

全国中等卫生学校教材

供检验士、临床检验士、卫生检验士、药剂士专业用

生理学

第二版

主编

科学技术出版社

(皖)新登字02号

全国中等卫生学校教材
供检验士、临床检验士、卫生检验士、药剂士专业用

生理学

第二版

崔双绵 主编
白淑云 庄丽华 李彬
崔双绵 韩耀辉 编写

*

安徽科学技术出版社出版

(合肥市九州大厦八楼 邮政编码:230063)

安士达实业公司激光照排部照排

新华书店经销 安庆新华印刷厂印刷

1994年10月第2版 1994年10月第13次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:11.5 字数:266 000

印数:269 751—299 750

ISBN7-5337-0271-9/R·45 定价:6.10元

第二版说明

全国中等卫生学校 11 个专业使用的 77 种教材系卫生部 1983 年组织编写，于 1985～1987 年出版发行。

为进一步提高中等卫生学校的教材质量，培养合格的中等卫生人才，1992 年 11 月决定对这套教材进行小修订。

这次修订基本维持原教材体系，只更正其中的错误和不当之处，在总字数不增加的前提下，修改的幅度一般不超过 20%。主要修订的有：改正错误的内容、数据、图表等；删除淘汰的 35 种临床检验项目与方法；使用国家公布的名词与法定计量单位等；更新陈旧的内容，如不符合《中华人民共和国药典》的内容、不符合医学模式转变的内容等；删除针对性不强，对中等卫生学校不适用的内容等。

本次修订由主编负责。因为时间紧，改动范围不大，部分教材未能邀请第一版全体编审者参与工作，特此说明。

卫生部教材办公室

1993 年 6 月

第二版前言

这本教材的第一版自发行以来已经历时9年，承蒙读者的支持与厚爱，编者收到了不少宝贵意见。随着科学技术的不断进步，第一版中有些内容显然亟待补正。此次卫生部组织的教材修订十分适时，为教材的更新提供了很好的机会。

根据要求精神，结合读者提供的反馈信息，我们本着保持原书风格不变、力求文字通顺、深入浅出的原则，对部分内容作了少量的增删或更替。

关于计量单位的名称和符号，本书已按国家公布的法定计量单位进行了核改；为了兼顾习惯用法，采取了过渡方式，即同时附上了旧单位，以便对照。对于某些即将淘汰的检查项目、方法及有关内容已予删除或代之以新法。个别文字错误或不甚通顺、语焉不详、易生误解之处也作了适当更正。在贯彻预防为主，适当联系医疗、生活实际，弘扬祖国医学遗产等方面也通过大小字的调整给予了一定的注意。为了适应改革开放的需要，有利于某些缩写符号的记忆，对血液章的某些重要术语特附注了英文。凡此种种变动，是否合适，尚望同道和读者指正。

崔双绵

大连医学专科学校
生理教研室

1993年8月

第一版前言

本书是由卫生部和辽宁省卫生厅组织有关高、中等医学院校共同编审的教材，供全国中等卫生学校检验士、临床检验士、卫生检验士、药剂士等专业使用。

编写之初曾根据1982年卫生部颁发的教学计划以及编制教学大纲和教材的原则、精神，拟定了教学大纲草稿和编写提纲，多方征求意见后，写成初稿。嗣经全国有关兄弟学校生理教师代表座谈讨论，提出宝贵意见，进一步加以修改。最后交由大连医学院吴襄教授审阅、定稿。

全书包括课文10章，系统而简要地阐述了人体生理学的基本理论和基础知识；实验指导部分讲解了24个基本实验。为了兼顾不同专业的需要，适当反映近年来本学科的某些新进展，还收入一些以小字排印的内容。

参加本书编写的单位有黑龙江省卫生学校、福建省卫生学校、鞍山市卫生学校和大连市卫生学校。全书插图统由大连市卫生学校邴盛蛱同志绘制。刘治萌、周壁如、奚平、陈湘琴、汪本炎、郭礼福、王士秀、王永才等老师曾热情参加本书审稿会议，提出许多宝贵意见，对他们谨致衷心感谢。

由于编写时间仓促，水平所限，必定有错误或欠妥之处，尚希读者不吝珠玉，有以教我，俾再版时能够得到进一步修订。

本教材编写组

1984年11月

目 录

第一章 绪 论	1	白细胞	27
第一节 概 述	1	血小板	29
生理学研究的对象和目的	1	第四节 血液凝固和纤维蛋白溶解	30
生理学研究的指导思想和方法	1	血液凝固	30
第二节 生命活动的基本特征	2	纤维蛋白溶解	32
新陈代谢	2	第五节 血量、输血与血型	33
兴奋性	2	血 量	33
第三节 细胞膜的物质转运功能	3	输血和血型	34
被动转运	3	第三章 血液循环	37
主动转运	5	第一节 心脏生理	37
入胞和出胞	6	心肌细胞的生物电现象	37
第四节 细胞的生物电现象	7	心肌的生理特性	39
静息电位及其产生原理	7	理化因素对心肌活动的影响	43
动作电位及其产生原理	8	心动周期中的主要变化	44
兴奋的引起和传导	9	心输出量及其影响因素	47
第五节 细胞间的相互联系和 信息传递	11	第二节 血管生理	49
神经肌肉接头处的兴奋传递	11	各类血管结构和功能特点	49
激素向靶细胞的信息传递	12	血压和血流	49
第六节 肌细胞的收缩运动	12	微循环	53
骨骼肌的兴奋-收缩耦联	13	组织液和淋巴液的循环	54
骨骼肌收缩的机理	14	第三节 心血管活动的调节	55
骨骼肌的收缩形式	14	神经调节	55
第七节 机体活动的调节	15	体液调节	58
神经调节	16	第四章 呼 吸	60
体液调节	17	第一节 肺通气	60
第二章 血 液	19	呼吸道、肺泡、胸廓的构造和功能	60
第一节 概 述	19	呼吸运动	61
体液和内环境	19	胸内压及其生理意义	62
血液的组成和有关的特性	20	肺容积	63
血液的功能	21	肺通气量	64
第二节 血 浆	21	第二节 气体的交换和运输	65
血浆的化学成分	21	气体的交换	65
血浆的理化特性	23	气体在血液中的运输	67
第三节 血细胞	24	第三节 呼吸运动的调节	69
红细胞	24	呼吸中枢与呼吸节律	69

呼吸运动的反射性调节	70	影响肾小管和集合管重吸收的因素 ...	101
第五章 消化和吸收	73	第四节 尿的排放	103
第一节 机械性消化	73	膀胱和尿道的神经支配	103
咀嚼和吞咽	73	排尿反射	103
胃的运动和排空	74	第八章 感觉器官	105
小肠运动	75	第一节 概 述	105
大肠运动	75	第二节 视觉器官	105
第二节 化学性消化	76	眼折光系统的功能	106
唾液的性质、主要成分和作用	76	眼感光系统的功能	108
胃液的性质、主要成分和作用	76	第三节 位听觉器官	109
小肠内消化液的组成和作用	77	外耳和中耳的功能	109
第三节 吸收过程	80	内耳的功能	109
小肠在吸收中的重要地位	80	第四节 位觉功能	111
几种主要营养物质的吸收	80	第九章 神经系统	113
第四节 粪便的形成和排便	82	第一节 概 述	113
大肠液及细菌的作用	82	神经元和神经纤维	113
排便反射	82	兴奋在神经纤维上的传导机制	113
第五节 消化功能的调节	82	神经纤维的兴奋传导特征	114
神经性调节	83	第二节 反射中枢	114
体液性调节	84	突触的结构	115
第六章 能量代谢和体温	86	突触传递过程	115
第一节 能量代谢	86	突触传递特征	116
机体能量的来源、转移和利用	86	反射活动的协调	117
影响能量代谢的因素	87	第三节 神经系统的感觉功能	118
基础代谢	87	感觉传入系统	118
第二节 体温及其调节	88	丘脑及大脑皮质的感觉分析功能	119
体温的正常值及其生理变动	88	痛 觉	121
机体的产热和散热	89	第四节 神经系统对躯体运动的	
体温调节	90	调节	122
第七章 肾脏的排泄功能	93	肌紧张及牵张反射	122
第一节 概 述	93	脑干对肌紧张的调节	122
尿的化学组成及其理化性质	93	小脑及纹状体对躯体运动的调节	123
肾脏的结构特点	94	大脑皮质对躯体运动的调节	124
肾脏的血液供应特点	96	第五节 神经系统对内脏功能的	
第二节 尿的生成	96	调节	125
肾小球的滤过作用	96	植物神经系统的功能	126
肾小管和集合管的重吸收作用	97	植物神经末梢兴奋传递	127
肾小管和集合管的分泌与排泄作用	99	植物神经功能的中枢性调节	130
第三节 影响尿生成的因素	100	第六节 脑的高级功能	130
影响肾小球滤过的因素	100	条件反射	130

人类大脑皮质活动特征——两个信号系统	132	实验三 坐骨神经腓肠肌标本制备·····	157
觉醒和睡眠	132	实验四 刺激与反应	158
第十章 内分泌	134	实验五 红细胞渗透脆性的观察 (示教)	158
第一节 概述	134	实验六 影响血凝因素的观察	159
内分泌腺和激素的概念	134	实验七 ABO 血型的鉴定	159
内分泌系统的生理意义	134	实验八 蛙心搏动观察及心搏起源 的分析	160
激素的化学组成及分类	134	实验九 影响离体蛙心活动的因素 观察(示教)	161
激素的一般特征及作用原理	134	实验十 期前收缩及代偿间歇 (示教)	161
第二节 甲状腺和甲状旁腺	136	实验十一 人体心音的听取	162
甲状腺激素的合成及释放	136	实验十二 人体动脉血压的测定	163
甲状腺激素的生理作用	136	实验十三 蛙肠系膜微循环观察	163
甲状腺激素分泌的调节	137	实验十四 影响哺乳动物血压因素 的观察(示教)	164
甲状旁腺素的生理作用	138	实验十五 肺活量的测定	166
降钙素的生理作用	138	实验十六 呼吸运动的调节	166
甲状旁腺素及降钙素的分泌调节	139	实验十七 胸膜腔负压的观察 (示教)	167
第三节 胰 岛	139	实验十八 兔胃肠运动的观察 (示教)	167
胰岛素的作用及其分泌调节	139	实验十九 影响尿生成的因素 (示教)	168
胰高血糖素的作用	140	实验二十 瞳孔对光反射	169
第四节 肾上腺	140	实验二十一 色盲检查	169
肾上腺皮质激素	140	实验二十二 脊蛙反射和反射弧 的分析	170
肾上腺皮质激素分泌的调节	141	实验二十三 小脑破坏(示教)	171
肾上腺髓质激素的生理作用	142	实验二十四 去大脑僵直(示教)·····	171
第五节 脑垂体	143	本教材主要参考书目及插图来源	172
腺垂体激素及其生理作用	143		
腺垂体的分泌调节	144		
神经垂体激素的来源和生理作用	145		
第六节 性 腺	145		
睾丸的内分泌功能	145		
卵巢的内分泌功能	146		
实验指导	150		
实验须知	150		
实验一 生理常用仪器及溶液 配制简介	151		
实验二 生物电现象(示教)	155		

第一章 绪 论

第一节 概 述

生理学研究的对象和目的

生物机体指的是一切有生命的个体。在生物机体内进行的各种功能活动或生理过程，例如循环、呼吸、消化等等，统称为生命活动。生理学就是研究生物机体内这些正常生命活动规律的科学。生理学根据其研究对象的不同，可分为动物生理学、植物生理学、人体生理学等。本书讲的是人体生理学，习惯上简称生理学。它研究的对象主要是人体的正常生命活动规律。人体生命活动的发生原因、条件、影响因素以及与体内外各方面的关系，都与生命活动的规律有关，研究以上这些方面并进而认识正常生命活动规律，不仅为医学基础课程，而且也为本专业其他课程提供必要的理论基础。有了这个基础，我们才有可能认识病理变化的规律，加深理解有关的诊治方法，并进而认识疾病、防治疾病，更好地为人民健康服务。这就是我们研究和学习生理学的主要目的。

生理学研究的指导思想和方法

生命活动虽然十分复杂，但归根结底是物质运动。既然如此，它必然一般地服从于物理学和化学的规律。例如，等量的糖，在体内氧化或在体外燃烧时所消耗的氧、产生的二氧化碳和释放的能量都是一样的，这表明它并不是什么神秘不可知的东西。所不同的，只是体内的这种氧化过程在远低于 100°C 的条件下即可完成，这又表明生命活动毕竟是一种特殊而又复杂的物质运动，不能简单地套用一般理化公式。所以研究生理学既要反对认为有什么超物质的力量在生物机体内起作用的唯心主义观点；又要反对把高级运动形式的生命活动等同于一般理化过程的形而上学观点。应该以辩证唯物主义思想为指导，力求揭示其特殊的本质和规律性。

在人体内，各器官、各系统自身以及它们相互之间，都存在着矛盾。这些矛盾互相斗争，又互相联系，从而使人体成为一个对立统一的整体。生命活动就是在矛盾的统一体中进行和发展的。例如，新陈代谢中的合成代谢与分解代谢，体温调节中的产热与散热过程等等，就是一些明显的例证。因此，我们研究生理学必须运用对立统一的观点，以求正确认识复杂的生命活动。

生理学知识固然来源于生产实践和医疗实践，但系统的、深入的生理学理论主要还是通过动物实验获得的。动物实验的方法很多，总的来说可分为急性和慢性实验两大类。研究的水平也不一样，可以从整体水平研究各系统之间以及机体与环境之间的相互关系，从器官、系统水平研究各器官及系统的功能，以及从细胞、分子水平研究生命活动的基本物理化学过程等等。无论采取什么方法，选用什么水平进行研究，重要的是必须积累

大量实验资料，实事求是地进行分析综合，然后才可作出结论；同时还要注意，不可将动物实验的结果，无区别地移用于人体。总之，要注意理论联系实际，讲究科学求实精神。

第二节 生命活动的基本特征

一切有生命的结构，无论是单个的细胞还是复杂的机体，都具有一些生命活动的基本特征。其中尤其重要的是新陈代谢和兴奋性。

新 陈 代 谢

生物机体与环境不断地进行着物质和能量交换，以实现自我更新。这个过程称为新陈代谢。

新陈代谢包括方向不同的两个过程，即合成代谢(同化作用)和分解代谢(异化作用)。前者指的是从所在环境中摄取各种营养物质，合成自身成分的过程。例如，利用氨基酸合成机体本身的组织蛋白。后者指的是，机体分解自身成分并将分解后的小分子产物排放到周围环境的过程。例如，把组织蛋白最终分解为二氧化碳、水和简单的含氮物质。

新陈代谢还包括相伴发生的两个方面，即物质代谢和能量代谢。物质分解时要释放能量，其中一小部分供机体活动的需要，大部分则以热的形式释放于体外；而物质合成时又要吸收能量并以势能的形式贮存起来。因此我们把物质的合成和分解代谢称为物质代谢，把伴随物质代谢而发生的能量释放、转化和利用过程称为能量代谢。

由上所述，可以看出：合成代谢与分解代谢是对立统一、相互制约的；而物质代谢与能量代谢又是紧密相联、相互依存的。细胞或机体通过新陈代谢进行着自我更新，各种生命活动也无不以新陈代谢为其物质基础。新陈代谢一旦停止，生命活动也就随之告终。因此可以认为新陈代谢是生命活动的最基本的特征。

兴 奋 性

机体生存的环境经常在变化，这些变化必然影响机体的各种生命活动。然而机体却能很好地适应这些变化，始终维持着机体内环境的相对恒定，并与外环境取得动态平衡，从而发展了生命活动并能继续生存下去。这一适应过程的实现首先有赖于机体能感受环境的各种变化。例如，外环境温度升高时，机体散热活动将加强(出汗或出汗增多)，以防止体温过高；外环境温度下降时，机体散热活动将减弱(出汗减少或停止)，以防止体温过低。

机体或细胞能感受环境变化而发生相应变化的能力或特性，称为兴奋性。

凡能为细胞或机体感受的环境变化，统称为刺激；而由刺激所引起的细胞或机体的一切变化，概称为反应。在生理学中，刺激与反应乃是一对密切联系着的概念，两者具有因果关系，即刺激是因，反应是果。这就是说，由于刺激的作用，机体才能发生反应；而机体发生的反应，又必然是某种刺激所造成的结果。

能成为刺激的种类相当繁多，按其性质可分为物理性刺激(机械、温度、电流、声波、光波、放射线等)、化学性刺激和生物性刺激等等。由于电流的强度和通电时间都是

易于控制的，而且它们对组织的损伤较小，所以电刺激在生理学研究中最常用。

不过，任何环境变化必须具有足够的强度和作用时间，才能成为刺激。刺激的强度过小或作用时间过短均不能引起反应。如果保持一定的刺激作用时间不变，那么这时能引起组织细胞发生反应的最小刺激强度就叫刺激阈或阈强度。具有阈强度的刺激，称为阈刺激；小于阈强度的刺激，称为阈下刺激；大于阈强度的刺激，称为阈上刺激。组织细胞的刺激阈高低，可反映组织细胞兴奋性的高低。刺激阈越低，说明组织细胞对该种刺激越敏感，即兴奋性越高；反之，刺激阈越高，说明组织细胞对该种刺激越不敏感，即兴奋性越低。在相同的刺激条件下，组织细胞的兴奋性还与组织的种类有关，例如神经组织、肌肉组织和腺组织的兴奋性就比较高，因此我们常把它们称为可兴奋组织。

细胞或机体对刺激的反应是多种多样的。例如，神经组织的反应表现为电活动方面的变化，腺组织的反应表现为分泌活动方面的变化，肌肉组织的反应则表现为收缩和舒张方面的变化等等。尽管各种组织发生反应时表现不同，但归纳起来无不具有两种带共性的基本反应形式，即兴奋和抑制。兴奋是指组织由相对静止转为活动的状态，或由弱活动变为强活动的状态。例如，以电流刺激动物的交感神经，可引起动物的心搏动加速，即为一种兴奋的反应。抑制则相反，指的是组织由活动状态转为相对静止状态，或由强活动变为弱活动的状态。例如，刺激迷走神经可见心搏动减慢或停止，即属于一种抑制的反应。

生命结构由一个刺激所引起的反应究竟是兴奋还是抑制，要看刺激的质和量以及组织当时的功能状态而定。同类刺激，由于强弱不同，反应可以不同。例如，中等强度的疼痛刺激常可引起兴奋，表现为心跳加强、血压上升等。但过于强烈的疼痛刺激反而引起抑制，表现为心跳减弱、血压下降，甚至意识丧失。同样的刺激，由于机体功能状态不同，引起的反应亦可不同。例如，同样的食物，对于饥饿的人和饱食的人来说，引起的反应可能就不一样。

总之，生物机体对环境变化作出适应性反应，乃是生物机体普遍具有的功能，也是生物机体赖以生存的必要条件。所以兴奋性也是生命活动的基本特征。

第三节 细胞膜的物质转运功能

细胞膜对物质的转运功能，同新陈代谢的正常进行和兴奋的产生有着密切联系。细胞膜对物质的转运方式，常见的有以下几种。

被动转运

溶液中的任何物质，包括水分子及溶于其中的溶质分子和离子，由于其自身的不规则热运动，同一物质总是从高浓度区向低浓度区移动。这种连续不断的定向运动，称为扩散。扩散的动力来自该物质本身的浓度差，并不额外消耗能量，故属于被动转运。若其他条件不变，扩散将一直进行到浓度差消失为止。

物质经细胞膜从高浓度一侧向低浓度一侧的转运与上述过程基本相同，只是因为有了细胞膜这道屏障，才表现出某些特征。大家知道，细胞膜的基本结构是脂质双分子层和镶嵌于其中的多种功能不同的蛋白质，因而各种物质通过这种膜时必然会遇到不同的

通透条件，表现为不同的转运方式。

一、单纯扩散

一些脂溶性的小分子可迅速溶解于脂质双层中，故单靠浓度差为动力即可由高浓度一侧经膜扩散到低浓度一侧。这种扩散过程，称为单纯扩散。单纯扩散的特点是速率大，扩散量主要取决于浓度差和膜的通透性。

体内的溶质绝大多数属于水溶性或水溶性较高的分子或离子，能靠单纯扩散转运的物质种类有限。据目前所知，只有 O_2 和 CO_2 确实是依靠单纯扩散转运的。尽管如此，若从机体必须不断地、迅速地摄入 O_2 和排出 CO_2 这一事实考虑，那么具有上述特点的单纯扩散无疑是十分重要的。

二、易化扩散

一些不溶于或难溶于膜的脂质双层中的分子或离子，本来不能或极难经膜扩散，但依靠细胞膜上的特殊镶嵌蛋白却使它们由高浓度一侧向低浓度一侧的经膜扩散变得容易起来，于是我们把这种转运叫做易化扩散。

按照目前所知，参与易化扩散的镶嵌蛋白有载体蛋白和通道蛋白两类，所以易化扩散又可分为如下两种类型。

1. 以载体为中介的易化扩散

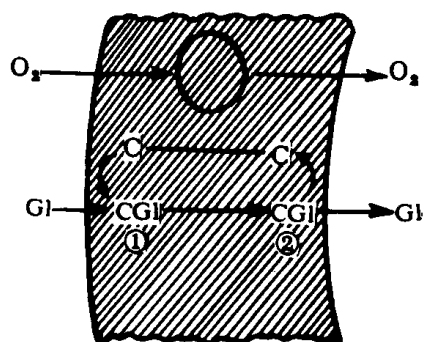


图 1-1 物质经膜脂质双层的扩散

上面为 O_2 的单纯扩散，下面为葡萄糖的易化扩散，C 代表载体，Gl 代表葡萄糖

载体蛋白（简称载体）的作用，可能是在细胞膜的一侧与某物质相结合，然后再通过本身的变构作用，将其运往膜的另一侧（图 1-1）。

载体转运有三个主要特点：一是它具有高度的特异性，即一类载体只能转运一类物质，如葡萄糖载体只能转运葡萄糖，氨基酸载体只能转运氨基酸等等。这种情形如同一把钥匙只能开一把锁似的。二是它显示饱和现象，即扩散量达到一定限度时，即使再加大浓度差，扩散量也不再随之增加。这可能是因为载体数目有限的缘故，因为如果被转运的物质数量太大，一经达到载体的最大结合能力时，扩散量也就不会再增加了。三是有竞争性抑制现象，即一种载体如果对两种结构相似的物质都有转运能力，当这两种物质同时存在时，则一种物质浓度的增加，将竞争性地占据一定数量的结合点，从而使另一种物质的转运减少。

通过这种方式转运的是一些小分子的有机物质，如葡萄糖、氨基酸和其他简单的有机分子。

2. 以通道为中介的易化扩散 通道蛋白（简称通道）的作用，可能是在一定电位差或某种神经递质的作用下，通过本身的变构作用，在其内部形成一个“沟道”，使被转运的物质得以从高浓度一侧移向低浓度一侧。通道虽然具有一定的特异性，但并不像载体那样严格。另外，通道转运也不表现饱和现象，通道一经开放，物质经细胞膜的扩散便完全取决于影响扩散的纯物理性因素了。

属于此种方式转运的物质是一些简单的离子，诸如 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 等。

主动转运

假定膜对某物质具有通透性，此时，如果任其继续扩散下去，根据扩散原理，膜内外浓度不同的同种离子最终必将趋于平衡。结果物质转运将因失去浓度差所赋予的势能而停止下来。然而正常情况下，膜内外离子的分布却总是不均匀的（图1-2）。正是这种不均匀分布才为某些物质通过扩散实现交换提供了动力，为细胞产生兴奋准备了条件。显而易见，要维持这种不均匀分布，某些物质必须逆着浓度差，通过膜由低浓度一侧向高浓度一侧移动。这是一个耗能的主动过程。因此，我们把这种形式的物质转运称作主动转运。

从需要耗能的角度考虑，主动转运同我们日常所熟悉的“引水上山”很相似。我们知道“引水上山”所需的能量通常是通过泵来提供的，然而细胞膜主动转运物质所需要的能量又是靠什么提供的呢？

经过科学家们多年研究，现已知道原来镶嵌在细胞膜上的蛋白质当中，就有一类可能时刻起着“泵”的作用，而主动转运所需要的能量就是通过它获取的。因此这类特殊的镶嵌蛋白质又被称为泵蛋白。细胞膜上的泵蛋白，按其所转运的物质不同，可分为钠泵、钾泵、钙泵等等。它们都能各自转运相应的离子。

由于 Na^+ 的泵出和 K^+ 的泵入这两个过程经常“耦联”在一起，所以叫做钠-钾泵，简称钠泵。它是一个十分重要的物质转运泵，普遍存在于各种细胞的细胞膜上。

钠泵的作用就是逆着浓度差主动把细胞内的 Na^+ 移向膜外；同时把细胞外的 K^+ 移向膜内，从而保持了各该离子在膜内外的不均匀分布。

关于 Na^+ 、 K^+ 经膜转运的具体机理虽然还不完全清楚，但近年来的大量实验研究证明：钠泵实际上就是镶嵌在膜上的一种特殊蛋白质，它本身具有三磷酸腺苷酶（ATP酶）的性质，而且这种酶只在细胞内 Na^+ 浓度增高或细胞外 K^+ 浓度增高时，或者说以此作为激发条件它才能被激活，分解三磷酸腺苷（ATP，是一种高能化合物，遍存于细胞之中）而获得能量，并用来逆着浓度差将细胞内的 Na^+ 泵出细胞外；同时把细胞外的 K^+ 泵入细胞内。因此，钠泵按其化学本质又称为 Na^+ - K^+ 依赖式ATP酶。

这种酶已经初步提纯，被认为是一种分子量在25万左右的糖蛋白，而且目前还能把提纯的 Na^+ - K^+ 依赖式ATP酶“组装”到人工制成的脂质双层或其他形式的人工膜中，结果这种本来不具有 Na^+ 、 K^+ 主动转运能力的人工膜，在有ATP存在的条件下竟然获得了类似细胞膜那样的对 Na^+ 、 K^+ 的主动转运能力。这是通过科学实验使人们预想的理论得

细胞外液		细胞内液
Na^+	142	10mmol/L
K^+	5	141mmol/L
Ca^{2+}	2.5	0.5mmol/L
Mg^{2+}	1.5	29mmol/L
Cl^-	103	4mmol/L
HCO_3^-	28	10mmol/L
磷酸盐	4	25mmol/L
SO_4^{2-}	0.5	1mmol/L
葡萄糖	5.0	0~1.1mmol/L
氨基酸	0.3	2 g/L
胆固醇	5	0.2~9.5 g/L
磷脂质		
中性脂肪	4.6	2.6 kPa
P_{O_2}		
P_{CO_2}	6.1	6.7 kPa
pH	7.4	7.0

图 1-2 细胞外液和细胞内液的化学成分

到证实的一个出色的例子。

这里还有两个例子很能说明 Na^+ - K^+ 依赖式 ATP 酶与 Na^+ 、 K^+ 转运的关系，以及 Na^+ 、 K^+ 转运实际是一种耗能的代谢过程。①实验表明：各种细胞膜的 Na^+ - K^+ 依赖式 ATP 酶的浓度与各该细胞膜对 Na^+ 和 K^+ 的正常转运速率成正比。②实验提示：红细胞膜两侧 Na^+ 、 K^+ 的电化学梯度，只要血液温度为 38°C 左右时，就能保持不变。但若将血液降温，则此等离子的主动转运系统即因低温而受到抑制；结果， Na^+ 顺着浓度梯度进入红细胞内， K^+ 则顺着浓度差同时扩散出细胞而进入细胞外液；最后，膜内外 Na^+ 和 K^+ 浓度趋于一致而达到平衡。如果将血液重新加温至 38°C ，只要血浆中有葡萄糖一类的能源存在，又有可供细胞利用的 O_2 ，此等离子的主动转运即可逐渐恢复， Na^+ 被泵出细胞外， K^+ 被泵入细胞内，终于又建立起原来的电化学梯度。另外，若在保存红细胞的溶液中添加抑制能量代谢的药物，如氰化物时，则膜内外 Na^+ 和 K^+ 的浓度差亦将逐渐消失，而且再也不能恢复原来的主动转运能力。

机体中的不同细胞，它们的钠泵所消耗的能量占各该细胞的总耗能量的百分比虽不尽相同，但平均说来，可占机体总耗能量的 20% 左右。从钠泵耗能之多，也足以看出 Na^+ 、 K^+ 主动转运对于生命活动是何等的重要。

入胞和出胞

上述三种形式的物质经膜转运，主要涉及的是小分子物质或离子的转运。至于某些大分子物质或物质团块的进出，则需通过膜的更为复杂的功能变化才能实现。

一、入胞

入胞系指细胞外某些物质团块（可能是侵入体内的细菌、病毒或血浆中的大分子蛋白等）进入细胞的过程。这时如进入的物质为固形物，称为吞噬（图 1-3），如进入的物体为液体，则称为吞饮。

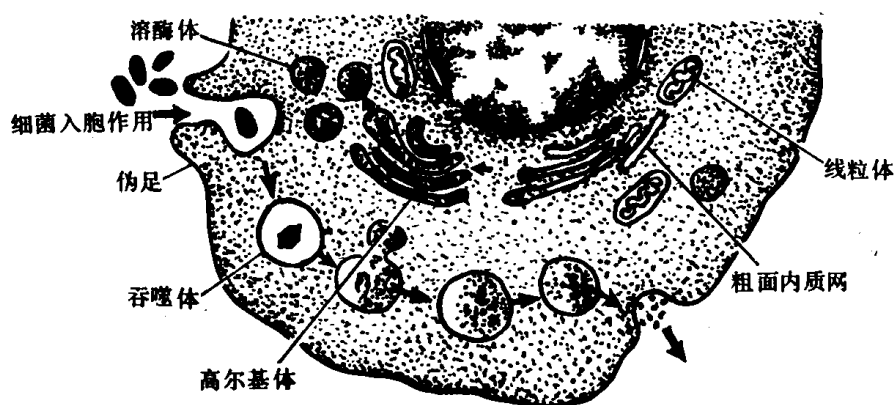


图 1-3 白细胞吞噬和消化细菌的示意图

二、出胞

出胞是指某些大分子物质或物质团块由细胞排出的过程（图 1-4）。各种细胞的分泌活动就是出胞的一种主要表现形式。例如，外分泌腺分泌酶原颗粒和粘液到腺管的管腔中去，内分泌腺把激素分泌到细胞外液中去等等。

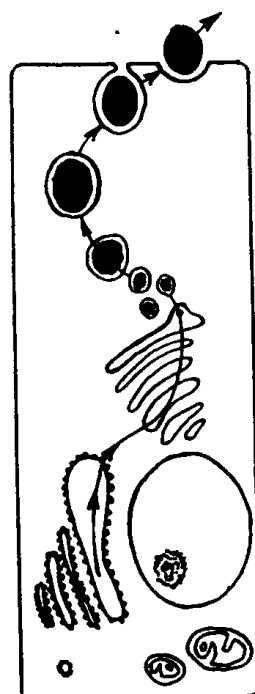


图 1-4 分泌物的出胞过程

表示分泌囊泡逐渐向细胞膜内侧面靠近，两者的膜相互融合，融合处膜断裂，分泌物排出，而后囊泡膜成为细胞膜的组成部分

第四节 细胞的生物电现象

细胞或组织不论是安静时或活动时，都伴有电现象。这种电现象称为生物电。生物电现象与细胞兴奋的产生和传导有着密切关系，现以神经细胞为例，简要介绍一下细胞的生物电现象。

静息电位及其产生原理

一、静息电位的概念及特征

将一条单个的神经纤维分离出来，把连在阴极射线示波器的两个电极，一个放在浸有神经纤维的溶液中，另一直径 $1\mu\text{m}$ 以下的微电极置于安静状态下的神经表面，此时可见到示波器上的光点在 0mV 作横向扫描（图 1-5A）。不仅如此，即使沿着膜表面任意移动微电极，扫描情况依然不变。这表明细胞表面各处的电位是相等的。但若将微电极尖端刺入神经纤维内，则光点立即下降到 -90mV ，并以此水平继续扫描（图 1-5B）。这表明细胞膜两侧（或跨膜）存在着电位差，膜外较正，膜内较负。组织细胞在安静状态下，存在于膜两侧的这种电位差称为静息电位。组织细胞在安静状态下膜内外的这种分极状态，叫做极化。大多数细胞的静息电位是稳定的，但各种细胞的静息电位数值却有差异，就神经纤维来说为 $-70\sim-90\text{mV}$ 。

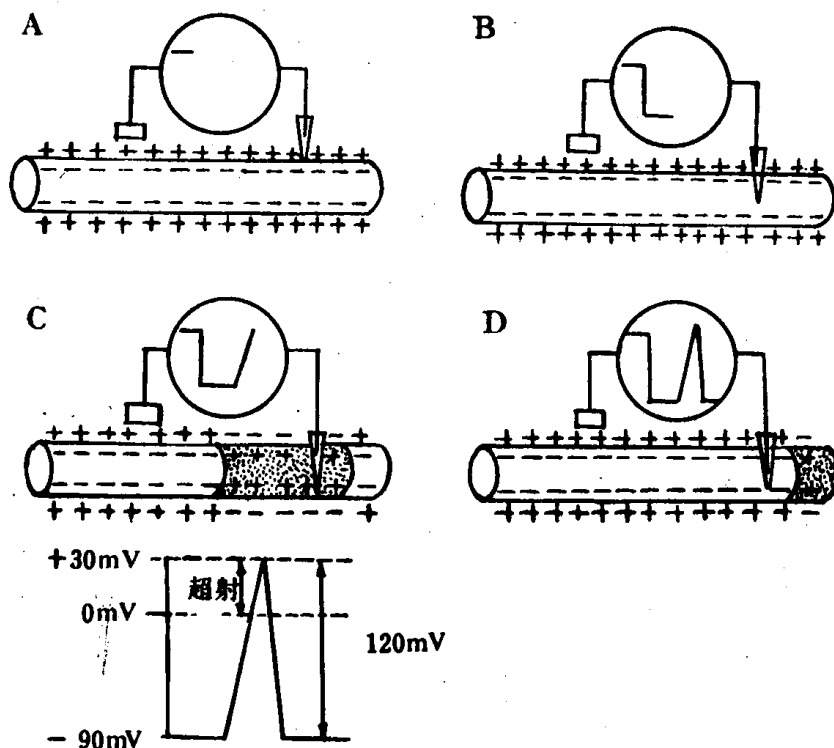


图 1-5 静息电位与动作电位

在近代生理学文献中，一些过去单纯用来描述膜两侧电荷分布状态的术语至今仍被沿用。例如，把细胞安静状态时膜两侧存在的正常数值的内负外正的状态，称为极化。以静息电位为准，如电位差加大（膜内更负），称为超极化；如电位差减小（膜内向正电位变化或膜外向负电位变化），则称为去极化或除极化；若膜电位的极性发生倒转（膜外变负，膜内变正），则称为反极化或超射；细胞先发生去极化，然后又向原来的极化状态恢复，称为复极化。

二、静息电位的产生原理

“离子学说”认为，产生生物电的前提有二：①细胞内外的离子分布和浓度是不同的。就正离子来说， K^+ 浓度膜内要比膜外高20~40倍，而 Na^+ 浓度膜外却比膜内高7~12倍。从负离子来看，膜外以 Cl^- 为主，膜内则以大分子有机负离子(A^-)为主。②细胞膜在不同情况下，对不同离子的通透性并不一样。在静息状态下，膜对 K^+ 的通透性较大，对 Na^+ 的通透性则很小，对膜内大分子 A^- 则无通透性。

由于膜内外 K^+ 存在着浓度差，而且在静息状态下，膜对 K^+ 又有较大的通透性（钾通道开放），所以一部分 K^+ 便顺着浓度差向膜外扩散；膜内带负电荷的大分子 A^- ，由于电荷异性相吸的作用，本来应该随 K^+ 外流，但因不能透过细胞膜而被阻止在膜的内表面，致使膜外正电荷增多，电位变正；膜内负电荷增多，电位变负。这样膜内外之间便形成了一个小的电位差，在膜外排斥 K^+ 外流，在膜内又牵制 K^+ 外流。随着 K^+ 的继续外流，电位差逐渐增大，阻止 K^+ 外流的力量也逐渐增强。当促使 K^+ 外流的浓度差和阻止 K^+ 外流的电位差这两种拮抗的力量相等或达到平衡时， K^+ 的外流便停止下来，使膜内外的电位差保持在一个稳定状态。

在上述过程中， Na^+ 和 Cl^- 等离子虽然也能顺着各自的浓度差和电位差运动，但因静息状态时膜对它们的通透性很小，对总的电位影响不大。因此，可以认为静息电位基本是 K^+ 向外扩散所造成的电-化学平衡电位。

动作电位及其产生原理

一、动作电位的概念与特征

当细胞受刺激兴奋时，在静息电位的基础上可爆发一次迅速的电位变化，这种电位变化称为动作电位。

用图1-5装置继续进行观察。如在神经纤维一端给予一个短促而有足够强度的刺激，可看到一个为时仅有数毫秒的电位变化，此即动作电位（图1-5C、D）。动作电位包括一个代表去极化过程的上升相和一个代表复极化过程的下降相。以0 mV电位为界，上升相的下部分为膜的去极化，即原来存在于膜内的负电位迅速变为0电位的那一部分；上升相的上部分是膜的反极化，即膜电位极性倒转，出现膜内电位变正、膜外变负的那一部分。上升相的电位变化幅度，约为120 mV（从静息水平-90 mV到反极化的顶端+30 mV，两者按绝对值相加计算）。由于动作电位的曲线很像一个尖峰，故又称为峰电位。

二、动作电位的产生原理

动作电位与静息电位，两者的产生原理相似，都和细胞膜的通透性以及离子运动有

关。当细胞受到一定的刺激时,可引起 Na^+ 通道的突然完全开放和 K^+ 通道的趋向封闭。既然膜外 Na^+ 浓度远比膜内为高(约为 10:1),而膜内电位又比膜外为负,所以膜外 Na^+ 便能顺着浓度差和电位差快速大量进入膜内,使膜内电位急剧上升,结果不仅原来的负电位消失(去极化),而且膜内电位终于变得比膜外还高,形成了内正外负的反极化状态。直到促使 Na^+ 内流的浓度差和阻止 Na^+ 内流的电位差,这两种拮抗力量相等时, Na^+ 内流才停止下来。这样就形成了动作电位的上升相。因此,可以认为动作电位的去极化过程(上升相)相当于 Na^+ 内流所形成的电-化学平衡电位。

紧接着膜对 Na^+ 的通透性下降,而对 K^+ 的通透性却大为增加,由于膜内 K^+ 浓度大于膜外,以及此时膜外电位仍然处于较负的状态,故 K^+ 便顺着浓度差和电位差,由膜内流向膜外。这样一来,膜内电位下降,膜外电位升高,两者都阻止 K^+ 的继续外流,直到促使 K^+ 外流的浓度差和阻止 K^+ 外流的电位差,这两种拮抗力量相等或达到平衡时, K^+ 外流便停止下来,膜内外电位又恢复到原来的静息水平,这样就形成了动作电位的下降相。因此,可以认为动作电位的复极化过程(下降相)基本上是 K^+ 外流所形成的电-化学平衡电位。

当膜复极化结束后,膜电位虽然已经恢复,但膜内外的离子分布与静息状态时相比,仍稍有不同。即膜内 Na^+ 浓度稍有增高,膜外 K^+ 浓度亦稍有增高。如前节所述,这就激活了钠泵的 Na^+ - K^+ 依赖式 ATP 酶。于是钠泵加速运转,将细胞内多余的 Na^+ 泵出细胞外;同时把细胞外增多的 K^+ 泵进细胞内,以恢复静息状态时的离子分布。

综上所述,可见动作电位的去极化过程和复极化过程都和离子的被动转运有关,无需耗能。但动作电位结束之后,膜内外正常离子分布的恢复和维持,以及静息电位的稳定不变,就需要钠泵的运转而消耗能量了。只有如此,才能保证神经细胞新陈代谢的正常进行和兴奋的产生。因此,如果说静息电位是兴奋性的基础,那么,动作电位便是兴奋的重要标志。

兴奋的引起和传导

一、兴奋或动作电位的引起

当细胞受到一定刺激时,首先是细胞对 Na^+ 的通透性逐渐增加, Na^+ 逐渐流入细胞内,遂使细胞内外电位差逐渐减小(去极化)。当膜电位减小到某一临界值时, Na^+ 通道被激活而开放,细胞膜对 Na^+ 的通透性才突然增大, Na^+ 得以迅速大量内流,从而爆发一次动作电位,而使细胞产生兴奋。这个能使膜对 Na^+ 通透性突然增大的临界膜电位数值,称为阈电位。神经和肌细胞的阈电位为 $-50 \sim -70\text{mV}$ 。

阈电位同前面提到的阈强度是两个不同的概念。前者是用膜本身电位去极化的临界值来描述动作电位的产生条件;后者则指的是使膜电位达到阈电位,从而爆发动作电位的最小刺激量。

不论使用什么性质的刺激,如果刺激小于阈强度(阈下刺激),都不能使之爆发动作电位;但刺激一旦达到阈强度或大于阈强度(阈刺激或阈上刺激),便都能爆发动作电位。而且在同一细胞上所产生的动作电位,它们的波形、幅度以及变化过程都一样。这就是说刺激强度不够时动作电位全然不发生;一旦刺激强度足够时,便能以最大的幅值出现。因此,我们便把这个现象形象地叫做动作电位的“全或无”现象。