

生理生化学

江苏科学技术出版社

生 理 生 化 学

江苏省“赤脚医生自学丛书”编写组 编
“中等卫生学校参考教材”

江苏科学技术出版社

赤脚医生自学丛书
介绍
中等卫生学校参考教材

本丛书包括医学基础知识和临床各科诊疗技术。力求贯彻“面向工农兵、预防为主、团结中西医、卫生工作与群众运动相结合”的卫生工作方针。可供赤脚医生、基层医院医生自学、培训或临床工作中参考，亦可作为中等卫生学校参考教材。本丛书将陆续出版，已出版的有：

人体解剖学
生理生化学
中医基础
中草药栽培与炮制

生 理 生 化 学

江苏科学技术出版社出版
江苏省新华书店发行
盐城地区印刷厂印刷

1978年9月第1版

1978年9月第1次印刷

印数1—35,000册

书号14196·006 每册0.92元

前 言

本书是在江苏省革命委员会卫生局领导下，为了满足赤脚医生、基层医院医务人员自学，以及中等卫生学校教学参考的需要而编写的。在编写过程中，我们有以下几方面考虑：

一、人体生理生化学是研究人体正常功能的科学，是一门重要的医学基础课。掌握正常人体功能活动的规律，是正确认识人体疾病状态，从而采取有效防治措施的基础。因此，本书比较完整地按系统介绍了生理生化学的基本知识和基本理论，并尽可能将这些内容与临床医学相联系。

二、根据本学科新近的发展情况，本书增加了细胞生理学概述一章，对细胞的功能、细胞膜的物质转运、生物电的形成和肌细胞的收缩等生理作了概括的介绍。

由于近年来人们对疾病的认识已深入到分子水平，蛋白质的生物合成与肿瘤、遗传分子病以及抗菌素的作用机制等都有密切的关系，因此，我们在书中还增加了核酸与蛋白质生物合成的内容。

三、考虑到教学安排的方便，我们把中枢神经系统生理学一章列在本书的后面；为了给学习本书前半部各系统功能的调节打下基础，特在绪论章中扼要介绍了中枢神经系统的结构和反射的基本概念。如果有的学校解剖学已经教完，中枢神经系统生理学提到前面教学，则绪论中这一部分内容就可省去。

四、本书部分内容以小字排印，这是教学中的参考资料，可以根据各校具体情况，不讲或选讲一部分。

本书初稿是由南京医学院扬州分院、南京卫生学校、苏州卫生学校、徐州卫生学校、无锡卫生学校、常州卫生学校、南京第二卫生学校、淮阴卫生学校、南通卫生学校，盐城卫生学校的生理生化教师编写的，于一九七七年下半年又由南京医学院葛志恒、俞正荣、陈育英、苏州医学院刘慰慈、徐州医学院沈幼贞、南通医学院郑荣根、南京铁道医学院孙希仁、南京医学院扬州分院曹毅、冷贤良、南京卫生学校季凤鸣等同志进行改写和审定。书中插图主要由南京医学院提供，部分插图由蔡知新和毕其昌同志绘制。

编 者

一九七八年五月

目 录

第一章 绪论..... (1)	第一节 酶与维生素..... (71)
第一节 概述..... (1)	第二节 物质代谢..... (73)
第二节 生命活动的基本特征..... (2)	第三节 能量代谢 (105)
第三节 人体机能活动的调节..... (3)	第八章 体温 (111)
第二章 细胞生理学概述..... (6)	第一节 正常体温及其生理变动 (111)
第一节 细胞及细胞膜..... (6)	第二节 体热的产生与发散 (111)
第二节 细胞膜的物质转运..... (7)	第三节 体温的调节 (112)
第三节 生物电..... (10)	第九章 排泄 (114)
第四节 肌肉的收缩..... (14)	第一节 肾脏结构的生理特点 (114)
第三章 血液..... (20)	第二节 尿的生成 (115)
第一节 概述..... (20)	第三节 影响尿生成的因素 (117)
第二节 血浆..... (21)	第四节 排尿 (119)
第三节 血细胞..... (23)	第五节 尿的组成和一般性质 (119)
第四节 血液凝固..... (26)	第十章 水盐代谢和酸碱平衡..... (122)
第五节 血量、血型 and 输血..... (29)	第一节 水盐代谢 (122)
第四章 血液循环 (34)	第二节 酸碱平衡 (128)
第一节 心脏生理..... (34)	第十一章 内分泌..... (134)
第二节 血管生理..... (41)	第一节 甲状腺 (135)
第三节 细胞间液与淋巴液的生成..... (45)	第二节 甲状旁腺 (137)
第四节 心、血管活动的调节..... (46)	第三节 胰岛 (137)
第五节 心、肺循环的特点..... (48)	第四节 肾上腺 (138)
第五章 呼吸..... (51)	第五节 脑垂体 (141)
第一节 呼吸运动和肺的通气..... (51)	第十二章 神经系统..... (146)
第二节 气体的交换与运输..... (55)	第一节 神经元活动的一般规律 (146)
第三节 呼吸运动的调节..... (57)	第二节 神经系统的感觉机能 (149)
第六章 消化和吸收 (61)	第三节 神经系统对躯体运动的调节 (153)
第一节 概述..... (61)	第四节 神经系统对内脏活动的调节 (155)
第二节 食物在口腔内消化..... (62)	第五节 大脑皮质的机能 (158)
第三节 食物在胃内消化..... (62)	第十三章 感觉器官 (161)
第四节 食物在小肠内的消化和吸收..... (64)	第一节 视觉 (161)
第五节 大肠的功能..... (66)	第二节 听觉 (165)
第六节 消化活动的调节..... (67)	第三节 内耳前庭和半规管的机能 (167)
第七章 新陈代谢 (70)	第四节 嗅觉、味觉 (168)

第一章 绪 论

第一节 概 述

一、人体生理学研究的内容

人体生理学是医学科学的一门基础课程，它以人体的机能活动为研究对象，通常探讨三个方面的内容：一是研究各种机能活动的物质基础及其物质代谢的规律；二是探讨各器官和系统的机能活动，着重讨论器官活动是如何发生的，受哪些因素的控制和调节，以及它们的活动对人体所起的作用；三是在前二项的基础上，进一步探索整体情况下各器官和系统机能活动的协调和统一。例如在体力劳动时，不仅要了解肌肉活动的发生、发展和肌肉的物质代谢变化规律，还要探讨其它器官和系统如血液循环、呼吸、消化等与肌肉活动之间的相互协调关系，从而使我们对人体有整体的认识。

二、人体生理学与医学的关系

人们在长期防治疾病的医疗实践中，积累了一些关于人体正常机能的知识，又通过一系列的实验研究，不断归纳总结，逐步概括出人体机能活动的规律，这样就产生了生理学。生理学又反过来为防治疾病提供理论依据。与此同时，在医疗实践中又不断发现新问题，启发推动着生理学的研究。这样，从实践到理论，又从理论到实践，不断循环往复，使生理学得以不断丰富和发展。

三、学习人体生理学的指导思想

人体的机能活动过程，是矛盾的运动过程。例如，作为生命活动基本特征的新陈代谢，就是一对矛盾的运动过程，在生命活动的每一瞬间，都包含着物质的合成代谢和分解代谢这一对矛盾运动。又如呼吸机能，因包含着吸气和呼气这样一对矛盾运动，所以才能不断地吸进新鲜氧气，呼出二氧化碳。其它如兴奋和抑制、肌肉的收缩和舒张、产热与散热、摄食与排泄等等，无一不是包含着矛盾的两个方面。因此，在探讨生命活动的规律时，必须运用辩证唯物主义的观点，分析生命活动的内在矛盾及其相互联系，才能达到正确的认识。

在人体内，不仅各器官、各系统的生理机能存在着其本身固有的矛盾运动，而且器官与器官之间，系统与系统之间也存在着矛盾。矛盾着的各方相互联系，又相互斗争，使人体成为一个对立统一的整体。例如，当剧烈运动时，骨骼肌活动增强，能量及氧耗量增加，于是呼吸增强，吸进更多的氧和排出大量产生的二氧化碳；心脏活动加速加强，以加快血液循环，输送更多的代谢原料供新陈代谢的需要；同时汗腺分泌亢进，以散失由于劳动而产生的大量热量；而消化器官的活动则暂时受到抑制，以节约能量的消耗；……等等。所有这些都充分说明各种机能活动不是孤立的，而是相互联系、相互作用的。

人与环境之间的关系也是矛盾统一的。例如环境的变化不断地作用于人体，人体不断以相应的机能活动适应环境的变化。在暑天，环境温度升高了，体内热量的放散受到限制，于是人

体就相应地发生皮肤血管舒张、出汗等反应，以维持身体的散热量，使人体的体温维持在正常水平不变；相反，当环境温度降低时，体表的热量放散增多，于是人体一方面发生皮表血管收缩的反应，以减少体温的散失，另一方面还增加体热的产生，以弥补过多散失出去的热量，仍能保持正常体温。这样，在一定范围内，尽管环境是变化了，可是人体却总能以相应的反应与之取得平衡，从而使身体的各项生理水平维持在相对恒定的范围内。但是对这种平衡，必须要正确理解。以上面提到的体温为例，环境的温度总是时刻在变化着，不仅一年有春、夏、秋、冬的改变，即使在一天24小时内，也有改变；而人体内部的产热量又是随着人们的不同工作不断变动。因此，人体的产热和散热两方面都是经常在变动着，不平衡是绝对的，而体温的相对恒定则是每一瞬间产热和散热这一对矛盾斗争的暂时统一，是相对的。因此，对于这种平衡，称之为相对平衡或动态平衡。

第二节 生命活动的基本特征

一、新陈代谢

人体是由物质组成的。这些物质是蛋白质、糖、脂肪以及水和无机物（如钠、钾、钙、镁、氯、硫、磷、铁、碘）等。通过消化系统，人们从外界环境中摄取这些物质，并在体内把它们加工合成为人体自身的物质（合成代谢）；另一方面，人体自身的物质又不断分解（分解代谢），通过排泄器官把分解产物排出体外。一般说来，物质分解时，同时释放出能量，供给人体机能活动的需要；而在物质合成时要吸收能量，所需的能量却正是由分解代谢供给。这种生命机体与外界环境进行的物质交换和能量交换，并在体内进行的物质转变和能量转变的过程，总称为新陈代谢。

但是，必须认识到，在有生命机体的新陈代谢中，蛋白质居于特别重要的地位，是有生命机体与无生命物体区别之所在。正如恩格斯在《自然辩证法》一书中所指出的：“生命是蛋白体的存在方式，这个存在方式的基本因素在于和它周围的外部自然界的不断的新陈代谢，而且这种新陈代谢一停止，生命就随之停止，结果便是蛋白质的分解。”因此，蛋白质是生命的物质基础，它的代谢是生命活动的核心。

二、兴奋性

有生命机体在新陈代谢的基础上产生的生命现象，表现有兴奋性、适应性、生长和生殖、衰老和死亡等。这里着重介绍兴奋性。

有生命机体能够感受环境的变化，并对这种变化作出相适应的机能活动改变。我们把这种环境的变化称为刺激，把机体产生的相应机能活动改变称为反应，而把机体对刺激起反应的这种能力称之为兴奋性。

反应有两种形式：一种是机能活动由相对静止转变为活动，或由活动较弱转为活动较强，这种反应形式叫做兴奋，如各种腺体的分泌，心跳加快等。另一种是机能活动由强变弱或转为相对静止，这叫做抑制，如心跳减慢，腺体分泌减少或停止等。

兴奋性是一切有生命组织的共同特征，是以细胞或组织内所进行的新陈代谢为基础的。当刺激作用时，首先是影响其新陈代谢过程，使之增强或减弱，而后是各组织表现出它本身特有的反应形式。

人体各种细胞或组织的兴奋性并不相同，这是在进化过程中各种组织细胞发展分化的结

果。譬如，有一些细胞和组织对环境刺激的兴奋性很高，成为专司感受刺激的器官，这就是感受器。而另一些组织如肌肉和腺体却分化为专司反应的器官，成为效应器，它们感受刺激的能力相对较差。所以，在整体情况下，环境中的刺激是通过感受器的作用而引起效应器的活动的。在感受器和效应器之间则是依靠神经系统把它们联系起来。换句话说，整体的机能活动是通过神经系统而实现的反射性活动。

第三节 人体机能活动的调节

人类在进化过程中，构成机体的细胞和组织得到高度的分化和发育，在结构和功能上发展为骨骼系统、肌肉系统、血液循环系统、呼吸系统、消化系统、排泄系统、内分泌系统、神经系统和生殖系统等等。每一个系统各有其特殊的结构和功能，同时各系统之间的活动又是互相配合、互相协调，从而使机体成为一个高度统一的整体，其活动与环境的变化保持动态平衡。这样，人体才能进行正常的劳动和工作。各器官系统的功能活动和各系统活动之间的联系和协调都是靠机体的调节机制来完成的。人体的调节机制主要有神经调节和体液调节二种形式。

一、神经调节

(一) 神经系统的概貌

构成神经系统的主要细胞称为神经元，它们是实现神经系统活动的功能单位。在形态上，神经元与身体其它细胞不同，它包括细胞体和突起两部分。平常所称的神经纤维，就是由神经元的突起所构成。

神经系统在结构上可分为中枢和周围两大部分。中枢部分也称中枢神经系统，包藏在颅腔和脊椎管中，自下而上，包括脊髓、脑干（延髓、脑桥、中脑和间脑）、小脑、大脑。大脑的外层称大脑皮质（也称大脑皮层）。神经系统的外周部分也称周围神经系统，包括从脊髓发出的31对脊神经和从脑发出的12对脑神经。周围神经系统把全身各器官和中枢神经系统联系起来。（图1—1）

周围神经系统的功能主要是传导兴奋。那些把感受器产生的兴奋传入中枢引起感觉的，是传入神经，也称感觉神经；那些把中枢神经的兴奋传送到效应

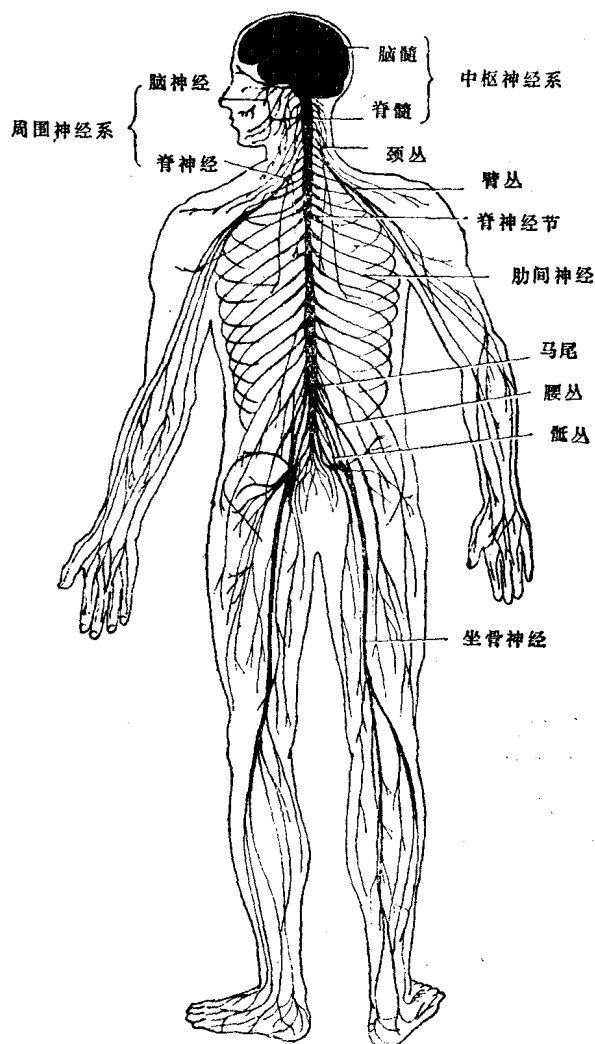


图1—1 人体的神经系统

器而引起它们运动的，称为传出神经，也叫运动神经。支配头面、躯干和四肢骨骼肌的运动神经总称为躯体运动神经；而支配内脏器官如胃肠道、膀胱、子宫、血管等器官的平滑肌和心肌及内分泌腺的运动神经，则称为植物性神经。神经纤维上传导的兴奋波称为神经冲动。

传出神经
(运动神经) $\left\{ \begin{array}{l} \text{躯体运动神经——支配骨骼肌} \\ \text{植物性神经——支配内脏平滑肌、心肌和腺体} \end{array} \right.$

(二) 反射和反射弧的概念

凡体内外刺激作用于感受器，通过中枢神经系统活动而引起的机体反应，都称为反射。反射是神经调节的基本形式。例如叩击髌韧带就可引起伸膝的动作，叫做膝反射，这是一种最简单的反射。实现反射的有关结构基础称为反射弧（图1—2），它包括五个基本环节，即

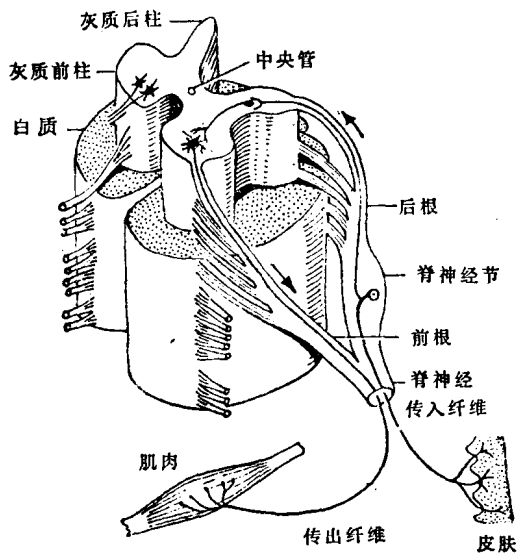


图1—2 反射弧

感受器、传入神经、神经中枢、传出神经和效应器。感受器是接受刺激的器官，效应器是产生反应的器官（如肌肉和腺体），神经中枢则是与此反射有关的中枢神经系统的结构，传入和传出神经是神经中枢与感受器和效应器相联系的通路。如果反射弧的任何一个环节遭到破坏，反射就不能产生。

反射可以分为非条件反射和条件反射两类。非条件反射是先天遗传的，它是一种较低级的神经活动。人在出生以后，就具有许多非条件反射。例如吃食物时可以引起唾液分泌，强光刺激眼睛可以引起瞳孔缩小，针刺手指可以引起手的回缩，叩击髌韧带引起伸膝动作等，都是最简单的非条件反射。

条件反射是后天获得的，是个体在生活过程中根据生活条件而形成的，是建立在非条件反射基础上的高级神经活动。在人类，它的中枢存在于大脑皮层。例如在快速跑步时，可以反射性地引起心跳、呼吸的加强，这是人人皆有的一种非条件反射。但是久经锻炼的运动员在作起跑准备时，已先有心跳、呼吸的加强，这是由于在非条件反射之前经常伴有运动信号如场地的环境、哨声等出现，多次训练之后，这些运动信号也就会引起与运动非条件反射相同的反应，这便是一种条件反射。条件反射具有信号意义，因而有预见性，使人在劳动、战斗等活动开始前就作好准备，从而使人类能更好地适应环境、改造环境。

在正常情况下，经常是非条件反射和条件反射协同起作用，共同完成对机体的神经调节，但条件反射居于主导地位。

二、体液调节

是指血液中的某些化学物质，随血液循环到达全身组织器官，从而调节它们的活动。这些化学物质，又称体液因素，其中主要的是激素。例如，肾上腺素引起心跳加快加强，胰岛素引起血糖降低。此外，组织的一般代谢产物亦能使各器官的活动得到一定程度的协调，如二氧化碳能兴奋呼吸中枢等。由于这些体液因素的产生本身也直接或间接地受神经系统调节，因此，这种调节途径亦称为神经—体液调节。

神经调节的特点是作用迅速而精确；体液调节则作用较慢而持久，其作用的部位亦较广泛。在体内，这两种调节方式是互相补充、互相影响的，但神经调节占主导地位。

总之，人体机能活动的调节，概括起来是以两种方式进行的，即神经调节和体液调节。人的主观能动性在人体机能活动调节中的巨大作用也是通过神经及体液调节而实现的。

复 习 题

- 1、试举日常生活一例，说明人体生命活动的对立统一规律。
- 2、人体机能活动是如何调节的？
- 3、理解下列名词：动态平衡、反射弧、非条件反射、条件反射。

第二章 细胞生理学概述

第一节 细胞及细胞膜

细胞是构成组织和器官的基本结构单位。为了认识机体的机能活动，对细胞功能有所了解是十分必要的。细胞由三部分所组成：细胞膜、细胞质和细胞核。细胞质中含有各种细胞器。细胞器中重要的有内质网、线粒体、溶酶体以及高尔基氏器等。

细胞膜是包围在细胞外缘的薄膜组织，主要是由脂质、蛋白质和多糖所构成，厚度约在75~100埃(Å)之间。脂质中以磷脂为主，其次是胆固醇。关于细胞膜的精确分子排列，迄今还不完全清楚，根据间接获得的实验资料，认为细胞膜是由双层脂质分子所构成，脂质分子的亲水端在膜的两侧表面与体液相接触，脂质双层分子的疏水端则在膜的中央互相贴近。磷脂的脂酸不饱和程度较大，在体温下，膜上的脂质是液晶态的(介于固态与液态之间的状态)。

膜上的蛋白质，最初曾被设想存在于细胞膜的表面，覆盖在脂质分子上(图2—1)。

近年来的资料，则认为蛋白质分子主要是镶嵌在脂质双层分子内，它们的亲水端裸露在膜的两表面，而它们的疏水性氨基酸侧链则镶嵌在脂质双层中。从分子结构和功能看，细胞膜上的蛋白质不是单一性的，而是包含多种结构不同、因而功能也不同的蛋白质(图2—2)。关于多糖分子，目前认为是在膜的外表面与脂质和蛋白质结合成糖脂和糖蛋白而存在。

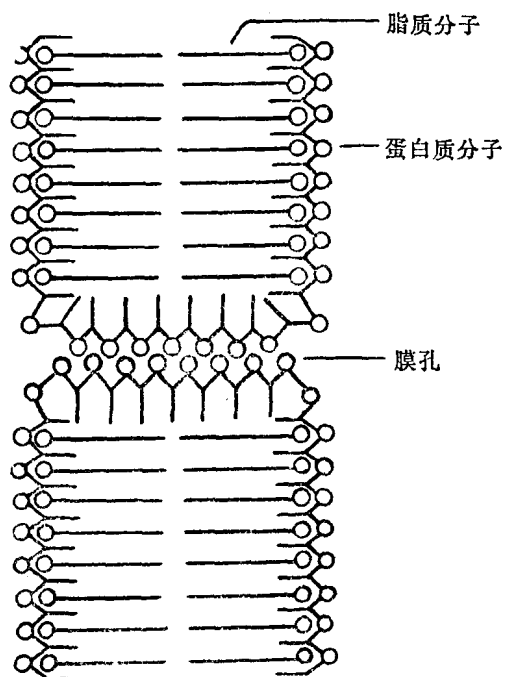


图2—1 细胞膜结构设想图一

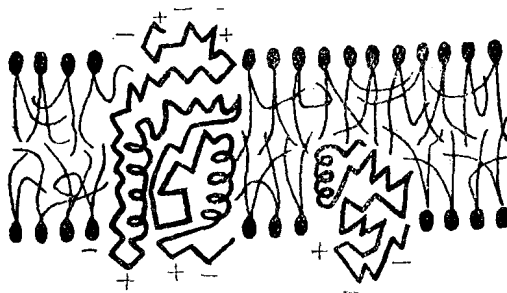


图2—2 细胞膜结构设想图二

从功能上看，细胞膜具有屏障作用，确保细胞内理化成分和特性的稳定，在一定范围内保证细胞内化学反应不受膜外变化的干扰。细胞膜的功能活动，对于细胞和它周围体液间的物质交换，更具有特别重要的作用。通过膜的活动，细胞可选择性地摄取物质和排放物质，这就不仅为细胞取得它所需要的物质提供了条件，并也成为生物电形成的基础。此外，细胞

膜上存在的特殊性受体，是感受化学信息的特殊部位。细胞膜后两种功能与镶嵌在脂质双层中的蛋白质的活动是密切相关的。

细胞核和几种主要细胞器的功能，简单归纳如表1。

表 1 细胞核及主要细胞器的功能

名 称	功 能
细 胞 核	是细胞活动的控制和调节中心： 1. 控制和调节细胞内的化学反应； 2. 控制细胞的生长和分裂。
线 粒 体	是储存与细胞呼吸有关的酶的场所；是细胞供能物质三磷酸腺苷（ATP）形成的部位。
内 质 网	合成蛋白质和细胞分泌物质的主要部位。
高尔基氏器	加工和储存内质网运来的合成物，并排送出细胞。
溶 酶 体	含有各种水解酶，分解物质，是细胞的消化器；也能清除细胞内的废物和侵入细胞的异物，因而可能是细胞内的防御结构之一。

第二节 细胞膜的物质转运

存在于细胞内的液体称细胞内液，它在成分上和理化特性上与那些存在于细胞周围组织间隙内的液体（称细胞间液或称组织液）不同。细胞间液通过毛细血管壁与血液的液体部分不断交流，而细胞则不断从细胞间液中取得它所必需的物质。物质是如何通过细胞膜进入细胞内的？本节简要地谈谈这方面的机理。

一、扩散

液体中分子和离子的运动，使物质从浓度高的部位向浓度低的部分移动，这称为扩散。扩散受很多因素的影响，例如浓度差、扩散面积的增大和温度的增高都会使扩散的速率增高，而扩散物质分子量的大小和扩散的距离却与扩散速率成反比关系。亦就是说，分子量大的和扩散距离长的，其扩散速率慢。这些关系可大概地用下列公式表示出来：

$$\text{扩散速率} \propto \frac{\text{浓度差} \times \text{扩散面积} \times \text{温度}}{\text{分子量} \times \text{距离}}$$

细胞膜是脂质双层的膜，因而物质能否通过还首先决定于它是否是脂溶性的。脂溶性高的如 O_2 和 CO_2 等，扩散容易；脂溶性低的，扩散就差；而那些非脂溶性物质如水、尿素以及 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 等，就不能以溶解于脂肪的方式扩散过细胞膜。

但是水和尿素等非脂溶性物质也能迅速通过细胞膜进入细胞内，这提示了膜上还存在有其它渠道作为它们扩散的途径。于是提出膜上存在有膜孔的设想（见图2—1）。根据间接资料，认为膜孔的直径大概是8埃左右，只要物质的分子直径小于膜孔的，就能通过它扩散进入细胞内。

但膜孔的存在只是根据间接的实验资料提出来的，也未能在电子显微镜下得到直接的证明。近年来对它是否真正存在提出疑问，认为那些非脂溶性物质的扩散，可能都是通过另一种方式——易化扩散进行的。

由于扩散的物质很多都是荷电的离子，如 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{++} 、 Cl^- 等，因此这些物质的扩散必然受到细胞膜两侧电位差的影响。荷正电的离子向电位低的一侧扩散，而负离子则向电位高的一侧移动。如果这种静电吸引和浓度差两种因素都存在，则视两者的关系而决定扩散的方向和扩散的量。换句话说，在分析细胞膜的物质转运时，要考虑电化学两者的梯度。

二、易化扩散

有些物质既不溶于脂肪，分子直径又大于膜孔，但仍能以一种特殊的、称之为易化扩散的方式通过细胞膜进入细胞。例如葡萄糖就是以这种方式扩散进入细胞的。易化扩散属于扩散的范畴，因为它是顺浓度差进行的，也就是说是从浓度高的部位向浓度低的部位扩散，所以这一过程并不消耗细胞本身的能量。易化扩散的特点是它依赖于细胞膜某种称为“载体”的特殊物的帮助。一般认为，葡萄糖（G1）在膜的外面先与“载体”（C）结合成脂溶性复合物（CG1），于是从膜的外侧面扩散到膜的内侧面，在此，葡萄糖与“载体”分离，糖进入细胞内，而“载体”重新回到膜的外侧面，继续进行糖的运送工作（图2—3）。目前认为这种“载体”大概就是镶嵌在脂质双层中的蛋白质，运送各种物质的“载体”都有特异性。

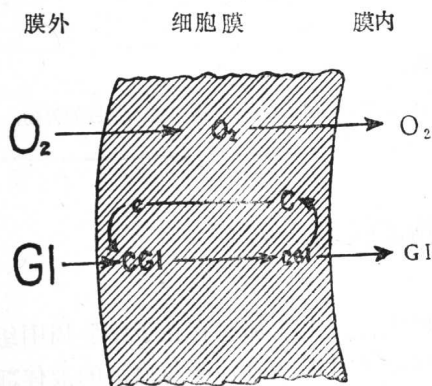


图2—3 易化扩散模拟图

近年来，有人提出易化扩散机理的另一种假设，认为镶嵌在细胞膜上的具有特异性的蛋白质，它们各与自己转运的物质有特殊亲和力，在一定情况下，蛋白质分子的立体构型发生改变，在其内部形成适合其运送物质通过的通道，使被运送物质能以顺浓度差迅速扩散过细胞膜。在不同情况下，这种由蛋白质构型发生改变所形成的通道，有时可以增大，有时则减小或完全封闭。

三、主动转运

主动转运是指细胞膜对物质转运的主动作用，它能把某种物质从低浓度转运到高浓度一侧，或是逆电位差转运（逆电化学梯度转运），就象用水泵把水从低处引上高山一样，要消耗能量，故也称它为“泵”。如主动转运钠离子的称为“钠泵”。一般认为细胞膜的主动转运也是由“载体”来完成的，但与易化扩散不同，它是一个耗能过程。

细胞内外液体中所含各种离子的浓度不同，就是依赖于主动转运来达到的。例如“钠钾泵”把细胞外液中的 K^+ 转运入细胞内，而把 Na^+ 运出细胞，从而使细胞外液中所含的 Na^+ 浓度远较细胞内液为高，而 K^+ 则相反，细胞外液中的含量远比细胞内的低。如果采取某项措施，使细胞的代谢暂停，主动转运将因无能量供应而中止进行，于是细胞内外的 Na^+ 和 K^+ 的浓度将由于扩散作用而接近完全平衡。

细胞膜对物质的主动转运，除 Na^+ 和 K^+ 外，钙、镁、铁以及单糖和氨基酸等都可被主动转运。其中有些只见于某些局部细胞，如碘只见于甲状腺上皮细胞，单糖则以肠道和肾小管等部位为主。

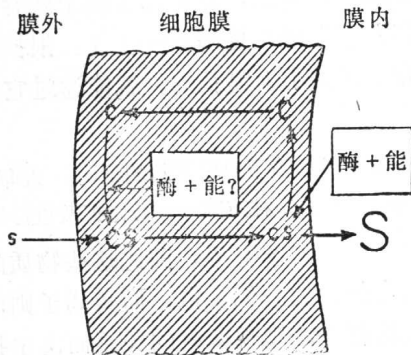


图2—4 主动转运模拟图

主动转运的机理还不完全了解。一般认为是膜上各种具有特异性的“载体”来完成的。其进行的基本过程可能如图2—4所示。物质（S）在膜的外侧面与载体（C）结合，而在膜的内侧面分离，把物质释放入细胞，载体重回膜的外侧面继续工作。在这一运载过程中，能量的消耗可能是在膜内侧面的环节上。

细胞膜对钠、钾的主动转运，是机体许多机能活动的基础，诸如神经和肌肉的兴奋、兴奋波的传导、各腺体的分泌等等，都与它们有密切的联系。钠与钾的主动转运互

相联系,是由同一载体来完成任务的,故一般称之为“钠—钾泵”。这一过程的具体机理大概如图2—5所示。在膜的內侧面钠(Na^+)与载体Y形成复合物 NaY ,复合物然后移到膜的外侧面,在此,两者分离,钠释放出膜外,载体的化学结构略有改变成为运送钾(K^+)的载体X;X与钾结合的复合物 KX 从膜的外侧面移到內侧面,在三磷酸腺苷酶的作用下,三磷酸腺苷(ATP)分解提供能量,钾与载体分离并进入细胞內,载体X又重新成为运载钠的载体Y。一般认为载体大概就是膜上的镶嵌蛋白质,它本身就具有三磷酸腺苷酶的作用。

近年来,对 Na^+ 、 K^+ 主动转运的机理,有人提出新的设想。认为膜上运送钠、钾的蛋白质具有钠、钾的特殊结合点,但它与钠、钾的亲合力则视蛋白质是否与磷酸结合而定。当它脱去磷酸时, Na^+ 特殊结合点面向膜的內侧面,并与 Na^+ 的亲合力大为提高,于是与 Na^+ 结合;随后,由于 Na^+ 的结合立即触发运载蛋白质的转动,把 Na^+ 移到外侧面,同时导致ATP的分解,蛋白质与磷酸结合。蛋白质的磷酸化,又立即使它与 Na^+ 的亲合力下降,因而把 Na^+ 释放到膜外去,同时面向外侧的结合点与 K^+ 的亲合力显著增高,于是与 K^+ 结合并移向内侧。在内侧又因其脱磷酸而释放出 K^+ 并再运载 Na^+ ,如此反复转变,不断把 Na^+ 送出膜外,而把膜外的 K^+ 运入膜內。

四、吞饮作用

吞饮作用是一些细胞从周围体液中摄取物质的方式之一。特别是肾小管上皮细胞对大分子物质的蛋白质,依赖于这一方式摄入细胞。

吞饮作用的过程,第一步是细胞外体液中的物质向细胞膜接近,最终贴于膜的表面,这种向膜移近的作用大概是静电吸引的结果;第二步是物质颗粒对膜表面张力发生改变,使该部位内陷;第三步是内陷的膜最终将物质包围,于是脱落成为吞饮小泡进入细胞质內。而后溶酶体与吞饮小泡融合,释放水解酶进入小泡,分解吞饮的物质,分解产物如氨基酸等扩散入细胞质供细胞利用,残余的小体排出细胞或在细胞內解裂。(图2—6、7)

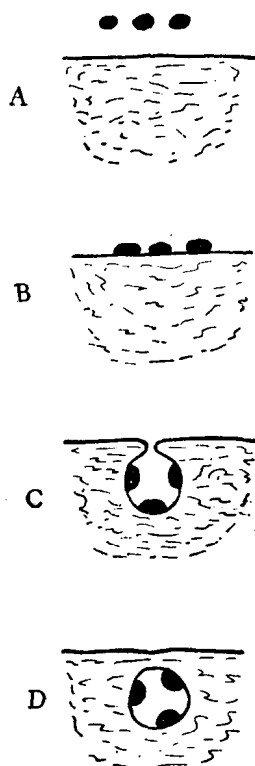


图2—6 吞饮作用的过程

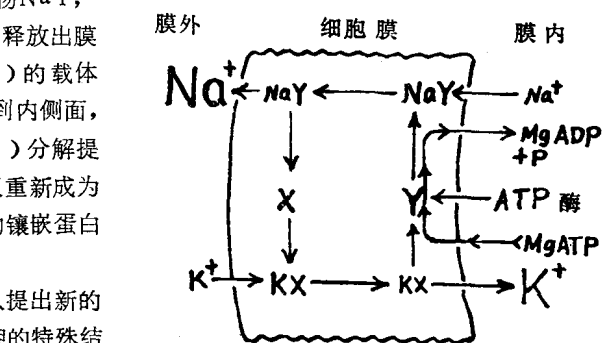


图2—5 Na^+ 、 K^+ 主动转运模拟图

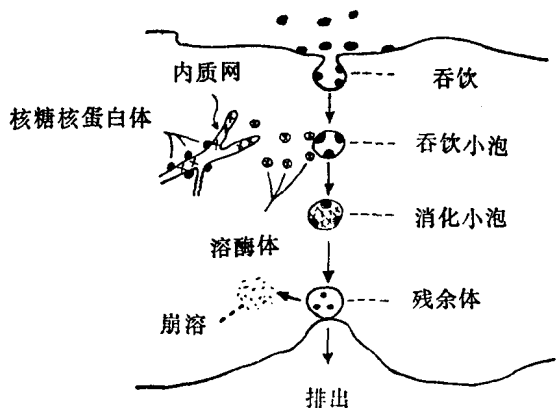


图2—7 吞饮物质分解过程

第三节 生物电

生物电是指生物组织生命活动时伴有的电现象。当肌肉和神经细胞兴奋时，产生动作电位并能沿细胞膜传播出去。在腺细胞，这种电位变化与细胞的分泌机能密切相关。各种组织的生物电所表现的形态虽可有所差异，但就其产生的本质来说，却基本相同。本节将着重以肌肉和神经为例，讨论电现象的特点及发生机理。

一、生物电现象

(一) 膜电位

将电位计的两极放在完整无损的、处于安静状态的神经或肌纤维表面，电位计的指针指在零位不动，表明细胞膜的表面各点之间的电位是相等的。但如将电位计的一极插入膜内（一般认为用直径只有0.5~2.0微米的微电极插入膜内，对细胞几乎没有损伤，不影响其正常机能活动），而另一极仍放在细胞膜外，此时电位计的指针立即向膜内一侧偏向，这说明膜的内部和外部之间存在有电位差，膜外为正，膜内为负（图2—8）。这种膜内外之间存在的电位差称为膜电位

（由于它是安静状态下跨存于膜内外的电位，故又称为休止电位或静息电位）。膜外的正电荷与膜内的负电荷互相吸引，以细胞膜为界分列于膜内外两侧，这种膜内外极性不同的现象，称为极化状态。

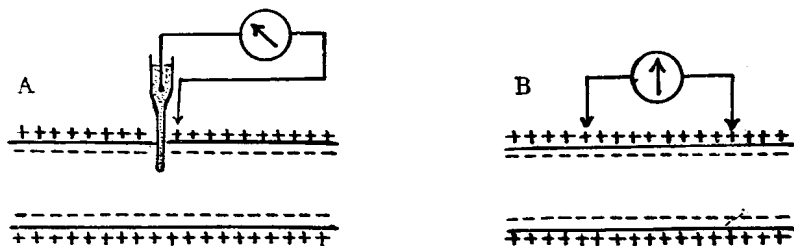


图2—8 膜电位的测取

A、表示膜内外有电位差，呈极化状态； B、表示膜外各点之间无电位差。

一般神经和肌纤维的膜电位约在75~90毫伏左右。

(二) 动作电位

当肌肉或神经纤维某一部位发生兴奋时，兴奋部位的电位迅即发生变化，先表现为膜内外电位差的消失，亦即膜内电位上升而膜外电位下降；继则进一步发展为膜内电位高于膜外，即膜内为正、膜外为负，产生了极化现象的倒转。这种原先膜外为正、膜内为负向着它们对立方面转化的过程，称之为去极化（亦称除极化或毁极化），这样产生的电位变化称为动作电位。由于膜内电位从原来-90毫伏转变为+20~+40毫伏左右，使膜内电位变化了110~120毫伏，故动作电位较膜电位为大。

而后，兴奋波向邻近未兴奋部位扩播出去，原来兴奋部位又恢复极化状态，这一过程称为复极化。（图2—9、10）

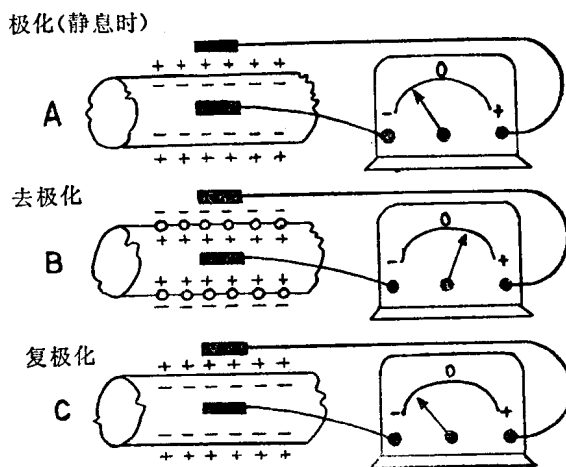


图2—9 极化、去极化和复极化

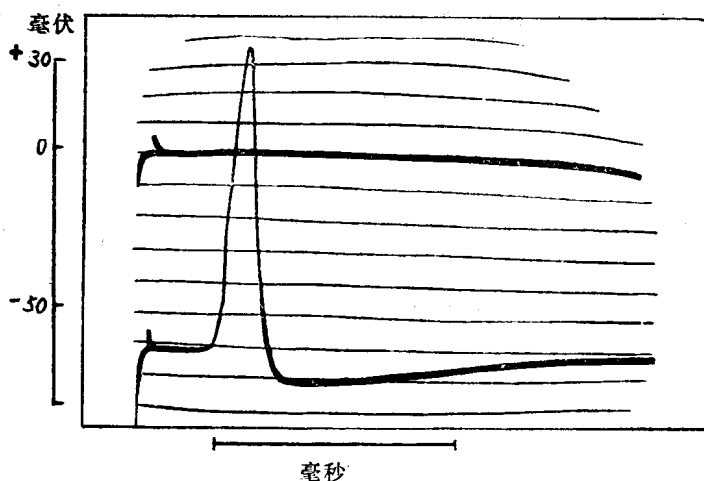


图2—10 动作电位（乌贼巨大神经纤维）

兴奋波传播至第二极下时，两极之间的电位又相等，电位曲线波回复到零电位水平。（4）随后第一极下复极化，而第二极下还处于去极化状态，于是两极下发生第二次电位差，但其方向与第一次相反，故产生下降的电位曲线。（5）最后第二极下也复极化，两极电位差第二次等于零，电位曲线又回到零电位水平。（图2—11）

从图2—11中也可以看到，去极化时前方是正电荷，后方为负电荷；而在复极化时，却与此相反，负电荷在前，正电荷在后。一般把正电称为“电源”，负电称为“电穴”，两者成为一对电偶，兴奋的传布，可以看作是电偶的不断移动。

一般说来，动作电位表现三方面特征：第一，动作电位的大小决定于组织本身的性质和机能，而不受刺激强度改变的影响；也就是说只要刺激的强度达到阈值，就引发一个最大的动作电位。第二，当动作电位发生后，就能以局部电流方式引发邻接部位发生兴奋，从而表现为动作电位沿神经或肌纤维传播出去。第三，在同一神经纤维或肌纤维上发生的动作电位总是各个分开的，不会因刺激的迅速连续给予而融合。

二、生物电产生的原理

早在本世纪初就有人提出膜学说来解释生物电产生的本质。这个学说以两项假设作为立论的根据。一是认为细胞膜的存在是产生生物

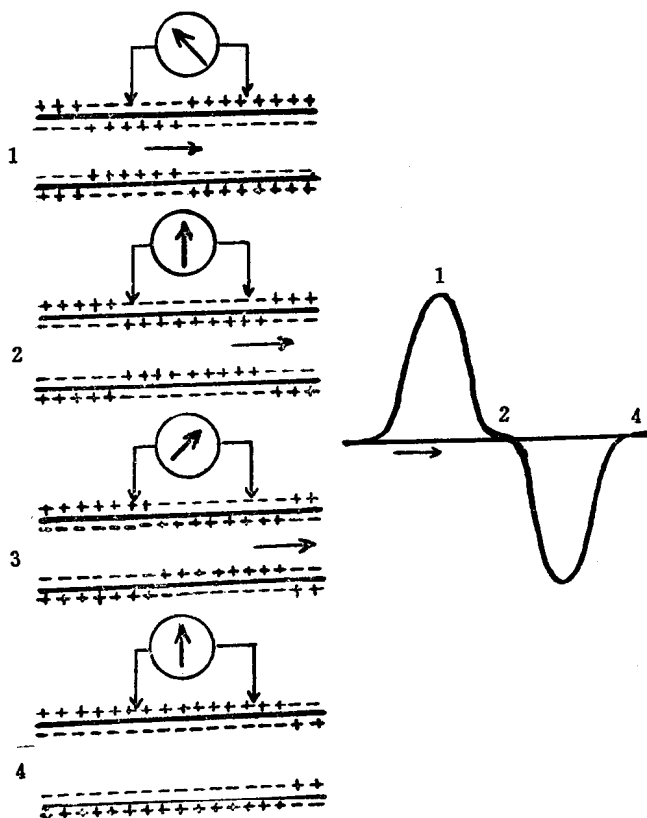


图2—11 双相动作电位

- | | |
|-----------|------------|
| 1. 一极下去极化 | 2. 两极下都去极化 |
| 3. 一极下复极化 | 4. 两极下都复极化 |

电的基本条件，指出由于膜对各种带电离子的通透性不同，造成膜内外电荷分布不均，因而形成极化状态；二是认为细胞某一部分受到刺激时，膜的通透性就发生改变，引起离子的重新分布，从而产生了动作电位。五十年代以来，大量实验资料论证、丰富和发展了这一学说，尽管还有许多问题有待解决，但已使我们对生物电产生的本质有一个基本的认识。

（一）膜电位产生的机理

许多实验资料都已证明，膜电位的产生与细胞膜内外离子的分布和运动有关。这两项因素起着决定性作用。因为细胞膜内外液体中所含各种离子的浓度是不等的。在静息状态下，哺乳动物肌细胞内外液体中 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 等离子浓度分布见表2。

表2 细胞内外液中离子浓度分布

	细胞内液离子浓度 (微克分子/ cm^3)	细胞外液离子浓度 (微克分子/ cm^3)
Na^+	12	145
K^+	155	4
Cl^-	3.8	120
A^-	155	

A^- 为带负电荷的大分子有机物，是细胞代谢的有机物与无机磷和硫的结合物，不能通过细胞膜。从表中可以看出，细胞内 K^+ 浓度比膜外高40倍左右，而 Na^+ 则膜外比膜内高12倍。至于负离子，膜外以 Cl^- 为主，而膜内主要是大分子的有机负离子（ A^- ）。

此外，膜在不同情况下，对不同离子的通透性不同。静息状态下，膜对 K^+ 的通透性较大，对 Na^+ 的通透性很小，对有机负离子则无通透性。

这样，在静息状态下，膜内外既存在 K^+ 的浓度差，细胞膜又允许 K^+ 通过； K^+ 即顺浓度差移向膜外，而膜内大分子有机负离子（ A^- ）却因不能透过膜而仍留存在膜内。这种情况，就造成了两种结果，一是膜外增加了正电荷，膜内却减少了正电荷而相对地有较多的负电离子，形成膜外为正膜内为负的局面；二是膜内外所形成的这种电位差，使得 K^+ 的外出受到排斥，又受到膜内负电的吸引，当因浓度差 K^+ 外流的力与因电位差促使 K^+ 内流的力达到平衡时，膜内外电位就稳定于一定水平。这就是我们所测得的静息电位。膜内外正负离子互相吸引，以膜为中心而吸附于膜内外两侧，成为极化状态。

（二）动作电位产生的机理

当细胞受刺激而兴奋时，细胞膜对 Na^+ 、 K^+ 的通透性发生变化，本来对 Na^+ 通透性很小的膜，此时对 Na^+ 的通透性突然增大，于是由于浓度差和电位差， Na^+ 由膜外迅速流入膜内，结果造成膜内电位增高，不仅使原来的负电位消失，并且进一步使膜内出现正电位（电位较膜外高），形成膜内正、膜外负的去极化状态（也可看作是反极化状态），此时，膜内电位可比膜外高20~40毫伏。也就是说，膜内的电位由原来静息时的-90毫伏上升为+30毫伏左右，亦即兴奋时产生的动作电位可达120毫伏左右。

当动作电位产生后，在上升时相达到动作电位的顶端时，膜的通透性又发生改变， Na^+ 通透性迅速下降到原先的水平，而 K^+ 通透性却大为增高， K^+ 由于电化学梯度（膜内 K^+ 浓度大于膜外和膜外电位较负）而迅速外流，于是膜外电位上升，膜内电位又复下降，最后膜内外电位又恢复到极化状态。因 K^+ 外流比去极化时 Na^+ 内流的速度为慢，故复极过程也较缓慢。但膜内外 Na^+ 和 K^+ 的完全恢复，还须“钠钾泵”的主动转运，把它们重新调配到未兴奋以前的水平。