

全国中等中医药学校教材

生理学

(供中医士、针灸医士、中医护士、中药士专业用)

主编 胡 崎

主审 殷文治

江苏科学技术出版社

3
574
90

全国中等中医药学校教材

生 理 学

（供中医士、针灸医士、中医护士、中药士专业用）

主编 胡 崎

编者 江让炳 曲英杰
吴恒敏 周达喜
胡 崎 奚 平

江苏科学技术出版社

编审人员单位

安徽省芜湖中医学校 胡 崎 江让炳

山东省中医药学校 曲英杰

上海中医学院附属卫生学校 吴恒敏

江西省抚州中医学校 周达喜

浙江省金华卫生学校 奚 平

上海中医学院 殷文治

责任编辑 徐 欣

生 理 学

胡 崎 主编

殷文治 主审

出版：江苏科学技术出版社

发行：江苏省新华书店

印刷：镇江前进印刷厂

开本787×1092毫米 1/16 印张12.5 字数 298,000

1990年8月第1版 1990年8月第1次印刷

印数1—20,000册

ISBN 7—5345—0870—3

R·128

(课)定价：3.20元

前 言

卫生部曾于1960年组织北京、南京、上海、广州、成都等五所中医学院编写了一套中医中级教材,供全国中医学校和卫生学校中医班教学使用;1978年卫生部又组织编写了中等卫生学校有关中医课程的教材,为培养中等中医专业人才做出了贡献。

为适应中等中医药教育事业的发展,加强各专业系列教材的建设,卫生部于1985年8月在山东省莱阳县召开的全国中等中医教育工作座谈会期间,制订了中医士、针灸医士、中药士、中医护士四个专业的教学计划,并组织了中医士、中药士、中医护士专业教材的编写工作,成立了各门教材编审组,实行主编单位和主编人负责制。同年11月及1988年5月在安徽省芜湖市先后召开了本套教材教学大纲两次审定会议,审定了中医士、中药士、中医护士和针灸医士等专业38门中医药课程的教学大纲。为提高教学质量,在编写过程中,力求突出中医特色,体现中专特点;坚持理论联系实际的原则;以教学计划、教学大纲为依据,对本学科的基础理论、基本知识和基本技能进行较为全面的阐述,加强实践性教学内容的比重,并注意各门学科之间的联系,以提高教材的思想性、科学性、启发性、先进性和适用性。

本套教材包括《语文》、《中医基础学》、《中药学》、《方剂学》、《古典医籍选》、《中医内科学》、《中医外科学》、《中医妇科学》、《中医儿科学》、《中医五官科学》、《针灸学》、《推拿学》、《中医学概要》、《中药鉴定学》、《中药炮制学》、《中药药剂学》、《中药化学》、《内科学及护理》、《外科学及护理》、《妇科学及护理》、《儿科学及护理》、《中医食疗学》、《针灸推拿医籍选》、《经络学》、《腧穴学》、《刺灸学》、《针灸治疗学》、《中医伤科学》、《药用植物学》、《解剖学及组织胚胎学》、《生理学》、《病理学》、《微生物与寄生虫学》、《诊断学基础》、《药理学》、《内儿科学概要》、《外科学概要》、《生物化学》等38种,供中医药学校各专业使用。

教材是教师进行教学的主要依据,也是学生获得知识的重要工具。教材只有通过教学实践,并认真总结经验,加以修订,才能日臻完善与提高。为此,希望全国中等中医药学校师生和广大读者,在使用过程中提出宝贵意见,共同为我国中等中医药教材建设做贡献。

全国中等中医药学校教材编审委员会

1988年5月

编写说明

本教材是在国家中医药管理局的组织和领导下,根据全国中等中医药学校教学计划和国家中医药管理局(87)国医教中字第16号文件精神而编写的,供中医士、针灸医士、中医护士和中药士等专业使用。

中等中医药学校以往使用的中医专业生理学教材与西医专业教材相同,难以突出中医专业特点。本书旨在为培养中等中医药人才服务,其编写力求做到:①根据中医专业的培养目标,坚持辩证唯物主义观点,结合祖国医学的整体观念来阐述人体功能活动的基本规律。②重视生理学与中医学基础知识的联系,改变教材的传统编写体系,试按中医基础理论中藏象、经络学说为线安排章节,使在学习现代医学基本知识的同时,联系和复习有关的中医基础理论。③贯彻“少而精”原则,删减或合并与中医专业关系不大的内容,并把一些重难点内容列表总结或比较,力求图文并茂以适合初中毕业生阅读,具有中专特点。④加强对学生临床实践能力的培养,将血压、脉搏、呼吸、体温等与临床关系密切的内容合为一章,并对具有培养学生临床实践能力的人体功能检查作为实验重点要求。⑤适当反映本学科的新进展和应用现代科学研究中医的成果,如介绍了心脏的内分泌功能、脉象的客观研究等内容;同时为适应医学模式转变的需要,增加健康与长寿的内容。此外,鉴于中医各专业(除中医护士外)不开设生物化学,本书安排了少量的生物化学知识。书中印成小字的内容,是供学生自学或不同专业选用。

为了保证教材质量,我们先把“编写设想”寄往全国中等中医药学校和部分高等医学院校广泛地征求意见,再在初稿完成后,召开了两次审稿会议。安徽省阜阳地区卫生学校徐崇立、芜湖中医学校袁银根、广西壮族自治区梧州市卫生学校陈昭仪等高级讲师和广州军区军医学学校汤梅兰副教授、河南省焦作市中医中药学校王振洲讲师等先后应邀参加审稿会议,得到他们的热情帮助和指点。上海医科大学张镜如教授、南京医学院戴义隆教授和四川省达县中医学校龙中奇讲师等还寄来了宝贵的书面意见。书中插图由安徽省滁州地区卫校陈君伯美术师绘制,吴梅初高级讲师协助整理。谨此对关心、支持和帮助本书编写的所有同志表示衷心的感谢。

在编写过程中,编者参考了中等卫生学校教材《生理学》(第三版)和高等医学院校教材《生理学》(供中医、针灸专业用)以及其它中、高级教材与相关资料,并选用了其中若干插图,谨在此致意。由于水平有限,加之编写体系改变,不妥和错误之处难免,欢迎批评指正。

胡 崎

1990年2月

目 录

第一章 总论	(1)
第一节 概述	(1)
一、生理学的研究对象和任务.....	(1)
二、生理学与医学的关系.....	(1)
三、生理学的基本观点.....	(1)
第二节 生命的基本特征	(2)
一、新陈代谢.....	(2)
二、兴奋性.....	(2)
三、生殖.....	(3)
第三节 细胞的基本功能	(3)
一、细胞膜的物质转运.....	(4)
二、细胞的生物电现象.....	(6)
三、兴奋的传布.....	(9)
四、肌细胞的收缩功能.....	(11)
第四节 人体功能活动的调控	(14)
一、人体功能活动的调控方式.....	(15)
二、人体功能调控的自动控制原理.....	(16)
第二章 内环境和血液	(18)
第一节 体液与内环境	(18)
一、体液及其分布.....	(18)
二、内环境稳态及其意义.....	(18)
第二节 血液和血浆	(19)
一、血量和红细胞比容.....	(19)
二、血液的主要功能.....	(19)
三、血浆.....	(19)
四、祖国医学对“血”和“津液”的认识.....	(22)
第三节 微循环和组织液更新	(22)
一、微循环.....	(23)
二、组织液更新.....	(24)
第四节 血细胞与血型	(25)
一、红细胞.....	(25)
二、白细胞.....	(28)
三、血小板.....	(29)
四、血型.....	(30)
第五节 血液凝固和纤维蛋白溶解	(32)
一、血液凝固.....	(32)
二、纤维蛋白溶解.....	(34)

第三章 内脏器官功能	(36)
第一节 心脏生理	(36)
一、心肌细胞的生物电现象	(36)
二、心肌的生理特性及理化因素的影响	(39)
三、心动周期中的主要变化	(42)
四、心输出量及其影响因素	(46)
五、心脏的血液供给	(47)
六、心脏的内分泌功能	(48)
七、祖国医学对“心”的认识	(48)
第二节 肺脏生理	(49)
一、肺通气	(49)
二、肺换气与组织换气	(54)
三、气体的运输	(56)
四、肺脏在酸碱平衡和体液平衡中的作用	(58)
五、肺的非呼吸功能	(58)
六、祖国医学对“肺”的认识	(59)
第三节 胃肠道生理	(60)
一、胃的消化功能	(60)
二、小肠内消化和吸收	(62)
三、大肠的功能	(65)
四、胃肠道激素	(66)
五、祖国医学的“脾胃”概念与消化功能	(67)
第四节 肝脏生理	(68)
一、肝脏在糖、脂肪、蛋白质代谢中的作用	(68)
二、肝脏的生物转化作用	(73)
三、肝脏的排泄功能与胆色素代谢	(74)
四、肝脏其它方面的作用	(76)
五、祖国医学对“肝”的认识	(78)
第五节 肾脏生理	(78)
一、肾脏的泌尿功能	(79)
二、肾脏在水盐代谢和酸碱平衡中的作用	(86)
三、肾脏产生的生物活性物质	(89)
四、祖国医学对“肾”的认识	(90)
第六节 内脏器官活动的整体性	(91)
一、内脏器官活动的相互关系	(91)
二、神经和体液对内脏活动的调控	(91)
三、祖国医学的五脏一体观	(92)
第四章 机体活动的重要体征	(94)
第一节 血压	(94)
一、动脉血压	(94)
二、静脉血压和静脉回心血量	(97)
三、血压的调控	(98)
第二节 脉搏	(101)

一、脉搏的频率与节律·····	(101)
二、脉搏的紧张度与强弱·····	(101)
三、脉搏的传布速度·····	(101)
四、脉搏的波形·····	(101)
五、祖国医学对脉象的认识·····	(102)
第三节 呼吸·····	(103)
一、呼吸频率与节律·····	(103)
二、呼吸运动的调控·····	(104)
第四节 体温·····	(105)
一、体温正常值及其变动·····	(106)
二、产热和散热·····	(106)
三、体温的调控·····	(108)
第五章 机体的调控系统·····	(111)
第一节 感觉器官·····	(111)
一、感受器和感觉器官·····	(111)
二、视觉器官·····	(112)
三、位听觉器官·····	(116)
四、其它感受器·····	(117)
第二节 神经系统生理·····	(118)
一、突触和反射中枢·····	(118)
二、神经系统的感觉功能·····	(122)
三、神经系统对躯体运动的调控·····	(125)
四、神经系统对内脏功能的调控·····	(128)
五、大脑皮层的活动·····	(131)
六、祖国医学对“脑”的认识·····	(135)
第三节 内分泌生理·····	(135)
一、内分泌系统和激素·····	(135)
二、脑垂体与下丘脑·····	(137)
三、甲状腺和甲状旁腺·····	(139)
四、胰岛·····	(140)
五、肾上腺·····	(141)
六、性腺·····	(143)
第六章 健康与长寿·····	(148)
第一节 营养、运动、情绪与健康·····	(148)
一、营养与健康·····	(148)
二、运动与健康·····	(150)
三、情绪与健康·····	(151)
第二节 衰老与长寿·····	(152)
一、人类的平均寿命·····	(153)
二、老年期的生理特点·····	(153)
三、衰老的学说·····	(155)
四、延缓衰老的途径·····	(156)

实验指导	(158)
总论	(158)
一、生理学实验课的基本要求.....	(158)
二、生理学的研究方法.....	(158)
三、手术器械和常用生理实验仪器简介.....	(159)
四、生理实验常用溶液的配制.....	(160)
实验内容	(160)
实验一 坐骨神经腓肠肌标本制备.....	(160)
实验二 刺激与反应.....	(162)
实验三 反射弧分析.....	(163)
实验四 神经干的动作电位.....	(163)
实验五 单收缩与强直收缩.....	(164)
实验六 微循环血流观察.....	(165)
实验七 ABO血型鉴定.....	(166)
实验八 出血时和凝血时测定.....	(167)
实验九 蛙心搏动观察及心搏起源的分析.....	(167)
实验十 蛙心期前收缩和代偿间歇.....	(168)
实验十一 离体蛙心灌注.....	(169)
实验十二 人体心音听取.....	(170)
实验十三 人体心电图描记.....	(170)
实验十四 肺通气功能的测定.....	(171)
实验十五 胸膜腔负压的观察.....	(173)
实验十六 胃肠运动的观察.....	(173)
实验十七 影响尿生成的因素.....	(174)
实验十八 人体动脉血压测量.....	(175)
实验十九 哺乳动物血压的影响因素.....	(176)
实验二十 脉象图的描记和分析.....	(178)
实验二十一 体温测量.....	(179)
实验二十二 视力测定.....	(180)
实验二十三 色盲检查.....	(181)
实验二十四 声波传导途径.....	(181)
实验二十五 瞳孔对光反射.....	(182)
实验二十六 人体腱反射.....	(182)
实验二十七 大脑皮层运动区功能定位.....	(183)
实验二十八 运动时血压、脉搏和呼吸的变化.....	(183)
《生理学》教学大纲(供中医士、针灸医士、中医护士、中药士专业用)	(185)

第一章 总 论

第一节 概 述

一、生理学的研究对象和任务

生理学是一门研究机体生命活动规律的科学。

机体是指包括人体在内的一切生物体。生物体所表现的各种功能活动,统称为生命活动。例如,食物的消化,营养物质的吸收和利用,体内物质代谢和能量转化,代谢产物的形成和排泄,以及整个机体的生长、发育和生殖等等。

由于生物界种属繁多,生理学可划分为许多门类,例如植物生理学、动物生理学、人体生理学等等。在医学领域中,人体生理学简称生理学,它的研究对象为人体的生命活动。

生理学的任务在于揭示生命活动的过程和产生的原理,以阐明生命活动的客观规律。

二、生理学与医学的关系

生理学是一门医学基础学科,与临床医学有着密切关系。从历史发展来看,生理学是随着医学的发展而兴起的,医学的目的是在于认识疾病、防治疾病、增进人民健康、延长人类寿命。因此,医务工作者必须认识和掌握人体的正常功能活动规律,才能根据患者的病理变异,对疾病予以识别和诊断,从而选择适当的治疗方案和护理原则。

同理,只有遵循人体功能活动的客观规律,采取有效的措施,才能达到预防疾病、增进健康和延长人类寿命的目的。医学生学习生理学就是为了掌握人体功能活动的基本规律,学会一定的实验技能,为学习后续的基础医学课和临床课奠定基础。

三、生理学的基本观点

学习和研究生理学,必须运用辩证唯物主义对立统一的观点来看人体的生命活动,才能揭示生命活动的内在联系及其和外界的关系。因此,应具有以下几个基本观点:

功能与结构统一的观点 功能和结构是整个机体相互联系的两个方面,组织结构是功能活动的物质基础,而功能活动则是组织结构的运动形式。一旦组织结构发生病变,则可导致功能活动异常,而长期的功能改变,又可逐渐引起形态结构发生变化。

局部与整体统一的观点 人体由各种细胞、组织和器官所组成,它们各有独特的结构和功能,而这些各自不同的功能,并不是孤立的局部活动,而是整体活动的一个组成部分。并形成不同的功能系统。人体内各器官系统的活动都是互相联系、互相制约、互相影响的,并在神经、体液等因素的调节下,成为统一的整体而进行着有规律的活动。

人体与外界环境的统一观点 人体生活于外界环境之中,并通过不断地与外界环境进行物质交换而生存。因而,外界环境的变化常常直接或间接地影响着人体。例如,一年四季气候变化,人体随着外界温度改变,将以不同的生理活动来适应环境。人类不仅能被动地适应自然,并可通过体力劳动和脑力劳动来改造外界环境,使之符合人类的需要。

祖国医学早在公元前2世纪《黄帝内经》一书中就记载了人体生理、疾病成因和防治原则等方面的理论体系。以“阴阳五行”为最根本的指导思想，运用朴素的唯物主义哲学和辩证的观点来说明人体的生命现象，例如以阴阳、天地、表里等概念来表明人体活动的对立统一规律，以五行生剋来表明人体各脏腑之间的相互依存、相互制约关系。以天人相应说来阐明人体与自然环境的关系，例如用“六气致病”来解释各种疾病的原因。在《素问》生气通天论中，则以自然现象来反映生理现象。祖国医学这种朴素的对立统一观点，在认识人体功能活动，指导临床实践中发挥了巨大的作用。

随着医学科学的发展，为人类健康服务的医学，把它研究的对象——人体，从单纯生物学概念的生物医学模式，转化为包含生物学角度以外的，涉及人的心理和社会因素在内的生物-心理-社会医学模式。同样，我们在学习和研究人体生理活动规律和影响因素时，务必充分注意人们在社会实践活动中的各种活动、社会条件、思想情绪等因素对人体功能活动的影响。

第二节 生命的基本特征

各种生物体或具有生命的结构如细胞、组织、器官等，都具有千姿百态的生命现象，其中标志生命活动的基本特征是新陈代谢、兴奋性和生殖。

一、新 陈 代 谢

新陈代谢是指机体或生命结构与环境不断进行物质交换，实现自我更新的过程。

新陈代谢包括同化作用和异化作用两个对立统一的方面。机体一方面从外界摄取营养物质，经过一系列复杂的化学过程，转变成机体自身的组成成分，实现机体的生长发育和组成成分的不断更新、修复，称为同化作用；另一方面体内的组成成分也不断地破坏、分解，转化为代谢产物，并将其排出体外，称为异化作用。就组织细胞内的物质转化而言，有些较为简单的物质转变成较为复杂的物质，称为合成代谢；反之，有些较为复杂的物质转变为简单的物质，则称为分解代谢。合成代谢常与同化作用相伴行，而分解代谢常与异化作用相伴行。随着物质的转化，同时还伴有能量的吸收、贮存或释放、利用，称为能量代谢。通常物质合成时吸收和贮存能量，物质分解时则释放能量。各种生命活动所需要的能量，都来源于物质代谢。若新陈代谢一旦停止，自我更新就不能进行，能量供应亦告断绝，生命活动也就停止。所以，新陈代谢是生命活动的最基本的特征。

人体与周围环境的物质交换，大致可分为三个互相连续的阶段，即营养物质和氧的摄入，物质在体内的中间代谢，以及代谢终产物的排泄。三者的关系见图1-1。

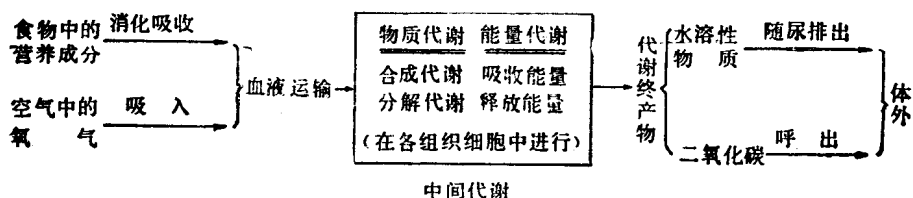


图1-1 新陈代谢过程示意图

二、兴 奋 性

机体生活在一定的环境之中，当所处的环境发生某些变化时，其功能活动也会引起相应的变化。例如，寒冷引起皮肤血管收缩，光亮引起瞳孔缩小，异物进入呼吸道引起咳嗽，细菌侵袭

皮肤引起中性粒细胞发生变形运动和吞噬作用等等。通常把引起机体功能活动改变的环境变化因素,称为刺激。机体接受刺激后所出现的功能活动变化,称为反应。这种机体对刺激发生反应的能力或特性,称为兴奋性。兴奋性是有生命活动的细胞、组织、器官及整个机体所具有的基本特征。

机体接受刺激后的反应,可分为兴奋和抑制两种形式。当细胞、组织或机体受到刺激时,由相对静止状态转变为活动状态,或由弱活动变为强活动,称为兴奋。反之,则称为抑制。不同细胞、组织的兴奋表现形式有所不同,如肌肉组织的兴奋表现为收缩,腺组织的兴奋表现为分泌活动,神经组织的兴奋表现为动作电位的产生与传导。这些不同的反应形式是组织特殊功能活动的表现。

外界环境对机体的刺激,按其性质可分为物理性刺激(如声、光、温度、电流和机械作用等)、化学性刺激和生物性刺激。在生理学实验研究中常采用电刺激。电刺激一般包含强度、持续时间和强度变率(单位时间强度变化速率)三个可调控的变量,通常称之为刺激参数。若把刺激的持续时间和强度变率固定在一定数值,通过改变刺激的强度,可测得引起组织兴奋所需的最小刺激强度,称为阈强度(阈值或刺激阈)。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。测定组织阈强度的大小,可以反映其兴奋性高低。组织兴奋性的高低与阈强度的大小呈反比,即引起某组织兴奋所需的阈强度愈小,说明其兴奋性愈高;反之,阈强度愈大,则兴奋性愈低。

$$\text{兴奋性} \propto \frac{1}{\text{阈强度}}$$

人体各种组织中,通常把兴奋性较高的神经、肌肉、腺体称为可兴奋组织。

机体接受刺激是否发生反应以及发生何种反应,主要取决于刺激的强弱和机体当时的机能状态。刺激强弱不同,可以引起机体的不同反应。例如,针刺治疗中使用提插、捻转等不同手法对有关穴位施加强度不同的刺激,引起机体的不同反应,取得不同的疗效。机体在不同机能状态下,对同样的刺激往往可引起不同的反应。例如,处在饥饿、饱食和不同精神状态下的、对食物的反应是不同的。

三、生殖

任何生物体的寿命都是有限的,衰老、死亡是不可抗拒的规律。因而,一切生物都需要通过生殖过程进行自我复制。生殖是指生物体进行自我复制实现种系延续的生命活动现象。

人类的生殖过程,包括授精、着床、妊娠与分娩等。它由男女两性生殖器官的活动实现的。男性的主性器官是睾丸,它具有产生精子和分泌雄激素的功能;女性的是卵巢,它具有产生卵子和分泌雌激素、孕激素的功能。在生殖器官中除主性器官外,凡参与生殖活动的其他性器官称为附性器官。主性器官与附性器官共同完成生殖过程,是性别的根本差异,生理学上称为第一性征。自青春期后,其他器官所显示出男女各自的特征,称为第二性征或副性征。如男性的副性征表现为长胡须、体格高大、喉结突出、声调较低等;女性的副性征表现为骨盆宽大、乳腺发达、皮下脂肪较多、声调较高等。这些副性征都是在性激素作用下出现的。

第三节 细胞的基本功能

细胞是机体的形态结构和生命活动的基本单位。人体大约由 10×10^{14} 个结构功能不同

的细胞组成各种组织、器官和系统,并各有其独特的功能。体内各种功能活动,都是在细胞活动的基础上发生的。因此,学习细胞的基本功能,是认识人体各系统、器官生命活动原理的重要基础。

一、细胞膜的物质转运

细胞膜覆盖于细胞表面,是细胞与其周围环境之间的屏障。细胞在新陈代谢过程中,需要经常不断地通过细胞膜活动来实现物质转运。

(一) 离子和小分子物质转运

离子和小分子物质转运可分为被动转运和主动转运。

1. 被动转运

单纯扩散 按物理学原理,溶液中的一切分子,无论是溶质或溶剂分子,都在不断地运动中相互碰撞,从而使同种物质的分子或离子,从高浓度处向低浓度处移动的现象,称为扩散。细胞内、外溶液中的各种物质,不借助于其他因素的作用,顺着浓度差(浓度梯度)通过细胞膜的过程,称为单纯扩散。影响单纯扩散的主要因素是膜两侧溶质分子的浓度差和膜对该物质的通透性。由于细胞膜的基本结构是脂质双层,因此只有脂溶性物质才能以单纯扩散方式通过细胞膜。人体内以单纯扩散通过细胞膜的物质主要有 O_2 和 CO_2 等。

易化扩散 一些不溶于脂质的物质,不能通过细胞膜,需依靠细胞膜结构中某些特殊的镶嵌蛋白质的“帮助”,才能顺浓度差或电位差(电位梯度)通过细胞膜而扩散。这种非脂溶性物质在细胞膜特殊镶嵌蛋白质的“帮助”下,顺浓度差或电位差通过细胞膜的过程,称为易化扩散。按镶嵌蛋白作用特点,易化扩散可分为两种类型。

以“载体”为中介的易化扩散 细胞膜上有一类镶嵌蛋白质,它能在膜的一侧与被转运的物质结合,并随着蛋白质的变构,将物质转移到膜的另一侧,这种蛋白质称为“载体”。以“载体”为中介的易化扩散有三个特点:

① **特异性**: 是指一种载体只能选择性的运载具有某种特定化学结构的物质。例如,葡萄糖的载体只能与葡萄糖结合而转运,氨基酸的载体只能与氨基酸结合而转运。

② **饱和现象**: 载体转运扩散量与被转运物质的浓度呈正比。但浓度增加到一定限度时,则扩散量便不再增加,这种现象称为饱和现象。这是由于细胞膜的“载体”和载体的“位点”有一定数目所决定的。

③ **竞争性抑制**: 载体在运载两种化学结构相似的物质时,会产生竞争作用,即一种物质浓度增高而转运增多时,会减弱对另一种物质的转运。

以“通道”为中介的易化扩散 细胞膜上有一类镶嵌蛋白质,在膜两侧的电位差或某些特殊化学物质作用下,蛋白质变构而出现某种孔道,使一些离子如 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 等,由膜的高浓度一侧通过孔道移向低浓度一侧。这种蛋白质称为“通道”蛋白,它所形成的孔道便称为“通道”。通道具有一定的特异性,其激活(或开放)与失活(或关闭)取决于膜两侧的电位差的通道,称为电压依从性通道;取决于某种化学物质作用的通道,称为化学依从性通道。通道的“开放”或“关闭”是细胞具有兴奋性和各种生物电现象的基础。

2. 主动转运 细胞膜内外离子的分布是不均匀的。例如细胞外的 Na^+ 浓度要比细胞内高出 10 倍左右,细胞内的 K^+ 浓度则比细胞外要高出 30 倍左右。细胞膜对 Na^+ 、 K^+ 的通透性有一定限制,但总是经常有些 Na^+ 自细胞外扩散到细胞内, K^+ 自细胞内扩散到细胞外。因

此,需要通过细胞膜本身的耗能过程,靠膜上泵蛋白转运,逆浓度梯度将扩散到细胞内的 Na^+ 转运到膜外,扩散到细胞外的 K^+ 转运到膜内。这种借助泵蛋白的作用,通过细胞膜本身的耗能过程,使物质分子或离子逆浓度差或电位差的跨膜转运,称为主动转运。

泵蛋白简称泵,是一类镶嵌在细胞膜中的特殊蛋白质,具有使物质逆浓度梯度跨膜转运的功能,依其转运的物质不同而命名,例如,钠泵、氯泵、钙泵、碘泵等。主动转运的能量是由 ATP 分解所提供的。

目前研究较为充分的是钠、钾离子的主动转运。镶嵌在细胞膜转运 Na^+ 、 K^+ 的蛋白质,可使细胞内的 Na^+ 泵出,细胞外的 K^+ 泵入,两种过程经常偶联在一起,故称为钠-钾泵,简称钠泵。钠泵的化学物质就是 Na^+ - K^+ 依赖式 ATP 酶蛋白。当细胞内 Na^+ 浓度增高、细胞外 K^+ 浓度增高时,可激活此酶,从而使 ATP 分解释放能量,促使钠-钾泵转运,逆浓度梯度将细胞内 Na^+ 泵出,细胞外 K^+ 泵入,以保持细胞内、外 Na^+ 、 K^+ 分布的浓度梯度(图1-2)。

主动转运的另一种形式是伴随 Na^+ 转运的同时转运葡萄糖、氨基酸、 Cl^- 、 HPO_4^{2-} 、儿茶酚胺等其他物质,形成 Na^+ /葡萄糖、 Na^+ /氨基酸、 Na^+/Cl^- 、 $2\text{Na}^+/\text{HPO}_4^{2-}$ 、 Na^+ /儿茶酚胺等形式转运,称为协同转运。它多见于小肠与肾小管。

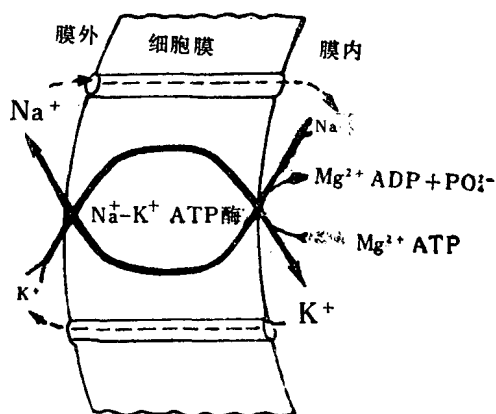


图 1-2 Na^+K^+ 转运示意图

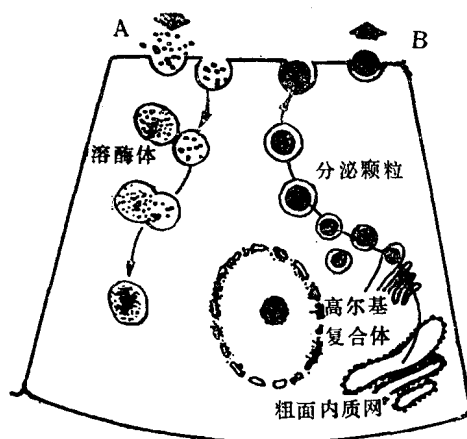


图 1-3 入胞与出胞作用示意图

A: 入胞 B: 出胞

(二) 大分子物质和物质团块的转运

大分子物质和物质团块进出细胞,是通过细胞膜更为复杂的功能变化而实现的,分别称为入胞作用和出胞作用(图1-3)。

1. 入胞作用 细胞外某些大分子物质或物质团块,如大分子蛋白及侵入机体内的细菌、病毒,进入细胞的过程称为入胞作用。若进入细胞内的物质是固体物,称为吞噬;进入的是液体,则称为吞饮。

入胞过程,首先是细胞外的某些物质被细胞膜所“辨认”,然后膜伸出伪足或向内凹陷逐渐包绕该物质,最后膜融合、断裂而成胞浆内的异物小泡,小泡和溶酶体接触、融合,溶酶体内水解酶使小泡内异物被消化分解。例如,白细胞吞噬细菌等异物的过程,就是入胞作用。

2. 出胞作用 细胞内的大分子物质或物质团块,从细胞内排出的过程,称为出胞作用。各种细胞的分泌活动是出胞作用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腔中;内分泌腺分泌激素到细胞外液;神经末梢释放递质到突触间隙或接头间隙等。细胞的

各种分泌物,大都在内质网形成,经高尔基复合体加工并形成分泌颗粒或囊泡,然后逐渐向细胞膜移动,最后囊泡膜与细胞膜融合,并在融合处出现裂孔,将囊泡内容物全部排出,囊泡膜便成为细胞膜的组成部分。

上述细胞膜的物质转运归纳于表 1-1。

表 1-1 细胞膜的物质转运

方 式			基 本 过 程	说 明
离子和小分子物质转运	被动转运	单纯扩散	脂溶性物质,顺浓度差通过细胞膜的过程	扩散速率取决于膜的通透性和膜两侧物质浓度差
		易化扩散	非脂溶性物质,借助于细胞膜的载体蛋白或通道蛋白的作用,顺浓度差或电位差通过细胞膜的过程	载体蛋白具有结构特异性、饱和现象和竞争性抑制。 通道蛋白的激活(开放),依从于膜的电位差或某些化学物质的作用
	主动转运(泵转运)		由 ATP 供能,借助于细胞膜的“泵”蛋白转运,使小分子或离子物质逆浓度差或电位差通过细胞膜的过程	“泵”是镶嵌在细胞膜上的一类特殊蛋白质。例如钠-钾泵(简称钠泵)就是 $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ 依赖式 ATP 酶蛋白
大物质团块物质转运	入胞作用(内吞)		某些大分子或团块物质,进入细胞内的过程,称为入胞作用	固体物质进入细胞内称为吞噬;液体物质进入细胞内称为吞饮
	出胞作用(外吐)		细胞内的物质(如激素、酶及某些代谢产物)运送到细胞外的过程,称为出胞作用	激素和酶运出细胞称为分泌;代谢产物运出细胞称为排出

二、细胞的生物电现象

生物电是生命活动过程中的一种普遍现象。随着电子工业技术在生理学研究中的应用,电生理学的内容日益丰富。细胞的生物电现象与兴奋产生、传布有着密切关系。

(一) 细胞膜的静息电位和动作电位

用微电极技术和阴极射线示波器,可以观察细胞膜的静息电位和动作电位等生物电现象。

静息电位 细胞处于生理静息状态下,将连接阴极射线示波器的两个电极置于细胞膜表面时,示波器荧光屏上不显示电位变化,其光点在 0 毫伏(mV)处沿 X 轴扫描,呈一条直线(图 1-4A)。当将其中的微电极尖端刺入细胞膜内侧的一瞬间,荧光屏上的扫描线立即降低。由此证明细胞处于生理静息状态时,膜内电位低于膜外,膜外呈正电位,膜内呈负电位,这种膜内、外的电位差称为跨膜静息电位,简称为静息电位(图 1-4B)。例如,哺乳动物的神经、肌肉其静息电位为 $-70 \sim -90 \text{ mV}$ 。这种以细胞膜为界,呈膜外为正,膜内为负,并稳定于一定数值的静息电位的状态,称为极化状态。若静息电位的数值向负值增大方向变化,称为超极化。超极化时细胞的兴奋性降低,表现为抑制过程。反之,细胞发生兴奋过程时的膜电位向负值减小的方向变化,直至膜内电位高于膜外,称为去极化(除极)。在发生去极化以后,膜电位又恢复到原初的极化状态,称为复极化。

动作电位 各种可兴奋细胞受到阈刺激或阈上刺激时,在示波器的荧光屏上可观察到,细

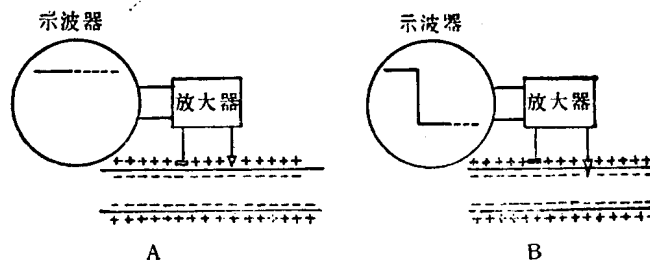


图 1-4 静息电位示意图

A: 表示膜外各点之间无电位差
B: 表示膜内、外两侧有电位差

胞膜电位在静息电位的基础上发生一次快速的、可扩布性电位波动,称为动作电位(图1-5)。动作电位是兴奋的标志和同义词。

动作电位包括一个上升支和一个下降支。以神经纤维为例,当接受刺激时,静息电位减小,使膜内电位由 $-70\sim-90\text{mV}$ 迅速减小,直至膜内电位上升到 $+20\sim+40\text{mV}$ 的过程,称为动作电位的除极过程。整个膜电位上升的幅度达 $90\sim130\text{mV}$ 。随后膜内电位迅速从 $+20\sim+40\text{mV}$ 恢复到静息电位水平的过程,称为动作电位的复极过程。动作电位从去极化开始到复极化完成,经历的时程极短,仅 $0.5\sim2.0$ 毫秒(ms),在荧光屏上显示出一个短促而尖锐的脉冲波,习惯上称为锋电位。其中膜内电位超出零电位的部分,称为超射。

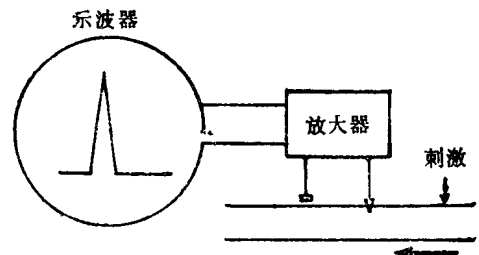


图 1-5 动作电位示意图

(二) 静息电位与动作电位形成的基本原理

生物电现象产生的原理,比较公认的是离子学说。离子学说认为生物电产生的基础取决于:细胞膜两侧离子分布不均匀;细胞膜在不同状态下对各种离子通透性不一。由于离子分布不均匀,形成某些离子顺浓度梯度跨膜扩散的势能。细胞膜在生理静息状态及受到刺激时,对离子通透性不一,从而表现出静息电位和动作电位。

静息电位的形成 由于钠-钾泵的主动转运,使细胞膜外的 Na^+ 浓度高于膜内,而 K^+ 浓度则膜内高于膜外。至于负离子,膜外以 Cl^- 为主,膜内以大分子有机负离子(A^-)为主。细胞膜在生理静息状态下,对 K^+ 的通透性较大,对 Na^+ 的通透性较小,对膜内有机负离子(A^-)则无通透性。

基于上述情况,静息电位的形成一方面由于膜内外 K^+ 的浓度差,使 K^+ 顺浓度差(又称化学梯度)自膜内向膜外扩散,但膜内带负电的有机离子(A^-)不能随同 K^+ 向膜外扩散而被阻挡在膜内侧,使膜内电位下降变负而膜外电位上升变正,因此形成膜内外一定的电位差(又称电位梯度)。这种电场力,既可以阻止膜内 K^+ 外流,又可使膜外的 K^+ 吸附在细胞膜的外侧。由此可见,化学梯度驱动膜内 K^+ 外流,而 K^+ 外流形成的电位梯度则阻止 K^+ 的外流。只要化学梯度的势能大于电位梯度的电场力,总是有 K^+ 的净转移。随着 K^+ 的外移,电位梯度相应增大,阻止 K^+ 外移的电场力亦相应增大。当上述两种相拮抗的力量达到平衡时,膜内外不再有

K^+ 的净转移。此时,膜内外的电位差保持在一个相对稳定状态。简言之,静息电位基本上就是 K^+ 外流所形成的电-化平衡电位。

动作电位的形成 在静息电位基础上,当细胞膜接受阈刺激时,由于膜对 Na^+ 的通透性逐渐增加,随着 Na^+ 内流而使静息膜电位减小,当膜电位减小到某一临界值时,膜上的 Na^+ 通道被激活而开放,膜对 Na^+ 的通透性突然增大,使膜外 Na^+ 顺着化学梯度和电位梯度迅速大量内流,从而爆发一次动作电位。这个使 Na^+ 通道激活开放时的细胞膜的临界电位值,称为阈电位。使静息电位达到阈电位,爆发动作电位所施加的最小刺激强度,即阈强度。阈强度的刺激便是阈刺激。

在 Na^+ 通道被激活开放时, Na^+ 顺浓度差迅速大量内流而发生除极,膜内电位急剧上升直到高于膜外,达 $+20 \sim +40mV$, 从而形成阻止 Na^+ 内流的电位差。当促使 Na^+ 内流的浓度差与阻止其内流的电位差两种拮抗力量相等时,膜内外不再有 Na^+ 的净转移, Na^+ 内流才停止于峰值。因此,可以认为动作电位的去极化过程是 Na^+ 迅速内流的结果。动作电位的超射值,相当于 Na^+ 内流形成的电-化平衡电位。由于 Na^+ 通道开放的时程极短,很快失活关闭,与此同时,膜对 K^+ 的通透性增加,因而膜内 K^+ 迅速外流,形成动作电位的复极化过程。当恢复至静息电位水平时,膜内外 Na^+ 、 K^+ 分布尚未恢复。通过加速钠-钾泵的转运,才能将动作电位发生过程中内流的 Na^+ 泵出、外流的 K^+ 泵入,使膜内外 Na^+ 、 K^+ 的分布恢复到静息状态时的浓度差。

动作电位的特点表现为:刺激达到阈强度所爆发的动作电位一旦产生,其幅度和波形大小,并不随刺激强度的增强而增大,这种在同一细胞上动作电位的大小不随刺激强度和传导距离而改变的现象称为“全或无”现象。

(三) 阈下刺激与局部电位

从电生理角度来说,阈下刺激虽不能引起细胞膜爆发动作电位,但能使细胞膜的通透性有

表1-2 细胞的生物电现象

	基 本 概 念	形 成 原 理	特 点
静 息 电 位	生理静息状态下,膜内外的电位差,称为静息电位(RP)	由膜内 K^+ 顺浓度差外流而形成的电-化平衡电位	膜外正、膜内负,并稳定于一定数值,称为极化状态
动 作 电 位	可兴奋细胞受到阈刺激,使细胞膜爆发一次迅速的、可逆的、可扩布的电位波动,称为动作电位(AP)	阈刺激使 RP 减小,达到阈电位时, Na^+ 通道激活使 Na^+ 迅速大量内流形成 AP 的去极化过程; Na^+ 通道失活, K^+ 迅速外流形成 AP 的复极过程; Na^+ - K^+ 泵加速转运使膜内外的 Na^+ 、 K^+ 分布恢复原状	呈“全或无”现象,无总和现象;可迅速扩布
局 部 反 应	可兴奋细胞接受阈下刺激,细胞膜除极未达到阈电位时,其电位变化只限于局部,不能远传,称为局部反应	阈下刺激时,膜对 Na^+ 通透性有所增加,少量 Na^+ 内流,使 RP 减小,但未能达到阈电位水平,因此只能引起局部兴奋	有总和现象,无“全或无”现象;兴奋局限在一定范围,不能远传