

全国高等医药院校配套教材

供基础、预防、临床、口腔医学专业用

# 生理学纲要

主编 杨 钢



人民卫生出版社

全国高等医药院校配套教材  
供基础、预防、临床、口腔医学专业用

# 生 理 学 纲 要

主编 杨 钢

副主编 许继田 万 瑜 赵 华

编 者

杨 钢(武汉大学医学院、宁波大学医学院)

余承高(华中科技大学同济医学院)

许继田(郑州大学医学院)

万 瑜(武汉大学医学院)

刘少金(武汉大学医学院)

赵 华(吉林大学白求恩医学部)

章 茜(郑州大学医学院)

马 青(宁波大学医学院)

徐芳玲(武汉大学医学院)



A0971422

人 民 卫 生 出 版 社

图书在版编目(CIP)数据

生理学纲要/杨钢主编. —北京:  
人民卫生出版社, 2001  
ISBN 7-117-04629-5

I. 生… II. 杨… III. 人体生理学-高等学校-  
教学参考资料 IV. R33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 080755 号

生理学纲要

主 编: 杨 钢

出版发行: 人民卫生出版社(中继线 67616688)

地 址: (100078)北京市丰台区方庄芳群园 3 区 3 号楼

网 址: <http://www.pmph.com>

E-mail: [pmph@pmph.com](mailto:pmph@pmph.com)

印 刷: 北京市通县永乐印刷厂

经 销: 新华书店

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 20.25

字 数: 462 千字

版 次: 2002 年 1 月第 1 版 2002 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

印 数: 00 001—3 050

标准书号: ISBN 7-117-04629-5/R·4630

定 价: 29.50 元

著作权所有, 请勿擅自用本书制作各类出版物, 违者必究

(凡属质量问题请与本社发行部联系退换)

## 序 言

今年是 21 世纪的第一年,以杨钢教授为主编的《生理学纲要》即将面世,谨致贺忱。

生理学是医学教育的主干基础课程,它对后续的基础课及内、外、妇、儿等临床科学,均是重要的基础;它也是生命科学各课程中最重要课程之一。在国外普遍实行的医师执照考试及国内近年新施行的医师资格考试中,生理学均是必考课程,因此无论医学院或生命科学院均十分重视提高生理学教学质量。生理学教师力求讲课要讲得好,又讲得省力,学生学习既理解得深,又记得实,这始终是生理学教学追求的目标。

杨钢教授系武汉大学医学院(原湖北医科大学)教授。自 1997 年起至宁波大学医学院参加筹建工作,负责生理学科的教学工作。他积 40 年之教学经验,为求高质量之教学效果,于 1999 年首先编写出《生理学教学纲要》一书,作为宁波大学医学院 98、99 级所用统编《生理学》教材的辅助讲义。书中对生理现象、规律、机制作精辟总结,在着重阐明基本概念的同时,力求文字简洁,提纲挈领,选用最简明而又准确的插图,便于教师讲授,也有利于学生理解与记忆;内容尽量避免大段冗长之叙述,而采用提纲式,长句化短,繁句化简,力求条理分明,又不失其系统性。经 98、99 两个年级的学生使用后,收效上佳。98 级基础课程结束时,院方曾采用 1999 年全国医师资格考试的整套基础试题作为该年级基础课结业考试的考题,结果表明生理学的考试成绩最令人满意。作者又根据第五版《生理学》,并参考近年国外生理学多种教科书的最新资料及其他多位教授的资料,汇编成这本《生理学纲要》。

在人民卫生出版社教材编辑部的大力支持下,本书将正式付梓;相信此书的出版定将为提高医学院校及生命科学院生理学的教学质量作出贡献。

章锁江

2001 年 7 月 1 日

# 目 录

|                                    |      |
|------------------------------------|------|
| 第一章 绪论 .....                       | (1)  |
| 第一节 内环境与稳态 .....                   | (1)  |
| 第二节 生理功能的调节 .....                  | (1)  |
| 一、神经调节 .....                       | (1)  |
| 二、体液调节 .....                       | (1)  |
| 三、自身调节 .....                       | (2)  |
| 第三节 生理功能调节的控制 .....                | (2)  |
| 一、非自动控制系统 .....                    | (2)  |
| 二、反馈控制系统 .....                     | (2)  |
| 第二章 细胞的基本功能 .....                  | (5)  |
| 第一节 细胞膜的基本结构和物质转运功能 .....          | (5)  |
| 一、细胞膜的结构特点 .....                   | (5)  |
| 二、细胞膜的物质转运功能 .....                 | (7)  |
| 第二节 细胞的跨膜信号传递功能 .....              | (11) |
| 一、由具有特殊感受结构的通道完成的跨膜信号传递 .....      | (12) |
| 二、由膜的受体、G-蛋白和效应器酶组成的跨膜信号传递系统 ..... | (13) |
| 三、由酪氨酸激酶受体完成的跨膜信号转导 .....          | (15) |
| 第三节 细胞的兴奋性和兴奋 .....                | (15) |
| 一、兴奋性和兴奋的含义 .....                  | (15) |
| 二、兴奋性的指标——阈值 .....                 | (16) |
| 三、组织兴奋时兴奋性的变化 .....                | (16) |
| 第四节 细胞的生物电现象 .....                 | (17) |
| 一、生物电现象的观察和记录方法 .....              | (17) |
| 二、静息电位 .....                       | (18) |
| 三、动作电位 .....                       | (19) |
| 四、动作电位的传导 .....                    | (21) |
| 第五节 骨骼肌细胞的收缩功能 .....               | (22) |
| 一、神经肌肉接头处兴奋的传递 .....               | (22) |
| 二、骨骼肌的收缩原理 .....                   | (24) |
| 三、骨骼肌的收缩形式 .....                   | (30) |
| 四、影响骨骼肌收缩的主要因素 .....               | (31) |
| 五、平滑肌的结构和生理特性 .....                | (31) |
| 复习参考表 2-1 至 2-7 .....              | (34) |

|                           |      |
|---------------------------|------|
| <b>第三章 血液</b>             | (38) |
| <b>第一节 血液的组成和特性</b>       | (39) |
| 一、血液的组成                   | (39) |
| 二、血液的理化特性                 | (40) |
| <b>第二节 血细胞生理</b>          | (42) |
| 一、红细胞                     | (42) |
| 二、白细胞                     | (45) |
| 三、血小板                     | (50) |
| <b>第三节 血液凝固与纤维蛋白溶解</b>    | (51) |
| 一、血液凝固                    | (51) |
| 二、纤维蛋白溶解                  | (54) |
| <b>第四节 血型</b>             | (56) |
| 一、红细胞血型                   | (56) |
| 二、白细胞与血小板血型               | (59) |
| 复习参考表 3-1 至 3-8           | (60) |
| <b>第四章 血液循环</b>           | (63) |
| <b>第一节 心脏生理</b>           | (63) |
| 一、心动周期的概念                 | (63) |
| 二、心脏泵血的过程和机制              | (64) |
| 三、心脏射血功能的评价               | (64) |
| 四、心脏泵功能的调节                | (67) |
| 五、心音                      | (69) |
| <b>第二节 心肌的生物电现象和电生理特性</b> | (70) |
| 一、心肌细胞的生物电现象              | (70) |
| 二、心肌电生理特性                 | (72) |
| 三、自主神经对心肌生物电活动和收缩功能的影响    | (77) |
| 四、体表心电图                   | (78) |
| <b>第三节 血管生理</b>           | (80) |
| 一、各类血管的功能特点               | (80) |
| 二、血流量、血流阻力和血压             | (80) |
| 三、动脉血压和动脉脉搏               | (82) |
| 四、静脉血压和静脉回心血量             | (85) |
| 五、微循环                     | (86) |
| 六、组织液的生成                  | (89) |
| 七、淋巴液的生成和回流               | (90) |
| <b>第四节 心血管活动的调节</b>       | (92) |
| 一、神经调节                    | (92) |
| 二、体液调节                    | (97) |

|                        |       |
|------------------------|-------|
| 三、动脉血压的长期调节 .....      | (100) |
| 四、肌肉运动时心血管活动的调节 .....  | (101) |
| 五、冠脉循环的特点 .....        | (101) |
| 六、脑循环的特点 .....         | (102) |
| 复习参考表 4-1 至 4-20 ..... | (102) |
| <b>第五章 呼吸</b> .....    | (112) |
| 第一节 肺通气 .....          | (112) |
| 一、呼吸器官的结构特征 .....      | (112) |
| 二、肺通气原理 .....          | (113) |
| 三、肺通气功能的测定 .....       | (116) |
| 第二节 气体的交换 .....        | (118) |
| 一、气体交换的动力 .....        | (118) |
| 二、气体交换的过程 .....        | (119) |
| 三、影响气体交换的因素 .....      | (120) |
| 第三节 血液气体的运输 .....      | (120) |
| 一、氧的运输 .....           | (121) |
| 二、二氧化碳的运输 .....        | (123) |
| 第四节 呼吸运动的调节 .....      | (124) |
| 一、呼吸的中枢调控 .....        | (125) |
| 二、呼吸的反射性调节 .....       | (126) |
| 三、化学因素对呼吸的调节 .....     | (127) |
| 四、周期性呼吸 .....          | (128) |
| 复习参考表 5-1 至 5-10 ..... | (130) |
| <b>第六章 消化和吸收</b> ..... | (135) |
| 第一节 概述 .....           | (135) |
| 一、消化道平滑肌的特性 .....      | (136) |
| 二、消化腺的分泌功能 .....       | (137) |
| 三、胃肠的神经支配及其作用 .....    | (137) |
| 四、胃肠激素 .....           | (138) |
| 第二节 口腔内消化 .....        | (140) |
| 第三节 胃内消化 .....         | (142) |
| 一、胃的分泌 .....           | (142) |
| 二、胃的运动 .....           | (148) |
| 第四节 小肠内消化 .....        | (149) |
| 一、胰液的分泌 .....          | (149) |
| 二、胆汁的分泌和排出 .....       | (152) |
| 三、小肠液的分泌 .....         | (153) |

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| 四、小肠的运动 .....            | (154) |
| 第五节 大肠的功能 .....          | (155) |
| 一、大肠液的分泌 .....           | (155) |
| 二、大肠的运动和排便 .....         | (155) |
| 第六节 吸收 .....             | (157) |
| 一、吸收过程概述 .....           | (157) |
| 二、主要营养物质的吸收过程 .....      | (157) |
| 复习参考表 6-1 至 6-5 .....    | (160) |
| <b>第七章 能量代谢和体温</b> ..... | (163) |
| 第一节 能量代谢 .....           | (163) |
| 一、机体能量的来源和去路 .....       | (163) |
| 二、能量代谢的测定 .....          | (163) |
| 三、影响能量代谢的因素 .....        | (166) |
| 四、基础代谢 .....             | (168) |
| 第二节 体温及其调节 .....         | (168) |
| 一、人的正常体温及生理变动 .....      | (168) |
| 二、机体的产热和散热 .....         | (169) |
| 三、体温调节 .....             | (172) |
| 复习参考表 7-1 至 7-8 .....    | (173) |
| <b>第八章 尿的生成和排出</b> ..... | (177) |
| 第一节 肾结构和血液循环特点 .....     | (177) |
| 一、肾的结构特点 .....           | (177) |
| 二、肾血液循环的特点 .....         | (178) |
| 第二节 肾小球的滤过功能 .....       | (181) |
| 一、滤过膜及其通透性 .....         | (181) |
| 二、有效滤过压 .....            | (181) |
| 三、滤过率、滤过分数 .....         | (182) |
| 四、影响肾小球滤过的因素 .....       | (183) |
| 第三节 肾小管和集合管的转运功能 .....   | (183) |
| 一、肾小管和集合管的转运方式 .....     | (184) |
| 二、各段肾小管和集合管的转运功能 .....   | (184) |
| 第四节 尿液的浓缩和稀释 .....       | (190) |
| 一、尿浓缩和稀释的基本过程 .....      | (190) |
| 二、尿浓缩和稀释的机制 .....        | (191) |
| 第五节 肾泌尿功能的调节 .....       | (192) |
| 一、肾内自身调节 .....           | (193) |
| 二、神经和体液调节 .....          | (193) |



|                  |       |
|------------------|-------|
| 第六节 清除率          | (196) |
| 一、清除率的概念和计算方法    | (196) |
| 二、测定血浆清除率的理论意义   | (197) |
| 第七节 尿的排放         | (199) |
| 复习参考表 8-1 至 8-13 | (200) |
| <b>第九章 感觉器官</b>  | (208) |
| 第一节 感受器与感觉器官     | (208) |
| 一、感受器与感觉器官的概念    | (208) |
| 二、感受器的基本生理特性     | (208) |
| 第二节 视觉器官         | (209) |
| 一、眼的折光功能         | (210) |
| 二、眼的感光功能         | (213) |
| 三、几种视觉生理现象       | (217) |
| 第三节 听觉器官         | (218) |
| 一、外耳和中耳的传音功能     | (218) |
| 二、内耳的感音功能        | (219) |
| 三、听阈和听力          | (221) |
| 第四节 前庭器官         | (222) |
| 一、前庭器官的感受装置和适宜刺激 | (222) |
| 二、椭圆囊和球囊的功能      | (223) |
| 三、半规管的功能         | (224) |
| 复习参考表 9-1 至 9-14 | (225) |
| <b>第十章 神经系统</b>  | (231) |
| 第一节 神经元活动的一般规律   | (231) |
| 一、神经元和神经纤维       | (231) |
| 二、神经元间相互作用的方式    | (232) |
| 三、神经递质           | (234) |
| 四、突触传递的分子机制      | (237) |
| 五、突触后神经元的电变化     | (238) |
| 六、受体学说           | (240) |
| 第二节 中枢活动的一般规律    | (242) |
| 一、中枢神经元的联系方式     | (242) |
| 二、中枢传递兴奋的特征      | (243) |
| 三、中枢突触的可塑性       | (243) |
| 四、中枢传递的抑制现象      | (245) |
| 第三节 神经系统的感觉分析功能  | (246) |
| 一、脊髓的感觉传导通路      | (246) |

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| 二、丘脑与感觉投射系统 .....        | (246) |
| 三、大脑皮层的感觉分析功能 .....      | (248) |
| 四、痛觉的病埋生理 .....          | (249) |
| 第四节 神经系统对躯体运动的调节 .....   | (250) |
| 一、脊髓的躯体运动反射 .....        | (250) |
| 二、脑干对肌紧张的调节 .....        | (253) |
| 三、小脑调节运动的功能 .....        | (253) |
| 四、基底核对躯体运动的调节 .....      | (255) |
| 五、大脑皮层对躯体运动的调节 .....     | (255) |
| 第五节 神经系统对内脏活动的调节 .....   | (256) |
| 一、自主神经系统 .....           | (256) |
| 二、各级中枢对内脏活动的调节 .....     | (259) |
| 第六节 脑的高级功能与电活动 .....     | (260) |
| 一、条件反射 .....             | (261) |
| 二、人类大脑皮层活动的特征 .....      | (261) |
| 三、学习和记忆 .....            | (262) |
| 四、脑电图和皮层诱发电位 .....       | (263) |
| 五、觉醒与睡眠 .....            | (265) |
| 复习参考表 10-1 至 10-13 ..... | (266) |
| <b>第十一章 内分泌</b> .....    | (273) |
| 第一节 概述 .....             | (273) |
| 一、激素的分类 .....            | (273) |
| 二、激素作用的特征 .....          | (274) |
| 三、激素作用的机制 .....          | (274) |
| 第二节 下丘脑的内分泌功能 .....      | (277) |
| 一、下丘脑调节肽 .....           | (277) |
| 二、下丘脑与腺垂体分泌的调节 .....     | (280) |
| 第三节 垂体 .....             | (280) |
| 一、腺垂体 .....              | (280) |
| 二、神经垂体 .....             | (283) |
| 第四节 甲状腺 .....            | (284) |
| 一、甲状腺激素的合成和代谢 .....      | (284) |
| 二、甲状腺激素的生理作用 .....       | (286) |
| 三、甲状腺功能的调节 .....         | (287) |
| 第五节 甲状旁腺和甲状腺 C 细胞 .....  | (289) |
| 一、甲状旁腺激素 .....           | (289) |
| 二、降钙素 .....              | (290) |
| 第六节 肾上腺 .....            | (290) |

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| 一、肾上腺皮质 .....           | (290) |
| 二、肾上腺髓质 .....           | (294) |
| 第七节 胰岛 .....            | (295) |
| 一、胰岛素 .....             | (295) |
| 二、胰高血糖素 .....           | (296) |
| 复习参考表 11-1 至 11-9 ..... | (297) |
| <b>第十二章 生殖</b> .....    | (302) |
| 第一节 男性生殖生理 .....        | (302) |
| 一、睾丸的功能 .....           | (302) |
| 二、睾丸功能的调节 .....         | (303) |
| 第二节 女性生殖生理 .....        | (303) |
| 一、月经与排卵的激素调节 .....      | (304) |
| 二、卵巢的内分泌作用 .....        | (305) |
| 三、妊娠 .....              | (307) |
| 复习参考表 12-1 至 12-2 ..... | (309) |

# 第一章 绪 论

**生理学**(physiology)是生物学的一个分支,是研究生物机体生命活动现象的科学;也就是研究机体功能活动规律的科学。

## 第一节 内环境与稳态

**内环境**(internal environment)是机体内细胞生活的液体环境,也就是细胞外液(extra-cellular fluid),包括与细胞直接接触的组织液和周流全身的血浆。

内环境各项理化因素的相对稳定性乃是高等动物生命存在的必要条件,它是各种物质在不停地转换中达到的平衡状态,即动态平衡。W.B. Cannon 将这种动态平衡状态称为**稳态**(homeostasis)。

消化、呼吸、循环与泌尿这四个功能系统,一方面向内环境补充营养物质和氧等,同时又持续地将内环境所含各种代谢尾产物及多余的物质排出体外,维持了内环境理化性质的相对稳定。

## 第二节 生理功能的调节

无论人体对外环境变化的反应,还是人体内的稳态维持都是通过下列机制:

### 一、神经调节

1. **反射**(reflex)——机体在中枢神经系统的参与下,对内、外环境变化产生的适应性反应,称为反射。反射是神经调节的基本方式。

2. **反射弧**(reflex arc)——反射的结构基础

有五个环节:感受器→传入神经→中枢→传出神经→效应器。

例1 皮肤→感觉神经→脊髓→运动神经→肌肉(图1-1)。

例2 颈动脉体化学感受器→窦神经→延髓呼吸中枢→脊神经和膈神经→肋间肌和膈肌

在实际的反射进程中,神经调节是通过一种**闭合回路**(closed-loop)来完成的(图1-3)。

### 二、体液调节

体内产生某些化学物质通过血液循环对一些生理功能进行的调节,称为**体液调节**。如内分泌细胞分泌的各种**激素**(hormone)调节器官和组织细胞的功能与代谢。

神经调节的一般特点是比较迅速而精确,而体液调节的一般特点是比较缓慢、持久而弥散。

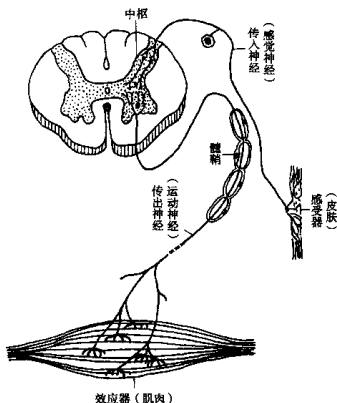


图 1-1 反射弧结构示意图

不少内分泌腺本身直接或间接地受中枢神经系统的调节,例如运动时肾上腺分泌肾上腺素增加;也称为**神经-体液调节**(neuro-humoral regulation)。

### 三、自身调节

组织、细胞不依赖于神经或体液调节而产生的适应性反应。

例如,心肌收缩的强度在一定范围内与收缩前心肌纤维的长度成正比。

## 第三节 生理功能调节的控制

### 一、非自动控制系统

非自动控制系统是一个**开环系统**(open-loop system),其控制部分不受受控部分的影响,即受控部分不能反馈改变控制部分的活动。这种控制方式对受控部分的活动实际上不能起调节作用。在人体正常生理功能的调节中,这种方式的控制系统是极少见的。

### 二、反馈控制系统(自动控制系统)

反馈控制系统是一个**闭环系统**(closed-loop system),其控制部分不断接受受控部分反馈信息,改变着它的活动,这种控制系统具有自动控制的能力。(图 1-2)

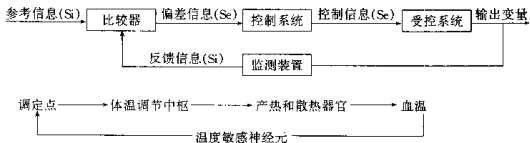


图 1-2 反馈控制系统模式图与示例

### (一)负反馈控制系统

**负反馈(negative feedback):**

反馈信息的作用与控制信息的作用方向相反,此种反馈为负反馈。例如受控部分的活动增加,反馈信号则能减低控制部分的活动,使恢复平衡;如果受控部分活动过低,可通过反馈机制使其活动增强,结果都是向原先的平衡状态的方面转变或恢复(图 1-3)。

所以,负反馈控制系统的作用是使系统保持相对稳定,这就是闭合回路。

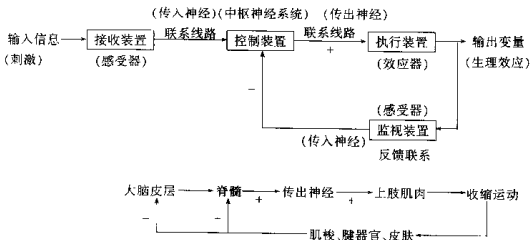


图 1-3 负反馈控制系统示例图

体内的控制系统绝大多数都是负反馈控制系统,它们在维持内环境稳态中起重要作用,例如呼吸运动的调节系统,血压的调节系统、各种激素调节系统等。

### (二)正反馈控制系统

**正反馈(positive feed back)**

反馈信息的作用与控制信息的作用方向相同,也就是说,受控部分发出的反馈信号能加强控制部分的活动,从而使受控部分的活动更加增强,迅速达到高潮,直至最后完成。如分娩过程、排尿活动、血液凝固、钠通道开放等。

### (三)前馈

在神经系统的调节控制中,除反馈控制外,还有**前馈控制(feed-forward control)**。当

控制部分发出信号,指令受控部分进行某一活动时,往往同时又通过另一快捷途径向受控部分发出前馈信号,及时调控受控部分的活动。例如,要完成某一动作,脑发出冲动指令肌肉收缩,同时又通过前馈机制,使这些肌肉收缩受到制约,使其不致收缩过度,从而使整个动作完成的更准确。再如,当看到或嗅到食物时,消化腺即开始分泌,这种条件反射性调节也是前馈作用的表现。

## 第二章 细胞的基本功能

### 第一节 细胞膜的基本结构和物质转运功能

#### 一、细胞膜的结构特点

细胞膜或质膜(plasma membrane)是一个具有特殊结构的半透性膜,细胞膜的功能主要有:

- (1)严格地保持细胞内物质成分的稳定;
- (2)允许某些物质有选择地通过;
- (3)接受各种物理性刺激,化学性刺激(产生生物电变化);
- (4)接受激素和递质物质作用于细胞膜(向胞内传递信息)。

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生理功能的蛋白质(图 2-1)。

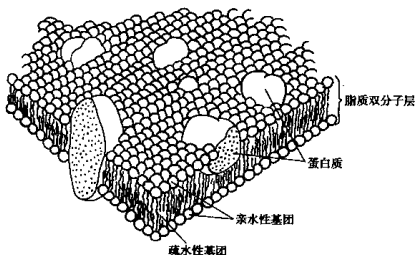


图 2-1 细胞膜结构模式图(液态镶嵌模型)

#### (一)脂质双分子层

磷脂一端的磷酸和碱基是亲水性(hydrophilic)极性基团,都朝向膜的外表面和内表面,另一端的脂肪酸链是疏水性(hydrophobic)非极性基团,在膜的内部两两相对。不同细胞的脂质成分各有不同(图 2-2)。

#### (二)细胞膜蛋白质

镶嵌在膜内的蛋白质与细胞和周围环境之间的物质、能量和信息的交换有关,按功能分主要有四大类:



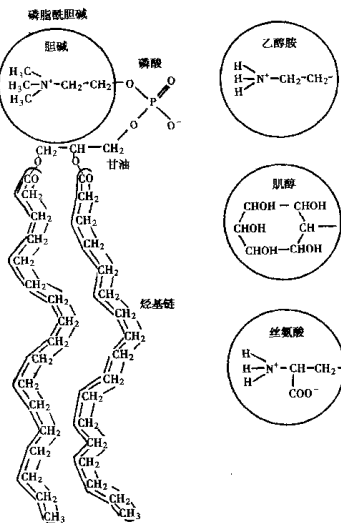


图 2-2 磷脂的分子组成

1.  $\left\{ \begin{array}{l} \text{载体 (carrier)} \\ \text{通道 (channel)} \\ \text{离子泵 (ions pump)} \end{array} \right\}$  与各种物质有选择、有条件地通过细胞膜有关的蛋白质;
2. 受体(receptor)分布在细胞膜表面,与“辨认”和接受特异的化学性刺激有关的蛋白质;
3. 酶蛋白(enzyme)一大类膜蛋白质属于膜内酶类,种类甚多,如腺苷酸环化酶及磷脂酶 C 等;
4. 抗原(antigen)和免疫功能有关的膜蛋白质,可以作为细胞的“标记”。

### (三)细胞膜糖类

细胞膜所含糖类较少,主要是一些寡糖和多糖,都是结合在脂质或蛋白质分子上的糖链,它们绝大部分裸露在膜的外表面一侧,其特点:

1. 糖链在化学结构上有特异性,因而作为“标记”,表示某种免疫信息;
2. 作为膜受体的“识别”部分,可以特异地与某种激素或递质分子相结合。