

高等医药院校大专教材

生 理 学

SHENG

LI

XUE

主 编 秦俊莲 马玉羨

河南医科大学出版社

内 容 提 要

根据医学院校专科学生的培养目标,本书以传授基本理论、基本知识为主。全书共分十一章,各章内容简明扼要,减少了与相关学科内容的重复。如血液章中删去了淋巴细胞的免疫过程;血液循环章删去了心肌结构内容等。为了便于学生自学、复习及知识的相互衔接,某些内容改用“小字”排印,如离子对心肌细胞生理特性的影响;血管系统中的血流动力学;能量代谢的测定及其他感觉器官等从而减轻学生负担,便于学生学习。全书插图共 138 幅。书后附有理论课教学大纲,我国常用法定计量单位及常用数值新旧单位换算表。本书是一本适合于中、西医各专业专科学生和参加自学考试学生学习的教材。

前 言

根据教学工作的需要，我们在上级领导的支持下，结合自己的实际情况，编写了这本高等医学院校专科教材《生理学》。

为保证教材的编写质量，我们广泛参阅了有关书刊，注意结合教学实践，精选教学内容，突出较实用的特点，并着重和中医本科规划教材、现有的专科教材及省自考内容相融合。

全书采用全国自然科学名词审定委员会公布的生理学名词及我国法定计量单位。本教材可供中、西医各专业专科学生使用；由于编写内容有适当扩展，也可供参加全国自学考试不同专业的考生参考。

全书承蒙河南医科大学李鸿勋教授认真审阅；大部分插图由河南医科大学生理教研室提供；其余插图由河南职工医学院杨丽莉同志绘制，在此表示衷心感谢。

由于我们水平有限，经验不足，不妥之处在所难免，恳请使用本教材的师生指正。

编 者

1997 - 10

目 录

第一章 绪论	(1)
一、生命活动的基本特征	(1)
二、生理学的研究内容和方法	(1)
三、人体功能的调节	(2)
第二章 细胞的基本功能	(4)
第一节 细胞膜的基本结构和物质转运功能	(4)
一、细胞膜的基本结构	(4)
二、细胞膜的物质转运功能	(5)
第二节 细胞的兴奋性和生物电现象	(7)
一、生物电现象的观察和记录方法	(7)
二、神经纤维的静息电位与动作电位	(8)
三、刺激与兴奋	(11)
第三节 肌细胞的收缩功能	(15)
一、骨骼肌的收缩原理——滑行理论	(16)
二、骨骼肌的兴奋-收缩耦联	(18)
三、神经肌肉接头处兴奋的传递	(19)
四、肌肉收缩的外部表现和力学分析	(21)
第三章 血液	(24)
第一节 概述	(24)
一、血液与内环境	(24)
二、血液的组成	(25)
三、血液的理化特性	(27)
第二节 血细胞	(28)
一、红细胞	(28)
二、白细胞	(30)
三、血小板	(33)
第三节 血液凝固与纤维蛋白溶解	(34)
一、血液凝固	(34)
二、纤维蛋白溶解	(36)
三、抗凝物质	(37)
第四节 血型	(38)
一、ABO 血型系统	(38)
二、ABO 血型与输血	(39)
三、Rh 血型系统	(39)

第四章 血液循环	(40)
第一节 心肌生物电现象	(40)
一、工作细胞的跨膜电位及其形成机制	(41)
二、自律细胞的跨膜电位及其形成机制	(42)
三、心肌细胞的类型	(44)
第二节 心肌细胞的生理特性	(45)
一、心肌细胞的电生理特性	(45)
二、心肌细胞的机械特性	(50)
三、离子对心肌细胞生理特性的影响 *	(51)
第三节 心脏泵血功能	(52)
一、心率和心动周期	(52)
二、心脏的泵血过程	(53)
三、心脏泵血功能的评价	(54)
四、调节和影响心输出量的因素	(55)
五、心力储备	(56)
第四节 心音和心电图	(57)
一、心音的组成及特点	(57)
二、正常典型心电图的波形及意义	(57)
第五节 血管生理	(59)
一、各类血管的结构和功能特点	(59)
二、血管系统中的血流动力学 *	(59)
三、动脉血压与动脉脉搏	(60)
四、静脉血压与静脉回流	(63)
五、微循环	(65)
六、组织液和淋巴液	(67)
第六节 心血管活动的调节	(69)
一、神经调节	(69)
二、体液调节	(74)
三、自身调节	(76)
第七节 心、脑和肺的血液循环	(77)
一、冠脉循环	(77)
二、脑循环	(78)
三、肺循环	(79)
第五章 呼吸	(81)
第一节 肺通气	(81)
一、呼吸道的功能	(81)
二、肺泡	(82)

三、肺通气动力	(83)
四、肺通气阻力	(85)
五、肺容量	(86)
六、肺通气量	(87)
第二节 呼吸气体的交换	(88)
一、气体交换原理	(88)
二、气体交换过程	(89)
三、影响肺泡气体交换的因素	(89)
第三节 气体在血液中的运输	(90)
一、氧和二氧化碳的运输形式	(90)
二、氧的运输	(91)
三、二氧化碳的运输	(93)
第四节 呼吸运动的调节	(94)
一、呼吸中枢	(95)
二、呼吸反射调节	(96)
三、化学因素对呼吸的调节	(97)
第六章 消化和吸收	(100)
第一节 概述	(100)
一、消化道平滑肌的生理特性	(100)
二、消化道的神经支配	(101)
三、胃肠激素	(102)
第二节 口腔内消化	(103)
一、唾液的分泌	(103)
二、咀嚼和吞咽	(104)
第三节 胃内消化	(105)
一、胃液的分泌	(105)
二、胃的运动	(109)
第四节 小肠内消化	(110)
一、胰液的分泌	(110)
二、胆汁的分泌和排出	(112)
三、小肠液的分泌	(113)
四、小肠的运动	(113)
第五节 大肠内消化	(114)
一、大肠液的分泌	(114)
二、大肠的运动和排便反射	(114)
第六节 吸收	(115)
一、吸收的部位	(115)

二、吸收的机制	(116)
三、小肠内主要营养物质的吸收	(116)
第七章 能量代谢和体温	(118)
第一节 能量代谢	(118)
一、机体能量的来源和去路	(118)
二、能量代谢的测定 *	(118)
三、影响能量代谢的因素	(121)
四、基础代谢率	(122)
第二节 体温及其调节	(123)
一、人体正常体温及其生理变动	(123)
二、机体的产热与散热	(124)
三、体温调节	(126)
第八章 泌尿	(129)
第一节 肾脏的结构及血液循环特点	(130)
一、肾脏结构特点	(130)
二、肾脏血液循环特点	(131)
第二节 尿的生成	(132)
一、肾小球的滤过	(132)
二、肾小管和集合管的重吸收	(135)
三、肾小管和集合管的分泌	(138)
第三节 肾脏泌尿功能的调节	(140)
一、血管升压素	(140)
二、醛固酮	(142)
第四节 尿的浓缩和稀释	(144)
一、肾髓质高渗梯度现象	(144)
二、肾髓质高渗梯度的形成	(144)
三、尿液浓缩和稀释过程	(146)
第五节 排尿	(147)
一、膀胱和尿道的神经支配	(147)
二、排尿反射	(147)
第九章 内分泌	(149)
第一节 概述	(149)
一、激素的分类和作用特征	(149)
二、激素的作用机制	(151)
第二节 下丘脑的内分泌功能	(152)
一、下丘脑-神经垂体系统	(152)
二、下丘脑-腺垂体系统	(153)

第三节 腺垂体	(154)
一、生长激素	(154)
二、催乳素	(155)
第四节 甲状腺	(156)
一、甲状腺激素的合成、分泌和运输	(156)
二、甲状腺激素的主要生物学作用	(157)
三、甲状腺功能的调节	(158)
第五节 甲状旁腺激素和降钙素	(159)
一、甲状旁腺激素	(160)
二、降钙素	(160)
第六节 胰岛	(161)
一、胰岛素	(162)
二、胰高血糖素	(163)
第七节 肾上腺	(163)
一、肾上腺皮质	(163)
二、肾上腺髓质	(165)
第八节 性腺	(166)
一、睾丸的内分泌功能	(166)
二、卵巢的内分泌功能	(167)
三、胎盘的内分泌功能 *	(169)
第十章 神经系统	(170)
第一节 神经元与神经纤维	(170)
一、神经元的结构与功能	(170)
二、神经纤维的分类	(170)
三、神经纤维的兴奋传导	(171)
四、轴浆运输	(172)
五、神经纤维的营养性效应	(172)
第二节 神经元之间的信息传递	(173)
一、化学突触传递	(173)
二、电突触传递	(175)
三、非突触性化学传递	(175)
四、神经递质	(175)
五、受体	(177)
第三节 反射中枢活动的基本规律	(179)
一、反射中枢	(179)
二、中枢神经元的联系方式	(180)
三、反射中枢内兴奋传播的特征	(180)

四、中枢抑制	(181)
第四节 神经系统的感觉功能	(183)
一、感觉投射系统	(183)
二、大脑皮层的感受分析功能	(184)
三、痛觉	(185)
第五节 神经系统对躯体运动的调节	(188)
一、脊髓对躯体运动的调节	(188)
二、脑干对肌紧张的调节	(190)
三、小脑对躯体运动的调节	(192)
四、基底神经节对躯体运动的调节	(193)
五、大脑皮层对躯体运动的调节	(193)
第六节 神经系统对内脏活动的调节	(195)
一、自主神经系统的结构与功能特征	(195)
二、各级中枢对内脏功能的调节	(197)
第七节 大脑皮层的生物电活动与脑的高级功能	(199)
一、大脑皮层的生物电活动	(199)
二、脑的高级功能	(200)
第十一章 感觉器官	(205)
第一节 概述	(205)
一、感受器与感觉器官的概念	(205)
二、感受器的分类	(205)
三、感受器的一般生理特性	(205)
第二节 视觉器官	(207)
一、眼的折光系统及其调节	(207)
二、眼的感光功能	(210)
三、视觉的几种生理现象	(213)
四、房水和眼内压	(215)
第三节 听觉器官	(216)
一、外耳和中耳的传音功能	(216)
二、内耳的感音功能	(217)
三、听阈和听力	(219)
第四节 前庭器官	(220)
一、椭圆囊和球囊的功能	(220)
二、半规管的功能	(221)
三、前庭反应	(221)
第五节 其他感觉器官 *	(223)
一、嗅觉	(223)

二、味觉	(223)
三、皮肤感觉	(223)
《生理学》理论课教学大纲	(224)
附录1 本书常用的我国法定计量单位	(230)
附录2 本书常用千进倍数和分数单位的词头	(230)
附录3 本书常用数值新旧单位换算表	(230)

注：有 * 可选为自学内容，详见本书教学大纲

第一章 绪 论

生理学是生物科学的一个分支,是研究生物体生命活动规律的科学。人体生理学以人体为研究对象,研究人体功能活动规律及其原理,为认识疾病的发生、发展,为疾病的诊断、治疗和预防提供理论依据。它是医学重要基础学科之一。

一、生命活动的基本特征

一切有生命的物体即生物体,无论是单个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。

(一) 新陈代谢

生物体与环境间不断进行物质和能量交换,以实现自我更新的过程,称为新陈代谢。新陈代谢包括2个过程,即合成代谢(同化作用)和分解代谢(异化作用)。前者是指摄入的营养物质在体内经化学变化,合成自身成分的过程。后者指机体分解自身成分并将分解后的产物排放到周围环境的过程。合成代谢为分解代谢创造物质基础,分解代谢为合成代谢提供能量来源,因此,两者是不可分离的。一切生命现象都离不开新陈代谢,因为各种生命活动都以新陈代谢提供的物质和能量为基础。新陈代谢一旦停止,生命活动也就随之告终。

(二) 兴奋性

生物体生存的环境经常在变化,以至影响其各种生命活动。然而机体能对环境变化发生特定反应,维持功能的相对稳定,有利于在变化的环境中继续生存下去。机体能够调整自身使之在不同环境条件下维持生命的能力,称适应性。例如,外环境温度升高时,机体出汗增多,散热活动加强,以防止体温过高;外环境温度下降时,机体产热增多,散热减少,使体温得以维持相对恒定。机体或细胞对环境变化发生反应的能力,称为兴奋性。能引起生物体发生反应的环境变化通称为刺激。总之,生物体对环境变化作出适应性反应,乃是生物体普遍具有的功能,也是生物体赖以生存的必要条件。

二、生理学的研究内容和方法

(一) 生理学的研究内容

根据生物体结构层次的不同,生理学研究可分为3个水平:①细胞、分子水平:研究细胞亚微结构的功能和细胞内各种物质分子的物理化学性质变化过程;②器官、系统水平:研究各器官、系统的功能活动规律;③整体水平:研究完整生物体功能活动规律。生理功能是以细胞和分子特性为基础的,要全面地理解某一生理功能的机制,必须是以上3个水平综合研究的结果,只是在其研究中各有侧重。

(二) 生理学的研究方法

生理学是一门实验科学。人体生理学以人体为研究对象,但只能在不损害健康的条件下才能进行观察和测定,这样获得的资料十分有限。高等动物的生理功能和人类十分相似,又便于调控和观察,所以,人体生理学的知识主要来自动物实验。生理学的动物实验方法分为2类。①急性实验法:可分为在体、离体2种。在体实验是指所要研究的器官或组织留在原位而进行的实验。此实验要在麻醉无痛条件下,暴露某一器官,对其功能活动规律、机制和影响因素进行研究。离体实验则是把器官或组织摘出体外,将其置于适宜的人工环境中而进行功能的观察。急性实验法的特点是可以较严格地控制实验条件,排除非观察因素干扰,较直观。但其观察时间较短,结果未必能如实反映正常功能规律。②慢性实验法:在无菌条件下对健康动物进行手术,使某器官与外界相通,或切除某个器官,或将电极埋入动物脑内,等伤口愈合后,在清醒生活状态下进行研究。慢性实验法的特点是可较长时间用于实验观察,实验结果接近于自然整体状态。但实验方法复杂,影响因素较多,必须严格控制实验条件。

三、人体功能的调节

机体各器官和系统的功能虽各不相同,但当它们对环境变化发生适应性反应时,却总是紧密配合,相互制约,达到整体功能活动的协调、统一。例如:人体在运动时,不仅有关肌群的舒缩活动在时间上与空间上配合得很恰当,而且肌肉血管舒张,血流增加,以供给肌肉更多的 O_2 和营养物质,带走废物和 CO_2 ;同时心脏活动加强,呼吸加深加快,以搏出更多的血液和加速气体交换等。这种整体性的调节作用,称为整合作用。机体要达到内部的完整与统一,以及与环境之间的动态平衡,是通过复杂的调节过程实现的。

(一)人体功能的调节方式

1. 神经调节 神经调节是指通过神经系统的活动对机体各部分活动进行的调节,是机体最重要的调节途径。神经调节的基本方式是反射,反射是指在中枢神经系统参与下,机体对内外环境变化发生的适应性反应。例如:手受到伤害刺激时立即回缩,就是一种简单的反射活动。完成反射活动所需的结构称为反射弧,包括感受器、传入神经、反射中枢、传出神经、效应器等5部分。不同的反射有不同的反射弧,某一反射的反射弧遭到破坏,则该反射就不能进行。

反射的种类很多,按其形成条件不同,可分为非条件反射和条件反射两大类。①非条件反射:是指先天遗传的,无需后天训练即可出现的一些反射。例如:物体触及新生儿唇部会引起吸吮动作或食物刺激口腔引起唾液分泌等,都属于非条件反射。其数量较少,反射弧较固定,而且反射中枢大多位于中枢神经系统较低级部位。②条件反射:是在非条件反射基础上建立起来的一种高级神经活动,是后天生活中形成的反射。例如,“望梅止渴”即属于条件反射。不同个体获得条件反射的种类及数量不同,而且已形成的条件反射也不是一成不变,可建立也可消退,这样就大大扩展了机体的适应范围,使机体对千变万化的环境的适应不仅有预见性,而且更加精确、灵活。神经调节具有迅速、精确而短暂的特点,适应一些快速的生理过程,如躯体运动和内脏活动的应急调节。

2. 体液调节 体液调节是指通过体液中化学物质所完成的调节。主要是指人体各种

内分泌细胞分泌的激素,经血液循环而特异性作用于某些器官和细胞(称为靶器官和靶细胞),调节机体的新陈代谢、生长、发育等功能活动,此调节称为全身性体液调节。其特点是:发挥作用较缓慢、广泛和持久。此外,组织细胞的一些代谢产物在组织中含有量增加时,可引起局部反应,称为局部性体液调节。

大多数内分泌腺直接或间接受中枢神经系统控制,在这种情况下体液调节成为神经调节的一个中间环节,相当于反射弧传出通路的延伸部分,故称之为神经-体液调节。

3. 自身调节 自身调节是指器官、组织、细胞在不依赖外来神经或体液调节情况下,对刺激发生的适应性反应过程。例如,骨骼肌或心肌的初长(收缩前的长度)在一定限度内增大时,收缩力量会相应增加。一般来说,自身调节的范围较小,但对于生理功能的调节仍有一定意义。

(二)生理功能调节的自动控制

现代生理学将工程学自动控制论原理应用于人体功能活动的分析。按照控制论原理,人体各种功能调节系统都被认为是闭合的自动控制系统。自动控制系统的的基本特点,是控制部分(如反射中枢或内分泌腺)与受控部分(如效应器或靶器官)之间存在着闭合回路和往返的双向信息联系(图1-1)。受控部分受到控制部分作用后,一方面改变活动状态。另一方面将活动状态变化的信息返回到控制部分,控制部分对此进行分析,然后再发出信息纠正和调整受控部分的状态。这样经反复调节后,最终使受控部分的反应达到精确合适的最佳效果。

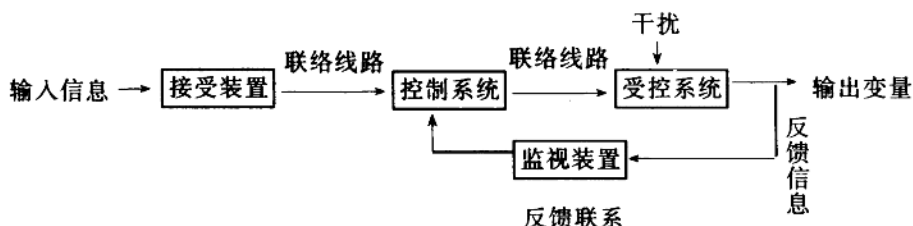


图1-1 反馈联系模式图

神经调节、体液调节和自身调节3种调节途径中,都存在上述的控制部分和受控部分闭合回路的因果互相作用关系。由受控部分将信息传回到控制部分的过程称为反馈。反馈分为2类:

1. 正反馈 是指反馈信息使控制系统作用不断加强,直至发挥最大效应。正反馈在体内为数不多,仅适于那些需要迅速发起并尽快结束的生理过程,如血液凝固、排尿和分娩等。

2. 负反馈 是指反馈信息使控制系统的作用向相反效应转化。如血压升高时,通过降压反射使血压降低。负反馈在体内大量存在,对机体功能活动及内环境理化因素的相对稳定起着重要调节作用。

(秦俊莲)

第二章 细胞的基本功能

细胞是人体和其他生物体的基本结构与功能单位。虽然它们功能不同、形态各异,但仍具有某些最基本的、共同的特点。如细胞膜的结构与物质转运功能、可兴奋细胞的生物电现象、肌细胞的收缩功能等。本章将重点介绍这些功能特点,为了解各个器官、系统乃至整个人体生命活动的根本原理奠定基础。

第一节 细胞膜的基本结构和物质转运功能

所有细胞都被一层薄膜所包被,称之为细胞膜或质膜,它首先作为一道屏障将细胞内容物与周围环境分隔开来,保持细胞内容物不至丢失,使细胞能够独立存在;同时还具有物质转运功能,可允许某些物质选择性通过,进行膜内外物质交换。说明细胞膜是一种结构与功能十分复杂的半透膜,是保持细胞内环境相对稳定,使生命活动得以正常进行的物质基础。此外,细胞膜也是细胞接收外界影响的门户,还与机体免疫功能和细胞的分裂、分化及癌变等过程有关。本节主要介绍细胞膜的基本结构和物质转运功能。

一、细胞膜的基本结构

细胞膜主要由脂质、蛋白质和糖类等物质组成。其分子结构模式目前比较公认的是液态镶嵌模型,即液态的脂质双分子层构成细胞膜的基架,其中镶嵌着具有不同生理功能的蛋白质(图2-1)。细胞内各种膜性结构均具有这种基本的结构形式,因而称之为单位膜。

构成细胞膜的脂质以磷脂为主,磷脂分子呈长杆形,一端是由磷酸和胆碱构成的亲水性极性基团,另一端是由2条长的脂肪酸烃链构成的疏水性非极性基团。其亲水性基团整齐排列,分别朝向膜的内外表面;疏水基团则都朝向分子双层内部,构成细胞膜的基架。水溶性物质和离子很难通过脂质双层,因而这种细胞膜的基架具有重要的屏障功能。另外,由于脂质的熔点较低,这就决定了在一般体温条件下脂质是液态的,即膜具有某种程度的流动性。镶嵌在膜内的蛋白质,具有不同的生物学功能。细胞和周围环境之间的物质、能量和信息的交换,大都与细胞膜上蛋白质有关。有的膜蛋白与物质的跨膜转运有关,如载体蛋白、通道

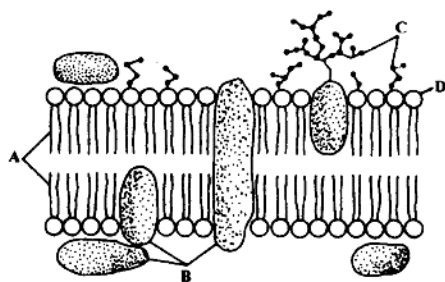


图2-1 细胞膜的分子结构示意图

A:脂双层 B:膜蛋白 C:糖链 D:极性头部

蛋白和离子泵等;有的与信息传递有关,如分布在膜外表面的受体蛋白,能够“辨认”和“接收”细胞环境中特异的化学性刺激或信号,将来自外界的信息传递到细胞内,引起细胞功能的相应改变;有的具有酶的性质,如 ATP 酶、腺苷酸环化酶系统,与能量转换和信息传递等功能有关;还有一些膜蛋白作为细胞的“标志”,表示某种免疫信息,以供机体免疫系统“识别”。此外,膜中还存在大量的目前尚不明确其具体功能的蛋白质。由此可见膜蛋白在功能上的多样性和复杂性。

细胞膜的外表还有少量糖类物质,主要是一些寡糖和多糖链,它们都以共价键的形式与膜脂质或蛋白结合,形成糖脂或糖蛋白。这些糖链大多裸露在膜的外表面,起着膜抗原决定簇的作用,或成为受体可“识别”的部分。

二、细胞膜的物质转运功能

物质通过细胞膜的转运方式有多种,但从是否消耗能量的角度来看,可将其分为被动转运和主动转运两大类。

(一)被动转运——扩散

扩散是指分子或离子从浓度高的部位向浓度低的部位的运动,是一种不需要额外消耗能量的被动物理过程,称之为被动转运。物质跨膜扩散的速率与该物质在膜两侧的浓度差、温度以及膜对于该物质通过的难易程度即通透性成正比。其中,膜的通透性是物质能否跨膜扩散的先决条件;浓度差则是物质扩散的动力。带电离子的扩散动力除取决于浓度差外,还受膜两侧存在的电位差的影响,即浓度差与电位差两者的代数和是引起离子扩散的势能,称为电化学梯度。扩散又可分为单纯扩散和易化扩散 2 种形式。

1. 单纯扩散 脂溶性小分子物质从高浓度一侧直接通过脂质双层扩散到低浓度一侧的过程,称为单纯扩散。由于细胞膜的基本结构是脂质双分子层,因而只有脂溶性强的小分子物质如 O_2 、 CO_2 、 NH_3 、乙醇、脂肪酸及类固醇激素等才能依靠单纯扩散穿过细胞膜。

2. 易化扩散 水溶性小分子物质在细胞膜上蛋白质结构的“帮助”下,顺着浓度差或者电化学梯度的跨膜转运,称为易化扩散。目前认为易化扩散至少可区分为“通道”介导和“载体”介导 2 种类型。

(1)“通道”介导的易化扩散 是指一些无机盐离子在膜上通道蛋白的帮助下,顺着电化学梯度的跨膜转运。细胞膜上某些纵贯脂质双层的嵌入蛋白质中存在有水相孔道,主要与 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 等无机盐离子的跨膜扩散有关。这种带有水相孔道的膜蛋白称为通道蛋白,或简称通道。离子通道具有以下特性:①相对特异性:各种不同离子具有各自的特异性通道,只有被水相孔道容纳的、大小和形状相适应的离子才能经相应通道进行扩散;②可以启闭的“闸门”特性:随着蛋白质分子的构象或构型的改变,它可以处于开放或关闭 2 种不同的功能状态。当通道“闸门”开放时离子才能通过;而当它们关闭时,膜又变得对该离子不能通透。根据引起通道开放的条件不同,一般可将通道区分为电压依从式和化学依从式两大类。前者的启闭取决于通道蛋白所在膜两侧的电位差;后者则受膜环境中某些化学信号(如膜外某种神经递质或膜内 Ca^{2+} 浓度的改变)的控制。

(2)“载体”介导的易化扩散 某些水溶性小分子有机物如葡萄糖和氨基酸的跨膜扩

散必须在膜结构中某些称之为载体的特殊蛋白质的“帮助”下进行。这种易化扩散方式具有下列特点：①高度特异性：载体蛋白具有能与被转运物质特异结合的特点，一般一种载体只能与一种或一类结构相似的物质特异性结合而实现对该物质的跨膜转运；②饱和现象：在一定范围内，物质的扩散速率与其在膜两侧的浓度差成正比，但当该物质在膜一侧的浓度增加到某一限度时，扩散速率即不再随浓度差增大而继续增加。这是由于膜载体的数量以及和物质结合的位点数目是相对固定的，这就构成了对该物质转运能力的最大极限，而表现为饱和现象；③竞争性抑制：如果某种载体对甲、乙2种结构相似的物质都有转运能力，那么在环境中加入乙物质将会减弱其对甲物质的转运能力，这是由于载体上一定数量的结合位点竞争性地被乙物质所占据的结果。

另外，水分子的跨膜转运是以膜两侧的渗透压差和静水压力差为动力，不需要额外消耗能量，也属被动转运。

(二)主动转运

主动转运是指细胞通过本身某种耗能过程，将物质从膜的低浓度一侧移向高浓度一侧的过程。

1. 离子泵 在各种组织细胞膜上存在多种称之为“泵”的特殊蛋白质，参与离子的主动转运。如广泛存在于各种细胞膜上的钠-钾泵（简称钠泵）、甲状腺腺泡细胞膜上的碘泵、胃腺壁细胞膜上的氢泵、肌细胞肌质网膜上的钙泵等。其中研究较充分的是钠泵的活动机制。

钠泵是镶嵌在细胞膜脂质双层中的一种蛋白质，其本身具有ATP酶的活性，可被细胞内液中的 Na^+ 或细胞外液中的 K^+ 激活，分解ATP，为 Na^+ 、 K^+ 的逆浓度差转运提供能量，故钠泵也称 Na^+ 、 K^+ -ATP酶。钠泵每分解一分子ATP可以排出3个 Na^+ ，同时摄入2个 K^+ ，以保持细胞内高 K^+ 和细胞外高 Na^+ 的不均衡离子分布。

钠泵分子由2个较大的 α 亚单位和2个较小的 β 亚单位构成。 α 亚单位的两端分别露出细胞的内、外表面，其内侧端有3个 Na^+ 结合位点和1个催化ATP反应的位点。 β 亚单位是一种糖蛋白，只有一端露出在细胞膜的外表面。当细胞内 Na^+ 与 α 亚单位上的结合位点结合后，可激活其ATP酶活性，分解ATP获得能量而发生构型改变，将 Na^+ 排出并同时与细胞外的 K^+ 结合，将 K^+ 摄入细胞内，使钠泵又恢复原来的结构状态（图2-2）。由此可见，钠泵的活动是排 Na^+ 与摄 K^+ 2个过程耦联在一起进行的，其排 Na^+ 摄 K^+ 的比例通常是3:2。但这一比例并非固定不变，细胞内 Na^+ 浓度降低时，这个比值就减小。由于钠泵可使进出细胞的带电离子量不均衡，导致细胞外正离子净增、膜外电位升高，此时的钠泵就成为一种生电泵。

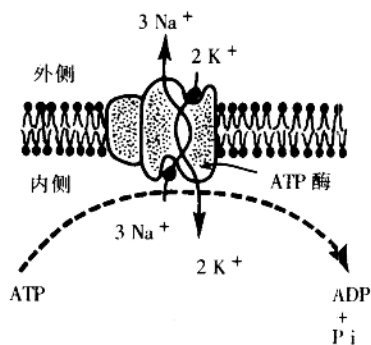


图 2-2 钠泵活动机制示意图

2. 协同转运 某些物质的转运必须与 Na^+ 主动转运结合进行，称之为协同转运。例如

小肠粘膜和肾小管上皮细胞对葡萄糖和某些氨基酸的主动转运须与 Na^+ 结合,依靠钠泵活动建立膜内外 Na^+ 的势能差,进入小肠粘膜和肾小管上皮细胞,进入细胞内的 Na^+ 再由钠泵的耗能活动排出细胞外。由于葡萄糖和 Na^+ 两者转运方向一致,因而称之为同向协同转运。某些氨基酸也存在类似的主动转运。在心肌细胞膜存在着 Ca^{2+} 与 Na^+ 的协同转运机制,将 Ca^{2+} 逆浓度差从细胞内移向细胞外;同时使 Na^+ 顺浓度差进入细胞内,进入的 Na^+ 再由钠泵活动将其排出细胞外。这里 Ca^{2+} 与 Na^+ 的转运方向相反,因而称之为逆向协同转运。从能量转换角度来看,协同转运的能量来源是由钠泵活动而建立起来的膜内外 Na^+ 的势能差提供的,而钠泵的活动则需要消耗 ATP,所以协同转运也称继发性主动转运。

(三)胞吐与胞纳

细胞对于一些大分子物质或物质团块的转运,可以通过膜本身更为复杂的结构和功能改变,使之出入细胞,分别称之为胞吐与胞纳,两者均需消耗能量,所以也属主动转运。

1.胞吐 是指细胞内大分子物质团块由细胞内排出的过程。主要见于内分泌细胞对激素的分泌和神经轴突末梢对递质的释放。腺细胞合成的分泌物由一层单位膜包裹而形成分泌囊泡;轴突末梢合成的递质亦贮存在有单位膜包裹的囊泡中。当进行胞吐时,囊泡首先向细胞膜移动,进而与细胞膜接触、融合,并在融合处向外开口,将分泌物或递质释放至胞外。引发胞吐的机制可能与膜外的某种化学信号或膜两侧的电位改变以及细胞外钙内流有关。

2.胞纳 是指某些物质团块(如微生物、大分子蛋白或衰老的红细胞等)从细胞外进入细胞的过程。如果进入的物质是固体的,称之为吞噬;如果进入的物质是液态的则称为吞饮。胞纳进行时,首先是细胞外的某种物质被细胞膜所“辨认”并与之接触,引起该处的细胞膜发生内陷将其包绕,继而出现膜结构的融合和断裂,最后是该物质连同包被它的那一部分质膜整个进入细胞内,并被细胞内溶酶体所含的酶水解与消化。

第二节 细胞的兴奋性和生物电现象

早在一百多年前恩格斯总结当时的自然科学成就时就指出“地球上几乎没有一种变化发生而不同时显示出电的现象”。在生理学的发展史上,生物电现象的研究是同所有生物体所共有的另一重要特性——兴奋性的研究相伴进行的。因此,本节在简单介绍生物电现象的观察和记录方法的基础上,重点叙述生物电现象的一般规律和细胞受刺激发生兴奋的一般规律。

一、生物电现象的观察和记录方法

近代电生理学研究中常用的生物电观测仪器是阴极射线示波器及一些有关的附属设备,其基本原理如图 2-3 所示。由射线管右侧电子枪形成的电子束连续射向左侧荧光屏,途中经过水平和垂直 2 对板状偏转电极。当电子束由水平偏转板两极之间通过时,由于板上有来自扫描发生器的锯齿形电压变化,使射向荧光屏的电子束以一定的速度作水