

基层卫生人员中等医学学历教育系列丛书

SHENGLIXUE

生理学

。 主编 李效义 。

 天津科技翻译出版公司

基层卫生人员中等医学学历教育系列丛书

生 理 学

主编 李效义

编者 (以姓氏拼音为序)

傅小锁 李效义 徐敬东

天津科技翻译出版公司

图书在版编目 (CIP) 数据

生理学 / 李效义主编. —天津: 天津科技翻译出版公司,
2009.3 (2010.4 重印)

(基层卫生人员中等医学学历教育系列丛书)

ISBN 978-7-5433-2464-0

I. 生… II. 李… III. 人体生理学—教材 IV. R33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 032980 号

出版: 天津科技翻译出版公司
出版人: 蔡 颢
地址: 天津市南开区白堤路 244 号
邮编: 300192
电话: (022) 87894896
传真: (022) 87895650
网址: www.tsttpc.com
印刷: 河北省廊坊市华北石油华星印务有限公司
发行: 全国新华书店
版本记录: 787×1092 16 开本 11.5 印张 276 千字
2009 年 3 月第 1 版 2010 年 4 月第 2 次印刷
定价: 23.00 元

(如发现印装问题, 可与出版社调换)

前言

为了准确把握社区医学专业中专学历教育内容,我们以教育部颁发的《中等职业学校专业目录》和《关于中等职业学校和专业设置管理的原则意见》中的规定为基点,参考执业医师考试大纲,通过乡村医生调查、座谈及走访,明确乡村医生工作实际需求,并结合目前社区卫生服务的主要导向,特组织国内有关专家、教授编写了《基层卫生人员中等医学学历教育系列丛书》,共 21 册。这套丛书从整体上构建了完整的知识结构,涵盖基础医学、预防医学、临床医学、全科医学和部分人文医学内容,突出实际应用,侧重执业医师考试的重点学科、基本理论的重要补充和日常工作必须的学科知识。

《生理学》是《基层卫生人员中等医学学历教育系列丛书》之一,是支撑临床医学的重要基础课程,本书共分 11 章。主要包括:生理学基本内容与研究方法、细胞的基本功能、血液的组成及生理特性、血液循环的原理及特性、人体各系统功能的生理活动机制及变化规律等。本教材注重实用性和自学性,注重基础知识,同时浅显地介绍了新知识,目的是使教材内容能适应我国农村卫生工作的实际情况和乡村医生的要求,对于乡村医生的实际工作也能起到指导作用。为使学习者在有限的学习时间里更高效地利用这套教材,编写时力求重点突出、主次分明,尽量做到通俗易懂、深入浅出。

为了方便学员理解掌握,在每一章节开始部分都列出学习目标,帮助学员增强学习的系统性,理清思路。同时在每章后附上“联系临床”,包含相关专家多年医疗实践中总结的经验窍门,有利于学员少走弯路,提高实际行医能力。

鉴于时间仓促,书中难免有疏漏和不足之处,恳请专家和使用本教材的师生给予批评指正。

编者

2009 年 1 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 生理学的任务、研究内容和研究方法	2
第二节 机体的内环境和稳态	3
第三节 人体生理功能的调节	3
第二章 细胞的基本功能	6
第一节 细胞膜的结构和物质转运功能	7
第二节 细胞的生物电活动	14
第三节 兴奋的引起及其在同一细胞上的传导	17
第四节 肌细胞的收缩功能	20
第三章 血液	27
第一节 概述	28
第二节 血细胞生理	31
第三节 生理性止血	37
第四节 血型和输血原则	41
第四章 血液循环	44
第一节 心脏生理	45
第二节 血管生理	57
第三节 心血管活动的调节	66
第五章 呼吸	74
第一节 肺通气	75
第二节 呼吸气体的交换	82
第三节 气体在血液中的运输	85
第四节 呼吸运动的调节	88
第六章 消化和吸收	93
第一节 概述	94
第二节 口腔内消化	96

第三节	胃内消化	98
第四节	小肠内消化	101
第五节	大肠内消化	105
第六节	吸收	106
第七章	能量代谢和体温	109
第一节	能量代谢	110
第二节	体温及其调节	114
第八章	肾脏的排泄功能	118
第一节	肾的功能解剖和血液循环特征	119
第二节	尿的生成过程	121
第三节	尿液的浓缩和稀释	126
第四节	肾泌尿功能的调节	128
第五节	血浆清除率	130
第六节	尿液及其排放	131
第九章	感觉器官	133
第一节	概述	134
第二节	视觉器官	135
第三节	听觉器官	140
第四节	前庭器官的功能	143
第十章	神经系统	144
第一节	神经元活动的一般规律	145
第二节	反射活动的一般规律	149
第三节	神经系统的感觉功能	150
第四节	神经系统对躯体运动的调节	153
第五节	神经系统对内脏活动的调节	158
第六节	脑的高级功能	161
第十一章	内分泌与生殖	165
第一节	概述	166
第二节	下丘脑和垂体	168
第三节	甲状腺	170
第四节	肾上腺	172
第五节	胰岛	174
第六节	甲状旁腺激素、降钙素和维生素 D ₃	175
第七节	女性生殖	176

第一章

绪 论

学 习 目 标

1. 需掌握的内容

- (1) 内环境的概念
- (2) 内环境稳态的概念及生理意义
- (3) 人体生理功能的调节方式
- (4) 负反馈的概念及生理意义

2. 需熟悉和了解的内容

- (1) 生理学和人体生理学的概念
- (2) 生理学的研究方法
- (3) 反馈控制、正反馈及前馈的概念



第一章 绪 论

第一节 生理学的任务、研究内容和研究方法

一、生理学及其任务

生理学是生物科学的一个分支,是研究生物机体正常功能活动规律的一门科学。人体生理学是一门研究正常状态下人体功能活动规律的科学,是医学科学的重要理论学科之一。它的主要任务是阐明正常人体及其器官、组织等所表现的各种生命活动现象或生理功能活动的机制及其变化规律,为进一步学习医学科学的其他基础和临床课程提供必要的理论基础。

二、生理学的研究内容

对人体的生理功能活动可以进行三个不同水平的研究:

(一) 细胞、分子水平的研究

主要是研究人体各种细胞超微结构的功能活动以及细胞内各种物质分子的物理和化学变化过程。

(二) 器官水平的研究

主要是研究人体各种器官生理功能活动的规律及其调控机制,以及它们对整体水平的生理功能有何作用和意义等。

(三) 整体水平的研究

主要是研究人体各个系统之间的功能联系,正常人体内、外环境之间维持相对平衡的过程及其机制,以及周围环境变化对人体生理功能活动的影响。

三、生理学的研究方法

生理学的知识固然来源于医疗实践和实验研究,但现代更系统、深入的生理学理论主要是通过动物实验获得的。在实践过程中,生理学的研究方法一般分为急性实验和慢性实验。

(一) 急性实验

急性实验又可分为离体实验和在体实验两种方法。离体实验是从活着的或刚处死的动物身上取出所需器官、组织或细胞,置于一个能保持其正常生理功能的人工环境中,观察某些人为干预对其功能的影响。例如,应用离体蛙心或血管灌流的方法研究某种药物对心肌或血管平滑肌收缩力的影响。在体实验是在动物麻醉条件下,手术暴露某些需要研究的部位,观察和记录某些功能活动在人为干预下的变化。例如,以动脉插管记录动物血压,观察某些神经或体液因素对血压的影响。

(二) 慢性实验

慢性实验以完整、清醒的动物为研究对象,且尽可能保持外界环境接近于自然,以便

能在较长时间内观察和记录某些生理功能的改变。实验前一般需对动物作某些预处理,待手术康复后再进行观察。例如,研究唾液的分泌调节时,可预先将唾液腺导管开口移至颊部体表,观察时就能方便地从体表收集到唾液腺分泌的纯净唾液。

第二节 机体的内环境和稳态

一、机体的内环境

人和动物体内含有大量液体,机体内的液体称为体液。正常成年人的体液量约占体重的 60%,其中约 2/3 (约占体重的 40%) 分布于细胞内,称为细胞内液;约 1/3 (约占体重的 20%) 分布于细胞外,称为细胞外液。约 3/4 的细胞外液 (约占体重的 15%) 分布于细胞间隙内,称为组织液;约 1/4 的细胞外液 (约占体重的 5%) 则在血管中不断循环流动,称为血浆。此外,还有少量的淋巴液和脑脊液等。人体细胞绝大多数不与外界环境相接触,而是浸于细胞外液中,因此细胞外液是细胞直接接触和赖以生存的环境。生理学中的一个重要概念就是将细胞外液称为机体的内环境,以区别于整个机体所处的外环境。

二、内环境的稳态

正常情况下,机体内环境的理化性质能保持相对稳定。内环境理化性质保持相对稳定的状态称为稳态。稳态具有十分重要的生理意义。因为细胞的各种代谢活动都是酶促生化反应,所以细胞外液中需有足够的营养物质、氧和水,以及合适的温度、离子浓度、酸碱度和渗透压等。细胞膜两侧一定的离子浓度及分布也是可兴奋细胞保持其正常兴奋性和产生生物电的重要保证。稳态的破坏将影响细胞生命活动的正常进行,如高热、酸中毒、低氧、离子浓度改变等都将导致细胞功能的严重紊乱,引起疾病,甚至危及生命。因此,稳态是维持机体正常生命活动的必要条件。

稳态是一种动态平衡。由于细胞的代谢将不断消耗氧和营养物质,并不断产生 CO_2 和 H^+ 等代谢产物,因此也就不不断地扰乱或破坏内环境的稳态,外界环境因素的改变也会干扰稳态。但机体可通过多个器官和系统的活动,使遭受破坏的内环境及时得到恢复,从而维持其相对稳定。

第三节 人体生理功能的调节

一、人体生理功能的调节方式

人体生理功能的调节主要有神经调节、体液调节和自身调节 3 种方式。其中,神经调节是人体内最主要的调节方式。

(一) 神经调节

通过神经系统进行调节的方式称为神经调节,其基本方式是反射。反射是指机体在中枢神经系统的参与下,对内、外环境刺激所作的规律性应答。完成反射的结构基础是反射弧,反射弧包括 5 个部分:感受器、传入神经纤维、神经中枢、传出神经纤维和效应器(图 1-3-1)。

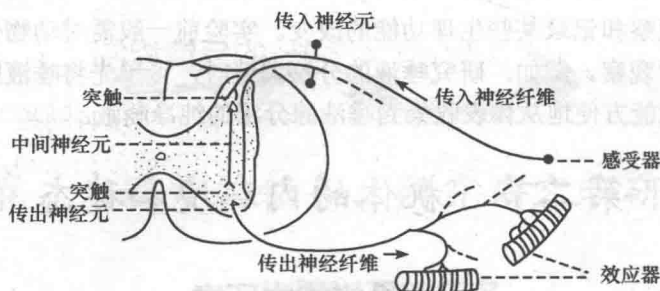


图 1-3-1 反射弧的基本组成

例如，手在碰到火焰时会立即撤回就是通过反射完成的。当火焰作用于人体局部体表时，刺激了局部皮肤上能够感受伤害性刺激的特殊装置，这种能感受某种刺激的特殊装置称为感受器。刺激信息经感受器感受后转变为神经冲动沿传入神经纤维传向神经中枢，神经中枢对传入信息进行分析处理后转为指令，仍以神经冲动的形式沿传出神经纤维到达能引起受刺激肢体撤回的有关肌肉群，即反射的效应器，结果引起有关肌肉群的收缩，使受刺激肢体脱离火焰刺激源，从而完成反射。反射弧在结构和功能上的完整性对反射的正常进行至关重要。反射弧 5 个部分中任何一个部分结构或功能遭受破坏，反射将不能完成。

神经调节的特点是迅速、精确、作用时间短暂。

(二) 体液调节

体液调节是指体内产生的一些特殊化学物质通过体液途径对某些组织或器官的活动进行调节的过程。例如，甲状腺激素经血液运输到达全身各组织细胞，可促进细胞的物质代谢与能量代谢，促进机体的生长发育。此外，由组织细胞产生的一些化学物质，如腺苷、激肽、组胺、前列腺素等，以及某些代谢产物，如 CO_2 、 H^+ 等，可在局部组织液内扩散，改变邻近组织细胞的活动，这称为局部体液调节。

人体内多数内分泌腺或内分泌细胞直接或间接受神经系统的调节，在这种情况下，体液调节成为神经调节的一个传出环节，是反射传出通路的延伸，这种调节称为神经-体液调节（图 1-3-2）。如肾上腺髓质受交感神经节前纤维支配，交感神经兴奋时，可促使肾上腺髓质释放肾上腺素和去甲肾上腺素，从而使神经与体液因素共同参与机体的调节活动。



图 1-3-2 神经-体液调节

体液调节的特点是比较缓慢、持久、广泛。

(三) 自身调节

自身调节是指组织及细胞不依赖于神经或体液因素，自身对环境刺激发生的一种适应性反应。例如，在一定范围内增加骨骼肌收缩前的长度，可使肌肉收缩时产生的张力增大；又如，肾动脉灌注压在 $80 \sim 180 \text{ mmHg}$ ($10.7 \sim 24.0 \text{ kPa}$) 范围内变动时，肾血流量基本上保持稳定不变，从而能保证肾泌尿活动在一定范围内不受动脉血压变动的影响。自身调节的幅度和范围都较小，也不十分灵敏，但在维持某些器官功能的稳定中具有一定意义。

二、人体生理功能调节的反馈控制

神经调节、体液调节和自身调节都可通过闭合环路而实现自动控制。在这种自动控制系统中,由受控部分发出的反馈信息反过来影响控制部分的活动,称为反馈控制(图 1-3-3)。在人体,通常将神经中枢或内分泌腺看做是控制部分,而将效应器或靶细胞看做是受控部分。

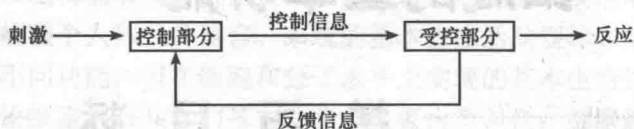


图 1-3-3 反馈控制

反馈控制有 2 种方式,受控部分发出的反馈信息对控制部分的活动产生抑制性作用,使控制部分的活动减弱,称为负反馈;而受控部分发出的反馈信息加强控制部分的活动,使受控部分的活动更强,则称为正反馈。在人体内,负反馈极为多见,且极其重要,其意义在于维持机体生理功能的相对稳定。例如,当动脉血压升高时,可通过一定的调节途径抑制心血管中枢的活动,使血压下降;相反,而当动脉血压降低时,又可通过一定的调节途径增强心血管中枢的活动,使血压升高,从而维持血压的相对稳定。正反馈远不如负反馈多见,其意义在于促使某一生理活动过程很快达到高潮并发挥最大效应。如在排尿反射过程中,当排尿中枢发动排尿后,由于尿液刺激了尿道的感受器不断发出反馈信息进一步加强排尿中枢的活动,使排尿反射一再加强,直至尿液排完为止。

体内还有一种情况,即不是由受控部分发出反馈信息来调整控制部分的活动,而是由某种监测装置在受到刺激后预先发出信息,作用于控制部分,使其及早做出适应性反应,这类控制称为前馈。条件反射活动就是一种前馈控制活动。

第二章

细胞的基本功能

学习目标

1. 需掌握的内容

- (1) 细胞膜的物质转运方式
- (2) 物质转运方式的概念及其特点
- (3) 生物电产生产生的基本原理（静息电位、动作电位）
- (4) 兴奋的引起和兴奋传导的机制，兴奋性变化规律
- (5) 兴奋在无髓鞘和有髓鞘神经纤维上的传导方式
- (6) 神经—肌肉接头处兴奋传递的过程及肌丝的滑行

2. 需熟悉的内容

- (1) 细胞膜的基本结构
- (2) 细胞膜的跨膜信号转导功能
- (3) 肌肉收缩的几种形式



第二章 细胞的基本功能

细胞是构成人体和绝大多数其他生物体的最基本的结构和功能单位。机体的各种功能活动都是体内各个细胞功能活动有机整合的结果。研究细胞的功能活动,将有助于揭示生命活动的本质,理解整个人体及各器官、系统的基本生命活动规律。细胞的种类很多,不同种类细胞具有其不同功能,但在细胞和分子水平上实现的基本生命过程和原理却有很大共性。本章重点讨论细胞具有共性的基本功能,主要内容包括:细胞膜的结构和物质转运功能,细胞的生物电活动,兴奋的引起及其在同一细胞上的传导,以及肌细胞的收缩功能。

第一节 细胞膜的结构和物质转运功能

一切动物细胞都被一层薄膜所包被,称为细胞膜,它把细胞内容物与细胞周围环境(主要是细胞外液)分隔开来,使细胞能相对地独立于环境而存在。细胞膜是一个具有特殊结构和功能的半透性膜,允许某些物质或离子有选择地通过,但又能严格地限制其他一些物质的进出,保持了细胞内物质成分的稳定。细胞内部也存在着类似细胞膜的膜性结构,组成各种细胞器,如线粒体、内质网等的膜性部分,使它们与一般胞质之间既存在某种屏障,也进行着某些物质转运。同时,膜除了有物质转运功能外,还有跨膜信息传递和能量转换功能,其机制是由膜的分子组成和结构决定的。膜成分中的脂质分子层主要起屏障作用,而膜中的特殊蛋白质则与物质、能量和信息的跨膜转运或转换有关。

一、细胞膜的结构概述

各种膜性结构主要由脂质、蛋白质和糖类等物质组成。尽管不同来源的膜中各种物质的比例和组成有所不同,但一般是以蛋白质和脂质为主,糖类只占极少量。各种物质分子在膜中的排列形式和存在,是决定膜的基本生物学特性的关键因素。从 20 世纪 30 年代以来就提出了各种有关膜的分子结构的假说,其中得到较多实验事实支持而目前仍为大多数人所接受的是液态镶嵌模型。这一模型的基本内容是:膜的共同结构特点是以液态的脂质双分子层为基架,其中镶嵌着具有不同分子结构、因而也具有不同生理功能的蛋白质,后者主要以 α -螺旋或球形蛋白质的形式存在(图 2-1-1)。

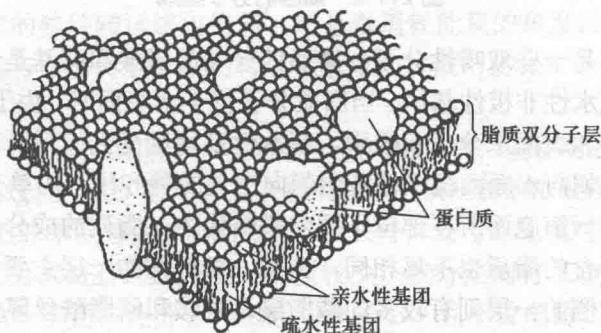


图 2-1-1 膜的液态镶嵌式模型

(一) 脂质双分子层

膜的脂质中以磷脂类为主，占脂质总量的 70% 以上；其次是胆固醇，一般低于 30%；还有少量属鞘脂类的脂质。磷脂的基本结构是：一分子甘油的两个羟基同两分子脂酸相结合，另一个羟基则同一分子磷酸结合，后者再同一个碱基结合。根据这个碱基的不同，动物细胞膜中的磷脂主要有 4 种（图 2-1-2）：磷脂酰胆碱、磷脂酰乙醇胺、磷脂酰丝氨酸和磷脂酰肌醇。

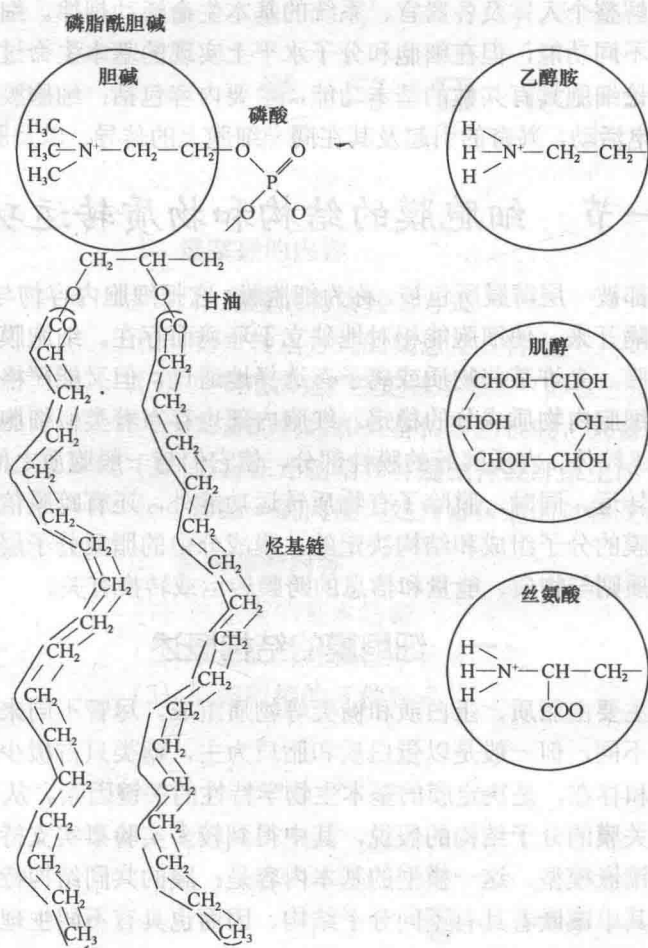


图 2-1-2 磷脂的分子组成

所有的膜脂质都是一些双嗜性分子，磷脂的一端的磷酸和碱基是亲水性极性基团，另一端的长烃链则属疏水性非极性基团。当脂质分子位于水表面时，由于水分子是极性分子，脂质的亲水性基团将和表面水分子相吸引，疏水性基团则受到排斥，于是脂质会在水表面形成一层亲水性基团朝向水面而疏水性基团朝向空气的整齐排列的单分子层。

在不同细胞或同一细胞而所在部位不同的膜结构中，脂质的成分和含量各有不同；双分子层的内外两层所含的脂质也不尽相同，例如，靠外侧的一层主要含磷脂酰胆碱和含胆碱的鞘脂，而靠胞质侧的一层则有较多的磷脂酰乙醇胺和磷脂酰丝氨酸。胆固醇含量在两层脂质中无大差别，但它们含量的多少和膜的流动性大小有一定关系，一般是胆固醇含量

愈多,流动性愈小。近年来发现,膜结构中含量相当少的磷脂酰肌醇,几乎全部分布在膜的靠胞质侧;这种脂质与细胞接受外界影响,并把信息传递到细胞内的过程有关。

(二) 细胞膜蛋白质

生物膜所具有的各种功能,在很大程度上决定于膜所含的蛋白质;细胞和周围环境之间的物质、能量和信息交换,大都与细胞膜上的蛋白质分子有关。

膜蛋白质主要以两种形式同膜脂质相结合:有些蛋白质以其肽链中带电的氨基酸或基团,与两侧的脂质极性基团相互吸引,使蛋白质分子像是附着在膜的表面,这称为表面蛋白质;有些蛋白质分子的肽链则可以一次或反复多次贯穿整个脂质双分子层,两端露出在膜的两侧,这称为结合蛋白质。

细胞膜蛋白是以 α -螺旋或球形结构分散镶嵌在膜的脂质双分子层之中。不同蛋白质具有不同的 α -螺旋及不同的空间构型,因此膜结构及功能的差别又在很大程度上取决于膜蛋白的组成。不同膜蛋白执行不同的功能,如有的作为受体,“接受”细胞环境中特异的化学性刺激或信号;有的作为酶蛋白参与细胞代谢;有的作为转运蛋白,与离子、营养物质和代谢产物有条件有选择地跨膜转运有关,如下面提到的载体、通道、离子泵等。

(三) 细胞膜糖类

细胞膜所含糖类甚少,主要是一些寡糖和多糖链,它们都以共价键的形式和膜脂质或蛋白质结合,形成糖脂和糖蛋白。这些糖链绝大多数是裸露在膜的外面一侧的,它们的意义之一在于以其单糖排列顺序上的特异性,可以作为它们所结合蛋白质的特异性“标志”。例如,有些糖链可以作为抗原决定簇,表示某种免疫信息;有些是作为膜受体的“可识别性”部分,能特异地与某种递质、激素或其他化学信号分子相结合。如人的红细胞 ABO 血型系统中,红细胞的不同抗原特性就是由结合在膜脂质的鞘氨醇分子上的寡糖链所决定的,A 型抗原和 B 型抗原的差别仅在于此糖链中一个糖基的不同。由此可见,生物体内不仅是多聚糖核苷酸中的碱基排列和肽链中氨基酸的排列可以起“分子语言”的作用,而且有些糖类物质中所含糖基序列的不同也可起类似的作用。

二、细胞膜的物质转运功能

细胞的新陈代谢需要有许多物质进出细胞,包括各种营养物质、代谢中间产物和终产物等。细胞与内、外环境之间的信息沟通也需要有物质进出细胞,如各种离子和信号分子。这些物质的跨膜转运途径大体是:脂溶性的小分子物质可通过物理扩散透过细胞膜,水溶性小分子物质和带电粒子需要借助一系列相关膜蛋白介导来完成转运,大分子物质或物质颗粒则通过细胞膜的整装转运进出细胞。从是否消耗能量的角度而言,物质转运可分为两种方式:被动转运与主动转运。被动转运包括单纯扩散与易化扩散。

(一) 单纯扩散

脂溶性的小分子物质从细胞膜的高浓度一侧向低浓度一侧移动的过程称为单纯扩散。这是一种单纯的物理过程,其扩散动力是该物质在细胞膜两侧的浓度差(或称浓度梯度,又称化学驱动力)。扩散速率除与化学驱动力大小有关外,还与细胞膜对该物质的通透性有关。

以单纯扩散的方式进行跨膜转运的物质较少,较肯定的有 CO_2 、 O_2 、 N_2 、 NH_3 、乙醇和尿素等。尽管水分子是极性分子,但因其分子小,且不带电荷,因而也可以单纯扩散的方式通过细胞膜。

(二) 易化扩散

非脂溶性或脂溶性很小的小分子物质,在膜上特殊蛋白质的帮助下,顺着浓度差或电位差(或称电位梯度,又称电驱动力)进行的跨膜转运过程称为易化扩散。通过易化扩散的方式作跨膜移动的物质有葡萄糖、氨基酸、 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 等。易化扩散所借助的膜蛋白主要有载体和通道两种,因而易化扩散可分为以下两种形式。

1. 经载体易化扩散 这种易化扩散的特点是膜结构中具有可称为载体的蛋白质分子。载体蛋白分子上具有一个或数个能与某种被转运物相结合的位点,当被转运物在膜的一侧与位点结合后,载体蛋白即可发生构象改变,将被转运物运载至膜的另一侧,然后,被转运物和载体分离,从而完成物质的跨膜转运,载体则恢复原来的构象。所以载体蛋白就好比是一条渡船,可反复使用。葡萄糖、氨基酸的跨膜转运就是以这种方式进行的。

以载体为中介的易化扩散都具有如下的共同特性:①载体蛋白质有较高的结构特异性。②饱和现象,即这种易化扩散的扩散通量一般与膜两侧被转运物质的浓度差成正比,但这只是当膜两侧浓度差较小时;如果膜一侧的浓度增加超过一定限度时,再增加底物浓度并不能使转运通量增加。③竞争性抑制,即如果某一载体对结构类似的A、B两种物质都有转运能力,那么在环境中加入B物质将会减弱它对A物质的转运能力,这是因为有一定数量的载体或其结合位点竞争性地被B所占据。

2. 经通道易化扩散 通道是贯穿细胞膜全层的蛋白质分子。组成这种膜蛋白的若干亚单位围成一个水性孔道,当通道开放时,允许某种水溶性离子,如 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 等穿过水性孔道进出细胞。通道也有特异性,但不如载体那么严格。不同的离子,一般由不同的通道转运,如 K^+ 通道、 Na^+ 通道等;一种离子也可通过结构和功能不同的多种通道,如 Ca^{2+} 就可通过3种以上的不同通道。

通道有备用、激活和失活等不同的功能状态。如果通道处于激活状态,有关离子即可顺浓度差或电位差快速经通道进出细胞;如果通道处于备用或失活状态,则有关离子就不能通透。通道的功能状态受膜电位、化学信号和机械刺激等因素调控。由于推测通道的功能状态与其分子内部的“闸门”样结构的运动有关,因而生理学中将这一过程称为门控。根据引起通道开关的条件不同,将通道分为电压门控通道、化学门控通道和机械门控通道等。

上述的单纯扩散与易化扩散,由于物质分子都是顺浓度差跨膜移动的,就像水从高处依靠势能流向低处一样,所以不需要消耗能量,因而统属于被动转运。

(三) 主动转运

主动转运指细胞通过本身的某种耗能过程,将某种物质的分子或离子由膜的低浓度一侧移向高浓度一侧的过程。有主动的跨膜转运在进行,必定伴随了能源物质(常常是ATP)的消耗(图2-1-3)。

物质分子可由高浓度处自动向低浓度处扩散,而由低浓度处移向高浓度处则需另行供能,正如滑雪者可由高坡自动下滑,而上坡却需要由人体费力一样。被动转运和主动转运的根本区别即在于此。

主动转运可分为原发性主动转运和继发性主动转运两种形式。

1. 原发性主动转运 转运所消耗的能量直接来源于细胞代谢产生的ATP或其他化学能源物质的分解,这种主动转运方式称为原发性主动转运。有些细胞将其全部ATP产量的40%以上用于某些物质的跨膜转运,可见主动转运对细胞生命活动的重要性。有许多重要

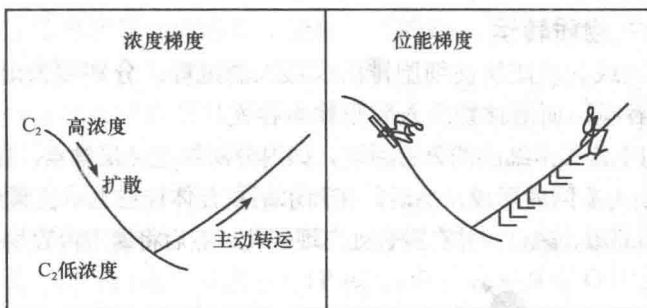


图 2-1-3 物质的主动转运和被动转运原理

的生理活动，例如，生物电的产生、肌肉的收缩与舒张、消化系统对营养物质和水的吸收，以及肾脏对多种体液成分的重吸收和分泌等，都直接或间接地依赖于原发性主动转运。

在原发性主动转运中，最重要的是细胞膜对 Na^+ 和 K^+ 的转运。正常情况下，细胞膜两侧的 Na^+ 和 K^+ 浓度有很大的差异，在人类的神经和骨骼肌细胞内 K^+ 浓度约为细胞外的 30 倍，而细胞外的 Na^+ 浓度约为细胞内的 12 倍。这种浓度差的形成和维持依靠细胞膜上一种特殊蛋白质的活动，这种膜蛋白称为钠-钾泵，简称钠泵。钠泵具有 ATP 酶活性，它依靠分解 ATP 而获得能量，并利用这个能量来进行 Na^+ 和 K^+ 的逆浓度差转运。因此，钠泵又称为 Na^+-K^+ 依赖式 ATP 酶。一般情况下，钠泵每分解一个 ATP 分子，可将 3 个 Na^+ 泵出细胞，同时将 2 个 K^+ 泵入细胞。钠泵的启动和活动增强与细胞内出现较多的 Na^+ 和细胞外出现较多的 K^+ 有关。

钠泵的活动具有重要的生理意义：①由钠泵活动造成的细胞内高 K^+ ，是许多代谢反应进行的必需条件；②如果细胞允许大量细胞外 Na^+ 进入膜内，由于渗透压的关系，必然会导致过多水分进入膜内，引起细胞的肿胀，进而破坏细胞的结构；③够建立起一种势能贮备。

2. 继发性主动转运 继发性主动转运是利用一种物质的电-化学驱动力（为电驱动力与化学驱动力两者的代数和）作为能源来驱动另一种物质的主动转运方式。例如，肠上皮细胞和肾小管上皮细胞对葡萄糖、氨基酸等的吸收过程。这些上皮细胞的基底-侧面膜（基侧膜）上存在着钠泵，不断地把上皮细胞内的 Na^+ 泵入组织间液，并被血液带走，造成细胞内的 Na^+ 浓度经常性低于肠腔液和肾小管液，于是肠腔液或肾小管液中的 Na^+ 不断地顺浓度差进入上皮细胞内；而葡萄糖、氨基酸则与 Na^+ 一起结合于腔面膜上的同向转运体，跟随着 Na^+ 同步转运入上皮细胞（图 2-1-4）。由此可见，提供葡萄糖、氨基酸转运的能量并不直接来源于 ATP 的分解，而是来源于基侧膜上钠泵活动所建立的一种势能。

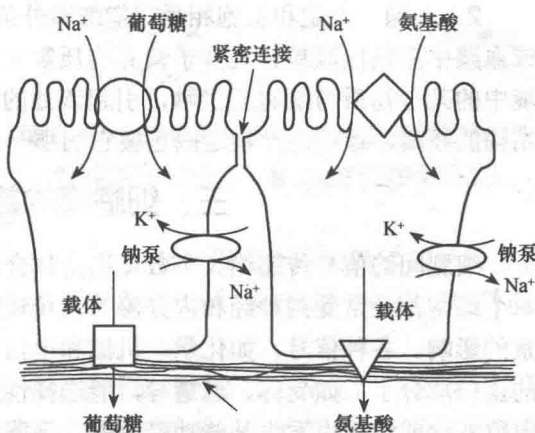


图 2-1-4 葡萄糖和一些氨基酸的继发性主动转运

注：上方弯曲的管腔侧膜上的圆和方块，分别表示同葡萄糖和某些氨基酸的继发性转运有关的转运蛋白质

主动转运是人体最重要的物质转运形式，除上述的钠泵外，目前了解较多的还有钙泵（ $\text{Ca}^{2+}-\text{Mg}^{2+}$ 依赖式 ATP 酶）、 H^+-K^+ 泵（ H^+-K^+ 依赖式 ATP 酶）等。这些泵蛋白在分子结构上和钠泵有很大类似，都以直接分解 ATP 为能量来源，将有关离子进行逆浓度的转运。