

高等院校教学用书

生理学精要

编著/马青

 吉林科学技术出版社

高等院校教学用书

生理学精要

编著 马青

吉林科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

生理学精要/马青主编.—长春:吉林科学技术出版社,
2007.4

ISBN 978-7-5384-3481-1

I.生... II.马... III.生理学-高等学校-教材 IV.Q4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 047142 号

生理学精要

马 青 主编

责任编辑:王精杰

封面设计:马 青

*

吉林科学技术出版社出版、发行

长春东文印刷厂印刷

787×1092 毫米 16 开本 8.5 印张 200 千字

2007 年 4 月第 1 版 2007 年 4 月第 1 次印刷

定价:10.00 元

ISBN 978-7-5384-3481-1

社址 长春市人民大街 4646 号 邮编 130021

网 址 www.jlstp.com

内 容 简 介

《生理学精要》以表格化、条理化、框图化的表现方式,归纳了生理学的基本概念、基本原理和基本内容。简捷精练提纯生理学教学内容,方便记忆,为配合现代多媒体教学,帮助复习和掌握生理学内容而编写。内容包括:生理学绪论、细胞生理、血液生理、循环生理、呼吸生理、消化生理、能量代谢、肾脏生理、感官生理、神经生理、内分泌生理、生殖生理等12章。欲达到条理清晰、表格简化、框图明朗、内容精练、容易掌握之目的。本书可作为高等学校生理学教师或医学生的参考书,也可作为考研、执业医师考试、医学成考、医学自考的复习用书,更可作为教师的讲稿。

前 言

生理学是医学教学的骨干课程，是介绍人体正常生理功能的基础课程。目前，生理学课程普遍采用现代化的多媒体教学方式，其优点：信息量大、图文并茂，在学时少内容多的情况下，充分发挥了提高课堂教学质量的作用。同时，课后学生需要一本配合多媒体课堂教学的精编教材，及时复习和掌握课堂教学内容。《生理学精要》就能够起到补充现代化多媒体课堂教学成果的作用。以帮助学生更好地掌握生理学的基本概念、基本原理和基本内容，为学生进入后续课程打下坚实的基础。

本书依据作者 20 多年教学经验，并参考国内外多部生理学教材，以清晰条理、简捷表格，明朗框图，简明地概括生理学内容。欲达到内容精练、要点明确、易懂易记、减轻学生负担，培养学生的归纳能力，提高生理学教学质量之目的。本书可作为高等学校生理学教师或医学生的参考书，也可作为考研、执业医师考试、各种医学函授考试的复习用书，更可作为教师的讲稿。

此书得到了宁波大学重点建设专业（临床医学）项目和 2006 年宁波大学教材建设项目的经费资助，作者在此表示衷心感谢。

由于作者水平有限，必定存在许多问题和错误，恳切希望读者们给予批评指正。以便再版时修正。

马 青

2007 年 3 月于宁波大学

目 录

第一章 绪论.....	1
第二章 细胞生理.....	5
第三章 血液生理	17
第四章 循环生理	29
第五章 呼吸生理	49
第六章 消化与吸收生理	59
第七章 能量代谢和体温	67
第八章 肾脏生理	71
第九章 感官生理	81
第十章 神经生理	87
第十一章 内分泌生理	109
第十二章 生殖生理	123

第一章 绪 论

基本要求

1. 了解生理学的研究内容、研究方法，生理学与医学的关系
2. 理解人体生理功能调节（神经调节、体液调节、自身调节）
3. 掌握内环境与稳态；生理功能的自控原理和反馈调节（负反馈、正反馈、前馈）

基本内容与基本原理

一、生理学

(一) 概念：生理学是研究机体的生命活动现象和功能的学科。

(二) 研究内容：研究机体的循环、神经、呼吸、泌尿、消化、感官、内分泌、生殖等系统的生理功能。

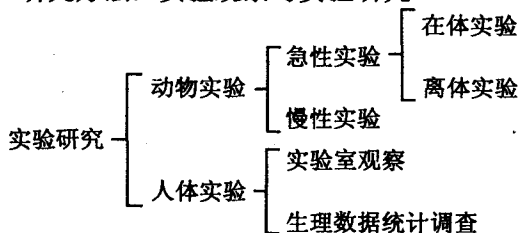
(三) 研究任务：研究机体的生理作用、生理机制、产生条件和影响因素等。

(四) 研究对象：机体生理功能活动规律。

(五) 研究水平：

研究水平	细胞、分子水平	器官和系统水平	整体水平
简 称	细胞生理学或普通生理学	器官生理学	整体生理学
定 义	研究细胞和生物大分子的物化特性和生理特性及其产生机制的学科	阐明器官和系统的功能、影响因素及其调节机制，以及器官在整体中作用的学科。	研究整个机体的各器官、各系统的相互联系与功能调节机制的学科
举 例	细胞静息电位和动作电位 细胞膜通道离子电流 EPO 对 Hb 的调节	巴浦洛夫小胃 心脏灌流实验 心血管调节实验	神经-内分泌-免疫、 高原生理、潜水生理、 运动生理

(六) 研究方法：实验观察与实验研究



(七) 发展简史：

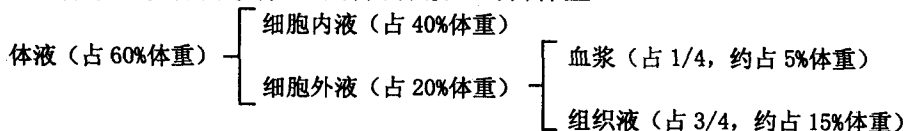
1628 年 Harvey 撰写《心与血的运动》标志生理学成为独立的学科。

1926 年林可胜创立中国生理学会，创办《中国生理学杂志》。

(八) 生理学与医学的关系：生理学是一门重要的医学基础课程。

二、内环境

(一) 体液：机体内液体的总称为体液，约占体重 60%。



(二) 内环境

1. 概念：细胞直接生存的环境即细胞外液称为内环境。

2. 作用：为细胞提供必要的理化条件；为细胞提供营养物质；接受细胞代谢产物。

3. 特征——内环境稳态

1) 概念：内环境的化学组成、理化特性处于相对稳定和动态平衡状态称为稳态。

2) 应用：血浆代用液，如：任氏液用于两栖类动物，乐氏液用于哺乳动物。

3) 维持和调节稳态的途径：神经调节、体液调节、自身调节。

4) 稳态的拓展：正常生命活动是稳态的表现。如：形态、代谢、功能、免疫等处于相对恒定和动态平衡状态。

5) 稳态的生理意义：保证和维持机体正常的新陈代谢；保证细胞兴奋性存在；保证机体正常代谢进行，如：糖代谢、脂肪代谢、蛋白质代谢、酸碱代谢、水盐代谢、胆色素代谢、维生素代谢等；机体正常生理功能和免疫功能完成。当机体超出正常的稳态范围，就属于疾病状态。

三、生理功能的调节

(一) 神经调节

1. 概念：由神经反射参与的调节称神经调节。

2. 基本方式——反射

1) 概念：反射是在中枢神经系统参与下，机体对刺激发生的规律性反应。

2) 结构基础——反射弧：感受器→传入神经→神经中枢→传出神经→效应器。

3) 分类（据反射形成条件和反射弧特点）

比较项	非条件反射	条件反射
形成时间	先天遗传，生来既有	后天获得，非遗传性，学而得之
属性	种族共有	个体特有
反射弧	固定的反射弧	暂时性联系
数量	数量有限	数量无限
可变性或可塑性	呆板，不易改变	可塑性大，有易变性
预见性	无	有
刺激与反应的关系	有因果关系	无因果关系
参与的中枢	低位中枢（皮层下中枢）	高位中枢（大脑皮层中枢）+各级中枢
神经活动	初级神经活动	高级神经活动
生理意义	使机体具有基本的适应能力，维持个体生存与种族延续	随环境变化不断形成新的反射。更高度地精确适应内外环境变化
两者关系	是形成条件反射的基础	能控制非条件反射活动
举例	山楂放嘴里流口水	见山楂流口水

3. 特点：神经调节是机体功能调节的主要方式，起主导作用，其反应速度迅速、作用部位准确、持续时间短暂、作用范围局限。

(二) 体液调节：

1. 概念：体液化学物质（激素、细胞因子）通过体液途径对器官组织细胞的调节。

2. 方式：

方式	定义与举例
经典体液调节 (内分泌调节)	定义：内分泌细胞→激素→血液循环→靶细胞 举例：胰岛B细胞→胰岛素→血液循环→靶细胞（肝脏、骨骼肌）→血糖降低
神经-体液调节	定义：传出神经→内分泌腺→激素→血液循环→靶细胞 举例：①交感神经兴奋→肾上腺髓质→Adr、NE→血液循环→靶细胞 ②寒冷→皮肤→中枢→下丘脑→TRH→腺垂体→TSH→甲状腺→T ₃ 、T ₄ →组织产热
局部体液调节 (旁分泌)	定义：化学物质（激素）经过组织液扩散作用于相邻靶细胞的体液调节 举例：细胞→化学物质（组胺、激肽、前列腺素）→血管平滑肌→局部血流调节
神经分泌调节	定义：神经细胞分泌激素经过轴浆运输后贮存于神经垂体→释放入血液循环→靶细胞 举例：下丘脑神经细胞→抗利尿激素ADH→贮存神经垂体→血液循环→靶细胞

3. 特点：反应速度缓慢、作用部位弥散、持续时间持久、作用范围广泛。
4. 比较神经调节和体液调节的区别

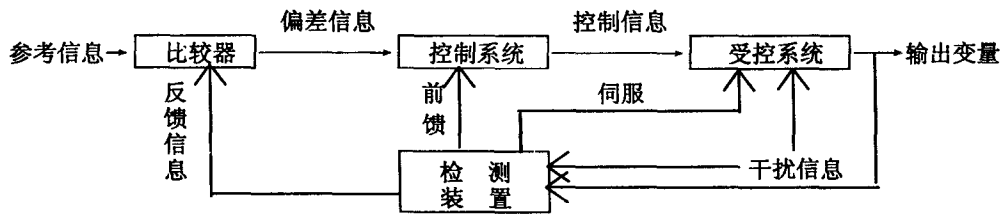
比较项	神经调节	体液调节
信息	有	有
传递方式	神经冲动沿神经元传导，递质越过突触间隙	经血液运输
发挥作用速度	迅速	缓慢
作用维持时间	短暂（记忆储存除外）	持久
作用范围与精度	局限、精确	广泛弥散、不很精确
作用距离	短	长
作用的灵敏性	灵活	不灵活
其他	有预见性。人类还有语言、文字，扩大感觉范围	自我稳定较明显

(三) 自身调节：

- 概念：机体不依靠神经或体液调节，由组织细胞本身产生的适应性反应。
- 举例：心肌异长调节（Starling 机制）、心肌等长调节、脑血流量调节、肾血流量调节、球-管平衡、渗透性利尿、Wolf-Chaikoff 效应。
- 特点：涉及范围小、调节幅度小、调节不灵敏。

四、生理功能的自动控制原理

(一) 原理模式图：



(二) 类型（调节方式）

1. 负反馈	概念	反馈信息与控制信息作用相反的反馈，即：反馈信息对控制系统的制约作用，确保机体功能活动相对稳定
	关系式	偏差信息 (Se) = 参考信息 (Si) - 反馈信息 (Sf) [Sf 为负值，Se 减小]
	举例	体温调节、减压反射、肺牵张反射、血糖调节、血钙调节、血压调节
	特点	(1) 可逆性；(2) 敏感性；(3) 滞后效应；(4) 波动性
2. 正反馈	概念	反馈信息与控制信息作用相同的反馈。即：反馈信息对控制系统的促进作用，加速机体生理过程的迅速完成或达到极限
	关系式	偏差信息 (Se) = 参考信息 (Si) + 反馈信息 (Sf) [Sf 为正值，Se 增加]
	举例	分娩、血凝、排便反射、排尿反射、射精、动作电位去极相、胆盐的肠肝循环、月经周期 LH 峰、胃蛋白酶原的激活、心室肌动作电位 3 期 K ⁺ 外流、恶性循环
	特点	(1) 不可逆的再生性状态；(2) 偏态性

5) 负反馈与正反馈的比较

比较项	负反馈	正反馈
反馈信息方向	与控制信息相反	与控制信息相同
对控制系统的作用	制约、抑制、减弱其活动	再生、促进、加强其活动
调节作用方向	双向可逆	单向不可逆
作用效果	减小偏差信息、减弱控制信息、 减小输出变量	增大偏差信息、增强控制信息、 加大输出变量
输出与输入关系	输出制约输入	输出强化输入

3. 前馈

- 1) 概念: 反馈信息直接作用于控制系统对控制信息的调节称为前馈。
- 2) 举例: (1) 看见食物引起唾液分泌; (2) 进食引起胰岛素 $\uparrow$; (3) 条件反射等。
- 3) 特点: (1) 预见性; (2) 适应性。
- 4) 负反馈与前馈的比较

比较项	负反馈	前馈
作用	维持稳态	维持稳态
速度	慢	快
偏差	必然出现偏差	较少出现偏差
波动性	有, 在恢复过程中逐步趋向稳定	无, 迅速稳定
滞后性	存在滞后性, 不能预先监测干扰, 仅在受干扰后逐渐恢复稳态	无滞后性, 能预先监测干扰, 防止干扰的扰乱及时作出适应性反应

4. 伺服

- 1) 概念: 反馈信息直接作用于受控系统对输出变量的调节。
- 2) 举例: 肌梭对脊髓前角 α 运动神经元的调节。

基本概念与基本问题

一、基本概念

- | | |
|------------------------------|--|
| 1、生理学 (physiology) | 8、神经-体液调节 (nervous-humoral regulation) |
| 2、体液 (body fluid) | 9、旁分泌 (paracrine) |
| 3、内环境 (internal environment) | 10、自身调节 (autoregulation) |
| 4、稳态 (homeostasis) | 11、负反馈 (negative feedback) |
| 5、神经调节 (nervous regulation) | 12、正反馈 (positive feedback) |
| 6、反射 (reflex) | 13、前馈 (feed-forward) |
| 7、体液调节 (humoral regulation) | 14、伺服调节 (servoregulation) |

二、基本问题

1. 人体生理功能活动的主要调节方式有哪些? 各有何特征? (试比较神经调节、体液调节和自身调节的作用特点。)
2. 何谓神经调节? 简述它的结构基础和特点, 并比较非条件反射与条件反射的区别。
3. 什么是体液调节? 简述经典体液调节 (内分泌调节)、神经-体液调节和局部体液调节的作用途径。
4. 何谓内环境和稳态? 内环境稳态有何生理意义?
5. 简述人体机能活动的自动控制原理。
6. 何谓正反馈和负反馈? 例举 5 项以上属于正反馈和负反馈调节的生理过程。
7. 试比较下列生理活动的区别:
 - 1) 条件反射和非条件反射;
 - 2) 神经调节与体液调节;
 - 3) 负反馈与正反馈;
 - 4) 负反馈与前馈。

本章总括

生理学: 概念/研究内容/研究任务/研究对象/研究水平/研究方法/发展简史

体液: 概念/体液分布

内环境: 概念/作用/特征 (稳态: 概念/应用/调节/生理意义)

生理功能的调节	神经性调节: 概念/特点/基本方式 (反射: 概念/反射弧/条件反射与非条件反射)
	体液调节: 概念/特点/方式 (内分泌调节/神经-体液调节/旁分泌调节/神经分泌调节)
	自身调节: 概念/实例/特点

生理功能的自动控制原理: 模式图/负反馈/正反馈/前馈/伺服

第二章 细胞生理

基本要求

1. 了解细胞膜的基本结构与化学组成。
2. 理解骨骼肌收缩原理、肌肉收缩的形式和影响因素。
3. 掌握细胞膜的物质转运功能，细胞间信息传递功能，细胞电生理，细胞兴奋性，神经-肌接头兴奋传递过程。

基本内容与基本原理

一、细胞膜结构和化学组成

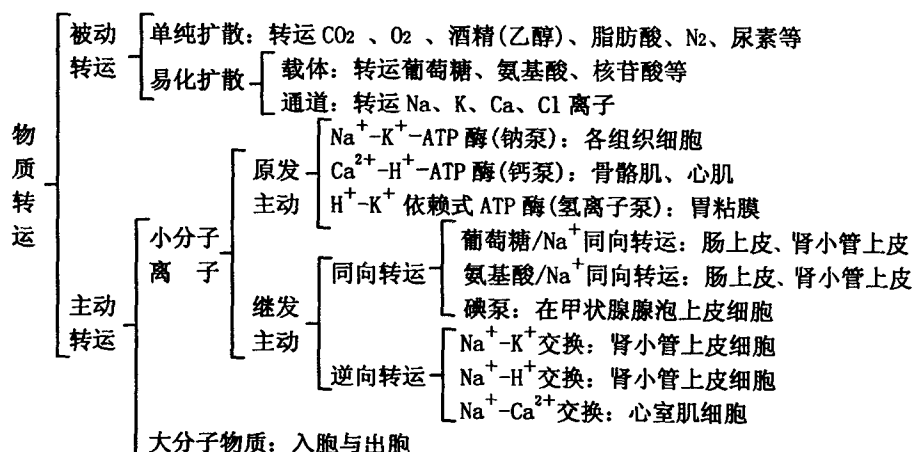
(一) 结构

1. 电镜下细胞膜形态结构：致密带-透明带-致密带。
2. 细胞膜分子结构：细胞膜以液态的脂质双分子为基架，其中镶嵌着不同生理功能的 α -螺旋或球形蛋白质称为液态镶嵌模型。

(二) 化学组成

组成	组成/成份	功能	特性
脂质	(1) 磷脂(占 70%)	屏障作用	(1) 分极性:亲水性(磷酸+碱基)
	(2) 胆固醇(含量<30%)		疏水性(脂肪酸烃链)
	(3) 鞘脂		(2) 横向运动 (3) 流动性:胆固醇与流动性呈反变关系 (4) 稳定性
蛋白质	通道	转运 $\text{Na}^+/\text{K}^+/\text{Ca}^{2+}/\text{Cl}^-$	(1)特异性;(2)全或无开放;(3)不同功能状态
	载体	转运葡萄糖、氨基酸	(1)结构特异性;(2)饱和性;(3)相对竞争抑制
	离子泵	转运离子	(1)消耗能量;(2)结构特异性;(3)饱和现象
	受体	辨认和接受化学物质	(1)结构特异性;(2)饱和性;(3)结合可逆性
	抗原	免疫标志物	
	膜内酶类 (AC、GC、PLC)	效应器酶作用	
糖类	(1) 抗原决定簇,起免疫标记 (2) 膜受体的识别部分		

二、细胞膜的物质转运



(一) 单纯扩散

1. 定义：脂溶性小分子物质由细胞膜的高浓度向低浓度净移动过程称为单纯扩散
2. 衡量指标：扩散通量（J）：
 - 1) 定义式：扩散通量 = (1 / 扩散面积) × 浓度梯度
 - 2) 关系式：扩散通量 = 通透性 × 浓度梯度
 - 3) 通透性：物质通过细胞膜的难易程度
 - 4) 结论：扩散通量与浓度梯度呈线性关系
3. 依靠单纯扩散的物质：CO₂、O₂、酒精（乙醇）、脂肪酸、N₂、尿素等
4. 特点：1) 顺浓度梯度（不耗能）；2) 无饱和现象；3) 无结构特异性

(二) 易化扩散

1. 定义：水溶性小分子或离子借助载体或通道由细胞膜的高浓度向低浓度的扩散过程称为易化扩散。

2. 特点：

- 1) 顺浓度梯度（不耗能）
- 2) 膜蛋白质为中介物
- 3) 具有选择性
- 4) 膜外因素是扩散通量的主要调控因素

3. 类型

1) 载体

- (1) 定义：能与被转运物结合的细胞膜蛋白质称为载体。
- (2) 特征：① 结构特异性；② 饱和性；③ 相对竞争抑制。
- (3) 依靠载体转运的物质：葡萄糖、氨基酸。

2) 通道

- (1) 定义：使 Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Cl⁻ 等离子由高浓度向低浓度跨膜快速移动的膜蛋白质。

(2) 种类	通道	阻断剂	通道结构与功能的关系
	Na ⁺ 通道	河豚毒 (TTX)	S4: 通道电压感受器, 与通道激活有关 S5-S6 胞外环: 决定离子选择性和通透性
	K ⁺ 通道	四乙基铵、4-氨基吡啶	
	Ca ²⁺ 通道	异搏定 (维拉帕米 verapamil)	

- (3) 特征：结构特异性；全或无式开放；不同的功能状态：静息 → 激活 → 失活 → 静息

(4) 调控

通道	定义	分布	开放结果
化学门控通道	由化学信息决定开关的通道	胞-树突触后膜、视网膜感光细胞、终板膜 (N型ACh通道)	局部电位
电位门控通道	由电位大小决定开关的通道	神经细胞、肌肉细胞、腺体细胞	动作电位
机械门控通道	由机械刺激决定开关的通道	内耳基底膜毛细胞	感受器电位

- (5) 意义：理解细胞生物电和兴奋性的基础。

4. 比较通道与载体的区别

	通道	载体
特征	具有结构特异性，但比载体低	结构特异性
	具有开放和关闭两种状态	竞争性抑制
	无饱和现象	饱和现象
举例	Na ⁺ 、K ⁺ 、Ca ²⁺ 、Cl ⁻ 快速移动	葡萄糖和氨基酸

5. 比较易化扩散与单纯扩散的区别

比较项	单纯扩散	易化扩散
转运率	慢	快
饱和现象	无饱和现象	有饱和现象
特异性	无特异性	有特异性
以膜蛋白为中介	不需要	需要
顺浓度梯度/顺电位梯度	是	是
耗能情况	不耗能	不耗能

(三) 主动转运

1. 定义：细胞通过泵蛋白的自身耗能，将分子或离子由低浓度向高浓度移动的过程。
2. 特征：1) 逆电-化学梯度（耗能）；2) 结构特异性；3) 饱和现象。

3. 钠泵

- 1) 定义：具有 ATP 酶活性的主动转运钠-钾离子的膜蛋白称为钠泵。
- 2) 化学本质： $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ 依赖性 ATP 酶。
- 3) 分子结构与功能的关系：

亚单位	跨膜次数	钠泵分子二级结构	功能
α 亚单位	10 次	H1~H2 胞外环	哇巴因 (ouabain) 结合位点
		H3~H4 胞外环	K^+ 结合位点
		H5~H6 胞外环	K^+ 结合位点
		H4~H5 胞内环	ATP 结合位点, ATP 酶磷酸化位点
		H6~H7 胞内环	Na^+ 结合位点
		H8~H9 胞内环	Na^+ 结合位点
β 亚单位	1 次		

- 4) 转运机制：细胞消耗一个 ATP 分子，3 个 Na^+ 泵出细胞外，2 个 K^+ 泵入细胞内。
- 5) 运转结果：造成超极化。消耗一个 ATP 分子，胞外净增一个正电荷称生电性钠泵。
- 6) 特征：方向性（定向性）。
- 7) 调控（影响因素）：

当胞内钠 $\uparrow$ 、血钠 $\downarrow$ 、血钾 $\uparrow$ 时，引起 Na^+ 外向流量 $\uparrow$ 和 K^+ 内向流量 $\uparrow$ 。

- 8) 启动钠泵的最敏感因素：细胞内 Na^+ $\uparrow$

9) 生理作用和意义

- (1) 保证细胞内外 Na^+ 、 K^+ 不均匀分布，有利于细胞生物电的形成；
- (2) 提供细胞外高钠，建立 Na^+ 势能储备，为继发性主动转运葡萄糖和氨基酸作准备；
- (3) 细胞内高钾，为胞内生化反应提供必要条件，也是产生静息电位的前提条件；
- (4) 把细胞外 K^+ 及时泵入细胞内，防止高血钾；
- (5) 维持细胞质渗透压和细胞容积相对稳定，防止细胞水肿；
- (6) 为 $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+}$ 交换提供动力，维持细胞内 Ca^{2+} 浓度稳定发挥作用；
- (7) 为 $\text{Na}^+ - \text{H}^+$ 交换提供动力，维持细胞内 pH 稳定发挥重要作用。

4. 继发性主动转运

- 1) 定义：利用原发性钠泵建立的 Na^+ 势能储备进行的第二次物质跨膜的主动转运。
- 2) 前提： Na^+ 势能储备
- 3) 葡萄糖在小肠上皮的转运过程：在管腔膜侧[葡萄糖(逆浓度)+ Na^+ (顺浓度)]共用载体 $\rightarrow$ 进入上皮细胞 $\rightarrow$ 在基底膜侧[葡萄糖(载体)+ Na^+ 泵] $\rightarrow$ 进入血液。
- 4) $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+}$ 交换体：3 个 Na^+ 进入细胞内，1 个 Ca^{2+} 排出细胞外的膜蛋白。

(四) 出胞和入胞

1. 出胞

- 定义：大分子物质（激素、酶原、神经递质）排出细胞外的过程称为出胞。
- 过程：(1) 内质网合成；(2) 高尔基复合体输送；(3) 囊胞形成；(4) 囊胞外排。
- 调控因素：(1) 膜电位；(2) 化学信号： Ca^{2+} 内流、激素。

2. 入胞

- 定义：物质团块或大分子物质（某些血浆蛋白、抗原、细菌、病毒等）进入细胞。
- 过程：(1) 辩认；(2) 异物小胞形成；(3) 与溶酶体结合；(4) 被水解酶消化、分解。

三、细胞间信息传递功能

(一) G 蛋白耦联受体介导途径（激素-受体-G 蛋白-效应器酶-第二信使传递途径）

1. AC-cAMP-PKA 途径	2. PLC-DG-PKC/PLC-IP ₃ -Ca ²⁺ 途径
激素(H) + 膜受体(R) ↓ G 蛋白 ↓ 腺苷酸环化酶(AC) Mg^{2+} ↓ ATP → cAMP (环一磷酸腺苷) ↓ 蛋白激酶 A (PKA) ↓ 蛋白质磷酸化 ↓ 生物效应	激素(H) + 膜受体(R) ↓ G 蛋白 ↓ 磷脂酶 C (PLC) ↓ 磷脂酰二磷酸肌醇(PIP ₂) → 三磷酸肌醇(IP ₃) ↓ 二酰甘油(DG) 胞内 Ca ²⁺ ↑ ↓ 蛋白激酶 C (PKC) 钙调蛋白(CaM) ↓ 生物效应 ← 蛋白质磷酸化 ← Ca ²⁺ -CaM 蛋白激酶(Ca-MAPK)

3. G 蛋白：在膜受体与效应器酶之间起耦联调节作用的鸟苷酸结合蛋白。

4. 效应器酶：在细胞膜上能够催化生成和分解第二信使的酶，包括：腺苷酸环化酶(AC)、磷脂酶 C (PLC)、磷酸二酯酶(PDE)、磷脂酶 A₂等。

5. 第二信使：细胞外信号分子作用细胞膜后产生的细胞内信号分子，如：cAMP、DG、IP₃、cGMP、Ca²⁺等。

6. 蛋白激酶：由第二信使直接作用的、引起蛋白质磷酸化的酶类，如：蛋白激酶 A (PKA)、蛋白激酶 C (PKC)、钙调蛋白激酶 (Ca-MAPK)、酪氨酸蛋白激酶 (PTK) 等。

(二) 酶耦联受体介导途径

Janus 酪氨酸激酶受体途径(JAK-STAT 途径)	鸟苷酸环化酶受体途径(GC-cGMP-PKG 途径)
细胞因子(生长因子、胰岛素) + 酪氨酸激酶受体(TKR) ↓ 酪氨酸残基磷酸化 ↓ 酪氨酸激酶 ↓ 胞内效应 ↓ 核内 DNA 转录 ↓ 合成新蛋白质 ↓ 生物效应	激素(心房钠尿肽 ANP、一氧化氮 NO) + 鸟苷酸环化酶受体(膜受体) ↓ 鸟苷酸环化酶(GC) ↓ GTP → cGMP (环一磷酸鸟苷) ↓ 蛋白激酶 G (PKG) ↓ 蛋白质磷酸化 ↓ 生物效应

(三) 离子通道受体介导途径（递质-受体/通道传递途径）

- 递质：神经末梢释放的具有信息传递作用的化学物质称为神经递质。
- 受体
 - 定义：细胞特异地接受化学物质（激素、递质、药物）的蛋白质称为受体。

2) 类型:

- (1) 依据受体所在部位分成: 膜受体、胞浆受体、核受体。
- (2) 依据受体作用分成: 促代谢型受体和促离子型受体。
- 3) 本质: 蛋白质或酶。
- 4) 特点: 结构特异性; 饱和性; 结合可逆性。
- 5) 激动剂: 与受体结合后, 引起特定生物效应的物质称为受体激动剂。
- 6) 阻断剂: 与受体结合后, 不引起或减少生物效应的物质称为受体阻断剂。

3. 兴奋在神经-肌肉接头处的传递

- 1) 形态结构: 接头前膜(神经末梢膜)-接头间隙-接头后膜(骨骼肌终板膜)。

2) 传递过程:

神经冲动(动作电位)→神经末梢(接头前膜)去极化→电压依从式 Ca^{2+} 通道开放→ Ca^{2+} 入胞→囊泡量子释放 ACh→接头间隙(剩余 ACh 经胆碱酯酶水解成胆碱+乙酰辅酶 A)→乙酰胆碱 ACh→作用终板膜 N_2 受体 α 亚单位(N-型 ACh 门控通道)→化学依从式 Na^+ 通道和少量 K^+ 通道开放→ Na^+ 内流、少量 K^+ 外流→终板膜局部去极化→产生终板电位→总和效应→肌细胞膜电压门控 Na^+ 通道、 K^+ 通道开放→产生动作电位。

- 3) 传递特点: (1) 单向性; (2) 时间延搁; (3) 易受理化因素影响。

4) 终板电位

- (1) 定义: 终板膜对 Na^+ 、 K^+ 通透性 $\uparrow$, 引起局部去极化的局部电位称终板电位。
- (2) 证据: ACh 是终板电位的化学递质, 终板电位是化学依从式局部电位。
- (3) 特点: 无“全或无”现象; 具有总和现象; 无不应期; 呈现紧张性扩布。
- 5) 终板膜 ACh 受体通道阻断剂: 筒箭毒、 α 银环蛇毒、卡肌宁(阿曲库铵)。
- 6) 胆碱酯酶抑制剂: 新斯的明、有机磷农药。

7) 神经-肌肉接头传递的异常

相关疾病	产生原因
重症肌无力	自身免疫抗体对终板膜 ACh 受体通道的破坏作用
肌无力综合征肌病	自身免疫抗体对神经末梢 Ca^{2+} 通道的破坏作用
肉毒杆菌中毒性肌无力	毒素抑制接头前膜释放 ACh

四、细胞的兴奋性

(一) 刺激

1. 定义: 引起机体发生反应的环境因素变化称为刺激。
2. 类型:
 - 物理刺激(声、光、电);
 - 化学刺激(代谢产物、药物、毒物);
 - 生物刺激(细菌、病毒)。
3. 电刺激三要素: 刺激强度(I); 刺激持续时间(t); 强度对时间变化率(dI/dt)。
4. 固定 I 和 dI/dt 时: 引起兴奋的最小强度称阈强度或阈值, 阈值与兴奋性呈反变关系, 阈值是衡量兴奋性的简便指标。
5. 当 dI/dt 固定不变时, 通过强度(I)-时间(t)曲线[$I=a+b/t$]
 - 当 $t \rightarrow \infty$ 时, 阈值或基强度 $I=a$; 当 $I=2a$ 时, 时值 $t=b/a$;
 - 时值是在两倍基强度($I=2a$)的刺激下, 引起兴奋的时间值。
 - 阈值和时值皆可衡量兴奋性。
6. 刺激的极性法则
 - 1) 当细胞外刺激时, 在阴极产生兴奋;
 - 2) 当细胞内刺激时, 在阳极产生兴奋; 阴极闭锁兴奋。

3) 当细胞内刺激时, 形成跨膜外向电流。

外向电流: 正电荷从胞内向胞外流动; 内向电流: 正电荷从胞外向胞内流动。

(二) 兴奋

1. 定义: 细胞受刺激后产生反应或动作电位称为兴奋。

2. 本质: 动作电位

3. 可兴奋组织: 神经、肌肉、腺体。

4. 特点:

1) 全或无现象: 动作电位的幅值和传导距离不随刺激强度而变化;

2) 可传导性;

3) 具有不应期: 可兴奋细胞对阈上刺激不发生任何反应时期。

5. 兴奋的产生条件: 1) 刺激 $\geq$ 阈值; 2) 造成去极化。

6. 兴奋的衡量标准——兴奋性

1) 定义: 细胞受刺激产生反应或动作电位的能力称为兴奋性。

2) 兴奋性与阈值呈反变关系。

3) 兴奋性的周期性变化

比较项 周 期	动作电位时相	刺激强度	电位反应	兴奋性	Na ⁺ 通道状态
绝对不应期	去极化相+复极相	阈上刺激	无	最小(零)	失活
相对不应期	负后电位前部	阈上刺激	可产生动作电位	渐增	逐渐恢复
超常期	负后电位后部	阈下刺激	产生动作电位	最大(超正常)	基本恢复
低常期	正后电位	阈上刺激	产生动作电位	低于正常	完全恢复

7. 产生兴奋的最大值定理: 产生动作电位最大数值是细胞绝对不应期的倒数。

五、细胞电生理

(一) 静息电位

1. 定义: 细胞在静息状态下, 细胞膜两侧的电位差称为静息电位。

2. 引导方法: 微电极细胞内记录法

3. 细胞膜状态:

1) 极化: 细胞膜外部为正电荷, 细胞膜内部为负电荷。

2) 去极化: 膜内电位负值(幅度或幅值)减少。

3) 复极化: 膜内电位负值恢复极化状态的过程。

4) 超极化: 膜内电位负值(幅度或幅值)增加。

5) 反极化: 细胞膜外负电荷, 细胞膜内正电荷。

4. 细胞膜内外离子不均一分布: 细胞外主要为 Na⁺ 和 Cl⁻; 细胞内主要为 K⁺。

5. 静息电位形成的前提条件: 钠泵造成细胞膜内、外离子不均匀分布。

6. 静息电位的形成原理:

1) 细胞内外离子分布不均匀: 胞内以 K⁺ 为主, 胞外以 Na⁺ 和 Cl⁻ 为主。胞内 K⁺ 高-胞外 K⁺ 低, 形成细胞内外的 K⁺ 梯度。

2) 静息状态时细胞膜对 K⁺ 通透性大, K⁺ 化学浓度梯度(动力) = K⁺ 电位梯度(阻力), 形成 K⁺ 电-化学平衡 = E_{K⁺}

3) K⁺ 电-化学平衡电位称为静息电位, 即: E_{K⁺} = RP

7. 理论计算(Nernst 公式):

在 27℃ 时, 气体常数 R, 绝对温度 T, 离子价 Z, Farady 常数 F, K⁺ 电-化学平衡电位 E_{K⁺}

$$E_K^+ = \frac{RT}{ZF} \ln \left(\frac{[K^+]_{\text{外}}}{[K^+]_{\text{内}}} \right) = 59.5 \text{Log} \left(\frac{[K^+]_{\text{外}}}{[K^+]_{\text{内}}} \right) \text{ [mV]}$$

8. 实验证据: 细胞外 K^+ 对蛙缝匠肌静息电位的影响

9. 实测静息电位 < 理论静息电位的原因: 1) 少量 Na^+ 内流; 2) 生电性钠泵的作用

10. 钾离子对 RP 的调控 (影响因素)

K^+ 变化	细胞外		细胞内	
	$\uparrow [K^+]_{\text{外}}$	$\downarrow [K^+]_{\text{外}}$	$\uparrow [K^+]_{\text{内}}$	$\downarrow [K^+]_{\text{内}}$
$[\Delta K^+] = [K^+]_{\text{内}} - [K^+]_{\text{外}}$	减小	增加	增加	减小
静息电位幅度 = RP 负值 = RP 绝对值	减小	增加	增加	减小

钠泵抑制因素 (缺氧、低温、哇巴因、代谢抑制剂) $\rightarrow [K^+]_{\text{内}} \downarrow \rightarrow$ 静息电位幅度 $\downarrow$

钠泵兴奋因素 (肾上腺素、去甲肾上腺素) $\rightarrow [K^+]_{\text{内}} \uparrow \rightarrow$ 静息电位幅度 $\uparrow$

(二) 局部电位

1. 定义: 在静息电位与阈电位之间的电位称为局部电位。

2. 引起局部反应的刺激: 阈下刺激即小于阈刺激的刺激。

3. 形成原因: 少量 Na^+ 通道开放, 引起少量 Na^+ 内流, 造成去极化, 使静息电位 $\downarrow$ 。

4. 特征: 呈现电紧张扩布; 具有总和效应; 无“全或无”现象; 没有不应期。

5. 分布: 终板膜为终板电位; 视网膜为感受器电位; 轴-胞突触为突触电位。

(三) 阈电位

1. 定义: 引起 Na^+ 通道突然开放的临界的膜电位数值称为阈电位。

2. 关系: 1) 阈电位 $\approx$ 静息电位 + 15 mV; 2) 阈电位 > 局部电位

(四) 动作电位

1. 定义: 细胞受刺激产生兴奋时, 发生短暂的、可逆的膜内电位变化称为动作电位。

2. 引导方法: 细胞内记录法

3. 波形与形成原理

波形时相	膜电位 mV	形成原理	膜电流	阻断剂
去极相(上升支)	-70 ~ +35	Na^+ 通道开放, 大量 Na^+ 内流形成	I_{Na}	河豚毒 TTX
超射值(最高点)	+35	Na^+ 电-化学平衡电位		
复极相(下降支)	+35 ~ -55	K^+ 通道开放, 大量 K^+ 外流形成	I_K	四乙基铵 TEA
负后电位(去极化后电位)	-55 ~ -70	K^+ 外流蓄积, K^+ 外流停止		
正后电位(超极化后电位)	小于 -70	由生电性钠泵形成	I_p	哇巴因

4. 特点: 不衰减性传导; 呈现“全或无”现象; 具有不应期; 脉冲式波形。

5. 实验证实: 1) 海水实验; 2) 电压钳实验; 3) 膜片钳实验:

膜片钳是测量单通道离子电流和电导的技术。

单通道特性: “全或无”式开放和关闭; 电流曲线呈方波状; 开放时间呈随机性; 开放概率与通道调控物有关。

6. 动作电位的传导:

1) 在无髓神经纤维的传导: 传导方式为局部电流; 局部电流传导方向 (下表)

所在部位	细胞膜外	细胞膜内	静息部	兴奋部
局部电流方向	静息部 $\rightarrow$ 兴奋部	兴奋部 $\rightarrow$ 静息部	外向电流	内向电流

2) 在有髓神经纤维的传导: 传导方式为跳跃式局部电流; 局部电流方向 (上表)

3) 动作电位传导与局部电紧张扩布的比较