐作用指大团块物质从细胞内排出的过程。腺细胞分泌某些酶或神经末梢释放神经递质都是胞吐作用。当进行胞吐作用时，酶颗粒或含有递质的囊泡向细胞膜移动，最后与细胞膜接触和融合，并在融合处开口，使酶颗粒或递质释放出胞外。

（二）细胞膜的受体机能

前已述及，人体是一个统一的整体，组成人体各系统、器官、组织的细胞之间，存在着复杂的相互联系和相互配合，而这种相互联系和配合，是通过人体内的神经调节和体液调节机制来实现的。即通过神经和体液，把各种调节信息传递至有关细胞，而使其产生相应的活动。其中，神经调节的信息在神经纤维上是以电信号传递的，但在神经元之间或神经元与效应器之间的衔接处，即是由电信号引起释放神经递质或简称递质来传递信息的（详见下节）。而体液调节的信号是通过循环血流运送的激素等化学物质来传递信息的。这些信息是如何为细胞所接受而产生变化的呢？现已知道，递质和激素传递信息时不是直接进入细胞中，而是与细胞膜表面上特定的结构即细胞受体相结合，然后以受体为中介，再间接影响细胞内部的代谢活动或膜本身的通透性。

细胞膜受体是镶嵌在细胞膜脂质双层中的蛋白质。一定的细胞膜受体，由于其裸露在膜的外表面部分本身的化学特性和结构特点，只能和细胞环境中一定的递质、激素或某种化学物质相结合，而能接受这种递质激素或化学物质作用的细胞即称为该物质的靶细胞。至于递质或激素与靶细胞结合后，又怎样引起细胞内部某些生理机能或代谢改变的问题，将在以后再述。

第二节 细胞的兴奋性和生物电现象

一、细胞的兴奋性

(一) 概 述

兴奋性是指活组织具有的对刺激发生反应的能力或特性。它是一切有生命的细胞或组织的共同特性，但由于细胞在结构和机能上的分化，这一特性在神经细胞、肌细胞和腺细胞表现得特别明显，因而这三类细胞被称为可兴奋细胞。加上在机体中，神经和肌肉虽然是两种组织，神经纤维的主要机能是传导信息（冲动），肌肉的机能是收缩，但它们却密切联系，协同行使运动的机能。正常情况下肌肉产生收缩，是由中枢神经系统发出信息，通过传出神经传送至肌肉而引起，故神经的活动，可由肌肉收缩效应来体现。正因为如此，神经-肌肉标本常用来研究兴奋的产生、传导和传递以及收缩这些最基本的生理现象。

对可兴奋细胞来说，凡是可引起兴奋的动因都叫做刺激。能成为刺激的因素甚多，如机械的、温度的、电的、光的、声的和化学的刺激等等。但在生理学的实验研究中，通常使用电作为刺激物，因为兴奋本身也具有电的性质（见后述），故电刺激与生理状态相似，且其刺激的强度和时间的比较容易控制，并可多次重复而对组织无损伤。

电刺激有许多种类，常用的为感应电震和电子刺激器的矩形波脉冲。每一个矩形波脉冲有两个基本特性：① 脉冲的振幅，代表刺激的强度；② 脉冲的宽度，代表刺激的持续时间。调节矩形波脉冲的振幅和宽度，即可得到不同强度和不同时间的刺激。此外，调节电子刺激器还可得到不同频率的脉冲，它代表刺激的频率。电刺激的强度、时间、频率这些特性，可以用数量来表达，故称参数。电刺激的这些参数，对可兴奋组织能否产生兴奋和兴奋效应的大小有密切的关系。

(二) 强度-时间曲线

用固定宽度(时间)的矩形波脉冲刺激神经肌肉标本上的神经，以肌肉收缩做为神经产生兴奋的指标。改变脉冲的振幅(强度)，由小到大，当刺激强度过低时，没有反应。逐步增加强度，可找到一个刚刚可引起最小收缩反应(即神经兴奋)的有效强度，叫做阈强度。具有这种临界强度的刺激叫阈刺激。低于阈强度的刺激不能引起明显的反应，叫做阈下刺激。高于阈强度的刺激叫阈上刺激。然后改用另一个固定持续时间的矩形波脉冲，同样求出刚刚可引起最大反应的强度，并以此类推。这样可得出一系列阈刺激的数据，每一个阈刺激都有一定的强度阈值和时间阈值。把这些数据划在座标纸上，横座标代表刺激时间，纵座标代表刺激强度，结果得到一条曲线，称强度-时间曲线(图 1-4)。

强度-时间曲线(图 1-4 中的 TCR 曲线)表示刚刚能引起最小肌肉反应所需要的刺激强度(即阈刺激强度)和时间的相互关系。强度-时间曲线接近于等边双曲线，其特点是它的两边逐渐地分别成为横座标和纵座标的平行线。如曲线的右边自 R 点再向右，则已成为横座标的平行线，这意味着，当刺激的时间超过一定限度(R)时，时间因素就不再影响强度阈值。或者说，无论刺激时间如何长，有一个最低的基本强度阈值，称做基强度。低于基强

度的刺激一律无效。同样若将曲线的T端加以引伸，将成为纵座标的平行线。这意味着，无论刺激强度如何大，有一个最短的基本时间阈值。短于此时间阈值的刺激也一律无效。在T和R之间，刺激的强度和时间因素密切相关，缩短刺激时间，则必须增加刺激强度；降低刺激强度，即必须延长刺激时间，方能引起兴奋。时间-强度曲线上任何一点，代表具有一定强度和um时间特性的阈刺激。

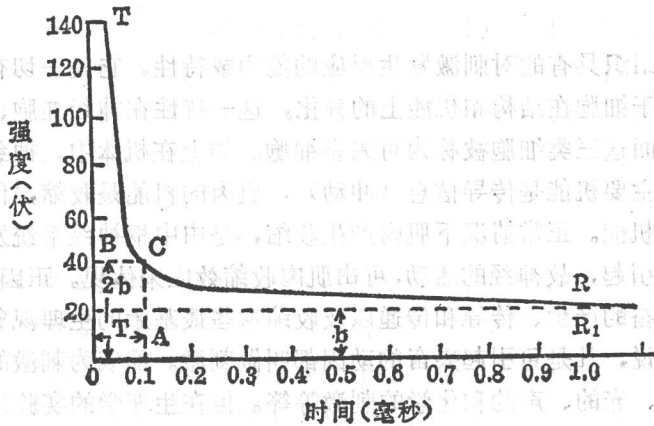


图 1—4 强度—时间曲线

在动物和人的各种可兴奋细胞或组织中，都可得到类似的强度-时间曲线，因此，这一曲线表现了组织兴奋的普通规律，可以较全面地从强度和时间两方面反映组织兴奋的状态，但当兴奋性发生迅速变化时，要测得一条强度-时间曲线，实际上是困难的。如果在现此曲线上将强度或时间两因素中的一个固定于某一点，而用另一个作为观察兴奋性的指标，则更为方便。时值就是在固定刺激强度的条件下用时间做为兴奋性的指标。即固定刺激强度为基强度的两倍，求得刚刚可引起反应所需要的最短时间，这个特定的最短时间称为时值。时值越短，意味着组织对刺激发生反应的速度越快，亦即兴奋性越高。在图 1—4 中，b 为基强度，纵座标的 B 点为基强度的两倍 (2b)。从 B 点划一条和横座标平行的直线，与强度时间曲线在 C 点相交 (C 点一般在强度-时间曲线发生最大转折处)，由 C 向下作一垂直线 CA，横座标上的 A 点就是时值 (T)。

测定时值的实际步骤是首先用时间较长的刺激来求基强度。然后将基强度加倍，改变刺激的时间，确定刚刚可引起最小收缩反应的最短时间，即得时值。

在运动生理学和临床上，时值较多的用作衡量神经和肌肉的兴奋性的指标。实验证明：不同肌肉的时值不同，一般来说，屈肌的时值短，伸肌时值长。运动员的运动专项和训练水平不同，其肌肉时值也不同。例如，从事速度性项目的运动员，其肌肉时值较力量性项目的运动员短。随着训练水平的提高，运动员的肌肉时值缩短，拮抗肌之间的时值差异渐趋减小，表明拮抗肌间的协调程度提高。

(四) 兴奋性的变化

细胞或组织的兴奋性不是固定不变的，而是经常发生变化，例如神经在每次兴奋之后，兴