

7

R33-43
Z81

面向 21 世纪高等医药院校教材

生理学概要

主编 朱大年 陆利民

编者 (以姓氏笔画为序)

王文伟 卢宁 朱大年 李莉
陆利民 晁东满 郭学勤

复旦大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

生理学概要/朱大年,陆利民主编. —上海:复旦大学出版社,
2000.2

ISBN 7-309-03048-6

I.生… II.①朱… ②陆… III.人体生理学-高等学校 IV. R33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 093520 号

出版发行 复旦大学出版社
上海市国权路 579 号 200433
86-21-65102941(发行部) 86-21-65642892(编辑部)
fupnet@fudanpress.com <http://www.fudanpress.com>

经 销 新华书店上海发行所
印 刷 昆山亭林印刷总厂
开 本 787×1092 1/16
印 张 13.75
字 数 334 千
版 次 2002 年 2 月第一版 2002 年 2 月第一次印刷
印 数 1-3 000
定 价 25.00 元

如有印装质量问题,请向复旦大学出版社发行部调换。

版权所有 侵权必究

前 言

《生理学》是一门重要的医学基础课程,该课程为高等医学院校学生的必修课。我校和全国大多数医学院校一样,也选用全国规划教材《生理学》第5版(简称5版教材)为《生理学》课程的教材。我们编写这本《生理学概要》,作为我校临床医学、基础医学、预防医学、法医学和护理学等专业的学生学习生理学课程的参考书,旨在帮助学生学好生理学,用好5版教材。

本书以章为序进行编写,共分12章,各章标题及编排顺序与5版教材完全一致。每章前面都列出该章的学习要点。学习要点分掌握、熟悉和了解3个层次,要求掌握的内容为重点内容,占全部内容的70%~80%;要求熟悉的内容为次重要内容,约占20%;而要求了解的内容为一般内容,约占10%。每章后面都列有专业英语词汇和复习思考题。专业英语词汇也分3个层次,在它的中文对照名词前打**号者为要求掌握的词汇,约500个,约占全部词汇量的50%;打*号者为要求熟悉的词汇,约300个,约占30%;未作任何标记的是要求了解的词汇,约200个,约占20%。复习思考题全部为问答题,基本上能覆盖全书的重点内容和次重点内容,还有些题目为横向性题、结合实验题或应用性题。本书的主要部分是分节编写的学习内容。从我校目前的教学实际情况出发,我们提取和浓缩了5版教材中适合于我校临床医学、基础医学、预防医学、法医学和护理学等专业的学生学习的精要的内容,也是最重要、最基本的内容;另外,适当增加了一些5版教材中没有的而我们认为是必要的内容,并对学习内容的编写顺序作了适当的调整,在内容和语言上作了较大的精简,大大减少了篇幅,还对书中出现的专业性术语尽量给出定义。此外,本书文中所述各图及各表都是指5版教材中的插图和表。

本书的编者都是我校生理学教研室教学工作第一线有丰富教学经验的老师。编者对各自编写的内容都作了认真的思考,不仅参考了多种国内外著名教材,还结合自己多年的教学经验,在编写过程中精心编撰,精益求精,付出了辛勤的劳动。在此表示衷心感谢。

限于我们的水平,本书肯定还存在不少问题,恳请读者给予批评、指正,不胜感谢。

朱大年 陆利民

2001年12月1日

目 录

第一章 绪论	1
第一节 生理学的研究对象和任务	1
一、生理学的任务.....	1
二、生理学研究的 3 个水平.....	1
第二节 机体的内环境	2
第三节 生理功能的调节	2
一、神经调节.....	2
二、体液调节.....	2
三、自身调节.....	3
第四节 体内的控制系统	3
一、非自动控制系统.....	3
二、反馈控制系统.....	3
三、前馈控制系统.....	4
第二章 细胞的基本功能	6
第一节 细胞膜的跨膜物质转运功能	6
一、单纯扩散.....	6
二、易化扩散.....	7
三、主动转运.....	7
四、继发主动转运.....	8
五、出胞与入胞式物质转运.....	8
第二节 细胞的跨膜信号转导功能	8
一、由离子通道介导的跨膜信号转导.....	9
二、由 G-蛋白耦联受体介导的跨膜信号转导.....	9
三、由酪氨酸激酶受体完成的跨膜信号转导.....	10
第三节 细胞的生物电现象	10
一、神经和骨骼肌细胞的生物电现象.....	11
二、动作电位的引起和它在一细胞的传导.....	14
第四节 骨骼肌细胞的收缩功能	15
一、骨骼肌细胞收缩的引起和收缩机制.....	15
二、骨骼肌收缩的外部表现和力学分析.....	17
第三章 血液	23
第一节 血液的组成和理化特性	23
一、血液的组成和血量.....	23

二、血液的理化特性	24
第二节 血细胞生理	25
一、红细胞生理	25
二、白细胞生理	26
三、血小板生理	27
第三节 生理性止血	28
一、血小板的止血功能	28
二、血液凝固与抗凝	29
三、纤维蛋白溶解与抗纤溶	30
第四节 血型与输血原则	31
一、血型与红细胞凝集	31
二、红细胞血型	31
三、输血的原则	32
第四章 血液循环	36
第一节 心脏的泵血功能	36
一、心动周期	37
二、心脏泵血过程	37
三、心音的产生	38
四、心系功能的评定	39
五、心系功能的调节	39
六、心系功能的储备	41
第二节 心肌的生物电现象和生理特性	41
一、心肌细胞的动作电位和兴奋性	41
二、心肌的自动节律性	44
三、心肌的传导性和兴奋在心脏的传导	45
四、心肌的收缩性	46
五、体表心电图	47
第三节 血管生理	48
一、各类血管的结构和功能特点	48
二、血流量、血流阻力和血压	48
三、动脉血压和动脉脉搏	50
四、静脉血压和静脉回心血量	51
五、微循环	52
六、组织液	54
七、淋巴液	54
第四节 心血管活动的调节	55
一、神经调节	55
二、体液调节	58
三、局部血流调节	60

四、动脉血压的长期调节	60
第五节 器官循环	61
一、冠状动脉循环	61
二、肺循环	61
三、脑循环	62
第五章 呼吸	69
第一节 肺通气	69
一、肺通气的原理	69
二、肺容积和肺容量	72
三、肺通气量	73
第二节 肺换气和组织换气	74
一、气体交换的原理	74
二、肺换气	75
三、组织换气	76
第三节 气体在血液中的运输	76
一、氧和二氧化碳在血液中的形式	76
二、氧的运输	76
三、二氧化碳的运输	78
第四节 呼吸运动的调节	78
一、呼吸中枢与呼吸节律的形成	78
二、呼吸的反射性调节	79
第六章 消化和吸收	85
第一节 概述	85
一、消化道平滑肌的特性	85
二、消化腺的分泌功能	86
三、胃肠的神经支配	86
四、消化道的内分泌功能	86
第二节 口腔内消化	87
一、唾液的分泌	87
二、咀嚼	88
三、吞咽	88
第三节 胃内消化	88
一、胃液的分泌	88
二、胃的运动	90
第四节 小肠内消化	91
一、胰液的分泌	91
二、胆汁的分泌和排出	93
三、小肠液的分泌	94
四、小肠的运动	94

第五节 大肠内消化	95
一、大肠液的分泌	95
二、大肠的运动和排便	95
第六节 吸收	96
一、食物吸收的部位	96
二、小肠内主要营养物质的吸收	96
第七章 能量代谢和体温	101
第一节 能量代谢	101
一、食物的能量转化	101
二、能量代谢的测定原理和方法	101
三、影响能量代谢的因素	103
四、基础代谢	104
第二节 体温及其调节	104
一、体温	104
二、机体的产热与散热	105
三、体温调节	107
第八章 尿的生成和排出	111
第一节 肾的功能解剖和肾血流量	111
一、肾的功能解剖	111
二、肾血流量及其调节	112
第二节 肾小球的滤过功能	113
一、滤过膜及其通透性	113
二、有效滤过压	114
三、影响肾小球滤过的因素	114
第三节 肾小管与集合管的转运功能	115
一、近端小管	115
二、髓袢	116
三、远端小管和集合管	117
第四节 尿液的浓缩和稀释	118
一、尿液的稀释	118
二、尿液的浓缩	118
三、直小血管在保持肾髓质高渗中的作用	119
第五节 尿生成的调节	120
一、肾内自身调节	120
二、神经和体液调节	120
第六节 清除率	122
一、清除率的概念和计算方法	122
二、测定清除率的意义	122
第七节 排尿反射	123

第九章 感觉器官的功能	126
第一节 感受器的一般生理特性	126
一、感受器的适宜刺激	126
二、感受器的换能作用	127
三、感受器的编码作用	127
四、感受器的适应现象	127
第二节 眼的视觉功能	128
一、眼的折光系统及其调节	128
二、视网膜的结构和两种感光换能系统	130
三、视杆细胞的感光换能机制	131
四、视锥细胞的换能和颜色视觉	132
五、视网膜的信息处理	132
六、视觉现象	132
第三节 耳的听觉功能	133
一、人耳的听阈和听域	133
二、外耳和中耳的功能	134
三、内耳(耳蜗)的功能	134
四、听神经动作电位	136
第四节 前庭器官的平衡感觉功能	136
一、前庭器官的感受装置和适宜刺激	136
二、前庭反应和眼震颤	137
第五节 鼻的嗅觉、舌的味觉和皮肤的感觉功能	138
一、嗅觉感受器和嗅觉的一般性质	138
二、味觉感受器和味觉的一般性质	138
三、皮肤感受器的感觉功能	139
第十章 神经系统的功能	143
第一节 神经元与神经胶质细胞的功能	143
一、神经元	143
二、神经胶质细胞	145
第二节 神经元间的功能联系及反射	145
一、经典的突触传递	146
二、兴奋传递的其他方式	149
三、神经递质和受体	149
四、反射	154
第三节 神经系统的感觉分析功能	155
一、感觉传导通路	155
二、大脑皮质的感觉代表区	156
三、躯体感觉和内脏感觉	157
第四节 脑的电活动与觉醒、睡眠机制	159

一、皮质诱发电位	159
二、脑电图	159
三、觉醒与睡眠的产生机制	160
第五节 神经系统对姿势和运动的调节	161
一、运动调节的基本机制	161
二、运动调节系统的功能	163
三、姿势调节系统的功能	164
四、基底神经节的功能	166
五、小脑的功能	167
第六节 神经系统对内脏活动、本能行为和情绪反应的调节	168
一、自主神经系统的功能	168
二、内脏活动的中枢调节	169
三、本能行为和情绪反应的神经调节	170
第七节 脑的高级功能	172
一、学习与记忆	172
二、大脑皮质的语言中枢	173
第十一章 内分泌	182
第一节 概述	182
一、激素的分类	182
二、激素作用的一般特性	183
三、激素作用的机制	183
第二节 下丘脑与垂体的内分泌	184
一、下丘脑的内分泌功能	185
二、腺垂体的激素	185
三、神经垂体激素	187
第三节 甲状腺的内分泌	188
一、甲状腺激素的合成与代谢	188
二、甲状腺激素的生理作用	189
三、甲状腺功能的调节	190
第四节 甲状旁腺与调节钙、磷代谢的激素	191
一、甲状旁腺激素	191
二、降钙素	192
三、1,25-二羟维生素 D ₃	192
第五节 肾上腺的内分泌	193
一、肾上腺皮质的内分泌	193
二、肾上腺髓质的内分泌	195
第六节 胰岛的内分泌	195
一、胰岛素	195
二、胰高血糖素	197

第七节 松果体的激素与前列腺素	197
一、松果体的激素	197
二、前列腺素	198
第十二章 生殖	201
第一节 男性生殖	201
一、睾丸的生精作用	201
二、睾丸的内分泌功能	201
三、睾丸功能的调节	202
第二节 女性生殖	202
一、卵巢的生卵作用	203
二、卵巢的内分泌功能	203
三、卵巢周期性活动的调节	204
四、妊娠	205

第一章 绪 论

[学习要点]

1. 掌握内环境及其稳态的概念。
2. 掌握神经调节、体液调节和自身调节,以及反射和反射弧的概念。
3. 掌握负反馈控制的概念及其生理意义。
4. 了解生理学的研究对象、任务和研究内容(3个水平的研究)。
5. 了解非自动控制系统、正反馈控制和前馈控制的概念。

第一节 生理学的研究对象和任务

一、生理学的任务

生理学是生物科学的一个分支,是以生物机体的生命活动现象和机体各组成部分的功能为研究对象的一门科学。人体生理学研究:①正常人体各系统、器官和细胞所表现的生命活动规律;②各种生命现象的产生机制;③各系统、器官和细胞之间的相互联系和相互作用;④内、外环境变化对生命活动的影响。生理学是医学院校学生必修的一门重要的基础理论课程。

二、生理学研究的3个水平

(一) 细胞和分子水平的研究

主要研究细胞及其内部超微结构的功能,包括对组成细胞的各种生物大分子的物理、化学变化过程的研究。如骨骼肌收缩时的肌丝滑行、细胞兴奋时膜通道的通透性改变和离子跨膜运动、细胞在不同环境下基因表达的改变等。细胞和分子水平的研究有助于揭示生命活动最为深刻的本质。有关这方面的知识称为**细胞生理学**或**普通生理学**。

(二) 器官和系统水平的研究

主要研究各器官和系统的活动规律、调节机制及其影响因素等,如心脏射血、尿的生成和排出等。器官和系统水平的研究,有利于把复杂的整体化整为零,从而能更加方便,也更加准确地把握整个机体生命活动的规律。有关这方面的知识称为**器官和系统生理学**。

(三) 整体水平的研究

主要研究完整机体内各器官、系统之间的相互关系,以及内、外环境变化,包括社会、心理因素对完整机体生理功能的影响。如完整机体内神经、内分泌系统对其他各器官、系统活动的调节;又如运动、创伤、紧张、恐惧等生理和心理因素,以及地理、气候等环境因

素对完整机体生理功能的影响等。

整体生理活动不等于组成人体的各细胞、器官生理功能的简单总和,而是在这些生理功能之间存在着相互联系、相互制约、相互协调的关系。所以,要全面地理解某一生理功能的机制,必须进行以上 3 个水平的研究。

第二节 机体的内环境

人体由细胞组成。人体的细胞并不与外界环境直接接触,而是直接接触于细胞外液,因此称细胞外液为人体细胞生活的**内环境**,以区别于人体生活的外环境(大气层)。

内环境的各种理化因素保持相对稳定的状态,称为**稳态**。内环境的稳态是维持正常的细胞生理功能和机体生命活动的必要条件。由于细胞的不断代谢和外界环境的影响,内环境的稳态不断地受到扰乱和破坏;但通过肺的呼吸、胃肠道的消化吸收、肾的排泄等功能,以及神经、内分泌系统对各器官、系统功能的调节,可保持细胞外液中 O_2 分压和 CO_2 分压,以及各种营养物质和代谢产物的浓度相对稳定。所以,内环境的稳态是一种动态的相对稳定。

第三节 生理功能的调节

生理功能的**调节**是指机体在不同生理情况下或外界环境改变时,体内一些器官、组织和细胞发生相应的功能活动改变,这种改变使机体能适应当时机体生理活动的需要或使内环境保持相对稳定。人体生理功能的调节主要有以下 3 种。

一、神经调节

神经调节通过反射的方式进行。**反射**是指在中枢神经系统参与下机体对内、外环境刺激作出的规律性应答。反射的结构基础是**反射弧**,它由感受器、传入神经、中枢、传出神经和效应器 5 个部分组成。如火焰(刺激)接近肢体时,局部皮肤(感受器)感受疼痛,然后由神经纤维(传入神经)将痛觉传给脊髓和脑(中枢),经中枢分析后发出指令,再通过神经纤维(传出神经),引起支配该肢体的肌肉(效应器)收缩(效应),产生逃避火焰刺激源的躯体运动。反射弧上的任何一个环节被打断,反射将不能进行。

二、体液调节

体液调节是指机体某些细胞产生的某些特殊化学物质,通过体液运输,到达全身或局部的组织、细胞,并发挥对这些组织、细胞活动的调节。体液调节主要是通过内分泌腺和内分泌细胞释放**激素**的形式进行的。如胰岛 B 细胞分泌的胰岛素,经血液运输到全身的组织、

细胞,促进组织、细胞对糖的利用。有些激素可不经血液作远距离运输,而是经组织液扩散作用于邻近的细胞,称为**旁分泌调节**。如胃窦部 D 细胞释放生长抑素抑制邻近 G 细胞分泌胃泌素,就是通过这种方式进行的。也有一些神经元(见于下丘脑内)能合成和释放激素入血,这种方式称为**神经分泌**。此外,体内某些代谢产物(如 CO_2)也能调节有些细胞、器官的功能。

三、自身调节

自身调节是指组织、细胞在不依赖于神经或体液调节情况下,自身对刺激发生的一种适应性反应。例如,当小动脉的灌注压力升高时,血管平滑肌由于受牵拉刺激增高而发生收缩,于是小动脉的口径缩小,从而调节局部血液灌注量相对稳定。肾动脉灌注压在一定范围内变动时,肾血流量基本保持不变就是通过这种自身调节进行的。

第四节 体内的控制系统

人体功能的调节与工程技术中的自动控制过程有许多共同的规律,人体内存在着数以千计的控制系统。任何控制系统都由控制部分和受控部分组成。传统上,生理学中主要讲授器官水平和整体水平的控制系统。

一、非自动控制系统

非自动控制系统中的受控部分不会影响控制部分的活动,因此实际上该系统不能起自动控制作用。在人体生理功能调节中,这种控制系统极为少见。如在强烈的应激反应时,血中促肾上腺皮质激素(ACTH)与糖皮质激素浓度增高,此时,血中糖皮质激素(受控部分)不能反馈性抑制下丘脑神经元和垂体(控制部分)释放促肾上腺皮质激素释放激素(CRH)和 ACTH,结果导致血中糖皮质激素水平持续升高,直至应激刺激撤除为止。

二、反馈控制系统

反馈控制系统的受控部分不断有反馈信号返回控制部分,改变着控制部分的活动,由此而构成一个闭合环路。来自受控部分的反馈信号减低控制部分的活动,即为**负反馈**。来自受控部分的反馈信号加强控制部分的活动,则为**正反馈**。因此,反馈系统具有自动控制能力。

(一) 负反馈控制系统

人体生理功能的调节绝大多数是负反馈,其意义在于维持机体生理功能的稳态。如压力感受性反射,中枢(控制部分)可通过传入神经不断接受来自血压(受控部分)升高或降低的信号,并通过支配心血管活动的传出神经使血压降低或升高,维持血压的相对稳定。内环境的各种理化因素保持相对稳定,如体内的水、电解质和酸碱平衡,血浆中各种激素水平的

相对稳定等,都是负反馈调节的结果。

(二) 正反馈控制系统

在正常生理情况下,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。如排尿反射,在中枢(控制部分)发动排尿后,受控部分不断发出反馈信号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。此外,血液凝固、分娩等过程也是正反馈。

三、前馈控制系统

在反馈信号到达控制部分之前,已有纠正信号(前馈信号)到达控制部分来纠正可能出现的控制信号偏差,这种调控方式称为前馈。如要完成一个动作,中枢发出神经冲动引起一定的肌肉收缩,同时又通过前馈控制,使这些肌肉的收缩受到制约,不致收缩过度,从而能更准确地完成整个动作。前馈控制克服了反馈控制的“滞后”和“波动”两个缺点,具有快速性和预见性,因而更具适应性意义。

(朱大年)

[专业英语词汇]

** 生理学	physiology
细胞生理学	cell physiology
普通生理学	general physiology
** 内环境	internal environment
** 稳态	homeostasis
* 神经调节	nervous regulation
* 反射	reflex
** 反射弧	reflex arc
* 体液调节	humoral regulation
** 激素	hormone
** 旁分泌	paracrine
* 神经分泌	neurosecretion, neurocrine
* 自身调节	autoregulation
控制论	cybernetics
非自动控制系统	non-automatic control system
** 反馈控制	feedback control
** 负反馈	negative feedback
** 正反馈	positive feedback
* 前馈控制	feed-forward control

[复习思考题]

1. 何谓内环境及其稳态？为何必须维持内环境相对稳定？机体将如何维持内环境相对稳定？（提示：如何维持内环境相对稳定这一问题有待学完全书后解答）
2. 人体生理功能的调节主要有哪几种方式？它们是如何调节的？
3. 何谓正反馈和负反馈？试各举一例说明它们在生理功能调节中的作用及意义。

第二章 细胞的基本功能

[学习要点]

1. 掌握细胞膜的跨膜物质转运功能,特别是易化扩散、主动转运和继发主动转运的概念及作用原理。
2. 掌握细胞的跨膜信号转导功能,包括由离子通道、G-蛋白耦联受体和酪氨酸激酶受体介导的几种主要跨膜信号转导方式。
3. 掌握神经和骨骼肌细胞的生物电现象(主要是静息电位和动作电位)及其产生机制。
4. 掌握兴奋性的概念,组织兴奋及其恢复过程中兴奋性的周期性变化,以及兴奋的引起和它在同一细胞上的传导机制。
5. 掌握神经-骨骼肌接头处的兴奋传递、骨骼肌的收缩机制,以及兴奋-收缩耦联。
6. 了解骨骼肌收缩的外部表现和力学分析。

细胞是人体和其他生物体的基本结构单位。体内各种生理功能和生化反应都是在细胞及其产物的基础上进行的。尽管不同种属的生物体,或同一生物体内各个不同组织、器官和系统所表现的生命现象存在着千差万别,但在细胞和分子水平的生理、生化过程却基本相同。因此,学习细胞生理的基本原理,对进一步理解各器官系统乃至整体的生命活动规律具有重要的意义。

第一节 细胞膜的跨膜物质转运功能

一切动物细胞都由细胞膜所包被。细胞膜的分子结构是以液态的脂质双分子层为基架,其中镶嵌着具有不同结构和功能的蛋白质,这些蛋白质主要以 α -螺旋或球形蛋白质的形式存在,这就是细胞膜的**流体镶嵌模型**假说(图 2-1)。一般说来,膜结构中的脂质分子层主要起到屏障作用,使细胞能相对独立地存在于环境之中;而膜中的蛋白质则与细胞的跨膜物质转运和跨膜信息转导有关。细胞通过物质的跨膜转运,才能进行新陈代谢等活动。细胞膜的跨膜物质转运主要有以下几种方式。

一、单纯扩散

单纯扩散是指在生物体系中脂溶性的小分子物质从细胞膜高浓度一侧向低浓度一侧移动的过程,它是一种单纯的物理过程。人体内依靠这种方式进出细胞膜的物质不多,比较肯定的是 O_2 和 CO_2 等气体分子。

二、易化扩散

易化扩散是指生物体系中非脂溶性的小分子物质在膜结构中一些特殊蛋白质分子的“帮助”下,从细胞膜高浓度一侧向低浓度一侧移动的过程。通过这种方式进行跨膜转运的物质有葡萄糖、氨基酸和某些离子(如 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Cl^-)等。

易化扩散具有以下特点:①不消耗 ATP,动力来自扩散物质自身的热运动,因此与单纯扩散一样,同属被动转运;②具有选择性,即一种蛋白质分子只能帮助一种(或少数几种)物质分子或离子通过细胞膜;③有关的膜蛋白结构和功能经常受膜两侧,主要是膜外环境因素的调控。有关物质跨膜扩散的通量除膜对该物质的通透性外,还取决于该物质在膜两侧浓度差,离子的移动还取决于所受电场力的驱使。

易化扩散须借助的膜蛋白分子主要有**通道**和**载体**两种。通道对细胞和整个机体的功能十分重要。通道蛋白是由若干个亚单位组成的多聚体,它们贯穿于细胞膜全层,并围成一个水相孔道。一般情况下,这些孔道在未受任何刺激时并不开放,而是处于备用状态。当细胞膜受到某种刺激时,通道蛋白分子发生变构而引起水相孔道开放,即通道被**激活**,允许某种或某些带电离子(如 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 等)通过,于是离子在浓度差的推动下由膜的高浓度一侧向低浓度一侧快速移动(图 2-2)。大多数通道的开放时间都十分短促,然后很快失活而关闭;需经一段时间后,通道才逐渐恢复到原先未受刺激前的备用状态。

根据通道对不同离子的选择性通透,一般将通道分为 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 和 Cl^- 通道等。通道的选择性主要决定于通道开放时水相孔道的大小和孔道壁的带电情况;并且,离子通过通道进行易化扩散通常受到精密的调控。有些通道的开放决定于所在膜外侧某种化学信号物质的出现,这类通道称为**化学门控通道**或**配体门控通道**;有些通道的开放和关闭则由所在膜两侧电位差的改变而决定,这类通道称为**电压门控通道**;还有些通道可因膜的局部变形或受牵引而激活开放,因而称这类通道为**机械门控通道**,等等。

由载体完成的易化扩散,是指被转运物与膜上载体蛋白在细胞膜的一侧结合后被载运至膜的另一侧的过程,如细胞膜对葡萄糖和氨基酸的转运。载体转运好比渡船载物过河一般,但其确切机制尚不十分清楚。载体的特异性比通道严格,而转运速度则较慢。

三、主动转运

主动转运是指细胞主动将某种物质(分子或离子)由膜的低浓度一侧向高浓度一侧移动的过程。这种转运为耗能(直接分解 ATP)的主动过程,与镶嵌在膜上的特殊蛋白质分子有关。细胞膜上普遍存在着一种称为**钠-钾泵**(简称**钠泵**)的蛋白质分子。当膜内出现较多的 Na^+ 和(或)膜外出现较多的 K^+ 时,具有 ATP 酶活性的钠泵即被激活,利用分解 ATP 所释放的能量,将膜内多余的 Na^+ 泵出膜外,而将膜外多余的 K^+ 泵入膜内。膜内 Na^+ 浓度和(或)膜外 K^+ 浓度愈高,则钠泵活动愈强。所以,钠泵又称为 **$\text{Na}^+ - \text{K}^+$ 依赖式 ATP 酶**。一般情况下,钠泵每分解一分子 ATP,可将 3 个 Na^+ 移出膜外,同时将 2 个 K^+ 移入膜内。由钠泵活动所建立的细胞内高 K^+ 、低 Na^+ 具有重要意义:①细胞内高 K^+ 为细胞进行许多代谢反应所必需;②细胞内高 K^+ 、低 Na^+ 可防止过多水分进入细胞,以维持细胞的形态结构;③建立