


高等医药院校教材


(供专科中医学专业用)

# 生 理 学

主编 张光明      副主编 王大仁



中国中医药出版社



高等医药院校教材

# 生理学

(供专科中医专业用)

**主编** 张光明

**副主编** 王大仁

**编委** 何承敏 徐守中 姜松林

**审定** 陶兴华 孙国强

中国中医药出版社

(京)新登字025号

**生 理 学**

主编 张光明

\*

中国中医药出版社出版

(北京市东城区新中街11号)

邮编:100027 电话:4652210 电挂:3406

---

新华书店科技发行所发行 通县印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 14.5印张 360千字

\*

1993年12月第1版 1993年12月第1次印刷

印数1—5000册

---

ISBN7-80089-249-2/R·250 定价:11.60元

## 专科中医学专业主要课程教材

### 编审委员会

主任：李安邦

副主任：陆莲舫 万德光 郑守曾 曾诚厚

委员：(按姓氏笔划)

丁国明	丁 鐸	万德光	马宝章
王元勋	王景宜	韦永兴	尤庆文
邓振鹏	石学敏	龙文君	付元谋
丛春雨	宁 越	皮巨川	乔 模
许相文	刘宝贵	刘淑珍	孙国强
李安邦	李良信	李钟文	李超凡
李敬孝	杨护生	吴垂光	吴崇奇
陆莲舫	陈陶后	陈齐光	张光明
张发荣	张安楨	张华珠	张珍玉
张跃林	赵敬华	郑守曾	祈 涛
胡永年	奎传经	段振离	顾婉先
党兰玉	陶兴华	徐生旺	郭志强
涂晋文	黄国麒	黄委风	黄建业
惠纪元	韩宏志	曾君望	曾诚厚
蔡美秋	蔡绪江	廖润泉	魏毓奇

# 前 言

为发展普通高等中医药专科教育，加强专科教材建设，提高专科人才培养质量，国家中医药管理局组织编写出版了专科中医学专业17门教材。

本套教材主要是为培养适应县、乡、厂矿等基层医疗卫生机构需要的中医临床人才服务的。计有《中医学基础》、《中药学》、《方剂学》、《正常人体解剖学》、《生理学》、《西医临床基础》、《西医诊断学基础》、《中医内科学》、《中医妇科学》、《中医儿科学》、《中医外科学》、《中医骨伤科学》、《中医急诊学》、《针灸推拿学》、《西医内科学》、《西医外科学概论》、《农村卫生防疫》等十七门专科中医学专业主要课程教材。

在编写过程中，力求体现中医特色与专科特点；坚持科学性与适用性相统一，既注意吸取适合农村和基层需要的中医药学术新进展和诊疗新技术，又注意在取材的深度和广度上符合专科层次的要求。为了保证编写质量，特别加强了教材的审定工作，各门教材编写出初稿后，均由各门教材审定人和编审委员会根据教材的要求进行全面认真地审定。

编写专科中医学专业教材，属探索性的工作，可供借鉴的经验较少，要使本套教材适应普通高等中医药专科教育的需要，还需进行长期的努力。要通过大量实践，不断总结经验，加以提高，才能逐步完善。因而殷切期望广大师生和读者提出宝贵意见，以便在今后的修订时加以改进。

全国专科中医学专业主要课程  
教材编审委员会

## 编写说明

生理学是一门重要的基础理论课。本书除系统地论述正常人体生理学各个方面内容外，依照全国中医专科教材建设工作会议所确定的培养目标及课程设置情况，本书还介绍了物质代谢概要及水电解质平衡等内容，为学生学习后续课程奠定必要的理论基础。将物质代谢概要及水电解质平衡写入生理学教科书，本来也是国际上的通例。

一本适当的教材是保证教学质量的关键。本书在编写过程中，参阅了大量国内外最新文献，并结合了多年教学及编写教科书的经验，三易其稿。力求贯彻科学性、系统性、启发性及适用性等原则，尽量做到阐述清楚，概念明确，重点突出，便于自学，在理论上反映生理学当前发展水平。但限于水平，不妥之处在所难免，恳切欢迎各兄弟院校在使用中予以批评指正，以便修订。

本书按科发出字(90)0698号通知精神，全部生理学名词采用了全国自然科学名词审定委员会公布的《生理学名词——1989》所确定的法定标准生理学名词。部分名词可能目前还不习惯，但这是科技发展的需要。

本书的编写分工为：“绪论”及“血液循环”章由宜昌医学专科学校张光明教授编写，“新陈代谢与体温”及“内分泌与生殖”章由福建中医学院王大仁教授编写，“呼吸”及“消化与吸收”章由广西中医学院徐守中教授编写，“神经系统”及“感觉器官”章由黑龙江中医学院姜松林教授编写，“血液”及“肾脏生理与水电解质平衡”章由湖北中医学院何承敏副教授编写。

本书在编写过程中承审定人河南中医学院孙国强教授及安徽中医学院陶兴华副教授细心审阅，“物质代谢”节承宜昌医学专科学校生物化学教研室刘孝全教授审阅，全部插图皆由宜昌医学专科学校解剖学教研室吴先国教授绘制，特此表示衷心感谢。

张光明

1993年元月于宜昌

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	1
第一节 生命活动的基本特征.....	2
第二节 细胞膜.....	2
一、细胞膜的分子结构.....	3
二、细胞膜的物质转运.....	4
三、细胞膜的受体.....	7
第三节 体液.....	7
一、体液及其分布.....	7
二、内环境的动态相对恒定.....	8
三、各种体液成分的比较.....	8
第四节 神经纤维的生物电现象.....	10
一、静息电位.....	11
二、动作电位.....	12
三、动作电位的触发.....	14
四、局部兴奋.....	14
五、冲动的传导.....	15
六、神经纤维的分类.....	16
第五节 肌肉的兴奋与收缩.....	17
一、骨骼肌.....	17
二、平滑肌.....	21
第六节 人体功能的调节.....	22
一、反射与反射弧.....	22
二、各种调节方式.....	24
三、功能活动的反馈自动控制机制.....	24
四、非条件反射与条件反射.....	25
<b>第二章 血液</b> .....	27
第一节 血浆.....	27
一、血浆的成分.....	27
二、血浆的理化特性.....	28
第二节 血细胞.....	29
一、红细胞.....	29
二、白细胞.....	30
三、血小板.....	32
第三节 凝血与止血.....	32

一、血液凝固	32
二、纤维蛋白溶解	36
三、生理止血过程	37
第四节 血型	39
一、ABO血型系统	39
二、Rh血型系统	40
<b>第三章 血液循环</b>	<b>41</b>
第一节 心脏生理	41
一、心肌的结构	41
二、工作心肌细胞的生物电活动	43
三、传导系统细胞的生物电活动	45
四、心肌的生理特性	46
五、神经和离子对心肌功能的影响	50
六、心动周期	51
七、心音	53
八、心电图	53
九、心输出量	55
第二节 血管生理	57
一、动脉血压	58
二、各种血管中的血流直线速度	62
三、动脉脉搏	62
四、静脉血压与静脉回流	63
五、微循环	63
六、毛细血管内外的物质交换	64
七、淋巴液的生成与淋巴循环	66
第三节 心血管活动的调节	67
一、支配心脏的传出神经	67
二、支配血管的传出神经	68
三、心血管中枢	69
四、调节心血管活动的反射	69
五、心血管活动的体液调节	71
六、高级中枢对心血管活动的调节	73
第四节 器官的血液供应	73
一、器官血流量	73
二、冠脉循环	74
三、脑循环	75
四、血-脑脊液屏障与血-脑屏障	76
<b>第四章 呼吸</b>	<b>78</b>
第一节 呼吸系统的结构与功能	78



第二节 肺通气	80
一、肺通气的动力和肺内压	80
二、胸膜腔内压	81
三、肺容量	82
四、肺的通气量	82
第三节 呼吸气体的交换	83
一、气体交换的机制	83
二、气体交换	85
三、影响气体交换的因素	85
第四节 气体在血液中的运输	86
一、氧的运输	86
二、二氧化碳的运输	88
第五节 呼吸运动的调节	89
一、呼吸中枢与呼吸节律	89
二、呼吸运动的反射性调节	90
三、呼吸运动的化学性调节	91
<b>第五章 消化和吸收</b>	<b>93</b>
第一节 消化道的结构和功能	93
一、消化道平滑肌的生理特性	93
二、消化液的来源及其作用	94
三、消化道运动和分泌的调节	94
第二节 口腔内消化	95
一、唾液	95
二、咀嚼与吞咽	96
第三节 胃内消化	96
一、胃液	96
二、胃的运动	99
第四节 小肠内消化	101
一、胰液	101
二、胆汁	102
三、小肠液	103
四、小肠的运动	103
第五节 大肠的功能	104
一、大肠的分泌和细菌的作用	104
二、大肠的运动	105
三、排便	105
第六节 吸收	105
一、小肠的结构和功能	105
二、小肠内主要营养物质的吸收	106

<b>第六章 新陈代谢与体温</b> .....	109
<b>第一节 物质代谢</b> .....	109
一、糖代谢.....	109
二、脂类代谢.....	113
三、蛋白质代谢.....	117
四、肝脏的功能.....	123
<b>第二节 能量代谢</b> .....	124
一、能量代谢的测定.....	124
二、影响能量代谢的主要因素.....	126
三、基础代谢.....	126
<b>第三节 体温</b> .....	127
一、正常体温及其生理变动.....	127
二、人体的产热与散热.....	128
三、体温调节.....	129
<b>第七章 肾脏生理与水电解质平衡</b> .....	131
<b>第一节 概述</b> .....	131
一、肾脏的功能.....	131
二、尿的组成和理化特性.....	131
三、肾脏的结构.....	131
四、肾脏血液循环的特点.....	133
<b>第二节 尿生成的过程</b> .....	134
一、肾小球的滤过作用.....	134
二、肾小管和集合管的选择性重吸收.....	136
三、肾小管和集合管的分泌与排泄.....	140
<b>第三节 尿生成的激素调节</b> .....	141
一、抗利尿激素.....	141
二、醛固酮.....	142
三、心房钠尿肽.....	143
<b>第四节 尿的浓缩与稀释</b> .....	144
一、肾髓质高渗透压状态.....	144
二、直小血管的作用.....	146
三、尿液的浓缩和稀释.....	146
四、影响尿液浓缩的因素.....	146
<b>第五节 排尿</b> .....	147
一、膀胱和尿道的神经支配.....	147
二、排尿反射.....	147
<b>第六节 水、电解质平衡</b> .....	147
一、水平衡.....	147
二、电解质平衡.....	149

三、酸碱平衡·····	150
<b>第八章 内分泌与生殖·····</b>	<b>156</b>
第一节 概述·····	156
一、激素的一般特性·····	156
二、激素作用的机制·····	157
第二节 甲状腺·····	158
一、甲状腺激素·····	158
二、生理作用·····	159
三、分泌调节·····	160
第三节 甲状旁腺素、维生素D和降钙素·····	161
一、甲状旁腺·····	161
二、维生素D·····	162
三、降钙素·····	162
第四节 胰岛·····	163
一、胰岛素·····	163
二、胰高血糖素·····	164
第五节 肾上腺·····	164
一、肾上腺皮质·····	164
二、肾上腺髓质·····	167
第六节 垂体·····	168
一、腺垂体·····	168
二、神经垂体·····	171
第七节 生殖·····	171
一、男性生殖生理·····	171
二、女性生殖生理·····	172
<b>第九章 神经系统·····</b>	<b>179</b>
第一节 突触与反射中枢·····	179
一、神经元·····	179
二、神经胶质·····	180
三、突触·····	180
四、中枢神经系统中兴奋传递的特征·····	183
五、中枢抑制·····	184
第二节 神经系统的感觉功能·····	185
一、丘脑发出的投射系统·····	186
二、丘脑和大脑皮层的感觉功能·····	187
三、痛觉·····	188
第三节 神经系统对躯体运动的调节·····	190
一、脊髓反射·····	190
二、脑干对肌紧张的调节·····	192

三、小脑对躯体运动的调节	194
四、基底神经节对躯体运动的调节	194
五、大脑皮层对躯体运动的调节	195
第四节 植物性神经系统	196
一、植物性神经系统的结构特征	197
二、植物性神经系统的功能	198
三、植物性神经的兴奋传递	199
四、植物性神经的各级中枢	202
第五节 脑的高级功能	203
一、条件反射的抑制	204
二、人类大脑皮层活动的特征	204
三、脑电图	205
四、觉醒和睡眠	206
<b>第十章 感觉器官</b>	208
第一节 概述	208
一、感受器和感觉器官	208
二、感受器的生理特性	208
第二节 视觉器官	209
一、眼球的结构	209
二、视象形成与眼的调节	210
三、瞳孔对光反射	212
四、视网膜的结构与感光功能	212
五、暗适应与明适应	214
六、视力、视野与双眼视觉	214
第三节 听觉器官	215
一、外耳和中耳的传音功能	215
二、耳蜗的结构与功能	216
三、声波传导途径与耳聋的鉴别	217
四、听力	217
第三节 前庭器官	217
一、前庭器官的结构	218
二、前庭器官的功能	218
三、前庭器官引起的植物性功能反应	219

# 第一章 绪 论

生理学是研究生物体功能的科学。人体生理学是研究人体的正常功能的科学。

人体生理学首先研究组成人体的各个系统和器官的功能，以及完成这些功能的机制；为此，还要深入到细胞水平、细胞的亚微结构及分子水平，来探讨生命活动最基本的物理、化学变化过程。其次，研究人体各个部分的活动如何相互影响，受到何种调节，从而使整个人体的活动协调一致，以共同完成人体的各种整体性生命活动。最后，还要研究人体又是如何随时适应于不断变化着的外界环境。

人体生理学是医学科学的基础理论学科之一，只有掌握了人体及其各个部分的正常功能活动的规律，才能在后续课程中了解疾病的发生、发展的规律，从而为疾病的诊断、治疗和预防，以及增进人类健康提供理论基础。

自然科学的发展与社会生产力的发展密切相关。在古代，人类在和疾病斗争的漫长过程中，逐渐积累起医学的知识，其中就包含有人体生理学知识的萌芽。这些初步的人体生理学知识见诸文字记载也很早。例如，我国最早的医书《黄帝内经》中，就有不少关于人体解剖和生理方面的论述。我国历代中医中药著作中，也包含有许多可贵的生理学资料。国外也是这样。但是，由于当时一般自然科学知识的贫乏，生理学还不能成为一门独立的、系统的科学。

十六世纪的欧洲，在封建社会制度内部逐渐蕴育着新的资本主义生产方式，社会生产力的发展推动自然科学的发展。自然科学的发展不但是为了满足当时生产力发展的需要，而且也是作为一种思想武器，来同当时占统治地位的封建宗教迷信思想体系进行斗争。1543年比利时医生维萨利（Andreas Vesalius, 1514~1564）出版了他的《人体的结构》，这是第一部根据大量尸体解剖材料以客观的描述写成的系统人体解剖学，从而诞生了科学的人体解剖学。1628年英国医生哈维（William Harvey, 1578~1657）的《心脏和血液运动的研究》一书问世。他在批判地总结了前人工作的基础上，对于鱼、蛙、狗、猪和人的血液循环做了多年实验，通过大量实验材料，以事实为基础，有说服力地证明了心脏的搏动是血液循环的动力，血液是不断地在心脏和血管中单向循环流动，并指出了体循环和肺循环的途径。哈维的功绩不仅在于证明了血液循环，也在于他确立了正确的研究生理学的方法——动物活体解剖实验法。他不顾当时的社会压力，宣称“我自誓为真理的信徒”，毅然推翻了传统的对心脏血管功能的主观臆测，主张“应当以实验为据，而不应以书籍为据”，坚持只能用实验的方法来研究生物体功能，从而为科学的生理学的发展开辟了道路。

到了十九世纪后期，随着物理学、化学、生物学、组织学等学科的发展，生理学的实验研究有了全面进展，积累了大量器官生理学的知识。生理学成了一门系统的科学。

人体生理学以人体功能为研究对象，但只能在不损害健康的条件下才能对人体功能进行观察与测定，这样获得的资料必然十分有限。所以，人体生理学的知识主要来自用动物进行生理学实验。人同各种动物，特别是哺乳类动物，有许多结构和功能基本相似。因而，动物实验的资料可以用来帮助了解人体的生理功能及其机制。

动物实验方法有几种。一种是离体实验法，把要研究的器官、组织或细胞从活的动物体内取出，直接观察研究；另一种是在体实验法，将动物在麻醉情况下开刀，暴露出要研究的

器官进行实验观察。以上两种实验方法，只能在短时期内进行研究，故叫做急性实验。慢性实验是对动物进行无菌手术，使某器官与外界相通，或切除某个器官，或将电极埋藏在动物脑内，待伤口愈合后，可以在动物正常生活过程中长期进行研究。

近四五十年以来，随着生物化学、免疫学、遗传工程、电子学、电子显微镜、超微量化学分析、放射性同位素及电子计算机等技术的发展和在生理学研究中的广泛应用，促进生理学一方面向细胞、亚微结构和分子生理学等微观领域发展；另一方面，对人体进行无创伤的生理学观察研究的方法也日益增多。

## 第一节 生命活动的基本特征

### （一）新陈代谢

生命活动最基本的变化是新陈代谢，它包括同化作用（合成代谢）和异化作用（分解代谢）。通过同化作用，机体细胞不断利用经过消化吸收从外界摄取的营养物质来合成机体自己的组织成分；通过异化作用，机体细胞又不断地分解自己的组织成分以得到赖以生存的能量，并把分解后的代谢尾产物——废物排出体外。

新陈代谢又称物质代谢，它是在细胞内进行的酶促系列化学反应。在新陈代谢过程中伴随着能量的贮存、释放、转移和利用的过程，称为能量代谢。一般说来，在合成代谢中机体贮存能量，在分解代谢中释放能量。通过新陈代谢，机体不断地与外界环境进行物质交换，不断进行自我更新。

### （二）兴奋性

活的组织或整个机体受到刺激后，其活动发生改变，即发生了反应。这种能对刺激发生反应的能力称为兴奋性。而各种能引起反应的体内外变化称为刺激。如果所发生的反应表现为启动活动或活动增强，称为兴奋；如果所发生的反应表现为活动停止或活动减弱，则称为抑制。高等动物有专门感受体内和体外刺激的特殊神经结构，称为感受器。体内外的刺激大多是首先作用于感受器而反映到中枢神经系统，在中枢神经系统参与下完成各种反射活动，从而使某些器官、组织兴奋，使另一些器官、组织抑制，来统一调节各器官的活动，以保证机体的统一协调和对外界环境的适应。

### （三）适应性

机体生存于外界环境之中，当环境出现变化时，机体相应发生有利于生存、避开伤害的反应。机体这种适应环境变化的能力称为适应性。例如，当外界温度下降，从而使体温有下降趋势时，人体就发生相应的适应性反应，包括皮下血管收缩，使皮肤的血循环量减少，从身体内部运到皮肤的热量减少，皮肤温度下降，从而使通过皮肤向外界辐射、传导散热的量减少；同时，人体内产热过程增强，以产生更多的热量。散热减少，产热增多，体温得以维持恒定。这两种变化就是人体对外界温度下降的适应性反应。

## 第二节 细胞膜

人体由细胞和细胞间质组成。细胞是生物体的结构单位和功能单位。细胞最外层的结构是细胞膜，又叫质膜。细胞膜把细胞内含物与细胞外液加以隔离，以保证细胞内的结构不致

流失，维持细胞内部化学成分的恒定。这是细胞膜的“屏障”功能。细胞不断地进行新陈代谢和各种生理功能，需要经常和细胞外液进行物质交换。因而，细胞膜又要有“转运”功能。细胞膜外表面有各种受体，以接受细胞间的化学性信号。神经递质、某些激素和一些药物只要和相应的受体相结合，即可在细胞内引起相应的效应。这是细胞膜的“通讯”功能。细胞膜外表面还有特异性的抗原，可以结合相应的抗体而引起各种免疫反应，从而完成细胞的“识别”功能。神经组织和肌肉组织等在受到刺激时所发生的兴奋，就是在细胞膜上发生的生物电变化。这是细胞膜的“兴奋”功能。此外，细胞的运动、分裂、相互粘合和增殖控制，无不和细胞膜有关。

### 一、细胞膜的分子结构

细胞膜的分子结构是流体镶嵌式。流体的脂质双分子层（脂双层）是细胞膜的基架，其中镶嵌着各种球形膜蛋白质（图1-1,图1-2）。

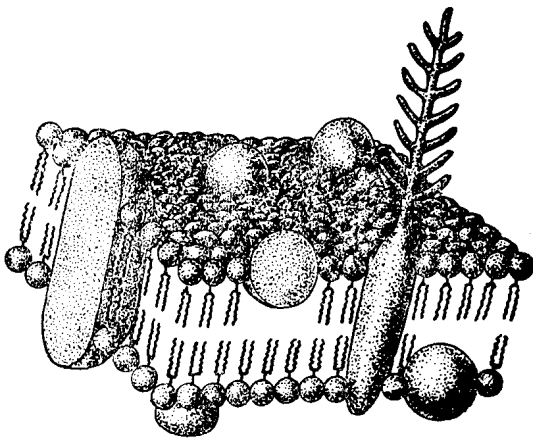


图 1-1 细胞膜的分子结构

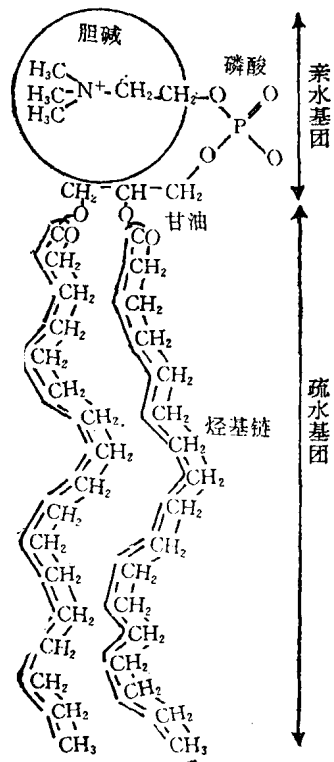


图 1-2 磷脂的分子组成  
以卵磷脂为例

#### (一) 流体脂双层

细胞膜干重约有40%是脂质，60%是蛋白质。由于蛋白质的分子量远大于脂质，因而，从分子数目来说，细胞膜中的脂质分子要比蛋白质分子多到100倍以上。细胞膜中的脂质约有70%是磷脂，包括卵磷脂（磷脂酰胆碱）、脑磷脂（磷脂酰乙醇胺）及神经鞘磷脂等。有23%左右是胆固醇，还有少量糖脂。

上述磷脂的分子都有一个共同的特点，即它的长杆形分子的一端是由磷酸和碱基构成的亲水性极性基团，另一端是两条约长2nm（纳米）的脂肪酸烃链构成的疏水性非极性基团（图1-2）。长形的胆固醇分子的两端也分别是亲水性极性基团和疏水性非极性基团。细胞膜的脂

双层由两个分子层的脂质构成，所有脂质分子的亲水端都在膜的内外表面，而两层脂质分子的疏水端则面对面地朝向双分子层的中央。由于这些磷脂所含的脂肪酸大多是不饱和的，熔点较低，在人体中它们是流体。因而这些飘浮在液面的脂质分子经常在同一分子层中迅速地做着侧向运动，相互交换位置，但却很难掉头从外层翻向内层，或从内层翻向外层。

水溶性的物质和离子很难通过脂双层，因而这种细胞膜的基架在细胞膜的屏障功能中起主要作用。

## (二) 膜蛋白质

在细胞膜的基架脂双层中镶嵌着各种各样的球形的膜蛋白质。膜蛋白质有的是长椭圆形，贯穿整个脂双层；有的分子较小，只以一定的深度埋在外层或内层脂质层中；有的只是附着在脂双层的内面（图1-1）。

脂双层完成细胞膜的屏障功能，细胞膜的其他功能主要靠膜蛋白质来完成。膜蛋白质多种多样，各有特殊功能，大体有以下几类：① 有一类膜蛋白质完成物质转运，包括各种载体、离子通道和“泵”。② 有的膜蛋白质是受体。③ 有的膜蛋白质是抗原。④ 有的膜蛋白质是细胞膜中的酶。⑤ 有的是结构蛋白质，构成膜骨架，固定或控制某些膜蛋白质的运动，维持细胞形态。⑥ 有的与细胞的变形运动、胞吞或胞吐有关。⑦ 有的膜蛋白质则是能量转换器，将某种能量转换为细胞膜的生物电变化。

流体的脂双层中的脂质分子活跃地在分子层中进行侧向运动，而膜蛋白质虽也可移动，但却比较固定。

上述流体镶嵌式的膜，不但构成了细胞膜的主要成分，而且细胞内的各种膜性结构，如线粒体膜、内质网、高尔基复合体膜、核膜和溶酶体膜，也都有相似的结构，在电镜下观察也都是约厚7.5nm的由暗-亮-暗三层构成的膜，故可统称为单位膜。

对细胞膜来说，在单位膜之外还覆盖着一层含有糖链约厚10~20nm的细胞被。它是细胞膜的一个组成部分，和细胞的多种功能密切相关。

## 二、细胞膜的物质转运

细胞膜首先是构成一道屏障，但又要有转运功能，以便有选择、有控制地使多种物质转运过去。物质转运有三种形式，前两种是以小分子或离子形式穿细胞膜而转运，在电镜下也难以观察到；后一种是转运较大体积的物质的膜动转运，可在电镜下观察到。

### (一) 被动转运——扩散

扩散是一种不需额外提供能量的被动的物理过程，是分子或离子从浓度高的部位向浓度低的部位的运动。通过细胞膜扩散过去的物质的量，一方面决定于细胞膜两侧此物质的浓度梯度，即浓度差除以通透膜的厚度。浓度梯度愈大，扩散率愈大；另一方面也决定于细胞膜对此物质的通透性。浓度梯度是物质扩散的动力，通透性是此物质能否通过和通过数量的条件。被动转运又可分为两种形式。

1. 单纯扩散：小分子物质从浓度高的一侧直接穿过脂双层扩散到浓度低的一侧，称为单纯扩散。因而，只有脂溶性高的小分子物质才可借单纯扩散通过细胞膜。在正常人体成分中，只有O<sub>2</sub>和CO<sub>2</sub>等少数几种脂溶性物质是靠单纯扩散而穿过细胞膜。因而，也可将单纯扩散称为溶解扩散。

2. 易化扩散：凡是需要借助于镶嵌在细胞膜中的某种膜蛋白质才能顺浓度梯度进行扩散的转运方式称为易化扩散。完成易化扩散的膜蛋白质可分为两种。



(1) 离子通道：离子通道简称通道，是一类贯穿细胞膜的膜蛋白质。当它开放时，可以特异地允许某一种或几种离子顺浓度梯度扩散通过。各种离子有各自的特异性通道。例如，河鲀毒素能选择性地阻断细胞膜中的钠离子通道，但不影响 $K^+$ 通过细胞膜；而四乙铵类化合物可以选择性地阻断钾离子通道，却不影响 $Na^+$ 通过细胞膜。通道有开放或关闭两种功能状态。有的通道可在某些递质的作用下改变构型，使通道开放或关闭，此种通道称为化学依从式通道；有的通道可在膜电位改变的情况下改变构型，使通道开放或关闭，这类通道称为电压依从式通道。

(2) 载体：糖类、氨基酸等依靠载体顺浓度梯度进行易化扩散。细胞膜中有多种特异性载体，被转运物质与之结合后即引起载体这种膜蛋白质的构型发生改变——变构，而将此物质从浓度高的一侧转运到浓度低的一侧。载体也有特异性。例如，在同等浓度梯度条件下，右旋葡萄糖比左旋葡萄糖和戊糖更容易扩散通过细胞膜，可见转运葡萄糖的载体有高度结构特异性。

## (二) 主动转运

上述两种扩散都是顺浓度梯度无须额外提供能量的被动转运过程，而主动转运则是一种逆浓度梯度消耗能量的转运过程。它一般是依靠被称作“泵”的膜蛋白质，将某种物质从浓度低的一侧通过细胞膜主动转运到浓度高的一侧。

1. 离子泵：细胞内外虽只有一膜之隔，细胞内液与细胞外液中各种物质的浓度却有很大差别，将在下节详述，并可参看表1-1。就正离子而论，细胞内液中的 $K^+$ 浓度要比细胞外液大30倍左右，而细胞外液中的 $Na^+$ 浓度要比细胞内液大15倍左右。尽管细胞膜对 $Na^+$ 、 $K^+$ 的通透性很小，但经常总是有些 $Na^+$ 扩散进入细胞内，经常有些 $K^+$ 从细胞内扩散出来。这就要靠细胞膜中的钠-钾泵（简称钠泵）经常活动，不断地将多余的 $Na^+$ 从细胞内泵出，同时把 $K^+$ 从细胞外泵入细胞内，以保持细胞内外 $Na^+$ 、 $K^+$ 的不平衡分布（图1-6）。

钠泵的化学物质是叫做 $Na^+-K^+$ 依赖式ATP酶的膜蛋白质，是一种分子量为25万左右的糖蛋白大分子。它是一种ATP酶，可以分解ATP（三磷酸腺苷）以提供能量；同时它可以被细胞内液中的 $Na^+$ 或细胞外液中的 $K^+$ 所激活。细胞内液中的 $Na^+$ 浓度愈高，或细胞外液中的 $K^+$ 浓度愈高，皆可使钠泵的运转更为活跃。钠泵每分解一个分子的ATP，可以排出三个 $Na^+$ ，摄入两个 $K^+$ 。

动物所有细胞的细胞膜中皆有钠泵。在不同的细胞中，钠泵所消耗的能量占这种细胞消耗的总能量的百分比不一。平均来说，人体能量总消耗量中约有20%的能量消耗在钠泵的运转上。

除钠泵外，人体还有其它种主动转运。如肌细胞的肌质网膜中的钙泵（图1-16），胃腺壁细胞细胞膜中的氢泵（图5-4），甲状腺上皮细胞细胞膜中的碘泵等。

2. 协同转运与跨上皮转运：钠泵的运转形成和保持了细胞内外 $Na^+$ 、 $K^+$ 的不平衡分布，这不但是神经、肌肉等组织具有兴奋性，能发生生物电变化的基础，而且保持细胞内液高 $K^+$ 浓度，是细胞进行许多代谢反应的必要条件。对于有吸收能力的上皮细胞，钠泵也是跨上皮转运的动力。例如，小肠上皮细胞和肾脏近端小管的上皮细胞都有吸收葡萄糖的能力，可以逆浓度梯度将葡萄糖从浓度低的肠腔、肾小管腔一侧主动跨上皮细胞转运到浓度高的组织液一侧，使葡萄糖被吸收入血液。

跨上皮转运的机制可见图1-3。在管腔面四周上皮细胞之间有“条焊式”的细胞膜互相贴连