



普通高中教科书

# 生物学

选择性必修1

稳态与调节

SHENGWUXUE



北京师范大学出版社

普通高中教科书

# 生物学

选择性必修1

稳态与调节

主编 付尊英 刘广发



北京师范大学出版社



## 第1章 机体的内环境

- 第一节 内环境的稳态 / 2
- 第二节 内环境稳态的调节 / 7
- 第三节 内环境稳态的整体观 / 12

## 第2章 机体稳态的神经调节

- 第一节 神经调节的基本方式 / 19
- 第二节 神经冲动的产生与传导 / 24
- 第三节 神经冲动的传递 / 29
- 第四节 脑和脊髓对反射活动的协同调节 / 34
- 第五节 神经系统对内脏活动的调节 / 38
- 第六节 脑的高级神经活动 / 43
  - 一 条件反射 / 43
  - 二 人的语言活动 / 47

## 第3章 机体稳态的体液调节

- 第一节 激素功能的研究方法 / 53
- 第二节 内分泌系统与激素 / 57
- 第三节 激素分泌的分级调节与反馈调节 / 62
- 第四节 神经调节与体液调节的协调作用 / 66
- 第五节 激素的应用 / 74

## 第4章 机体稳态的免疫调节

- 第一节 免疫系统的构成 / 80
- 第二节 非特异性免疫 / 84
- 第三节 特异性免疫 / 88
  - 一 细胞免疫 / 88
  - 二 体液免疫 / 92
- 第四节 免疫功能异常引起的疾病 / 97
- 第五节 免疫学的实际应用 / 102
- 第六节 神经-内分泌-免疫调节网络 / 106

## 第5章 植物生命活动的调节

- 第一节 植物生长素的发现与作用 / 113
- 第二节 主要植物激素的功能及其相互作用 / 118
- 第三节 植物生长调节剂的应用 / 124
- 第四节 外界因素对植物生命活动的影响 / 129



## 第 1 章

# 机体的内环境

寒来暑往，四季更替，外界气温相差悬殊，但我们的体温能保持基本稳定；人们饥餐渴饮，食物咸、酸不同，但体液的渗透压、pH 等却变化极小；机体细胞无时无刻不在进行的生命活动会产生各种代谢产物，但这些代谢产物并不会过度积累而影响细胞的活动。机体是如何维持内部环境相对稳定的呢？



### 学习目标

1. 在理解内环境稳态与机体生命活动相互关系的基础上，形成稳态与平衡观、局部与整体观等生命观念，并能用来认识身体健康的本质，指导日常保健活动。
2. 基于内环境中某因素相对稳定的调节过程，能运用归纳、演绎等科学思维方法，采用图示、模型等方式，分析机体细胞如何通过内环境与外界环境进行物质交换，阐释内环境稳态调节的内涵，论证内环境稳态与机体稳态的辩证关系。
3. 针对内环境稳态需要多系统协调活动来维持等现象，能选用相应的材料和用具，通过调查、实验等科学探究活动，观测某器官、系统功能改变时内环境稳态的变化，阐述所得结果的理论和实践意义。
4. 主动关注公众卫生和 health 问题，能用稳态平衡理论和系统分析的方法，评估人们的生活方案，制订并向大众宣传健康生活计划。

## 第一节 内环境的稳态

在医院里，经常需要抽取患者的血液，从中分离血浆或血清，检验其中某些物质的含量或生物活性，来帮助医生诊断疾病。为什么血浆或血清的成分变化可以反映人的身体状况呢？正常情况下，机体是如何维持血浆的化学组成及其他理化性质相对稳定的呢？

### 细胞外液构成机体的内环境



#### 寻找证据 阅读

阅读下面资料，重点关注血细胞与血浆的关系。

正常情况下，血液在血管内是持续流动的，血细胞均匀地分布在血浆中。如果把血液从血管内抽出，注入加有抗凝剂的试管，静置一段时间（或用离心机离心）后，血液就会出现分层现象，较重的红细胞在试管的下部，较轻的血浆在试管的上部，白细胞和血小板位于血浆和红细胞之间（图 1-1）。



图 1-1 分层前（左）与分层后（右）的血液

根据阅读获得的信息，思考下列问题：

1. 血细胞的直接生存环境是什么？
2. 除血液之外，其他组织的细胞外的液体是什么？
3. 血浆与其他组织细胞外的液体有什么关系？

在活体的血管内，血细胞悬浮在血浆（plasma）中并随血液循环流动，血浆构成了血细胞的直接生存环境。血浆中的水、葡萄糖、无机盐等小分子物质可以通过毛细血管壁进入组织间隙而形成组织液（interstitial fluid），组织液内的小分子物质也可以再进入血浆。组织液还可以进入毛细淋巴管形成淋巴（lymph），淋巴经淋巴管道再回

到血浆内。血浆、组织液、淋巴等都存在于细胞之外，统称为细胞外液 (extracellular fluid)，它们共同构成了机体细胞赖以生存的直接环境，称为机体的内环境 (internal environment) (图 1-2)。



图 1-2 机体的内环境示意图

与细胞外液相对应，细胞内的液体称为细胞内液 (intracellular fluid)，细胞外液和细胞内液统称为体液。体液约占个体体重的 60%，其中 2/3 为细胞内液，1/3 为细胞外液。

## 机体细胞参与内环境的形成与维持

机体细胞生活在内环境中，与内环境进行物质交换。在此过程中，细胞不断地从内环境中吸收营养物质和  $O_2$  等，细胞产生的  $CO_2$  等代谢产物不断地排入内环境。细胞代谢产生的酸性物质，如乳酸等，会影响内环境的 pH。细胞代谢产生的热量使其所处内环境的温度提高。质膜通透性的变化以及钠-钾泵的活动可改变内环境中的离子分布和渗透压。内环境中离子分布的改变可导致内环境的电位变化。内环境渗透压的改变，还会引起内环境中水分布的改变，导致内环境中液体容量的变化。细胞合成的一些活性物质释放到内环境中，使局部内环境的成分发生变化。细胞损伤、坏死或凋亡时，细胞内的一些物质进入内环境，也会导致内环境成分和相关理化性质的改变。因此，内环境中的成分随着细胞的代谢活动而发生动态变化。可见，机体细胞的活动也对细胞外液的容量和成分产生影响，参与内环境的形成和维持。

细胞的一些代谢产物，如  $CO_2$ 、 $H^+$ 、乳酸等不断排入内环境，其浓度升高到一定程度时，可引起局部血管舒张，使局部血流量增加，以利于这些代谢产物被血液带走。细胞的代谢产物、分泌物以及细胞在损伤、坏死、凋亡后分解的产物等进入内环境后，通过血液循环运输到机体的其他部位，远距离地影响其他部位的内环境，或运输到排泄器官排出体外。因此，机体内环境中各种成分的变化也必然反映在尿液等排泄物和血浆的成分及其含量的改变上，通过检验尿液等排泄物和血浆，可在一定程度上了解身体健康状况。

## 机体细胞通过内环境与外界环境进行物质交换

机体大多数细胞不与外界环境直接接触，这些细胞如何与外界环境进行物质交换呢？

机体由消化系统摄入的淀粉类食物，在消化道内被分解为葡萄糖。葡萄糖通过吸收作用进入血液（血浆），经各级血管运输到全身各处进入组织液，继而进入细胞。葡萄糖在细胞内经氧化分解产生  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ ，扩散到周围的组织液，然后进入毛细血管，经血液循环运输到肺、肾、皮肤等器官排出体外（图 1-3）。可见，机体细胞通过内环境与外界环境进行物质交换。

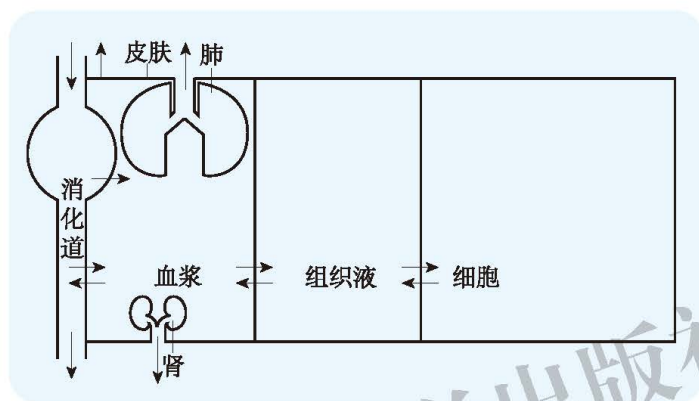


图 1-3 细胞经内环境与外界环境进行物质交换示意图

## 内、外环境间的物质交换需要多个系统协调活动

食物中所含有的营养物质通过消化系统的消化和吸收，进入血液，再经过物质交换进入组织液，这意味着外界环境中的营养物质要进入内环境，需要消化系统和循环系统的参与。机体细胞分解有机物所产生的代谢产物进入组织液后，通过物质交换进入血液，再经循环系统运输到呼吸系统和泌尿系统，最后排出体外。总之，内环境与外界环境进行物质交换的过程中，需要呼吸、消化、循环、泌尿等多个系统的共同参与。

如果细胞产生的废物不能及时排出，所需要的营养物质不能及时补充，内环境的理化性质会发生变化，其变化超过一定程度时，就会影响细胞的正常生命活动。通过不同器官和系统的协调活动，内环境的各种理化性质保持相对稳定，称为内环境的稳态（homeostasis）。

内环境的稳态是机体进行正常生命活动的必要条件。在日常生活中，应避免引起内环境发生剧烈变化的事件发生。例如，不要暴饮暴食，不要一次性运动过度等。暴饮暴食会扰乱消化系统的正常功能，干扰血糖调节等；一次性运动过度易导致过度疲劳，使机体调节能力减弱。婴幼儿维持内环境稳态的机制还不健全，老年人维持内环境稳态的能力逐渐减弱。因此在气温变化较大、感冒流行、严重雾霾天气等情况下，婴幼儿与老年人应减少室外活动，并采取相应保护措施。另外，平时应该注意科学地锻炼身体，以增强机体维持内环境稳态的能力。



## 实践应用 建模

### 构建细胞通过内环境与外界环境进行物质交换的模型

通过构建模型，揭示机体细胞、内环境与外界环境之间的物质交换关系。模型要能呈现细胞、组织液、血浆、淋巴、消化系统、循环系统、呼吸系统和泌尿系统等参与物质交换的结构；要能呈现交换的具体成分，如葡萄糖、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2$  和  $\text{O}_2$  等。

#### ● 方法建议

1. 设计建模方案，确定需要准备的材料和用具等。
2. 把参与物质交换的结构设计为固定状态，而把交换的成分等设计为可移动或可变化状态。
3. 展示构建的模型并与同学们交流，对模型的不足之处进行修改和完善。

#### ● 思考讨论

1. 细胞通过内环境与外界环境进行物质交换的速率受哪些因素的影响？
2. 内环境与外界环境的物质交换对机体维持内环境稳态有什么意义？
3. 阐述细胞的生命活动是如何参与内环境的形成与维持的。

### 检测评价

1. 组织液是机体内占比例最大的细胞外液。炎症时常引起局部组织水肿。正常情况下，组织液的容量和各种理化性质在多个系统的共同参与下维持相对稳定。请回答下列问题：

- (1) 下列项目中，不都属于内环境的是 ( )。
 

A. 血浆、淋巴	B. 淋巴、组织液
C. 血浆、组织液	D. 血液、组织液
- (2) 下列关于组织液的叙述，错误的是 ( )。
  - A. 血浆中的营养物质经毛细血管的动脉端管壁进入组织液
  - B. 组织液中的代谢产物经毛细血管的静脉端管壁进入血浆
  - C. 组织液中  $\text{O}_2$  的含量与血浆中  $\text{O}_2$  的含量相等
  - D. 组织细胞的活动参与组织液的形成和维持
- (3) 水肿部位组织液中所增加的水主要来源于 ( )。
 

A. 组织细胞	B. 淋巴	C. 血浆	D. 组织液
---------	-------	-------	--------

2. 将台盼蓝染色液注入家兔的血管，过一段时间后，取家兔的不同器官制作切片观察，发现肝、肾、肾上腺、淋巴结等被染成蓝色，但是脑、肺和骨骼肌等未被染色。这一现象说明，毛细血管的通透性在不同器官中有很大差异。请回答

下列问题：

(1) 在毛细血管通透性不同的器官内，组织液中的哪些成分可能会有差别？哪些理化性质应该相同？

(2) 在毛细血管通透性不同的器官内，组织液与血浆之间的物质交换方式会有何差别？

(3) 用结构与功能相适应的观点，分析不同器官内毛细血管通透性不同的功能意义。

(4) 如果想使某种药物能顺利进入脑组织以治疗脑内疾病，设计该药物时应注意什么问题？对于不宜进入脑组织的药物，设计时应注意什么？



### 开阔眼界

## 内环境反映的进化痕迹

人们通常认为，生命起源于原始海洋。与现代海洋相比，原始海洋中含有较多的 $K^+$ 和较少的 $Mg^{2+}$ 。当时的单细胞生物体内含有较高浓度的 $K^+$ ，细胞内许多酶的活性也受 $K^+$ 的调控。多细胞生物的出现，使机体内部细胞周围的液体与海水逐渐隔离，最终形成相对独立的内环境，并且内环境中的离子成分及其相对比例与原始海水更为接近。

通过对不同动物细胞外液的离子成分和相对比例进行检测发现，细胞外液中各种离子的相对比例非常相似，这使人们不禁想到它们可能具有共同的起源，并且在一定程度上反映了动物的进化痕迹。

动物对环境的适应能力与它们维持内环境稳态的能力密切相关。不论动物处于何种环境中，能够维持自身内环境稳态的种群或个体更容易生存。因此，机体内环境中各种成分及其相对比例与现代海水的差异越大，说明该生物出现越早并且内环境稳态机制越完美。

虽然不能根据内环境的化学成分来准确推测动物进化的“轨迹”，但是从进化的视角来审视机体的内环境也有一定的价值。

## 第二节 内环境稳态的调节

不论是学习、运动还是休息，机体细胞的代谢活动每时每刻都在进行着。含碳有机物氧化产生的  $\text{CO}_2$  可与  $\text{H}_2\text{O}$  结合形成  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ，含硫氨基酸氧化会生成  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ，核酸、磷脂及含磷的蛋白质分解会产生  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ，糖酵解会产生乳酸。但是，机体内环境的 pH 变化很小，人体血浆的 pH 通常维持在 7.35~7.45。那么，机体内环境的 pH 稳定是如何实现的呢？



### 寻找证据 实验

#### 对比蒸馏水、缓冲液、血浆对 pH 的调节作用

##### ● 目的要求

1. 比较血浆与蒸馏水、缓冲液对 pH 的调节作用。
2. 分析生物体对 pH 的调节作用与缓冲液对 pH 的缓冲作用的异同。

##### ● 实验原理

向蒸馏水、缓冲液或血浆中加入甲基橙或酚酞，然后再滴加酸或碱溶液，根据蒸馏水、缓冲液、血浆到达相同 pH 时所需酸或碱溶液的量，即可知道血浆中是否含有缓冲物质。



##### 小资料

甲基橙在溶液 pH 大于 4.4 时呈黄色，pH 为 3.1~4.4 时呈橙色，pH 小于 3.1 时呈红色。酚酞在溶液 pH 小于 8.2 时无色，pH 为 8.2~10.0 时呈红色。

##### ● 材料用具

动物血浆 (pH 7.4)；0.1 mol/L NaOH 溶液，0.1 mol/L HCl，0.1 mol/L 磷酸缓冲液 (pH 7.4)，蒸馏水 (pH 7.4)，甲基橙指示剂，酚酞指示剂；量筒，试管，试管架，滴管等。

##### ● 方法步骤

1. 取 6 支洁净试管并分别标记为 1a、1b、2a、2b、3a、3b，向 1a 和 1b 试管中各加入 2 mL 蒸馏水，向 2a 和 2b 试管中各加入 2 mL 磷酸缓冲液，向 3a 和 3b 试管中各加入 2 mL 动物血浆。

2. 向上述 6 支试管中各加入甲基橙指示剂 1 滴。

3. 用滴管分别向 6 支试管中逐滴加入 0.1 mol/L HCl，同时观察试管内液体的颜色变化，当液体颜色变为红色时停止滴加，记录并比较所需 HCl 的滴数。

4. 另取 6 支洁净试管并分别标记为 4a、4b、5a、5b、6a、6b，向 4a 和 4b 试管中各加入 2 mL 蒸馏水，向 5a 和 5b 试管中各加入 2 mL 磷酸缓冲液，向 6a 和 6b 试管中各加入 2 mL 动物血浆。

5. 向上述 6 支试管中各加入酚酞指示剂 1 滴。

6. 用滴管分别向 6 支试管中逐滴加入 0.1 mol/L NaOH 溶液，同时观察试管内液体的颜色变化，当液体颜色变为红色时停止滴加，记录并比较所需 NaOH 溶液的滴数。

根据实验获得的信息，思考下列问题：

1. 血浆对 pH 的变化有无缓冲能力？这说明什么问题？
2. 蒸馏水和缓冲液有什么作用？实验中每个样品为什么要进行重复测试？
3. 分析血浆对 pH 的缓冲作用的机制。
4. 人体对 pH 的调节作用与血浆在体外对 pH 的缓冲作用有何不同？

## 机体通过调节作用保持内环境稳定

在向血浆中加入酸或碱时，血浆 pH 变化情况与缓冲液类似，而与蒸馏水完全不同。这说明血浆也具有抵抗 pH 变化的能力，血浆中存在缓冲物质。血浆中有  $\text{NaHCO}_3/\text{H}_2\text{CO}_3$ 、蛋白质钠盐 / 蛋白质、 $\text{Na}_2\text{HPO}_4/\text{NaH}_2\text{PO}_4$  等缓冲对，其中以  $\text{NaHCO}_3/\text{H}_2\text{CO}_3$  最为重要。正常情况下， $\text{NaHCO}_3$  与  $\text{H}_2\text{CO}_3$  的比值为 20 : 1。当向血浆中加入 HCl 时，HCl 与  $\text{NaHCO}_3$  反应，生成 NaCl 和  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ， $\text{H}_2\text{CO}_3$  可分解为  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ 。当向血浆中加入少量 NaOH 溶液时，NaOH 和  $\text{H}_2\text{CO}_3$  反应，生成  $\text{NaHCO}_3$  和  $\text{H}_2\text{O}$ 。人体内存在多种缓冲物质，构成复杂的缓冲系统，共同维持内环境 pH 的相对稳定，以保证机体的正常生命活动。

实验中的蒸馏水和缓冲液都是起对照的作用。实验中，每个测试样品都进行两次测试，是为了提高结果的可靠性。如果两个平行样品的测试结果一致或非常接近，就说明测试结果是可靠的，否则需要重新测试。

## 内环境稳定依赖于机体不同器官、系统共同参与

试管内的血浆是一个有限的封闭系统，持续向其中加入酸或碱时，其缓冲能力会逐渐下降，直至消失。但是，人体是一个多功能的开放系统，在多个系统协同作用下，不断地与外环境进行物质交换，从而始终维持较强的酸碱平衡能力。例如，人体在剧烈运动时会产生乳酸。乳酸进入血液后，与血浆中的  $\text{NaHCO}_3$  反应生成乳酸钠和  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ， $\text{H}_2\text{CO}_3$  可分解为  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ ，也可解离为  $\text{HCO}_3^-$  和  $\text{H}^+$ 。 $\text{CO}_2$  可通过呼吸系统呼出体外，多余的  $\text{H}_2\text{O}$  可由泌尿系统等排出体外。 $\text{H}^+$  可与血浆中带负电的蛋白结合。如果碱性物质，如  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  进入血液，则可发生如下反应： $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{CO}_3 = 2\text{NaHCO}_3$ 。 $\text{NaHCO}_3$  随血液进入肾脏，肾将部分  $\text{Na}^+$  和  $\text{HCO}_3^-$  重吸收，未被重吸收的  $\text{Na}^+$  和  $\text{HCO}_3^-$  排出体外，使体内的  $\text{NaHCO}_3$  维持在正常水平。而且，内环境中  $\text{H}^+$  和  $\text{CO}_2$  增多，还能反射性地增强呼吸系统和循环系统的活动，令机体及时排出体内的酸性物质（图 1-4）。在呼吸系统、泌尿系统、循环系

统、神经系统等共同参与下，血浆中各种缓冲物质的含量及比例基本维持稳定，对 pH 变化的缓冲能力总是保持在较高水平。

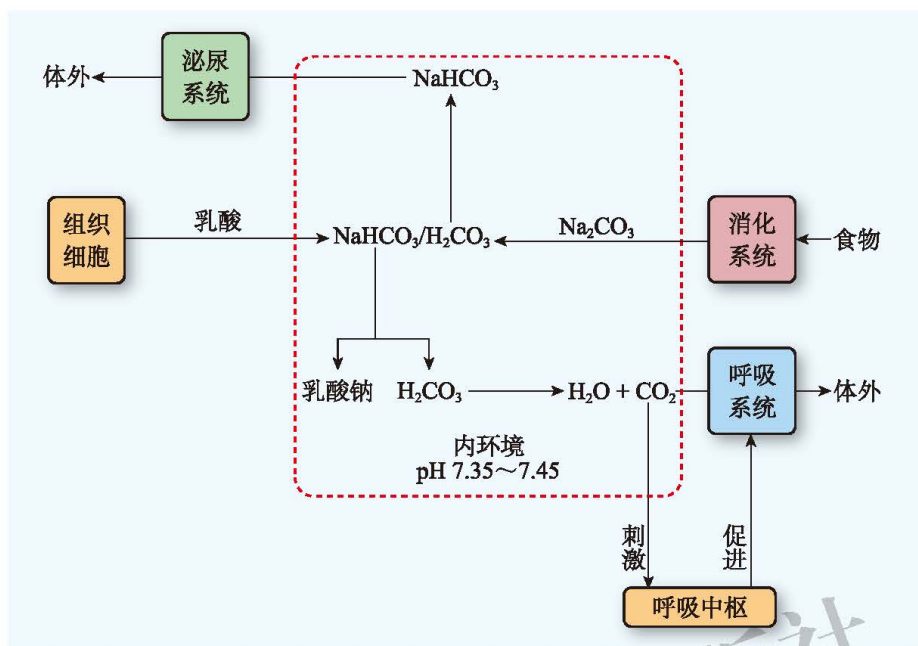


图 1-4 内环境 pH 调节示意图

以上过程说明，机体不同器官、系统协调统一地共同完成各项生命活动，是维持内环境稳态的基础。

在机体的调节能力降低或某个功能系统出现障碍的情况下，内环境稳态可能会遭到破坏。例如，某些疾病导致呼吸功能低下时， $\text{CO}_2$  不能及时排出，导致酸性物质积累，引起机体酸中毒。如果某些药物、疾病使呼吸中枢兴奋性升高，通气过度，排出  $\text{CO}_2$  过多，可导致机体碱中毒。另外，剧烈呕吐、严重腹泻、肾功能障碍等都会导致机体的酸碱平衡紊乱。因此，如果出现酸中毒或碱中毒，在及时纠正水和电解质紊乱的同时，还要探查病因，积极治疗原发病。

### 实践应用 交流

#### 剧烈呕吐引起机体酸碱平衡紊乱的类型和机制

正常状态下，机体可通过调节机制维持内环境的酸碱平衡。但是，当机体产生或丢失的酸、碱过多而超出机体的调节能力时，或者当机体对酸碱平衡的调节机制出现障碍时，就会出现酸碱平衡紊乱的情况，如酸中毒或碱中毒。

吃了变质的食物、胃肠道感染时常引起呕吐。这种情况下，呕吐可将部分胃肠内的有害物质排出体外，对机体起到一定的保护作用。但是剧烈而频繁的呕吐会引起体内酸碱平衡的紊乱。请查找有关资料，就呕吐引起酸碱平衡紊乱的类型及其机制与同学们进行交流。



1. 生活在平原地区的人刚刚从平原进入高原后的短时期内, 可能会出现头晕、头痛、恶心、心动过速、呼吸加快、肢体无力等症状。这是因为高原空气稀薄、 $O_2$  含量较少、外界环境的急剧变化等使机体产生了生理反应。经过一定时间的适应后, 这些症状一般可自行缓解。请回答下列问题:

(1) 从平原地区刚刚进入高原时, 出现的下列现象中属于机体维持内环境稳态调节的是 ( )。

- A. 脑部供氧不足导致头晕、头痛
- B. 缺氧导致呼吸运动加深、加快
- C. 肢端毛细血管供氧不足导致手足发麻
- D. 部分肌肉因供氧不足而肢体无力

(2) 人刚从平原进入高原后, 血浆中乳酸的浓度会升高。经过一段时间后, 在机体的自动调节作用下, 乳酸浓度又降至正常范围。下列分析中, 正确的是 ( )。

- A. 人刚刚进入高原时由于呼吸加深加快, 导致乳酸产生增多
- B. 人刚刚进入高原时只能进行无氧呼吸, 导致乳酸产生增多
- C. 经过一段时间后, 乳酸浓度下降至正常范围, 是由于肾脏排泄乳酸速度加快
- D. 经过一段时间后, 乳酸浓度下降至正常范围, 是由于乳酸与血浆中的  $NaHCO_3$  发生反应, 乳酸被转变成了其他物质

2. 为了解运动时机体对酸碱平衡的调节, 研究人员测定了 15 名女子自行车运动员运动前与运动后的血乳酸浓度和血浆 pH。运动前的血乳酸浓度为  $1.37 \text{ mmol/L} \pm 0.51 \text{ mmol/L}$ , 血浆 pH 为  $7.42 \pm 0.02$ ; 在全力快蹬功率车 60 s 后的血乳酸浓度为  $12.96 \text{ mmol/L} \pm 1.51 \text{ mmol/L}$ , 血浆 pH 为  $7.13 \pm 0.07$ 。休息一段时间后, 血浆 pH 又恢复到运动前的水平。请回答下列问题:

(1) 阐述运动后血浆 pH 降低的原因。

(2) 以缓冲对  $HCO_3^- / H_2CO_3$  为例, 说明血浆中的缓冲物质对 pH 稳定的作用及其局限性。

(3) 阐述呼吸系统在调节内环境 pH 稳定中的作用, 分析通气不足和通气过度时, 机体酸碱平衡将可能发生什么变化。

(4) 请利用局部与整体相统一、功能与结构相适应等观念, 说明为什么  $HCO_3^- / H_2CO_3$  是人体血浆内最重要的缓冲对。

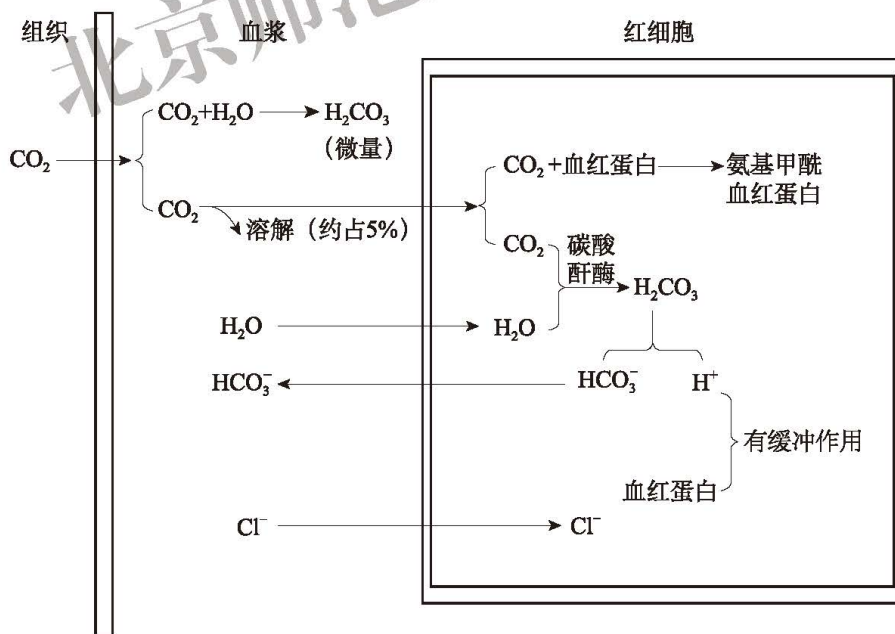


## 红细胞在维持血浆 pH 稳定中的作用

组织细胞代谢产生的  $\text{CO}_2$  进入血液后可形成  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ，其解离出的  $\text{H}^+$  会使血液 pH 降低。但是，静脉血和动脉血的 pH 相差并不大，这主要依赖于  $\text{CO}_2$  运输过程对 pH 的调节。由于血浆中没有碳酸酐酶（催化  $\text{H}_2\text{CO}_3$  分解成  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$  及其逆反应的酶），进入血浆的  $\text{CO}_2$  只有很少一部分与  $\text{H}_2\text{O}$  结合生成  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ，绝大部分  $\text{CO}_2$  会扩散到红细胞内。红细胞内含有较高浓度的碳酸酐酶，使  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$  结合生成  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ， $\text{H}_2\text{CO}_3$  又迅速解离为  $\text{HCO}_3^-$  和  $\text{H}^+$ 。随着红细胞内的  $\text{HCO}_3^-$  增多， $\text{HCO}_3^-$  从红细胞内扩散进入血浆，血浆内的  $\text{Cl}^-$  在电位差的推动下进入红细胞（氯转移）， $\text{H}_2\text{CO}_3$  解离出来的  $\text{H}^+$  则与血红蛋白结合得到缓冲。

综上所述， $\text{CO}_2$  从血浆进入红细胞，在红细胞内形成  $\text{HCO}_3^-$  后再回到血浆，随血液运输到肺。在肺毛细血管中，发生相反方向的反应， $\text{CO}_2$  进入肺泡，进而排出体外。 $\text{HCO}_3^-$  是  $\text{CO}_2$  运输的主要形式，约占  $\text{CO}_2$  运输总量的 88%，红细胞内的碳酸酐酶和氯转移保证了  $\text{CO}_2$  在红细胞内大量形成  $\text{HCO}_3^-$ 。据推算，如果没有红细胞， $\text{CO}_2$  只靠血浆携带，血浆的酸度将高出 800 倍。

进入红细胞的  $\text{CO}_2$  还可与血红蛋白结合形成氨基甲酰血红蛋白，约占  $\text{CO}_2$  运输总量的 7%。在血浆中以物理溶解方式运输的  $\text{CO}_2$  约占 5%。



红细胞在血浆 pH 稳定中发挥重要作用

## 第三节 内环境稳态的整体观

上课时间快到了，你从距离教室几百米的地方飞奔到教室，此时，你的心跳、呼吸都比安静时快得多，而且出了不少汗。奔跑时，呼吸、血液循环、体温调节等生理过程对维持内环境稳态有何作用？细胞、内环境、机体、外界环境之间是如何相互关联的呢？

### 每个细胞与它所在的内环境构成一个微系统

细胞外液渗透压的减小或增大，会引起细胞的吸水或失水，而随着细胞与其环境的物质交换，细胞内、外的渗透压最终会达到平衡。质膜上的离子通道、离子泵等使细胞内、外存在离子浓度差和电位差，而细胞内、外的离子浓度差和电位差也会影响细胞的兴奋水平及代谢活动。因此，细胞的代谢活动依赖于内环境，同时也对内环境产生影响。细胞与它所处的内环境是一个功能整体，二者构成一个相互影响、相互依存的微系统。

### 许多微系统形成有机整体

大强度有氧运动时，参与运动的骨骼肌代谢水平会大大提高，表现为耗氧量增加、 $\text{CO}_2$ 产生增多、产热增加、局部温度升高、产生大量乳酸等。这种情况下，骨骼肌需从它所在的内环境中获取供能物质和 $\text{O}_2$ ，并将代谢产物排入其所在的内环境，如果供能物质和 $\text{O}_2$ 不能源源不断地供应，代谢产物不能及时运送出去，骨骼肌很快就会因能量缺乏、缺氧、代谢产物堆积等而不能继续收缩。但实际上，骨骼肌运动所消耗的能量，除来源于自身储存的能量外，还在神经系统和内分泌系统的调节之下，使储存于身体其他部位的供能物质（如肝糖原、脂肪等）在不断分解后经血液循环运输到骨骼肌予以补充。骨骼肌运动所消耗的 $\text{O}_2$ 通过呼吸系统、循环系统持续供应，骨骼肌的代谢产物通过循环系统、呼吸系统、泌尿系统等排出体外，产生的热量通过皮肤蒸发、呼吸等散发出去。因此，人体的每一个细胞都不是独立发挥作用的，而是许多“细胞-内环境”微系统有机结合，形成一个整体来实现其功能活动的。

为了研究和学习的方便，常常对不同生理参数或物质（如体温、渗透压、pH、血糖等）的稳态分别进行论述，但是，不应把各个生理参数或物质的稳态割裂开来，而应从整体水平及系统论的角度来看待。例如，高强度运动时，产热增加导致体温升高，能量消耗导致血糖降低，乳酸及 $\text{CO}_2$ 生成增加引起pH下降等；同时，在机体调节机制作用下，散热增加（如出汗）导致体温下降、糖原分解导致血糖升高、呼吸系统和循环系统功能增强引起pH升高等，使内环境维持稳态（图1-5）。



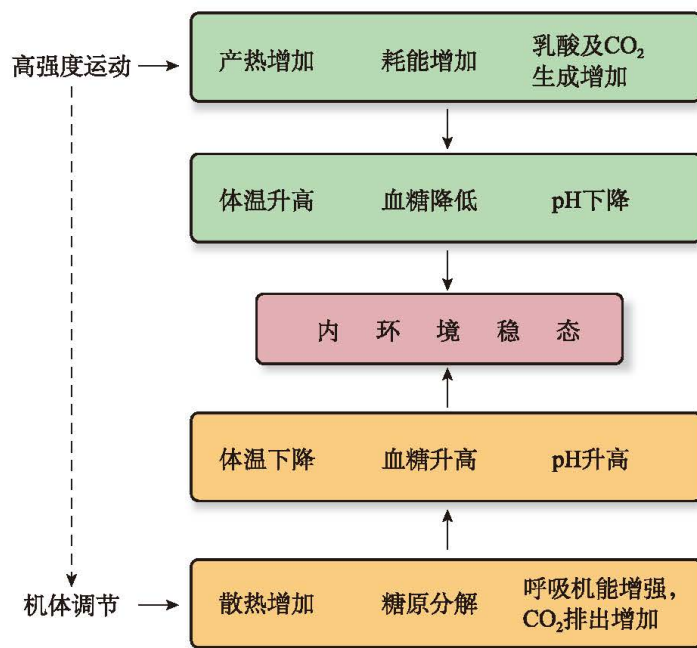


图 1-5 高强度运动时内环境稳态的调节

## 内环境稳态是机体适应外界环境的保证

构成机体的每一个细胞都十分脆弱，但是，整个机体却能够在复杂多变的环境中生存数十年甚至几百年；由于细胞分化，每一种细胞的功能相对比较简单，但是，整个机体却能表现出十分复杂的生命现象。可见，由不同的细胞有机结合形成的生物体，产生了单个细胞不具备的新功能。

内环境是机体的重要组成部分。内环境的形成，使细胞的活动不再直接受外界环境变化的影响。即使外界环境发生变化，在各种调节机制的作用下，内环境也能保持相对稳定，而只要内环境保持相对稳定，细胞的生命活动就能正常进行。

细胞之间的物质、能量交换和信息交流主要是通过内环境来实现的。机体不同部位的内环境由循环系统联系在一起，使机体各部位的细胞能够通过内环境发生相互作用。在外界环境发生较大改变或机体自身的代谢活动导致局部内环境变化时，机体会在多个器官、系统的共同参与下自动调节，使内环境维持稳态。因此，内环境的稳态机制不仅使身体各部分协调统一，也使得机体能够在一定程度上适应复杂多变的外界环境（图 1-6）。



图 1-6 内环境稳态使机体能适应复杂多变的外界环境

内环境稳态是机体生命活动调节的“目标”，也是系统医学理论的基石，从内环境与细胞、细胞与机体、机体与外界环境之间的相互关系开展深入研究，或许能够找到许多疑难病的复杂病因。

## 内环境稳态与机体稳态相互依存

内环境的某些理化性质发生改变，会引起细胞代谢紊乱，导致某些器官、系统功能障碍。例如，血浆中钙、磷等元素含量降低，会影响骨的钙化，对于儿童可导致骨化不全、骨生长障碍的佝偻病，对于成年人则可导致骨软化病；大量出汗等原因使体液丢失过多，会引起乏力、低血压、心率加快等。

机体某些器官、系统的功能障碍，会使内环境的理化性质改变，破坏内环境的稳态。例如，发生肝脏疾病时蛋白质合成减少，发生肾炎时血浆蛋白随尿排出，都会导致血浆蛋白质含量降低，因而血浆渗透压降低，组织液生成增多，引起组织水肿。

机体内各种各样的细胞与其内环境有机结合在一起，构成了复杂的生物体。内环境与机体细胞在结构上不能分割开来而独立存在，在功能上相互依存、互为前提。内环境的化学组成、温度、pH 和渗透压等保持相对稳定，是机体细胞正常生存及整个机体进行正常生命活动的必要条件。机体通过各种调节机制使各器官、系统协调活动，是维持内环境稳态的基础（图 1-7）。

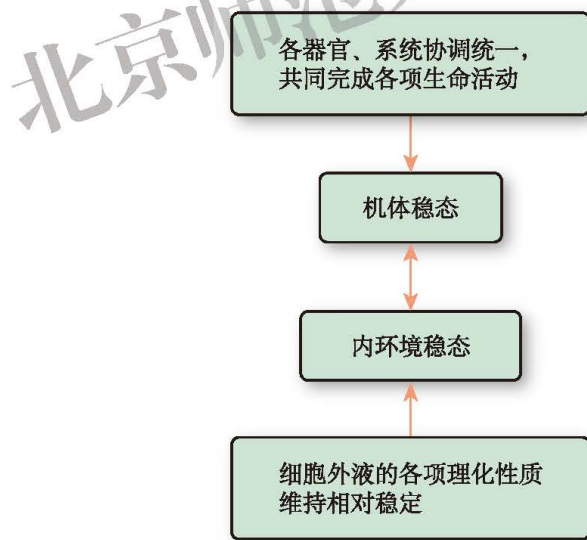


图 1-7 内环境稳态与机体稳态关系示意图

内环境稳态与机体稳态的关系，需用局部与整体相统一的观点来分析。内环境稳态不能脱离机体稳态而存在，必须在机体稳态的基础上才能实现。机体稳态也不能与内环境稳态割裂开来，没有内环境的稳态，机体稳态也无从谈起。内环境稳态取决于机体稳态，又对机体稳态产生影响。对于内环境的变化，应该从机体稳态的角度来分析，对于机体稳态的问题或相关疾病，有时需要从内环境的变化中寻找答案。

## 实践应用 讨论

### 用系统论原理讨论内环境稳态和机体稳态

系统论认为,复杂系统的运行遵从整体性、开放性、目的性、稳定性等基本原理。整体性是指由若干要素组成的有机整体,具有各独立要素所没有的新功能;开放性是指系统具有与环境进行物质、能量交换和信息交流的性质与功能;目的性是指在系统与环境相互作用的过程中,在一定范围内系统的发展和变化趋向于某种预定状态;稳定性是指系统能够在一定范围内进行自我调节,维持其结构和功能的相对稳定。

试从细胞、内环境、人体和外界环境之间的相互关系出发,论述人体生命系统的运行符合系统论原理,明确人体是一个具有自我调节能力的独立生命系统。

### 检测评价

1. 在大强度有氧运动时,机体代谢水平提高,耗氧量增加,CO<sub>2</sub>产生增多,机体产热量增加。同时,机体通过各种调节机制,使呼吸增强,心跳加快,体表血管舒张,汗液分泌增加。请回答下列问题:

(1) 分别说明运动中呼吸增强、心跳加快、体表血管舒张、汗液分泌增加等,对维持内环境稳态的意义。

(2) 根据运动中机体生理功能的变化阐述机体稳态和内环境稳态的相互关系。

(3) 运动中汗液分泌有利于散发热量。但是,汗液大量分泌可使机体失水过多,导致血浆容量减小、血液黏度增加、尿量减少等,也会对机体产生不利影响。试提出解决该矛盾的方案。

2. 血浆既是血细胞的内环境,也是将机体的整个内环境联系在一起的纽带,还是细胞与外界环境进行物质交换的媒介。因此,血液循环在维持内环境稳态中具有重要功能。同时,细胞的代谢活动也参与血液循环功能的调节。请回答下列问题:

(1) 把“细胞-内环境”作为一个系统时,它的哪些性质或功能是细胞所不具备的?

(2) 从“局部与整体相统一”的角度,说明“从细胞到机体”都对维持内环境的稳态有所贡献。

(3) 阐述内环境稳态与机体适应外界环境之间的辩证统一关系。

(4) 从循环系统在维持内环境稳态中的作用着眼,说明预防心脑血管疾病的重要性。



## 从内环境稳态理论到控制论

19世纪50年代，法国科学家伯尔纳提出了“内环境”的概念，并指出内环境的稳定是机体自由和独立生存的首要条件。身体内所有的存活机制，虽然种类不同、功能各异，但只有一个目的，就是使内环境保持稳定。

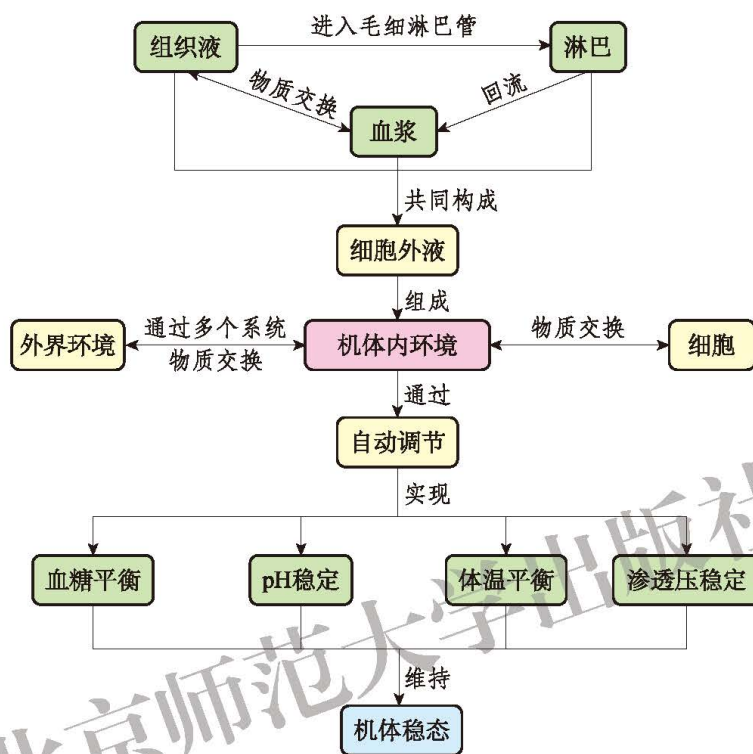
美国科学家坎农在对休克的研究中，意识到休克是机体调节机制衰竭的结果，并根据对交感神经系统和相关内分泌功能的研究结果，创造性地使用“稳态”这一术语来描述内环境稳定的自我调节过程。他指出内环境的稳定不是使生物与环境完全隔开，而是靠不断地调节体内的各种生理过程达到一种动态的平衡。

内环境稳态的概念不仅在生物学中产生了极大影响，并且促进了控制论的诞生和发展。20世纪40年代，美国数学家维纳创立了“控制论”，他把稳态的概念作为控制论的重要例证，并把控制论简明扼要地定义为“关于动物和机器中控制或通信的科学”。同时，控制论中的反馈、信息传输、信息处理等概念应用到生物学中，也促进了生物学的发展。

北京师范大学出版社

## 本章小结

## ● 基础知识梳理



血浆、组织液和淋巴等细胞外液共同构成高等动物细胞赖以生存的内环境。机体细胞生活在内环境中，并参与内环境的形成和维持。机体细胞与内环境进行物质交换，内环境再通过呼吸系统、消化系统、循环系统和泌尿系统等与外环境进行物质交换。内环境的变化会引发机体的自动调节，维持内环境的相对稳定，以保证机体的正常生命活动。各器官、系统协调统一地完成各项生命活动是内环境稳态的基础，而内环境的稳态是机体正常生命活动的必要条件。

## ● 学科素养提示

基于内环境稳态与机体稳态的相互关系，运用局部与整体观、稳态与平衡观等生命观念分析和解决个体健康和公共卫生问题。在构建细胞通过内环境与外界环境进行物质交换的模型、观察血浆对 pH 的调节作用、讨论呕吐引起机体酸碱平衡紊乱等科学探究活动的过程中，用稳态平衡理论和系统分析的方法，评估人们的生活方案，制订健康生活计划。



## 第 2 章

# 机体稳态的神经调节

运动场上，各类体育竞赛正在激烈地进行着，赛跑、投掷、跳高……运动员展示出来的速度、力量、灵敏性等，使人领略到特殊的美感。飘扬的彩旗、此起彼伏的掌声、阵阵的欢呼与喝彩，使人的心情激奋昂扬。无论是运动员精准而流畅的技术动作，还是观众澎湃激昂的情绪反应，都主要受神经系统的调节。通过本章的学习，你将了解神经系统是如何实现其调节功能的。



### 学习目标

1. 在理解神经调节的结构基础和功能特点的基础上，形成结构与功能观、稳态与平衡观等生命观念，阐释神经系统在稳态调节中的主导作用，评价生活中常见的反射活动在维持机体稳态中的生理意义。
2. 基于神经冲动沿神经纤维快速传导以及在突触处通过化学方式传递等知识，能运用归纳、演绎等科学思维方法，用图示、模型等方式说明神经传导和传递障碍将导致疾病，并能对防治某种神经系统疾病的基本策略进行评价。
3. 针对神经系统受损会导致人体运动等行为障碍的现象，能设计方案，通过调查、实验等科学探究活动探讨人体运动障碍的神经机制。
4. 主动关注不同人群神经系统健康的现状，能运用神经调节的相关知识为神经系统的生长、发育、保健等提出合理建议。

## 第一节 神经调节的基本方式

操场上，两个班级的同学准备进行拔河比赛。参加比赛的同学各就各位，听到“预备”口令后，握紧绳子，摆好姿势，眼睛盯着裁判手中的小旗。裁判将手中的小旗用力下挥并发出“开始”口令后，两边的同学齐声喊着口号，奋力把绳子拉向自己一方，直到分出胜负。机体从听到口令到迅速做出各种反应的过程中，神经系统是怎样发挥调节作用的？其结构基础又是什么呢？



### 寻找证据 阅读

阅读下面资料，重点关注刺激与反应之间的关系。

当你的手无意中触碰到一个尖锐的物体时，会立即缩回；当你专心致志地听老师讲课时，一只苍蝇突然向你的眼睛飞来，你马上闭上了眼睛；当你喝水时，由于喝得太急，有些水进入了气管，随即引起一阵剧烈的咳嗽。

根据阅读获得的信息，思考下列问题：

1. 机体的反应与其所接受的刺激之间有何关系？
2. 试归纳出机体从接受刺激到做出反应的神经通路。

### 神经系统通过反射使机体对刺激做出快速反应

手触碰到尖锐物体引起缩手，苍蝇飞向眼睛引起闭眼，水进入气管引起咳嗽，以上现象有一个共同的特征，就是机体对接受到的刺激都做出了反应，而且，机体的反应与所接受到的刺激之间有着相互对应的关系。临床上，患者在被全身麻醉后，上述反应都不会出现，说明这些反应必须有中枢神经系统的参与。在中枢神经系统的参与下，机体对内、外环境的变化信息所做出的规律性反应称为反射（reflex）。反射是神经调节的基本方式。

根据反射的表现，上述反射分别叫作缩手反射、眨眼反射和咳嗽反射，它们都属于保护性反射，可使机体免受不利刺激的危害。从这些反射过程可以看出，神经调节具有快速而精确的特点。神经调节之所以快速而精确，是因为反射活动都具有各自的特定通路。

## 反射的结构基础是反射弧

通常，把机体内、外环境的变化信息称为刺激，把机体接受刺激的结构称为感受器，把能使机体对特定刺激表现出相应反应的结构称为效应器。感受器和效应器由神经元连接起来，就构成了机体对刺激做出反应的信息转换和传递通路。以缩手反射为例，感受器是皮肤中的痛觉感受器，效应器是传出神经末梢及其支配的肱二头肌。连接在感受器和效应器之间的神经元有三种，其中，与感受器相连的神经元称为感觉神经元（又称传入神经元），支配效应器的神经元称为运动神经元（又称传出神经元），介于感觉神经元和运动神经元之间的神经元称为中间神经元。皮肤中的痛觉感受器接受刺激并将刺激信息转变成感觉信息；感觉神经元的突起构成了传入神经，将感觉信息传入脊髓；位于脊髓内的控制缩手反射的神经中枢将感觉信息进行分析、整合后转换为运动信息；运动神经元的轴突构成了传出神经，将运动信息传到效应器；肱二头肌接受运动信息做出收缩反应，将手缩回。感受器、传入神经、神经中枢、传出神经和效应器所构成的结构称为反射弧（reflex arc）（图 2-1）。反射弧是反射的结构基础。

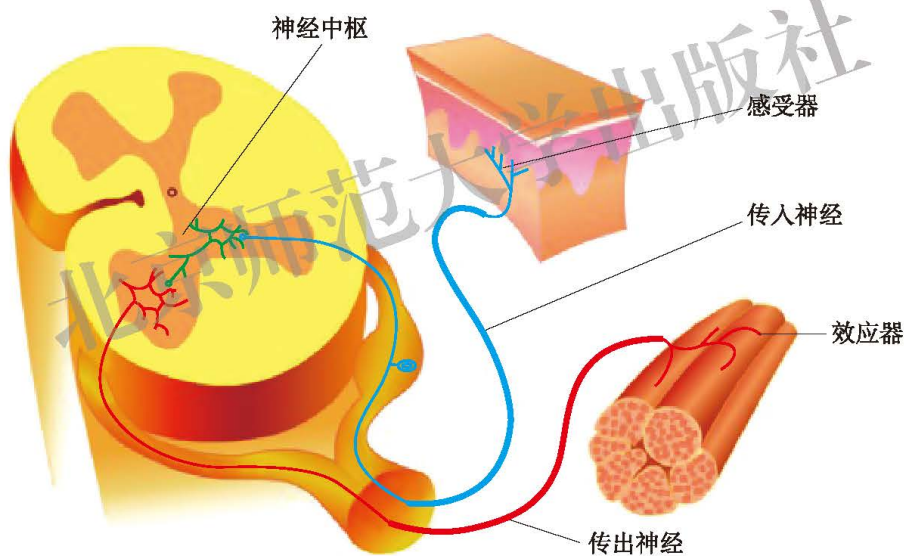


图 2-1 反射弧模式图

## 反射分为非条件反射和条件反射

缩手反射、眨眼反射和咳嗽反射等存在于所有正常个体，并且生来就具有，无须后天学习，这类反射称为非条件反射（unconditioned reflex）。但有些反射则需要后天的学习才能形成，称为条件反射（conditioned reflex）。例如，狗在进食时会分泌唾液，这是一种非条件反射，如果在给狗喂食的同时予以铃声刺激，这样反复多次后，狗只要听到铃声，即使不给食物也会分泌出唾液。由铃声引起的唾液分泌就属于条件反射。

非条件反射在大脑皮层以下的低级神经中枢（如脑干、脊髓）的参与下即可完成，是



一种比较低级的神经活动。条件反射是在非条件反射的基础上，经后天学习形成的。条件反射需要大脑皮层参与，是一种高级的神经活动，也是重要的学习方式之一。机体通过形成各种类型的条件反射，大大提高了对外界环境的适应能力。

神经系统通过反射来迅速调节机体的生命活动，并使之适应内、外环境的各种变化。反射需要经过完整的反射弧来实现，五个环节缺一不可，任何一个环节出现障碍，反射都不能正常完成。人体的神经系统出现病变，往往会导致反射活动异常，因此，医生常通过测试膝跳反射、眨眼反射、瞳孔对光反射等来检查神经系统方面的疾病。

### 思考

在实验条件下，刺激传入神经、神经中枢或传出神经均可引起效应器的应答活动。这属于反射吗？为什么？

## 实践应用 观察

### 观察几种反射

#### ● 目的要求

1. 简述膝跳反射、跖反射和眨眼反射现象。
2. 分析检查上述几种反射的临床意义。

#### ● 材料用具

叩诊锤，牙签，洗耳球等。

#### ● 方法步骤

##### 1. 膝跳反射观察

(1) 被试坐在椅子上，一条腿搭在另一条腿的上面，肌肉放松。

(2) 实验者用叩诊锤快速叩击被试上面那条腿髌骨下方的韧带，观察被试小腿的反应（图 2-2）。

##### 2. 跖反射观察

(1) 被试仰卧，髌及膝关节伸直，肌肉放松。

(2) 实验者以手持被试踝部，用牙签钝头从后向前划足底外侧至小趾掌关节处再转向内侧，观察被试足跖的屈曲反应。

##### 3. 眨眼反射观察

(1) 被试坐在椅子上，眼看前方。

(2) 实验者用洗耳球从被试眼的前下方向被试眼球吹气，观察被试眨眼反应。



图 2-2 膝跳反射示意图

### ● 思考讨论

1. 实验中几种反射的反射弧有哪些共同点和不同点?
2. 若某一反射(如膝跳反射)有减弱、消失或亢进等异常表现,可能是神经系统哪些部位受到损害?

### 检测评价

1. 脊髓灰质炎(俗称小儿麻痹症)是由脊髓灰质炎病毒引起的严重危害儿童健康的急性传染病,脊髓灰质炎病毒主要侵犯脊髓中的运动神经元,受相关神经元支配的肌肉因失去神经的调节作用而发生萎缩,造成患者不同程度的运动障碍甚至瘫痪,还会由于引起肌力不平衡等导致关节或肢体畸形等后遗症。请回答下列问题:

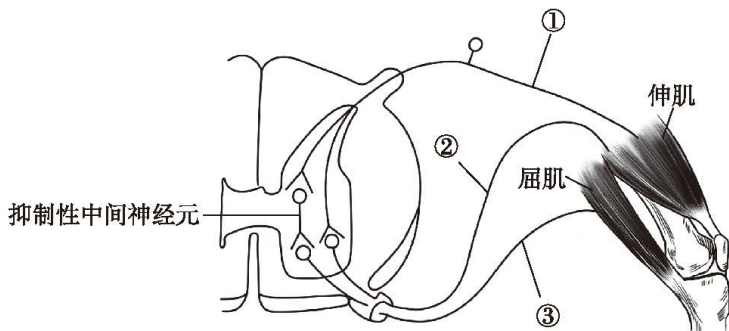
(1) 脊髓灰质炎病毒主要侵犯反射弧中的( )。

- A. 传入神经    B. 神经中枢    C. 传出神经    D. 效应器

(2) 脊髓灰质炎患者出现肌肉萎缩后,其相关反射活动会发生哪些变化?试解释其机制。

(3) 某脊髓灰质炎患者出现了足外翻畸形,试阐述其可能原因。

2. 作用于同一个关节的屈肌和伸肌在功能上是相互拮抗的。如下图所示,刺激位于伸肌处的感受器,感受器将信息经传入神经、神经中枢传至支配伸肌的传出神经元使之兴奋,同时传入神经发出分支通过抑制性中间神经元抑制支配屈肌的传出神经元,这样就使得伸肌收缩的同时屈肌舒张,关节呈伸展状态。



请回答下列问题:

(1) 根据上图,下列叙述错误的是( )。

- A. ①所指是传入神经  
 B. ②所指是支配伸肌的传出神经,③所指是支配屈肌的传出神经  
 C. 刺激②处效应器也能做出反应,这种反应也属于反射  
 D. 伸肌中存在感受器

(2) 传入神经的分支对抑制性中间神经元起兴奋作用还是抑制作用?抑制性中

间神经元对支配屈肌的传出神经元起兴奋作用还是抑制作用？

(3) 当刺激足底皮肤引起膝关节屈曲时，相对应的支配伸肌的传出神经元将产生何种反应？试分析其反射通路。

(4) 在功能上相互对立的两个中枢之间交互抑制的现象，还存在于呼吸运动中呼气中枢和吸气中枢的相互协调配合，试用对立统一和整体性观点阐释这一现象的生理意义。



## 开阔眼界

### 痒觉揭秘

“杜诗韩笔愁来读，似倩麻姑痒处搔。”这是杜牧的诗句，杜牧把读杜甫的诗与韩愈的文章时的感受，喻为仙女麻姑在痒处轻挠似的快感，可谓妙笔生花。痒是一种不舒服的感觉，抓挠可解除痒感使人感觉舒适。许多体内、外刺激会引起痒觉，一些顽固性痒令人非常痛苦。但是，痒觉的奥秘直到近十几年才逐渐被揭开。

2007年，圣路易斯华盛顿大学的研究人员发现，脊髓内的一些神经元可以高水平表达胃泌素释放肽受体（GRPR）基因。研究人员起初认为该基因与痛觉信息传递有关。但是，敲除GRPR基因或者用神经毒素把脊髓内表达GRPR的神经元“杀死”，小鼠不再对致痒物表现出挠痒反应，但对痛刺激的反应完全正常。如果把胃泌素释放肽（GRP）注到正常小鼠的脊髓内，小鼠很快就出现挠痒行为。这说明GRP激活GRPR使小鼠产生了痒觉。

近年来，研究人员陆续发现了多种与痒觉有关的细胞和物质。例如，2009年发现脊神经节中表达Mrgprs受体蛋白的细胞参与痒信号的传导；2013年发现皮肤细胞上的TRPV4离子通道蛋白参与痒信号产生；2017年发现小鼠脑桥内存在传导痒信号的神经元；2018年发现中脑内存在一些神经元通过下行环路调控脊髓内痒信息的处理，促进抓挠行为的产生。痒觉奥秘的揭开，将为瘙痒症患者带来福音。

## 第二节 神经冲动的产生与传导

某运动员在一次高强度训练后，感觉前臂麻木，持物无力。医生为他做了相关检查，发现他上肢运动神经传导速度减慢，诊断为运动神经损伤。神经冲动传导速度测定是诊断周围神经损伤的重要手段之一。那么，神经冲动的本质是什么？它是怎样产生的，又是怎样传导的呢？



### 寻找证据 阅读

阅读下面资料，重点关注神经细胞膜电位的产生和变化。

20世纪30年代，科学家从枪乌贼体内剥离出直径达1 mm的巨大神经纤维，将一个直径100 μm充满海水的玻璃微电极纵向插入神经纤维，另一个电极置于细胞的外表面，并将这两个电极与电压计相连，记录到神经细胞膜内、外存在着约65 mV的电位差，膜内为负电位，膜外为正电位。

此后，研究人员制备出了直径小于0.5 μm的玻璃微电极。这种极细的玻璃微电极可以横向插入高等动物的神经纤维，测量其膜电位。研究人员将两个玻璃微电极都置于神经纤维的外表面时，没有记录到电位差；将一个玻璃微电极置于神经纤维外表面，另一个横向插入神经纤维时，记录到了膜外为正、膜内为负的电位差（图2-3）；如果对神经纤维施以适宜的电刺激，则膜电位发生急剧倒转，然后又很快恢复到初始水平，并且在神经纤维的不同部位均可记录到同样的电位变化。

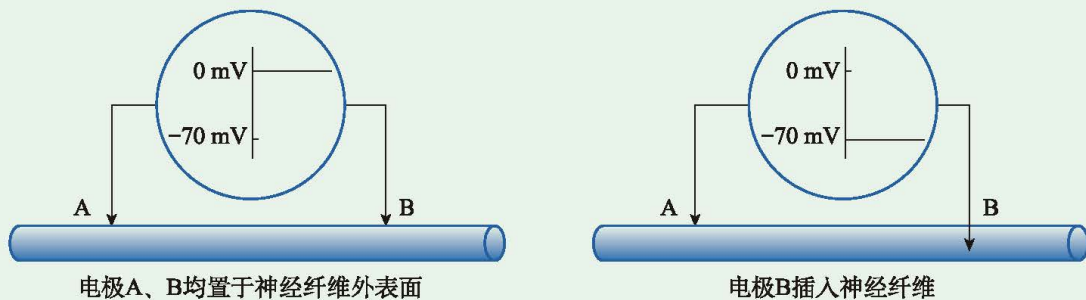


图 2-3 膜电位测量示意图

根据阅读获得的信息，思考下列问题：

1. 未受刺激时，神经细胞膜内、外的电位差是怎样形成的？
2. 受到刺激兴奋时，神经细胞膜电位的变化是怎样发生的？
3. 膜电位的变化是怎样在神经纤维上传导的？

## 静息状态下神经细胞膜内外存在电位差

神经细胞在未受到刺激时，可记录到膜内、外存在一种“外正内负”的电位差，称为静息电位（resting potential）。一般将细胞膜外的电位定为零电位，静息电位则用负的数值来表示。大多数脊椎动物神经细胞的静息电位为  $-70\sim-90\text{ mV}$ ，即静息状态下，膜内电位比膜外低  $70\sim90\text{ mV}$ 。

神经细胞的静息电位为什么是外正内负呢？这主要与质膜对离子的选择透过性以及质膜上的钠-钾泵有关。质膜对  $\text{K}^+$  具有通透性，而对  $\text{Na}^+$  则相对不通透，并且钠-钾泵还不断地将细胞内的  $\text{Na}^+$  转运到细胞外，将细胞外的  $\text{K}^+$  转运到细胞内。静息时，细胞内的  $\text{K}^+$  浓度高于细胞外，细胞外的  $\text{Na}^+$  浓度高于细胞内。因为细胞内带负电荷的蛋白质等有机分子不能通过质膜， $\text{K}^+$  在浓度差作用下向外扩散，而细胞内的负电荷又阻止  $\text{K}^+$  向外扩散，所以当  $\text{K}^+$  的流动达到平衡时，就表现为外正内负的静息电位。因此，神经细胞膜内外在静息状态具有电位差。

## 受到刺激后神经细胞产生动作电位

神经细胞受到刺激时，质膜上的  $\text{Na}^+$  通道开放， $\text{Na}^+$  顺浓度梯度进入细胞，膜内、外的电位差迅速减小，进而由外正内负变为外负内正。随后  $\text{Na}^+$  通道关闭、 $\text{K}^+$  通道开放， $\text{Na}^+$  内流停止，而  $\text{K}^+$  迅速外流，所以膜电位又向静息电位水平恢复（图 2-4）。流入细胞的  $\text{Na}^+$  由钠-钾泵泵出细胞，流出细胞的  $\text{K}^+$  进入细胞，膜电位恢复到静息电位水平。这种膜电位的短暂变化称为动作电位（action potential）。神经细胞受到外界刺激后形成动作电位。出现动作电位是神经细胞兴奋的标志，神经细胞的动作电位又称为神经冲动（nerve impulse）。

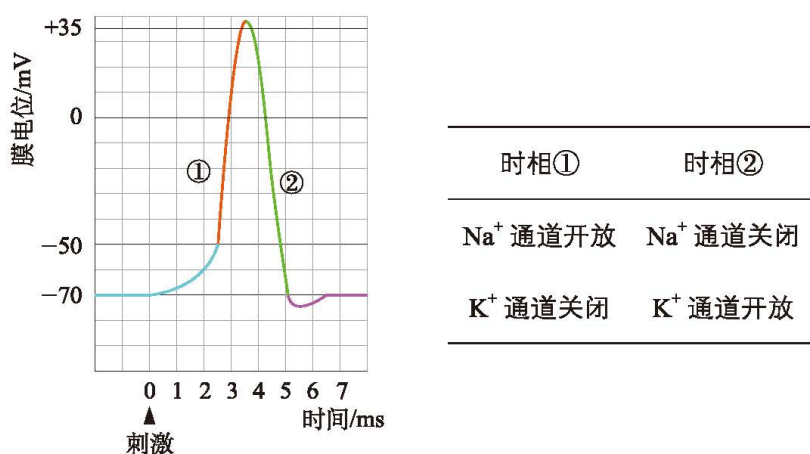


图 2-4 动作电位的产生机制

## 动作电位可沿神经纤维传导

神经纤维某处受到刺激产生动作电位后，在神经纤维的其他部位也能记录到同样的动

作电位。这说明，动作电位是能够沿神经纤维传导的。

动作电位的传导一般用“局部电路学说”来解释。静息状态下，整个神经纤维的膜内为负电位，膜外为正电位（图 2-5a）。当神经纤维某部位受到刺激而产生动作电位后，该兴奋部位的膜电位发生反转，变为外负内正，而邻近的未兴奋部位的膜电位仍是外正内负。这样，兴奋部位和邻近的未兴奋部位之间就产生了电位差。电位差的存在使得膜内产生由兴奋部位流向邻近的未兴奋部位的电流，膜外产生由邻近的未兴奋部位流向兴奋部位的电流，从而形成局部电流（图 2-5b）。这种局部电流使邻近的未兴奋部位的膜内、外的电位差减小，这种电位变化又刺激了邻近的未兴奋部位，使其产生一个新的动作电位。如此进行下去，动作电位就会沿着神经纤维依次向前传导（图 2-5c）。

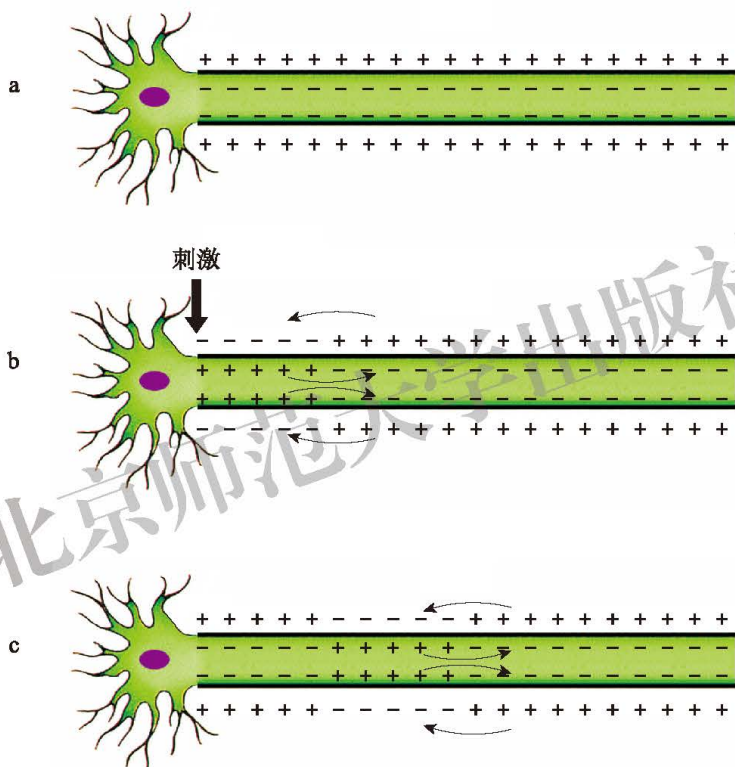


图 2-5 神经冲动传导示意图

由于动作电位的传导是神经纤维上依次产生新的动作电位的结果，动作电位的大小和传导速度不会随传导距离的增加而减小，即具有不衰减性。另外，每一根神经纤维都独立传导自己的信息，神经纤维之间互不影响，即具有绝缘性。这些特点使神经冲动的传导具有高度准确性，是产生精细感觉和精确运动的重要基础之一。

**思考**

动作电位可以双向传导吗？为什么？

神经系统的电活动是神经系统信息传输的重要形式。物理损伤、化学药品、麻醉、冷冻、病变等引起神经系统局部或整体功能改变，会影响神经系统的电活动。因此，神经电生理学检查在神经肌肉相关疾病的诊断、监测、预后评估等方面都有重要价值。

## 实践应用设计

### 设计测定神经冲动传导速度的实验方案

在靠近动物神经中枢端的部位放置一对刺激电极，在靠近刺激电极和远离刺激电极的部位各放置一对记录电极。给神经施加适宜的电刺激，可通过两对记录电极先后记录到动作电位。根据两对记录电极之间的神经长度及两对电极记录到动作电位的时间差，即可计算出神经冲动的传导速度。

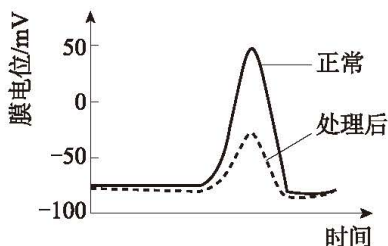
参照上述方法，设计测定神经冲动传导速度的实验方案。可以设计动物神经标本的离体实验，也可以设计在人体上进行在体实验。设计人体实验时，不应对人体造成伤害。

### 检测评价

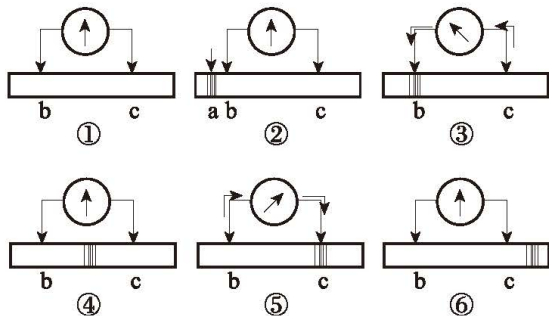
1. 当神经细胞受到适宜刺激时，质膜上的  $\text{Na}^+$  通道“一过性”开放，出现“脉冲式”的动作电位。某些药物能影响质膜对离子的通透性，从而影响神经细胞的电活动。请回答下列问题：

(1) 如果增加细胞外液中  $\text{K}^+$  的浓度，静息电位和动作电位分别会发生什么变化？请阐述其原因。

(2) 右图显示的是正常神经细胞和受到某种药物处理后的神经细胞的动作电位。分析该药物的作用并阐述理由。



2. 在离体神经纤维表面的 b、c 点各放置一个电极，并将这两个电极连接到一个电流计上。静息时，电流计指针指向中央，如下图①所示；在神经纤维的 a 处给予刺激时，电流计指针先迅速向左偏转一次，然后迅速向右偏转一次，最后指针停在中央，如下图②~⑥所示（本实验中，电流方向与电流计指针偏转方向一致）。



请回答下列问题：

(1) 静息时，电流计的指针为何指向中央？试从神经细胞膜电位分布的角度

进行解释。

(2) 在神经纤维的 a 处给予刺激时, 为什么电流计指针先向左偏转一次, 再向右偏转一次?

(3) 结合神经纤维的结构与功能, 分析并预测在神经纤维的右端给予刺激时, 电流计的指针将如何偏转。如果在 b、c 两点的中间点给予刺激, 电流计的指针如何偏转呢?

(4) 用稳态与平衡的观点阐述神经冲动沿神经纤维传导的意义。



## 开阔眼界

### 盲人可用舌头“看”世界

科学家研制出了一套特殊的脑部视觉装置, 可以让盲人通过舌头来处理视觉画面, 以帮助盲人“看见”大千世界。

该装置包括一副带有小型摄像头的眼镜、手持控制器、中央处理器和一个电极片。电极片是一块  $9\text{ cm}^2$ 、矩阵式排列的电极组。使用时, 将电极片直接贴合在舌面上, 摄像头捕捉的画面将通过中央处理器转变成电信号, 经过处理的电信号通过电极片微弱地刺激舌头, 再由舌头上的神经将经过处理的电信号传送到大脑。

电信号是按照空间进行编码的, 这意味着舌头在接收到这些信号时能够感知到深度、角度、大小与形状, 这些信息随即被大脑转化为图像。但由于分辨率低, 产生的图像比较模糊。目前, 电极片上有 400 个点能够向舌面发送信息, 未来有望将点数扩展到 4 000 个, 以大大提高图像的清晰度。但是, 盲人使用此装置“看”周围世界的时候, 不能够说话或者吃东西, 研究人员正在努力研制更小巧的设备, 可以被永久地放在牙齿后面或者口腔上颌部位, 让盲人使用起来更方便。



帮助盲人用舌头“看”世界的  
电子眼镜



## 第三节 神经冲动的传递

田径场上，4×100 m接力赛正在激烈地进行着。每位运动员都竭尽全力地奔跑着，进入接力区后与队友精准配合，完成接力棒的交接。在反射活动中，从感受器接受刺激到效应器做出反应，神经冲动需要经过传入神经元、中间神经元、传出神经元等多个环节的传递，就像接力跑一样，需要多个运动员依次传递接力棒。那么，神经元和神经元之间是如何联系的？神经冲动又是如何传递的呢？



### 寻找证据 阅读

阅读下面资料，重点关注神经元之间的联系和神经冲动传递的过程。

19世纪末，英国神经生理学家谢灵顿（Charles Sherrington, 1857—1952）把神经元与神经元之间进行信息沟通的机能接点命名为突触（synapse）。当时他虽然还不了解突触的形态结构，但是他指出神经元与神经元之间是不连续的（图2-6）。

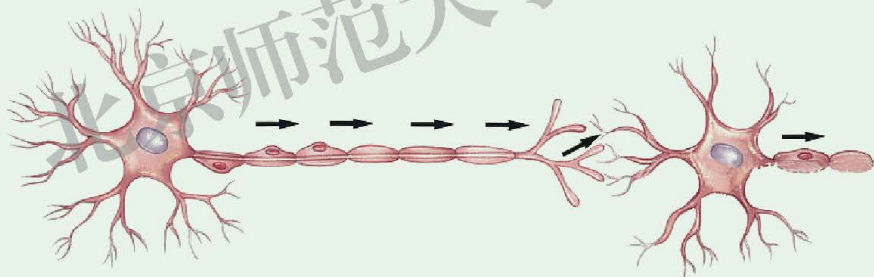


图2-6 神经元之间的联系示意图

20世纪初，英国生理学家兰利（John Langley, 1852—1925）和他的学生艾里奥特（Thomas Elliott, 1877—1961）发现肾上腺素的效应与刺激支配肾上腺的神经的效应十分相似，并指出肾上腺素可能是外周神经释放的化学刺激物。后来，英国药理学家戴尔（Henry Dale, 1875—1968）发现胆碱及其衍生物对心脏、膀胱和唾液腺的效应与刺激支配它们的神经的效应相似，其中乙酰胆碱最为有效。1921年，德裔奥地利药理学家勒维（Otto Loewi, 1873—1961）通过实验证明，刺激支配心脏的传出神经，其释放出的活性化学物质可使心跳减慢，继而证明这种化学物质就是乙酰胆碱。1936年，戴尔等人在刺激支配肌肉的传出神经后，得到了由神经释放的乙酰胆碱，进而把化学传递的假说推广到全部外周神经系统。因为发现神经冲动在神经元之间的化学传递，戴尔和勒维一起分享了1936年的诺贝尔生理学或医学奖。

根据阅读获得的信息，思考下列问题：

1. 神经元与神经元之间是通过何种结构联系的？
2. 一个神经元产生的神经冲动是怎样传递给下一个神经元的？

## 神经元之间通过突触相联系

神经元的轴突末梢经多次分支，每个小分支的末端膨大形成小球状的突触小体。突触小体与其他神经元的细胞体或树突相联系而形成突触。突触由突触前膜、突触间隙和突触后膜组成。突触前膜的内侧有一些球形小泡，称为突触小泡，突触小泡内含有神经递质 (neurotransmitter)，突触后膜表面有神经递质的受体，突触间隙宽 20~30 nm (图 2-7)。由于突触间隙的存在，使得电信号不能直接从一个神经元传递到另一个神经元，神经冲动在神经元之间的传递必须借助其他介质来完成。

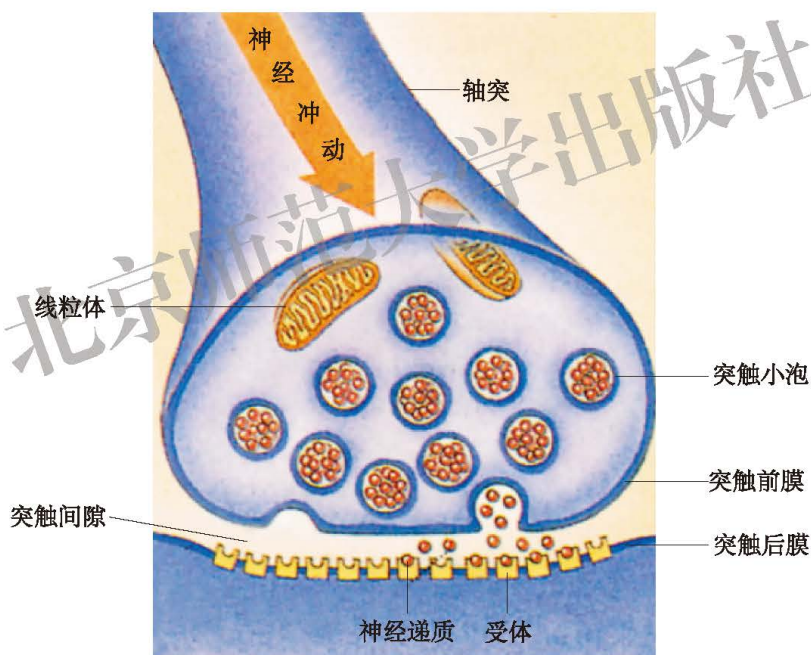


图 2-7 突触结构示意图

## 神经冲动在突触处以化学方式传递

神经冲动在突触处的传递是借助神经递质来实现的。当突触前神经元兴奋后，其神经冲动传到突触前膜并引起突触前膜的电位变化，该电位变化使突触小泡内的神经递质以胞吐的方式由突触前膜释放到突触

### 思考

在神经元的轴突末梢中，除了有许多突触小泡，还分布有许多线粒体。结合神经递质的释放方式，想一想这是为什么。

间隙，神经递质经扩散通过突触间隙，然后与突触后膜上的特异性受体结合，使突触后膜上的某些离子通道开放，离子经由离子通道进入突触后膜内侧，从而引起突触后膜的电位变化（图 2-8）。神经冲动在突触处的传递通常通过化学传递方式完成。神经递质在发挥作用后，迅速被相应的酶分解而失去活性，或者被突触前神经元再回收。

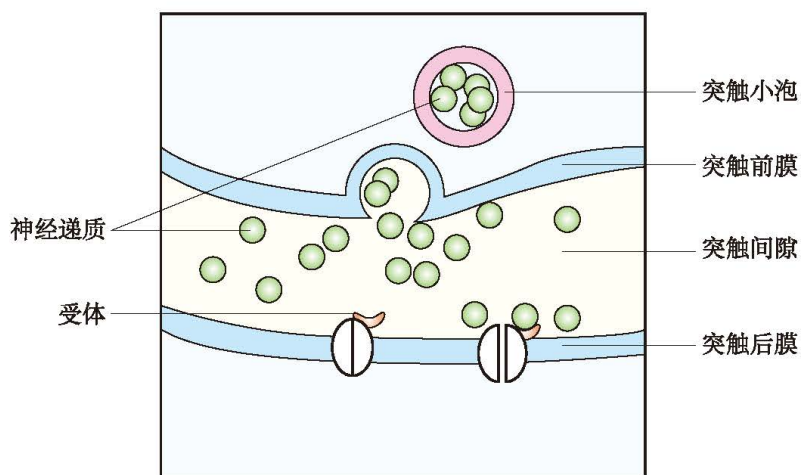


图 2-8 突触信息传递示意图

突触传递是通过电信号—化学信号—电信号的转换过程而实现的，因此，神经冲动在突触处的传递要远比在神经纤维上的传导慢。因为神经递质只存在于突触前膜的突触小泡中，由突触前膜释放后，作用于突触后膜上的特异性受体，所以神经冲动在突触处的传递只能是单向的。另外，突触间隙与细胞外液是相通的，所以突触传递易受内环境变化的影响。

神经递质的种类很多，主要有乙酰胆碱、多巴胺、去甲肾上腺素、肾上腺素、5-羟色胺、一氧化氮、氨基酸类等。有的神经递质可以使突触后神经元兴奋，如谷氨酸等；有的则使突触后神经元受到抑制，如甘氨酸等；还有的神经递质对某些突触后神经元起兴奋作用，而对另外一些突触后神经元起抑制作用，如乙酰胆碱等。人的神经系统十分复杂，一个神经元可以与多个神经元之间形成突触联系，神经元对多个突触传来的信息进行整合后，做出适当的反应。

除神经元之间可以形成突触之外，传出神经末梢与其所支配的肌肉或腺体细胞之间也存在突触联系，以实现对其肌肉收缩和腺体分泌的调节。

突触传递的过程是十分复杂的，神经递质的合成与释放、神经递质受体的数量与分布、突触前膜与突触后膜对离子的通透性等因素都会影响突触传递的过程，进而影响神经系统的功能。在对上述各因素进行细致研究的基础上，有针对性地干预突触传递过程，对于提高神经系统的调节能力和保证人体健康具有重要意义。

### 检测评价

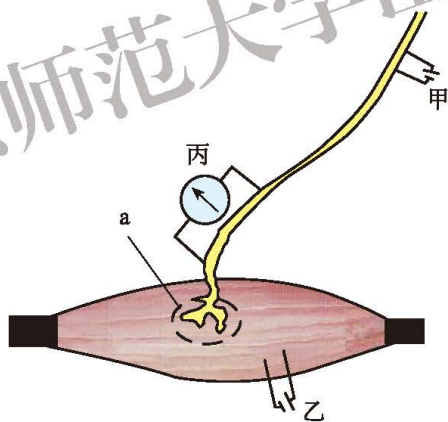
1. 神经冲动在突触处的传递通常通过化学传递方式完成。利用神经冲动在突触处传递的原理，干预神经冲动的传递过程，可治疗相关疾病。例如，阻断去甲肾上腺素与心肌细胞上的相应受体结合，可治疗心律不齐、高血压等。请回答下列问题：

- (1) 关于神经冲动在突触处传递的叙述，错误的是( )。
- A. 不能双向传递
  - B. 需要神经递质和相应受体的参与
  - C. 有一定的时间延搁
  - D. 不易受内环境变化的影响

(2) 某药物能通过减慢心率和减弱心肌收缩力而治疗高血压，已知该药物能与心肌细胞上某种神经递质的受体结合，该药物的可能作用机制是( )。

- A. 抑制上述神经递质受体的作用
- B. 阻断神经递质的释放
- C. 加速神经递质的分解
- D. 减慢神经冲动的传递速度

2. 下图为神经-肌肉标本示意图。甲、乙分别是放置在传出神经和骨骼肌上的电极，用于刺激传出神经和骨骼肌；丙是连接在传出神经表面的电流计，用于记录神经兴奋时的电位变化；a为神经肌肉接头，是一种特殊的突触。



请回答下列问题：

(1) 通过电极甲刺激传出神经，产生的兴奋传到骨骼肌引起的收缩属于反射吗？为什么？

(2) 通过电极乙刺激骨骼肌，电流计丙能不能记录到电位变化？为什么？

(3) 根据结构与功能相统一观点，从突触的结构出发，阐述神经冲动在突触处传递的特点。

(4) 正常情况下，通过电极甲刺激传出神经会引起骨骼肌收缩；如果标本的某处受损，通过电极甲刺激传出神经，骨骼肌不再收缩。请设计实验，探究标本中何处受到了损伤，预测实验结果并得出结论。(提示：可以从骨骼肌受损、传出神经受损、a处的神经肌肉接头受损三个方面进行分析。)



## 神经的营养性作用

神经通过释放神经递质影响所支配的器官或组织的功能活动，称为神经的功能性作用。另外，神经还能对它所支配的器官或组织的结构、代谢及生长发育等产生持久性影响，称为神经的营养性作用。

神经的营养性作用不依赖于神经冲动，因为持续用局部麻醉药阻断神经冲动的传导并不影响被支配器官或组织的结构和代谢活动。目前，科学家认为神经的营养性作用是由某些营养性因子来介导的。营养性因子在神经元内合成，然后运输到末梢释放到所支配的器官或组织中，维持其正常的代谢活动。例如，切断支配肌肉的神经，肌肉内糖原合成减慢，蛋白质分解加速，肌肉逐渐萎缩。如果神经切断的部位靠近肌肉，则肌肉代谢的改变发生得早；如果神经切断的部位离肌肉较远，则肌肉代谢的改变发生得晚。这是因为前一种情况营养性因子耗尽得早，而后一种情况耗尽得晚。

对于神经营养性作用的研究，开始主要是在运动神经上进行的。后来的研究证实，感觉神经对其所支配的感受器也有特殊的营养性作用。例如，切断味觉神经，味蕾就会萎缩，当神经重新长入时，味蕾又恢复到正常状态。研究人员随后发现，组织也能产生某些营养和生长因子作用于神经元，维持神经元的正常发育和功能。

## 第四节 脑和脊髓对反射活动的协同调节

1985年4月，欧洲某农场饲养的牛群中出现了一种怪病，病牛肌肉震颤，站立时姿势倾斜，行走时步态不稳，对触摸、光照、声音等反应敏感，恐惧不安，易被激怒，具攻击性。研究人员对死后的病牛进行解剖时发现牛的脑内呈海绵状空泡变性，因此将该病命名为牛海绵状脑病，俗称疯牛病。病变发生在脑部，而支配躯干和四肢运动的低级神经中枢位于脊髓，脊髓中的神经中枢与脑中的神经中枢有什么关系？脑对脊髓的功能是如何产生影响的呢？



### 寻找证据 阅读

阅读下面资料，重点关注脊休克的发生机制。

为了了解脑对脊髓的影响，科学家在动物身上采取切断脊髓与脑的联系的方法进行研究。科学家发现，与脑离断后的脊髓暂时丧失了反射活动的能力，断面以下脊髓所支配的骨骼肌紧张性减低甚至消失，外周血管扩张，血压下降，发汗反射消失，直肠内粪便积聚，膀胱内尿液滞留等，这种现象称为脊休克。

脊休克发生后，经过一段时间，由大脑控制的随意运动不能恢复，而一些消失或减弱的简单反射活动能够逐渐恢复，但即使是恢复后的反射活动也与正常时有明显不同。例如，屈肌反射增强，而伸肌反射减弱，排便和排尿反射仅有一定程度恢复，血压也只可上升到一定水平。反射活动恢复后，在断面以下再次切断脊髓，脊休克不会重现。

根据阅读获得的信息，思考下列问题：

1. 脊休克出现的原因是什么？
2. 脊休克后，一些反射活动的恢复说明了什么？
3. 对于脊髓损伤患者的运动功能康复，你有哪些建议？

### 脊髓中的神经中枢受脑中相应的神经中枢调节

通过切断或阻断两个结构之间的联系来推测二者的功能关系，是神经科学常用的研究方法之一。在脊髓与脑的联系被切断后，出现了脊休克现象，反射活动恢复后再次切断脊髓，脊休克不会重现。这说明脊休克并不是由脊髓被切断的机械损伤所致，而是由脊髓突然失去了与脑中高级神经中枢的联系引起的。脊休克过后，一些反射活动逐渐恢复，但是

由大脑控制的随意运动不能恢复，说明反射活动的恢复并不是由脊髓与脑之间被切断的神经纤维重新连通造成的，而是因为脊髓自身的反射功能得到了表现，这时所出现的反射活动完全是由脊髓控制的，称为脊髓反射。脊髓反射只表现为简单的、固定的模式，不能主动适应体内、外的环境变化。

在脊休克以及脊髓反射恢复的研究中科学家观察到，脊髓反射恢复后，屈肌反射比正常时加强，而伸肌反射比正常时减弱。这说明正常情况下，位于脊髓的低级神经中枢受脑中相应的高级神经中枢的调节，这种调节既有促进作用，也有抑制作用。感受器将来自体内、外的刺激转换为感觉信息，沿传入神经传至脊髓。传至脊髓的感觉信息，一方面进入位于脊髓的低级神经中枢，另一方面向上传导至脑中的高级神经中枢，同时，脑也发出信息与脊髓联系（图 2-9）。脊髓与脑的联系被切断后，传入脊髓的感觉信息不能上传至脑，由脑发出的信息也不能下传至脊髓。

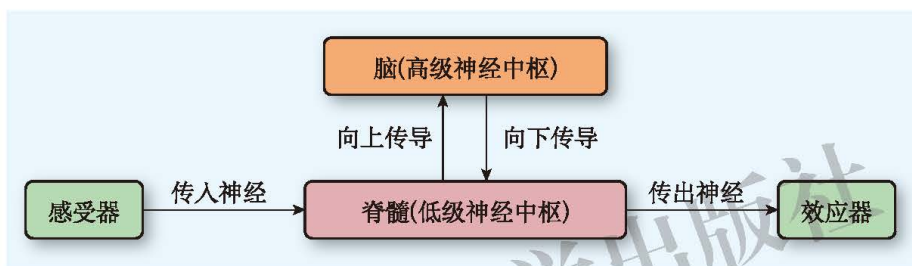


图 2-9 脊髓与脑的联系

脊髓离断后，屈肌反射增强，而伸肌反射减弱，这不利于肢体对体重的支撑。因此，对于低位脊髓损伤而导致下肢瘫痪的患者，应通过积极的站立锻炼来发展伸肌反射，保证下肢伸肌具有足够的紧张性，以使下肢伸直，从而能够借助拐杖站立，提高生活质量。

## 各级神经中枢共同维持躯体运动的协调统一

脊髓中有控制反射活动的低级神经中枢。在脑中，直接或间接控制脊髓中低级神经中枢的神经元构成了相应的高级神经中枢。科学家采用脑干切断、脑局部毁损、电刺激等多种方法，研究了脑的不同部位在调节躯体运动中的作用，发现脑干、大脑皮层、小脑等共同维持着躯体运动的协调统一（图 2-10）。

电刺激动物脑干的不同区域，观察到脑干中既存在加强肌紧张的区域，也存在抑制肌紧张的区域。正常情况下，脑干对肌紧张的促进作用和抑制作用保持平衡，使各种躯体运动协调统一。动物在麻醉状态下，于脑干

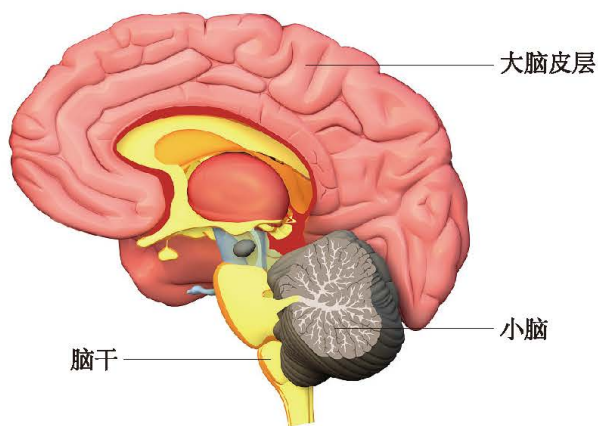


图 2-10 脑的正中矢状切面（内侧面）

上部切断脑干，会出现全身肌紧张增强、四肢伸直、脊柱后挺的现象，称为去大脑僵直现象。这是由于脑干对肌紧张的促进作用和抑制作用的平衡被打破，使促进作用相对占优势。进一步的研究表明，在切除大脑皮层、小脑的某些部位后，脑干对肌紧张的抑制作用减弱，而促进作用表现得更为明显，这说明脑干对肌紧张的调节作用还受大脑皮层和小脑的控制。

躯体的随意运动由大脑皮层控制，大脑皮层控制躯体运动的区域称为皮层运动区或运动中枢。皮层运动区可以通过脑干间接使脊髓内的神经元兴奋，也可以直接使脊髓内的神经元兴奋。大脑在发出运动“指令”的同时，不断地获得视觉、听觉、平衡觉以及来自皮肤、肌肉、内脏器官的各种感觉信息，根据这些信息及时调整运动“指令”，对躯体运动进行准确控制。

小脑的主要作用是维持躯体平衡、调节肌紧张和协调随意运动。小脑接受平衡器官、脊髓、大脑皮层和脑干传来的神经冲动，也发出神经纤维投射到大脑皮层和脑干。从平衡器官和脊髓传入小脑的神经冲动，传递了头部位置、头部与重力作用方向的关系、肌张力等信息；从大脑皮层传入小脑的神经冲动，传递了与大脑运动“指令”有关的信息。小脑根据这些信息适时调节肌紧张，协调大脑皮层发起的随意运动。

位于脊髓的低级神经中枢和脑中相应的高级神经中枢相互联系、相互协调，共同调控器官和系统的活动，维持机体的稳态。任何一级中枢出现问题都会影响生命活动的正常进行。例如，小脑萎缩患者会出现走路不稳、动作不灵活、握物无力等症状；脑血栓可引起脑部相关神经中枢缺血、缺氧，从而使患者出现肢体麻木、步态异常、半身不遂等症状。

### 实践应用 讨论

#### 根据神经系统受损后的运动障碍探讨神经调节的结构基础

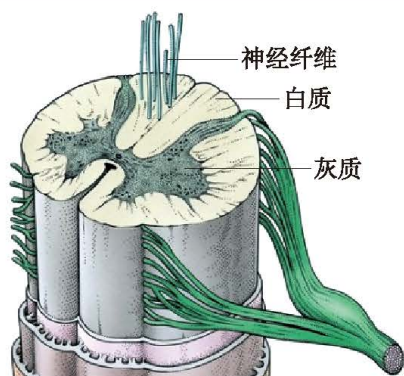
神经系统不同部位的损伤或病变，会使人体运动等行为出现障碍，通过神经系统损伤或病变部位与运动障碍症状的对应关系，可以推测相应运动调节的神经结构基础。

通过搜集神经系统不同部位发生损伤或病变后运动障碍的有关资料和实例，如截瘫、半身不遂、面瘫等，以结构与功能相统一的观点，分析神经系统不同部位受损对人体运动等行为的影响，探讨神经调节的结构基础。

### 检测评价

1. 下图（见下页）是脊髓结构模式图。灰质内的神经元及其联系构成了各种脊髓反射的神经中枢，白质内的上、下行神经纤维构成了脊髓和脑之间的信息传导通路。





请回答下列问题：

- (1) 颈段脊髓与腰段脊髓相比，哪段白质内的神经纤维数目多？为什么？
- (2) 脊髓白质在反射活动的调节中有何重要意义？
- (3) 脊髓白质损伤与脊髓灰质损伤对反射活动的影响有哪些不同？

2. 婴儿经常尿床，而青少年和成年人则可以有意地控制排尿。在医院做尿检，人在没有尿意的情况下也能排出尿液。当成年人因外伤等原因导致意识丧失时，也会出现像婴儿一样尿床的情况。人在极度惊恐时会出现尿失禁。请回答下列问题：

- (1) 为什么成年人可以有意地控制排尿，婴儿却不能？
- (2) 成年人出现不受意识支配的排尿情况，是哪里出现了问题？
- (3) 阐述控制排尿的各级神经中枢之间的关系。



开阔眼界

## 动作学习的脑机制

在花样游泳、花样滑冰、体操等表演或比赛中，运动员的姿势之优美、动作之协调、技巧之娴熟无不令人惊叹！这些精巧的运动技能是如何形成的呢？

精巧运动是经过不断的学习逐渐形成并熟练起来的。研究表明，小脑皮层与大脑皮层的联合活动与运动计划的形成及运动程序的编制等密切相关。在动作学习的初期，大脑皮层通过脑干和脊髓对运动的控制不是很协调。在进一步的学习过程中，小脑不断接受感觉传入信息，并与大脑皮层联合活动，不断纠正运动过程中所发生的偏差，使动作逐步协调起来。在一系列动作连贯娴熟之后，小脑就储存了该运动的全部程序。当大脑皮层发动这套动作时，首先从小脑中提取储存的运动程序，将它回输到大脑皮层运动中枢，然后再通过下行神经通路控制脑干和脊髓中的运动中枢，使运动协调而精巧、迅速而不需思索。钢琴演奏、体操、舞蹈等，都是经过反复练习形成的高度程序化的运动。

## 第五节 神经系统对内脏活动的调节

夜间，你独自行走在回家的路上，突然蹿出一只小动物，你被吓得惊叫一声，并且不由自主地心跳加速、呼吸急促。机体为什么会出现这些内脏活动的变化呢？神经系统是怎样调节内脏活动的呢？



### 寻找证据 阅读

阅读下面资料，重点关注血压的变化及其调节。

血压是血液在血管内流动时，作用于单位面积血管壁上的压力。通常所说的血压指动脉血压。安静状态下，我国健康成年人的动脉收缩压为 13.3~16.0 kPa (100~120 mmHg)，动脉舒张压为 8.0~10.6 kPa (60~80 mmHg)。血压是推动血液在血管内流动的动力，正常的血压为各组织、器官提供正常的血流量，从而保证各项生命活动的正常进行。血压过低或过高都会造成不良后果。血压过低可使人出现头晕、周身无力、易疲惫、昏厥、休克等；血压过高易引发心力衰竭、冠心病、动脉粥样硬化、脑出血等。

心肌收缩力量、心率、血管平滑肌的伸缩等都能影响动脉血压。例如，人在剧烈运动时，心肌收缩力量增强，心率加快，单位时间内由心脏射入血管的血液增多，动脉血压上升；安静下来后，动脉血压又会恢复到正常水平。此外，动脉血压还容易受到精神因素的影响。例如，人在受到惊吓或愤怒时，动脉血压也会上升。

根据阅读获得的信息，思考下列问题：

1. 影响动脉血压的因素有哪些？
2. 安静状态下，人的动脉血压是怎样维持在正常范围内的？
3. 人在剧烈运动时，动脉血压会上升的原因是什么？安静下来后，动脉血压又是怎样恢复到正常水平的？
4. 人在受到惊吓或愤怒时，动脉血压会上升的原因是什么？

动脉血压会受到心肌收缩力量、心率、血管平滑肌的舒张或收缩等多种因素的影响。与支配骨骼肌的传出神经不一样，支配心脏、血管等内脏器官的传出神经一般不受意识的控制，统称为自主神经 (autonomic nerve)。自主神经分为交感神经和副交感神经。动脉血压的相对稳定有赖于自主神经的调节。

正常安静状态下，血管壁内的压力感受器将血压变化的信息传到位于脑干的心血管中枢，通过交感神经和副交感神经调节心脏和血管的活动，维持动脉血压的相对稳定。当动

脉血压高于正常水平时，动脉血管壁上的压力感受器兴奋，产生的神经冲动沿传入神经进入脑干心血管中枢，使副交感神经的兴奋水平升高，而交感神经则受到抑制，导致心肌收缩力量减弱，心率减慢，单位时间内由心脏射入血管的血液减少，血管平滑肌舒张，动脉血压下降至正常水平。若动脉血压低于正常水平，则会出现相反的调节过程，最终使动脉血压上升至正常水平（图 2-11）。这说明，中枢神经系统通过自主神经调节内脏活动。

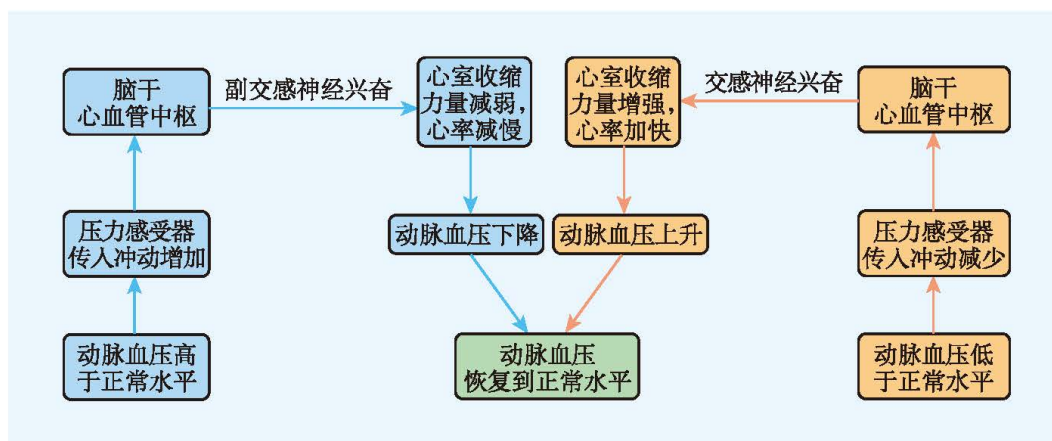


图 2-11 血压调节示意图

人在剧烈运动时，交感神经的兴奋水平升高，导致心肌收缩力量增强，心率加快，单位时间内由心脏射入血管的血液增多，动脉血压上升。安静下来后，交感神经的兴奋水平降回到正常状态，副交感神经的兴奋水平相对升高，导致心肌收缩力量减弱，心率减慢，单位时间内由心脏射入血管的血液减少，动脉血压恢复到正常水平。

人的心脏既受交感神经的支配，又受副交感神经的支配，且二者的作用是相互拮抗的。交感神经使心肌收缩力量增强，心率加快；副交感神经使心肌收缩力量减弱，心率减慢。像心脏一样，机体的许多内脏器官都同时接受交感神经和副交感神经的双重支配（图 2-12）。

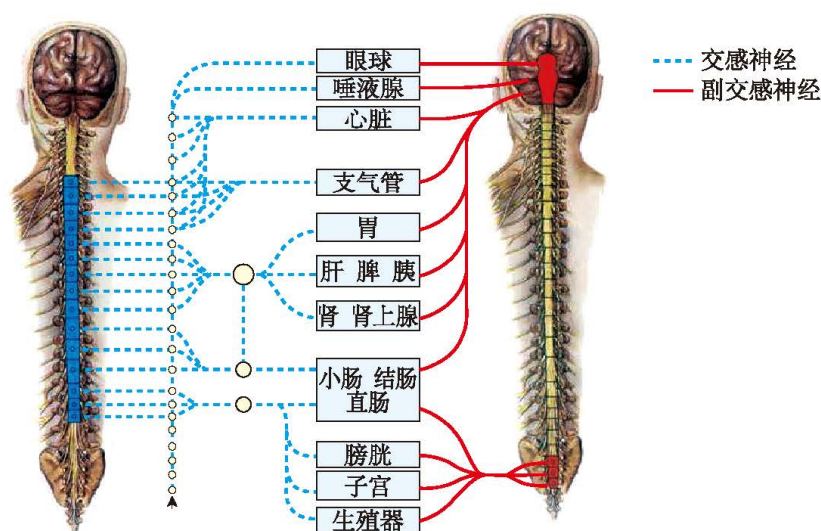


图 2-12 交感神经和副交感神经对内脏器官的双重支配示意图

一般情况下，交感神经和副交感神经对同一器官的生理作用是相互拮抗的（表 2-1）。生理作用相互拮抗的两种神经共同调节同一个内脏器官，使内脏器官的生理反应更加精确，使机体能更好地适应内、外环境的变化。

表 2-1 交感神经和副交感神经对部分器官的作用

器官	交感神经	副交感神经
眼球	瞳孔开大肌收缩，瞳孔散大	瞳孔括约肌收缩，瞳孔缩小
甲状腺	促进甲状腺激素分泌	抑制甲状腺激素分泌
心脏	心跳加快，心肌收缩力加强	心跳减慢，心肌收缩力减弱
支气管	支气管平滑肌舒张	支气管平滑肌收缩
胃、肠	胃、肠平滑肌舒张，抑制胃、肠运动	胃、肠平滑肌收缩，促进胃、肠运动
膀胱	逼尿肌舒张，内括约肌收缩	逼尿肌收缩，内括约肌舒张

自主神经虽然不受意识的控制，但很容易受精神因素的影响。人在受到惊吓或愤怒时，交感神经的兴奋水平显著升高，进而引起动脉血压上升。当情绪平稳下来后，交感神经的兴奋水平降回到正常状态，动脉血压就会恢复到正常水平。

人体的生理、心理状态不同，交感神经和副交感神经的相对兴奋水平也不同。在安静状态下，副交感神经的活动占优势，使营养物质的吸收、能量的储存等相关生理过程增强，有利于机体储存能量和生长发育。当机体处于紧急状态时，交感神经的活动占优势，使能源物质的分解、氧与能量的供应等有关生理过程增强，有利于充分调动全身的能量，以适应紧急情况。如果机体长期处于高度紧张的状态，容易引起自主神经功能失调，导致内脏功能紊乱，机体内环境稳态发生偏离，免疫力下降，使人感到疲惫、乏力，甚至出现焦虑、抑郁等不良的心理问题。因此，在日常生活中，我们要学会调整自己的情绪状态，保持愉悦、舒畅的心情。

**实践应用 实验** (选做)

**探究剧烈运动对心率和呼吸频率的影响**

**目的要求**

1. 分析剧烈运动对心率和呼吸频率的影响。
2. 尝试设计和实施实验，进行数据记录和结果分析。
3. 认同体育锻炼的重要性。

### ● 实验原理

人在剧烈运动时，交感神经的兴奋水平升高，交感神经的活动占优势；安静下来后，交感神经的兴奋水平降回到正常状态，副交感神经的活动占优势。因而，心率和呼吸频率会随着人体运动状态的改变而改变。

### ● 方法步骤

先确定实验的总体思路，再逐步细化，写出具体实验方案，设计记录实验结果的表格，然后再实施实验。

#### 提示

选择一种较大强度的运动方式，如到操场上快跑400 m、连续深蹲30次、快速上两三层楼梯等。测量运动前及运动后每分钟心脏跳动的次数、每分钟呼吸的次数以及上述各项指标恢复到运动前水平所需的时间，将测量得到的数据记录在表格（表2-2）中。可以与其他同学合作完成实验。

表2-2 数据记录表

运动项目	快跑	深蹲	快速上楼梯	……
运动前每分钟心跳次数 / 次				
运动后每分钟心跳次数 / 次				
心率恢复到运动前水平所需时间 / min				
运动前每分钟呼吸次数 / 次				
运动后每分钟呼吸次数 / 次				
呼吸频率恢复到运动前水平所需时间 / min				

### ● 思考讨论

1. 剧烈运动对心率和呼吸频率有何影响？其机制是什么？
2. 上述各项指标恢复到运动前水平的长短能说明什么问题？
3. 如果恢复到运动前水平所需的时间比较长，其可能原因有哪些？应如何进行改善？



### 检测评价

1. 自主神经一般不受意识的控制，但容易受到情绪的影响。人在受到惊吓、精神紧张和剧烈运动时，交感神经的兴奋水平会显著升高，以使机体应对紧急情况。

请回答下列问题：

(1) 下列关于人在剧烈运动时的机体反应，描述错误的是( )。

- A. 心跳加快、加强                      B. 甲状腺激素分泌增加  
C. 消化道平滑肌收缩减弱              D. 膀胱逼尿肌收缩

(2) 人在突然受到惊吓时，会出现心跳加快、血压升高等现象。请分析这些现象与自主神经的关系。

(3) 交感神经兴奋水平升高对于人体应对紧急情况有哪些好处？

2. 自主神经对效应器官的支配一般表现为持久的紧张性作用，即在安静状态下自主神经仍不断向效应器官发放低频率的神经冲动。在交感神经和副交感神经的双重支配下，心率可维持在正常水平。切断支配心脏的副交感神经，则心率加快；切断支配心脏的交感神经，则心率减慢。请回答下列问题：

(1) 根据结构与功能统一的观点，切断副交感神经后心率加快说明什么？

(2) 将支配心脏的交感神经和副交感神经都切断，结果如何？为什么？

(3) 同一器官同时接受交感神经和副交感神经的共同调节，这对人体维持内环境稳态有什么意义？

## 开阔眼界

### 人体的应急机制

现代科学研究表明，人体中存在着一种应急机制。人在危急关头，常常能激发出超乎寻常的能力。

当人突然受到惊吓时，交感神经自动地处于高度兴奋的状态，大脑随即“命令”肾上腺髓质大量分泌肾上腺素进入血液。肾上腺素能使心跳加快，血管收缩，血压升高，血糖升高，支气管和胃、肠平滑肌舒张，瞳孔扩大，从而调动机体全部力量，迅速做出抵御或逃避危险的反应。例如，人们遇到火灾等紧急情况时，往往会一下子力大无比，能搬起平时根本搬不起来的物体，这就是应急机制作用的结果。一旦危险意识消失，“警报”解除，应急机制不再发挥作用，超常的力气自然就不复存在了。

应急机制是保护生物个体生存的重要机制之一。但是，如果受到的惊吓太大，肾上腺素分泌过多，超出了心脏所能承受的限度，可能会造成心肌纤维撕裂，心脏出血，导致心脏骤停。这就是应急机制给人带来的有害的一面。

## 第六节 脑的高级神经活动

上课铃响起，同学们迅速回到教室内自己的座位上，并准备好相应的学习用品；在课堂上，随着老师的讲课节奏，每位同学都不断地思考、记录并与老师交流互动。这些课前准备活动等条件反射以及课堂上的听、说、读、写等语言活动都属于由大脑皮层控制的高级神经活动。它们与简单的反射活动有何不同呢？

### 一 条件反射

“望梅止渴”是一个大家熟悉的成语，它出自《世说新语·假谲》：“魏武行役，失汲道，军皆渴，乃令曰：‘前有大梅林，饶子，甘酸可以解渴。’士卒闻之，口皆出水，乘此得及前源。”士兵们只听说前方有梅子就分泌出了唾液，这与吃到梅子分泌唾液有何不同？

#### 条件反射是由大脑皮层控制的高级神经活动

士兵们曾经吃过梅子，梅子的酸味使他们满口生津，并留下了强烈的印象。这样，以后仅仅看到梅子或者听到别人说起梅子时，口中也会分泌出唾液。如果这些士兵以前从没有吃过梅子，脑中没有梅子很酸的印象，仅是听说前方有梅子是不会引起唾液分泌的，也就没有“望梅止渴”的效果了。

原本不能引起机体某一反应的刺激叫作无关刺激，而生来就能引起机体这一反应的刺激叫作非条件刺激。如果无关刺激与非条件刺激在时间上结合起来反复作用于机体，大脑皮层内对两种刺激的感觉分析中枢就会形成暂时性联系，原来的无关刺激就会引起与非条件刺激相同的效应，这样所形成的反射叫作条件反射（图 2-13）。条件反射形成后，无关刺激就称为条件刺激。条件刺激与非条件刺激在时间上的结合称为强化，强化的次数越多，条件反射就越巩固。条件反射是后天获得的，是在非条件反射的基础上建立

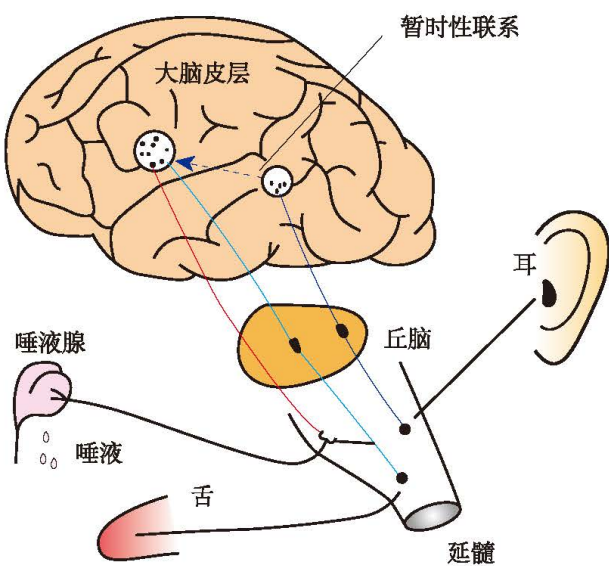


图 2-13 条件反射形成机制示意图

的。条件反射是由大脑皮层控制的高级神经活动。

梅子所具有的酸味是引起人分泌唾液的非条件刺激，而梅子的外形等特征对于从来没有吃过梅子的人来说是一种无关刺激，它是不能引起唾液分泌的。但是，人们在吃梅子时，梅子的外形等特征总是与梅子的酸味相伴出现，梅子的外形等特征逐渐就有了酸味刺激的“信号”，人只要看到梅子就会分泌唾液。此时，梅子的外形就成为一种条件刺激，由梅子外形引起的唾液分泌就是条件反射。所有来自体内、外的刺激，只要与非条件刺激在时间上结合，都有可能成为条件刺激，形成条件反射。

人类在进化过程中产生了语言，在大脑皮层形成了语言中枢。因此，人类除了以具体事物为条件刺激建立条件反射以外，还能以由具体事物抽象出来的语言或文字为条件刺激建立条件反射，这是人类所特有的更加复杂的条件反射。例如，在上述《望梅止渴》的故事中，人只是听说有梅子就分泌出了唾液。

## 条件反射的维持需要不断强化

铃声与食物多次结合应用，使狗形成听到铃声就分泌唾液的条件反射。然后，反复单独给予铃声刺激而不给予食物强化，则铃声引起的唾液分泌量会逐渐减少，最后甚至完全不能引起分泌。条件反射建立之后，如果只反复给予条件刺激而不给予非条件刺激强化，条件反射的反应强度就会逐渐减弱，最后完全不出现，这称为条件反射的消退。条件反射的消退是由于在不强化的条件下，原来引起兴奋的条件刺激转化成了引起大脑皮层发生抑制的刺激。条件反射的消退并不是条件反射的丧失，而是从原先引起兴奋（分泌唾液）的条件反射转化成为引起抑制（不分泌唾液）的条件反射。

## 条件反射使机体能更好地适应环境

非条件反射是比较低级的神经活动，与条件反射有很多区别（表 2-3）。

表 2-3 非条件反射和条件反射的区别

比较项目	非条件反射	条件反射
形成时间	先天遗传	后天获得
数量	少	多
神经中枢	大脑皮层以下的神经中枢	大脑皮层内的有关神经中枢
反射弧	永久、固定	暂时、不固定
意义	适应不变的环境	适应多变的环境



条件反射可以在人们生活的过程中不断建立，使人的行为具有预见性，提高人体的反应能力。随着环境的改变，一些条件反射发生了消退，又有一些新的条件反射建立，这样可以使人体更好地适应复杂多变的外界环境。

在生产和生活中，使动物建立条件反射，可以帮助人们饲养、管理和驯化动物。例如，主人对家养的鸡发出“咕咕”的声音，听到信号的鸡就会从各处奔跑过来吃食；对马发出不同的口令，马就会做出前进、停止、后退等相应的反应。

### 实践应用 设计

## 设计训练小动物建立条件反射的方案

根据条件反射的形成原理，利用生活中现有的条件，设计训练某种小动物建立条件反射的方案。在设计方案时，应只选择一种信号来训练小动物，并且要注意给予条件刺激与非条件刺激的先后顺序。训练时，要爱护动物，不要对其造成伤害。

### 检测评价

1. 阅读资料并回答下列问题。

资料1. 给大鼠服用某药物可使其抗体水平下降；给大鼠服用糖精则其抗体水平不变。若同时给大鼠服用该药物和糖精，经过多次重复后，再给大鼠单独服用糖精也会引起抗体水平下降。

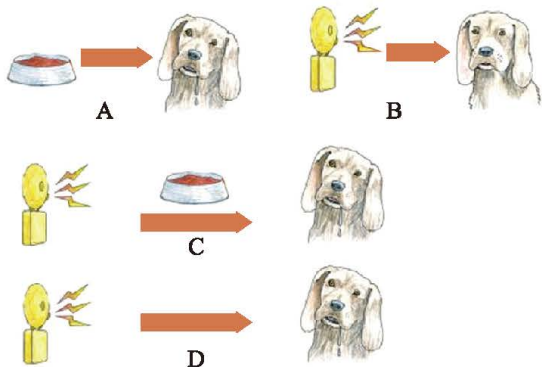
资料2. 某四足行走的动物在用两后肢行走时获得了食物或抚摸等令其舒适的结果，那么，在有可能获得食物或抚摸的情境下，该动物就会更多地表现出用两后肢行走的行为。

(1) 资料1中，糖精引起大鼠体内抗体水平下降这一反射活动的非条件刺激是\_\_\_\_\_，条件刺激是\_\_\_\_\_。

(2) 根据资料1解释条件反射建立的基本原理。

(3) 资料2中，动物用两后肢行走的行为活动属于条件反射吗？为什么？它与资料1中由糖精引起的抗体水平下降有何不同？

2. 右图为某生理学家在研究条件反射时所做的实验。



请回答下列问题：

(1) 图 A 表示狗吃到食物后出现分泌唾液的活动，这属于哪种反射？为什么？

(2) 反复经过图 C 所示训练后，狗出现了图 D 所示现象。这说明了什么？

(3) 图 D 与图 B 中的铃声所起的作用有何不同？

(4) 如果在出现图 D 所示现象后的一段时间内，总是只给铃声而不给食物，会出现什么现象？试分析出现这种现象的原因。



## 开阔眼界

### 操作性条件反射

条件反射包括经典条件反射和操作性条件反射两种形式。经典条件反射中最著名的例子是俄罗斯生理学家巴甫洛夫用铃声引起狗分泌唾液的条件反射，操作性条件反射是由美国心理学家斯金纳提出的。

操作性条件反射的实验是在一种特制的动物实验箱中进行的。箱内放进一只大鼠，并设一杠杆，箱子的构造尽可能排除一切外部刺激。大鼠在箱内可自由活动，当它偶然压到杠杆时，就会有一粒食物掉进箱子，大鼠就可以吃到食物。箱外设置一个装置记录大鼠的动作，结果表明，大鼠在多次得到食物后，按压杠杆的行为就会增加。

在操作性条件反射中，动物通过自身的主动操作来接受刺激，并且动物的反应出现在刺激之前。在经典条件反射中，动物往往是被动接受某种刺激，动物的反应出现在刺激之后。操作性条件反射不是由已知的某种刺激物引起的，操作性行为是获得强化刺激的手段。操作性行为代表着机体对环境的主动适应，由行为的结果所控制。某种行为（或操作）如果获得了对自身有益的结果，这种行为就会更容易出现，甚至巩固下来，这就是操作性条件反射的基本原理。



斯金纳和他发明的动物实验箱

## 二 人的语言活动

人的听觉在胎儿时期就已经形成了，但刚出生的婴儿并不能与人进行语言交流。在不断地发育与学习过程中，他们逐渐能听懂大人的话，并牙牙学语，逐渐能与人进行语言交流，然后又学会了读书和写字。那么，控制语言活动的中枢在哪里？语言中枢损伤后会有哪些表现？人又是如何进行语言交流的呢？



### 寻找证据 阅读

阅读下面资料，重点关注语言中枢在大脑皮层的分布和损伤后的不同表现。

**资料 1.** 1861 年，法国的一位医生在巴黎召开的人类学会议上报告了一个病例，患者能听懂别人的讲话，能用面部表情和手势同别人交流思想，可是说话非常困难，只能发出“Tan”的音节。经检查发现，患者与说话有关的肌肉和发音器官完全正常。患者死后的解剖检查显示，他大脑左半球的额下回后部发生了病变。这种病后来被命名为“运动性失语症”。

**资料 2.** 1874 年，德国的一位医生报告了一个病例，患者能主动说话，听觉也十分正常，然而奇怪的是，他听不懂别人的话，连自己的话也听不懂。患者死后的解剖检查显示，他大脑左半球的颞上回后部有病变。这种病后来被命名为“听觉性失语症”。

**资料 3.** 大量的临床病例显示，大脑左半球额中回后部损伤的患者，能听懂别人的话，能看懂文字，但不会书写，而其手部的其他运动并不受影响，称为“失写症”。大脑左半球顶下叶的后部损伤后，患者看不懂文字的含义，但其他语言功能没有问题，视觉也正常，称为“失读症”。

根据阅读获得的信息，思考下列问题：

1. 人的语言中枢位于大脑的哪个半球？
2. 人的语言中枢有哪些功能分区？
3. 各语言中枢损伤后分别出现哪些语言障碍？

### 人的语言中枢多位于大脑皮层左半球

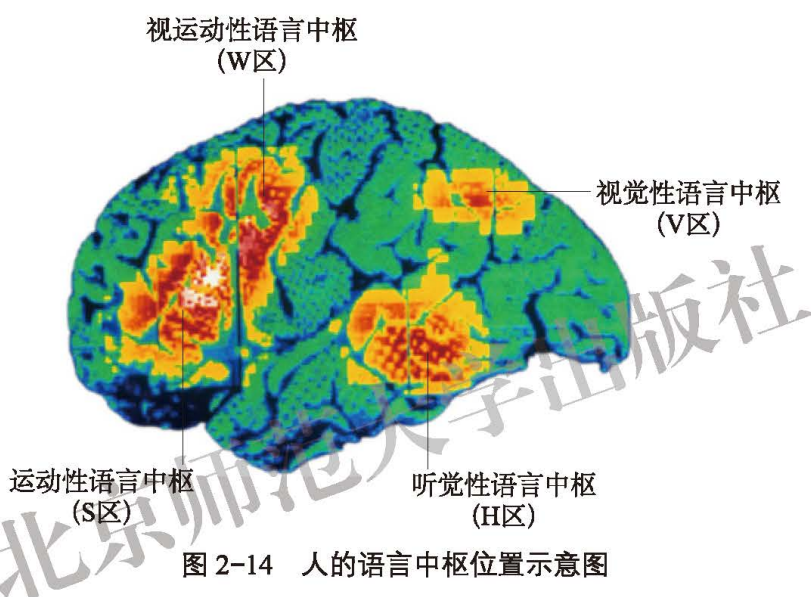
在上述资料中，患者大脑的不同部位发生了病变或损伤，分别导致了运动性失语症、听觉性失语症、失写症和失读症。这些患者有一个共同特点，就是大脑发生病变或损伤的部位都位于左半球。这说明人的大脑皮层中存在控制语言活动的中枢，大部分人的语言中枢位于大脑皮层的左半球，因此，大脑左半球被称为语言优势半球。语言优势半球的定位

是后天形成的。如果在儿童时期大脑语言优势半球尚未建立时，大脑左半球发生损伤或病变，则有可能在大脑右半球再建立语言中枢，从而使语言功能得到恢复。

## 语言中枢具有功能分区

在神志清楚、意识正常、发声没有障碍的情况下出现的语言活动障碍，称为失语症。失语症是由大脑皮层中不同的语言中枢发生病变或损伤导致的。

按照功能的不同，人的语言中枢分为运动性语言中枢（S区）、听觉性语言中枢（H区）、视运动性语言中枢（W区）和视觉性语言中枢（V区）（图2-14）。



运动性语言中枢支配着人的说话。此区域受损或病变时，患者可以看懂文字，也能书写文字，能理解别人的话语，知道自己想说什么，但是不能用词语表达出来，常用手势、点头或摇头来回答问题。患者与发音有关的肌肉并未瘫痪，但丧失了说话的能力，为运动性失语症。

听觉性语言中枢使人能够理解别人说话的意思，并能调整自己的语言。此区域受损或病变时，患者能说话，并且语音和语法都很正常，也能听到别人说话，但是不能分辨语音和理解语义，对别人的问话常常答非所问。患者能听到声音，却听不懂别人说话的内容，为听觉性失语症。

视运动性语言中枢控制着人的书写功能。如果此区域受损或病变，虽然患者其他运动功能仍然具备，但写字、绘画等精细运动功能发生障碍，为失写症。

视觉性语言中枢可以将书面语言转换成口语，也可以将口语转换成书面语言，是视觉意象与听觉意象进行联系的中枢。此区域受损或病变时，原来识字的人变得不能阅读，患者能说话，能理解口语，视觉无障碍，但不能理解文字符号的意义，为失读症。

各语言中枢并不是孤立存在的，它们之间有着密切的联系。此外，语言中枢还要同大脑皮层的其他有关中枢协调配合才能完成语言活动。有研究显示，听到别人说话并做出回

答的过程可能如下：听觉冲动先传至大脑皮层听觉中枢产生听觉，然后与 H 区联系，经过分析、理解语句含意后，将信息传送到 S 区，S 区与大脑皮层有关运动中枢联系，控制唇、舌、喉肌的运动，形成话语并表达出来（图 2-15）。人的语言活动是由大脑皮层的语言中枢控制的高级神经活动。



图 2-15 语言交流过程示意图

虽然某些动物也能发出多种声音，甚至以不同的声响来表达情感，但只有人类才能发出清晰的音节，从而组合搭配形成千变万化的语言，并进一步发展成文字符号。语言是人类用来交流的一种工具，通过语言进行交流，是人类区别于其他动物的显著特征之一。

许多语言活动障碍都是由大脑皮层相关脑组织的病变或损伤引起的，如脑梗死、脑出血、脑肿瘤、脑外伤等。随着我国人口老龄化的加快，年龄增长带来的脑功能低下使语言活动障碍趋于重度化、复杂化。

### 检测评价

1. 语言活动是人类特有的高级神经功能。多数人的语言中枢分布于左侧大脑皮层，并分为四个区，其中与说话有关的区域称为 S 区，与理解别人说话有关的区域称为 H 区，与书写有关的区域称为 W 区，与阅读有关的区域称为 V 区。请回答下列问题：

(1) 某人因脑出血而导致偏瘫，同时伴有运动性失语症和失写症。该病人因脑损伤波及的语言中枢是\_\_\_\_\_区和\_\_\_\_\_区。

(2) 当你参加生物学考试专心答题时，参与工作的语言中枢主要有（ ）。

A. V 区和 S 区

B. H 区和 S 区

C. H 区和 V 区

D. V 区和 W 区

(3) 某人在脑损伤后出现偏瘫，但并不伴随语言障碍，请阐述其可能原因及依据。

2. 在脑血管病患者群体中，右侧肢体偏瘫的患者常常伴有失语症，而左侧肢体偏瘫的患者语言功能大都正常。患者出现失语症时，最常见的是运动性失语症，其次是听觉性失语症，如果二者并存则称为混合性失语症。请回答下列问题：

(1) 为什么右侧肢体偏瘫的患者常常伴有失语症？

(2) 根据患者表现出的症状，怎样判断是运动性失语症还是听觉性失语症？

(3) 怎样根据患者语言功能的障碍判断其大脑皮层受损伤的部位？



## 语言的性别差异

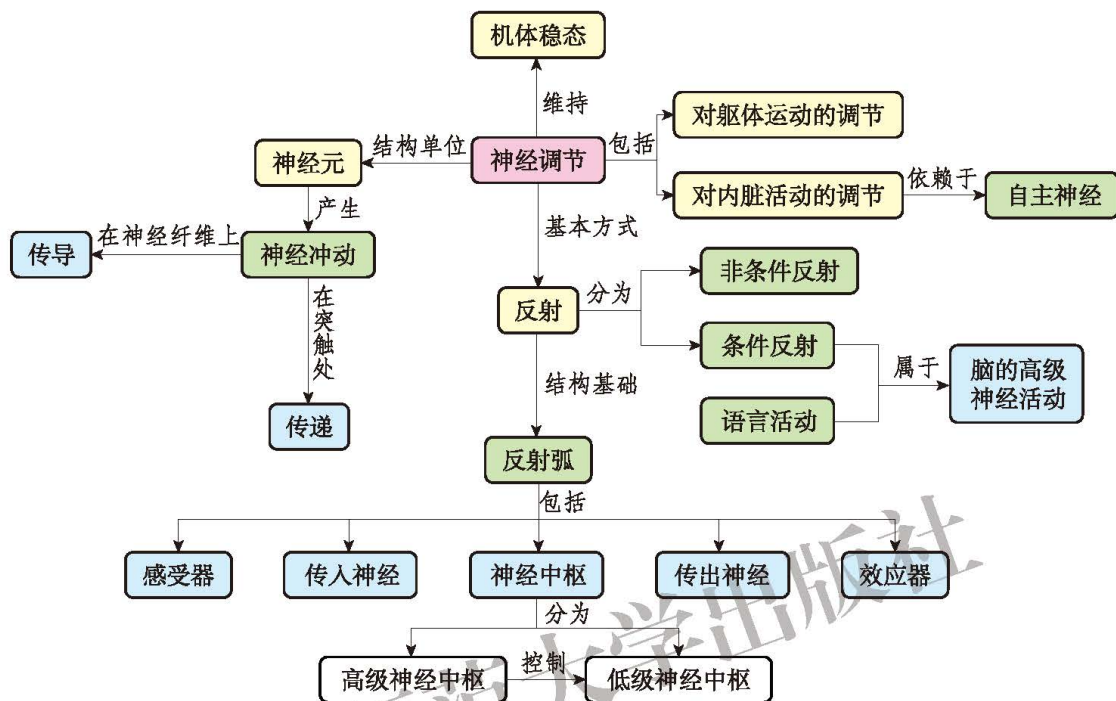
俗话说“男女有别”，男性和女性在生理、思维和行为等方面都存在着显著差异。男性和女性之间的差异也反映在语言上。多数情况下，女性比男性更能说会道，其中一个原因是男女大脑存在差异。

人的大脑分为左、右两个半球，它们在功能上是有分工的。语言表达、数学运算、逻辑推理等功能主要由左半球负责；空间辨认、深度知觉、图像识别、形象思维等功能主要由右半球负责。但大脑的左、右半球并不是完全分裂的，它们之间通过胼胝体相连，完成左、右半球信息的沟通和整合。大脑的影像学研究显示，女性的胼胝体体积比男性要大，这导致女性左、右脑之间互通性更强，情感、理性的整合能力更强，而且女性的语言中枢在大脑中占有的区域也大于男性。

由于以上原因，多数女性的口语能力、表达流畅性要优于男性，她们也更善于把情绪通过语言的方式表达出来。男性的说话方式则更加简明扼要并富有逻辑性，但表述过程中内容欠丰富，因此给人“口拙”的印象。

## 本章小结

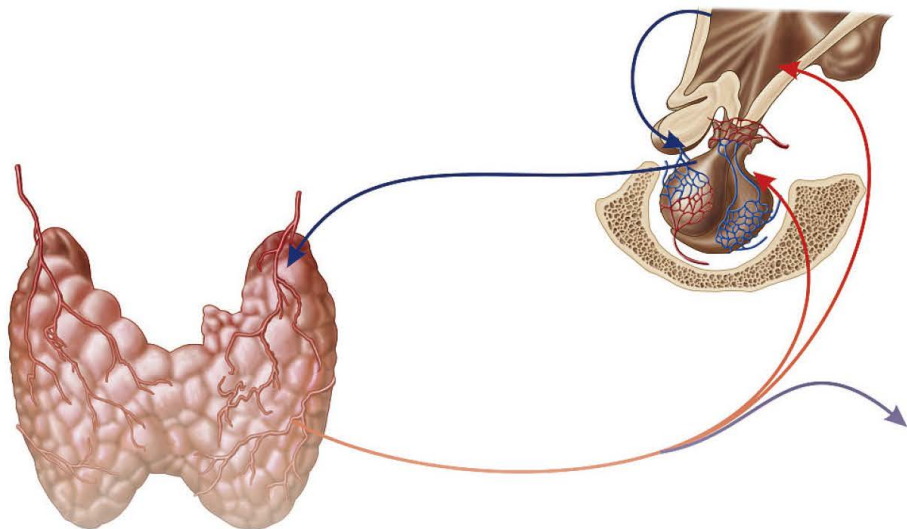
## ● 基础知识梳理



神经系统通过各种反射活动对机体内、外环境的变化做出快速而精确的反应，实现机体稳态。感受器、传入神经、神经中枢、传出神经和效应器构成的反射弧是反射活动的结构基础。神经冲动沿神经纤维快速传导，并在突触处通过神经递质将信息传递给其他神经元。脑内的高级神经中枢与脊髓内的低级神经中枢相互联系，共同调控各器官、系统的活动。在大脑皮层的参与下，机体还可以建立条件反射，使机体的行为具有预见性，更好地适应复杂多变的外界环境。人类在长期进化过程中形成了特有的语言活动，语言交流促进了人类思维能力的发展，增强了人类对环境的主动适应能力。

## ● 学科素养提示

基于神经系统及时感知机体内、外环境变化，精确调节机体稳态的特点，运用结构与功能观、稳态与平衡观阐述神经调节在机体稳态调节中的主导作用。通过观察膝跳反射和眨眼反射等常见反射、设计测定神经冲动传导速度的实验方案、讨论神经系统受损后的运动障碍等科学探究活动，对检测反射活动诊断神经系统的某些功能障碍，干预神经传导和突触传递过程来改善神经系统功能的原理进行科学解释。通过设计训练小动物建立条件反射的方案等实践活动，利用条件反射的原理，为动物的饲养和驯化等生产、生活实践服务。



## 第 3 章

# 机体稳态的体液调节

从牙牙学语的孩童到亭亭玉立的少女，从懵懵懂懂的少年到善思考、有主见的青年，这一身体健康成长、心智趋于成熟的生长发育过程与机体内多种激素的协调作用密不可分。激素是如何调节生命活动的呢？就让我们一起来探索和揭示“激素王国”的神奇和奥秘吧。

### 学习目标

1. 在理解血糖平衡、水盐平衡和体温调节机制的基础上，能形成稳态与平衡观、局部与整体观等生命观念，并用来分析和思考各种生理平衡在机体稳态中的意义。
2. 基于体内激素水平可通过多种调节机制维持平衡的现象，能运用归纳、演绎等科学思维方法，用图示、模型等表征调节激素分泌的各种方式以及神经调节和体液调节的相互关系。
3. 针对特定的激素分泌失调引起的疾病，能提出问题，设计研究方案，通过调查、实验等科学探究活动寻找证据，分析引起激素分泌异常的原因，并探讨预防和治疗相关疾病的途径和方法。
4. 主动关注激素在各行业的应用情况，能运用激素与机体稳态调节的理论知识，分析和讨论激素应用的利与弊，宣传滥用兴奋剂和吸食毒品的危害。



## 第一节 激素功能的研究方法

自然界中很多动物两性个体间存在明显差异。例如，雌孔雀其貌不扬，雄孔雀具有直立的枕冠、华丽的羽色，尤其是尾上长长的覆羽，拥有蓝、绿、褐、黄等多种靓丽的颜色。在求偶时，雄孔雀的尾屏高高竖起并展开，色彩闪烁变化。雄孔雀的美丽和复杂的求偶行为与体内的激素有关。人们是如何研究激素功能的呢？

### 摘除法和移植法可以初步确定内分泌腺的功能

早在我国商代的甲骨文中就出现了“凸刀”字样，其意为用刀切除生殖器官。古希腊的亚里士多德（Aristotle，前 384—前 322）也曾描述鸟类被阉割后发生的变化，说明人们很早就已经知道了睾丸与生殖能力有关。

最早确定睾丸内分泌功能的动物实验是由贝特（Arnold Berthold, 1803—1861）在 1849 年报道的。他先把公鸡去势（切除睾丸），发现其雄性特征会逐渐丧失，鸡冠萎缩，并失去打鸣能力和对母鸡的求偶行为（图 3-1）。然后，他把从其他公鸡体内摘出的睾丸植入去势公鸡的腹腔，结果上述变化逐渐发生了逆转。睾丸是被植入腹腔的，并没有与神经连接，因此必定是通过血液循环发挥作用的。由此贝特认为，睾丸向血液中释放了某种物质，这种物质能够维持公鸡的雄性行为和第二性征。至此，人们初步确定了睾丸具有内分泌功能。这说明科学工作依赖于观察和推论。



正常母鸡



正常公鸡



去势公鸡

图 3-1 正常母鸡、正常公鸡与去势公鸡的第二性征比较

摘除和移植某个器官，通过机体的结构、功能和行为的改变，可以初步确定该器官的内分泌功能，但不能确定该器官是通过什么物质来发挥作用的，因此，还需要对相应器官的分泌物进行分析。

## 制备组织提取物研究腺体分泌物的有效成分和作用

1927年，科赫（Fred Koch, 1900—1967）和他的助手从牛睾丸中提取出一种脂溶性物质，能够有效地刺激去势公鸡的鸡冠生长。

1931年，布特南特（Adolf Butenandt, 1903—1995）从男性尿液中分离、结晶出一种能促进男性生殖器官发育并维持男性第二性征的物质，命名为雄甾酮，并确定了它的化学结构。1935年，莱克尔（Ernst Laqueur, 1880—1947）从牛睾丸提取物中得到一种与雄甾酮结构类似但生理作用更强的物质，命名为睾酮。同年，布特南特和鲁奇卡（Leopold Ružička, 1887—1976）各自通过化学方法合成了睾酮，极大地促进了雄激素的深入研究和临床应用。这说明科学知识可随着研究的深入而不断发展。

给动物饲喂、注射某内分泌腺的提取物或已知的激素，根据动物的生理功能变化可以推测该腺体分泌物的作用。

## 利用细胞与分子生物学技术可阐明激素的作用机制

通过对激素生物合成及相关酶系的分析研究，能阐明激素的代谢途径；通过对膜蛋白分布和功能的研究，能确定激素受体；通过对激素信号转导过程的研究，可以推断激素的作用机制；通过对激素受体以及激素代谢酶系基因的研究，可以了解激素作用的基因调控机制等。随着细胞生物学和分子生物学技术的不断发展，人们对激素作用机制的研究越来越深入。这说明，科学技术的发展能够促进相关科学的发展。

在对激素功能的研究中，通常采用阻断或加强激素作用某一环节的方法，来推断激素作用的途径和机制。例如，抑制或加强酶活性、阻断或激活受体的作用、降低或提高基因表达水平等。摘除和移植腺体分别属于阻断法和加强法，饲喂或注射激素属于加强法，而给以能够抑制激素作用的药物则属于阻断法。

激素功能研究的各种原理和方法，已被广泛应用于生产实践和医学领域。例如，畜牧业上切除家畜的性腺，以便于管理和改善肉质；医学上用放射性同位素<sup>131</sup>I破坏甲状腺组织治疗甲状腺功能亢进（甲亢）等。

### 实践应用 实验（选做）

#### 探究甲状腺激素对生长发育的生理作用

##### ● 目的要求

1. 分析甲状腺激素对蝌蚪生长发育的生理作用。
2. 尝试动物生长发育情况的观察和记录方法。

### ● 实验原理

蝌蚪的生长发育和变态需要甲状腺激素的调节。因此，蝌蚪的生长发育可用以探究甲状腺提取物或甲状腺激素的作用。

### ● 材料用具

蝌蚪，动物的新鲜甲状腺组织；甲状腺素片，甲巯咪唑；饲养蝌蚪的器皿等。

### ● 方法步骤

1. 将动物的新鲜甲状腺组织烘干或自然风干并制成粉状。
2. 将生长发育水平相同的蝌蚪，分为A、B、C、D四组，每组不少于5只。
3. 各组每日喂以同样剂量的饲料。A组正常饲养，B组每日投以适量甲状腺组织粉末，C组投以适量甲状腺素片粉末，D组投以适量抗甲状腺药物（如甲巯咪唑）粉末。
4. 观察并记录蝌蚪的生长发育情况。

### ● 思考讨论

1. 实验中C组的作用是什么？该实验设计还有何不完善之处？如何改进？
2. 已知甲状腺激素的合成需要碘，如果用不含碘的食物喂养蝌蚪，上述各组蝌蚪的生长发育情况会怎样？说明其原因。

### 注意

各组的水温、换水频率等饲养条件须一致；甲状腺组织粉末、甲状腺素片粉末及抗甲状腺药物的用量需通过实验或查阅资料后确定。

### 检测评价

1. 20世纪60年代，某实验室发现了A、B两类肥胖小鼠。研究人员推测肥胖小鼠体内可能缺乏某种食欲抑制因子或该因子的受体。他们利用A、B肥胖小鼠以及正常小鼠进行实验，通过手术使两种小鼠的血液循环贯通，形成连体小鼠。实验处理和结果如下表所示。

分组	处理	结果
1	正常小鼠与A小鼠连体	A小鼠无变化，正常小鼠摄食量减少
2	正常小鼠与B小鼠连体	正常小鼠无变化，B小鼠摄食量减少
3	A小鼠与B小鼠连体	A小鼠无变化，B小鼠摄食量减少

请回答下列问题：

- (1) 阐述A、B两类小鼠肥胖的形成原因。
- (2) 假设某人的肥胖类型与B小鼠相同，理论上可采取哪种治疗方式？

(3) 肥胖和过于消瘦都不利于身体健康, 请说明过度减肥对身体的危害。

2. 某兴趣小组为了研究甲状腺和甲状腺激素的生理作用, 以成年小鼠为实验动物进行分组及处理, 如下表所示。在适宜的实验条件下, 正常饲养小鼠, 每隔一定时间测定耗氧量(单位时间内单位体重的氧消耗量)。

甲组	乙组	丙组	丁组
切除甲状腺	A	甲状腺激素溶液灌胃	生理盐水灌胃
饲养 14 天	饲养 14 天	1 次/天, 共 14 天	1 次/天, 共 14 天

请回答下列问题:

- (1) 表中 A 是对乙组小鼠的处理, 该处理是\_\_\_\_\_, 处理目的是\_\_\_\_\_。
- (2) 预测第 14 天, 四组中耗氧量最大的是哪一组, 为什么?
- (3) 设计一个用于记录实验结果的表格。



开阔眼界

### 促胰液素的发现

在“体液调节”的概念建立之前, 人们普遍认为神经调节是生命活动的唯一调节方式。1901年, 法国生理学家沃泰默发现, 当把盐酸注入狗的上段小肠时会引起胰液分泌, 但是把盐酸直接注入狗的血液中则不会引起胰液分泌。随后, 他切除了连接这段小肠的神经, 只保留血管, 再向小肠内注入盐酸, 发现仍能促进胰液分泌。但沃泰默坚持从固有观念出发, 坚信这个反应是“局部分泌反射”, 认为“小肠中存在着调节胰液分泌的顽固神经”。

1902年, 英国生理学家贝利斯和斯塔林看到沃泰默的论文后, 立即重复了沃泰默的实验, 他们确信已经完全切除了支配小肠的神经, 因而大胆跳出“只有神经调节”这一传统观念的框框, 提出“化学调节”的假设。为了证实这一假设, 他们把狗的另一段小肠取出并刮下黏膜, 加沙子和稀盐酸研碎, 过滤浸液得到粗提取液, 注射到同一条狗的静脉中去, 结果引起了明显的胰液分泌, 从而确定了小肠黏膜的提取液中存在促进胰液分泌的化学物质, 并把这种物质命名为促胰液素。由此产生了“体液调节”的新概念, 开创了内分泌学这一全新的研究领域。之后, 科学家陆续发现了多种激素, 并研究了它们的生理作用, 加深了人类对生命本质的认识。

在促胰液素的发现历程中, 沃泰默囿于固有观念与真相擦肩而过, 而贝利斯和斯塔林勇于创新、大胆假设, 使人类开启了认识生命的新篇章。由此可见, 大胆创新的精神和批判性思维在科学研究中是多么难能可贵。

## 第二节 内分泌系统与激素

糖尿病是一种严重威胁人体健康的慢性病。在医学发展史中，中医学对糖尿病的认识最早，且论述甚详。中医学中，糖尿病属于消渴症。2 000 多年前的《黄帝内经·素问·奇病论》中就有关于消渴症的记载。隋代《诸病源候论·消渴候》对其症状和并发症进行了详细描述，如“夫消渴者，渴不止，小便多是也”“其病变多发痈疽”等。20 世纪初，现代医学家认识到糖尿病是由胰岛素分泌不足引起的代谢性疾病，并发现许多具有内分泌功能的腺体能分泌激素，调节人体的生命活动。那么，人体有哪些内分泌腺？它们能分泌哪些激素？这些激素的生理作用又是什么呢？

### 内分泌系统主要由内分泌腺构成

分泌激素的腺体没有导管，激素直接被分泌到组织液中，然后进入毛细血管经循环系统运输到发挥作用的部位，所以分泌激素的腺体被称为内分泌腺。体内主要的内分泌腺有下丘脑、垂体、甲状腺、胸腺、肾上腺、性腺等。人体的内分泌系统主要由这些腺体组成（图 3-2）。另外，有些细胞团，如胰岛等，也有分泌激素的功能。

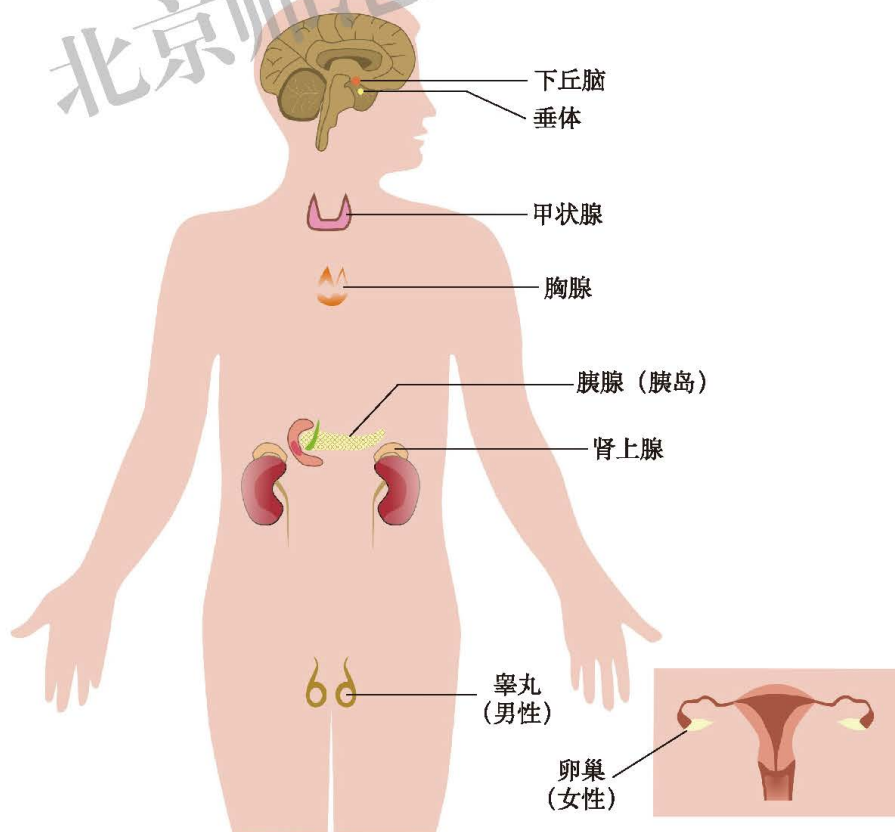


图 3-2 人体主要内分泌腺的分布示意图

## 各类激素参与生命活动的调节



### 寻找证据 阅读

阅读下面资料，重点关注生长激素和甲状腺激素的关系。

人的身高除了受遗传、营养、锻炼等多种因素的影响，还受某些激素的调节。侏儒症、克汀病是与激素含量密切相关的两种不同疾病，患者均表现为身材矮小（最终身高通常低于130 cm）。

**侏儒症：**一般在出生一两年后表现出生长逐渐减慢，成年后身材矮小，临床检测骨龄显示出明显幼稚的特点，通常伴有性发育障碍。侏儒症患者的智力水平正常，可以和同龄的孩子一起上学。这类疾病的发病原因主要是幼年时期生长激素分泌不足。

生长激素由垂体合成和分泌，这种激素通过促进骨的生长和蛋白质的合成来促进机体生长发育。

**克汀病：**除了身材矮小，克汀病患者还表现出上身长、下身短甚至四肢畸形；相貌上往往表情淡漠，神情呆滞；行为举止会有动作迟缓等异常；智力水平明显低下。该病主要是由胚胎期缺碘导致甲状腺激素合成不足、先天性甲状腺发育不全或出生后甲状腺功能低下等导致的甲状腺激素缺乏引起的。

甲状腺激素由甲状腺合成和分泌，能促进新陈代谢和生长发育，另外还有促进神经系统的发育、维持神经系统兴奋性等作用。

根据阅读获得的信息，思考下列问题：

1. 侏儒症和克汀病患者均表现出身材矮小的原因是什么？
2. 克汀病患者为何会表现出智力水平低下的症状？
3. 除上述两种激素外，你还知道哪些激素？这些激素在调节生长发育过程中发挥着怎样的作用？

生长激素和甲状腺激素都能促进机体生长，缺乏这两种激素都会表现出身材矮小的特征。甲状腺激素还具有促进神经系统发育的功能，所以在胚胎期或者婴幼儿阶段缺乏该激素会导致神经系统发育不完善，使患者出现智力水平低下的症状。

正常机体能够适应复杂多变的外界环境，离不开生长激素、甲状腺激素等多种激素对机体生长、发育、生殖、免疫等各种生命活动的共同调节（表3-1）。因此，各类激素共同参与生命活动的调节。

表 3-1 人体主要内分泌腺（细胞团）及激素的作用

内分泌腺或细胞团	分泌激素	功能	成分
下丘脑	促甲状腺激素释放激素	促进垂体合成和释放促甲状腺激素	多肽
	促肾上腺皮质激素释放激素	促进垂体合成和释放促肾上腺皮质激素	多肽
	抗利尿激素*	促进肾小管和集合管对水的重吸收	多肽
垂体	促甲状腺激素	促进甲状腺的发育、甲状腺激素的合成和释放	糖蛋白
	促肾上腺皮质激素	促进肾上腺皮质合成和释放皮质醇	多肽
胸腺	胸腺素	促进 T 细胞的分化与成熟	多肽
肾上腺皮质	皮质醇	促进肝糖原合成，抑制葡萄糖的氧化利用，促进肝以外组织的蛋白质分解，促进四肢脂肪分解和面部、躯干部的脂肪合成	类固醇
	醛固酮	促进肾小管吸收 $\text{Na}^+$ 、排出 $\text{K}^+$ ，调节水盐平衡	类固醇
肾上腺髓质	肾上腺素	增强心肌收缩力，使心率加快，促进肝糖原分解，升高血糖水平	氨基酸衍生物
胰岛 A 细胞	胰高血糖素	促进肝糖原分解和非糖类物质转化为糖类物质，升高血糖水平，促进脂肪分解，抑制蛋白质合成	多肽
胰岛 B 细胞	胰岛素	促进组织细胞摄取和利用葡萄糖，降低血糖水平，促进蛋白质和脂肪合成	蛋白质
卵巢	雌激素	促进雌性生殖器官的发育和生殖细胞的形成，激发并维持第二性征，维持正常的生理周期	类固醇
睾丸	雄激素	促进雄性生殖器官的发育和生殖细胞的形成，激发并维持第二性征，促进蛋白质合成	类固醇

\* 抗利尿激素在下丘脑的神经元胞体内合成，经轴突运输到垂体释放。

每种激素都会选择性地作用于特定的靶细胞、靶组织或靶器官，称为激素作用的相对特异性。激素作用的相对特异性与靶细胞上存在相应的激素受体有关。激素分泌出来后，经血液运输到作用部位，与靶细胞上的相应受体结合，发挥特定的调节作用（图 3-3）。

激素不能增加细胞的新功能，也不能为细胞活动提供能量，而是作为一种“信使”，将生物信息传递给细胞，调节细胞的原有功能，使其增强或减弱。

血液中激素的浓度极低，一般在  $10^{-12} \sim 10^{-9} \text{ mol/L}$  水平，但其作用非常显著。这是由于激素与受体结合，可引起细胞内多级酶促反应，使其效应逐级放大。例如，一个分子的

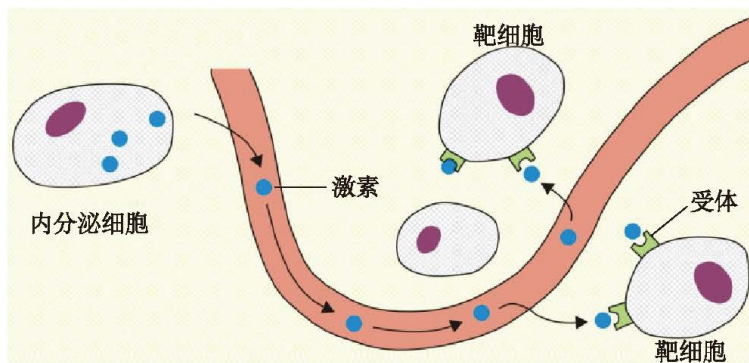


图 3-3 激素的分泌、运输和作用示意图

胰高血糖素与受体结合，最后可使细胞内的 10 000 个磷酸化酶分子被激活。因此，体内激素浓度的轻微变化即会对机体的生理功能产生明显影响。

激素调节作用的一般特征表现为：相对特异性、信息传递作用、高效放大作用。

当多种激素共同参与同一种生理活动调节时，激素之间常彼此联系、相互影响。例如，生长激素、胰高血糖素、皮质醇、肾上腺素等都具有升高血糖的作用，这种激素间生理作用相同的现象称为协同作用。与上述几种激素的作用相反，胰岛素可以降低血糖，这种激素间生理作用相反的现象称为拮抗作用。

激素间的协同作用和拮抗作用可以发生在激素分泌和激素作用的多个环节，对于维持机体稳态发挥着重要作用。在激素的应用过程中，既要考虑单个激素的直接作用，又要考虑激素间的相互影响。

### 实践应用 讨论

#### 讨论生活用品或食品中含有过量激素对身体健康的危害

结合自己的日常生活和所掌握的知识，选择可能含有激素的生活用品（如杀虫剂、化妆品）或食品（如动物内脏）进行调查。以调查内容相似者为一组，分小组开展讨论，阐述所调查日常生活用品中或食品中含有过量激素对身体的危害。汇总讨论结果，分析其中具有共性的内容，尝试提出可行的预防措施和建议。

### 检测评价

1. 某科研小组为观察促甲状腺激素和促甲状腺激素释放激素对小鼠行为的影响，将小鼠随机分为 A、B、C、D 四组。A 组小鼠注射生理盐水；B、C 两组小鼠分别注射等量的促甲状腺激素溶液和促甲状腺激素释放激素溶液；D 组小鼠切除垂体后注射等量促甲状腺激素释放激素溶液。请回答下列问题：

- (1) 根据促甲状腺激素的作用，分析推测 B 组小鼠的行为表现。
- (2) 若 B 组小鼠和 C 组小鼠表现出同样的行为，试阐述其原因。
- (3) 如果 D 组小鼠出现了与 C 组小鼠相同的结果，最可能的原因是（ ）。
  - A. D 组小鼠缺乏促甲状腺激素释放激素的受体
  - B. 切除垂体对小鼠的行为无影响
  - C. 切除垂体不影响促甲状腺激素的释放
  - D. 垂体未被完全切除
- (4) 如果实验过程无误，D 组的预期结果应是什么？为什么？
- (5) 上述实验设计还存在哪些不足？应如何改进？



2. 妊娠期糖尿病 (GDM) 给胎儿发育和孕妇自身健康带来多种负面影响。下表是某孕妇在怀孕 28 周时进行血糖检测的结果。3 个样品中任意 1 个的血糖浓度大于参考值即可判定为 GDM。

样品	血糖浓度测定值 / (mmol·L <sup>-1</sup> )	血糖浓度参考值 / (mmol·L <sup>-1</sup> )
空腹血浆	4.8	5.1
餐后 1h 血浆	11.7	10.8
餐后 2h 血浆	9.2	8.5

请回答下列问题:

- (1) 该孕妇是否患有 GDM? 若想进一步了解该孕妇的胰岛分泌功能是否异常, 还应该检测哪些指标?
- (2) 试分析孕妇患 GDM 的可能原因。
- (3) 就如何降低患 GDM 的风险提出合理化建议。



开阔眼界

## 青春期发育与激素调节

青春期是由儿童逐渐发育为成年人的过渡期。青春期生长激素和性激素分泌增多, 使身高和体重迅速增长, 促进生殖器官的发育和生殖细胞成熟, 并使男性和女性表现出明显的形体差异。青春期后期, 生长速度减缓, 身体各方面的机能趋于成熟。

人对自己容貌的主观评价称为体像。青春期青少年对自身的变化及其与异性身体的差异产生好奇, 有的青少年对自己身体的某些特征不如意, 甚至怀疑身体存在缺陷而产生心理负担, 有的还会嘲笑其他同学的长相。这都是不可取的。我们应树立正确的审美观, 要积极锻炼身体, 保持健康体重, 认同体态以健康自然为美, 形成并保持积极的体像认知。

由于性器官的发育和性激素的作用, 青少年对“性”产生好奇, 对异性萌生好感, 有时甚至会产生性冲动。面对这些变化, 有人会产生紧张、害羞和自责等情绪, 有的则喜欢在异性面前表现自己等。青少年应以积极、从容的心态, 应对青春期的生理、心理变化和性健康问题, 正确处理青春期爱情问题。作为学生, 要努力上进, 安心学习, 将兴趣集中到对精神境界的追求和对科学知识的渴求中来, 使自己健康、平稳、充实地度过青春期。

## 第三节 激素分泌的分级调节与反馈调节

某人近2个月来身体出现一些异常：进食明显增多，体重不增反减；怕热，易出汗；心悸，失眠；容易激动等。到医院就诊的检查结果显示，其血清中的甲状腺激素浓度明显升高，而促甲状腺激素浓度显著降低（表3-2）。据此，医生诊断他患有甲亢。那么，甲亢的一系列临床症状是如何产生的？正常情况下，甲状腺激素的浓度是如何维持相对稳定的呢？

表3-2 某人甲状腺功能三项化验结果

序号	项目名称	结果	单位	参考区间
1	促甲状腺激素（TSH）	<0.005	μIU/mL	0.27~4.2
2	游离三碘甲状腺原氨酸（FT3）	26.78	pmol/L	2.8~7.1
3	游离四碘甲状腺原氨酸（FT4）	50.63	pmol/L	12~22

化验单中FT3、FT4是甲状腺激素的两种存在形式，均具有生物活性。甲状腺激素的主要生理功能是促进机体代谢，提高中枢神经系统的兴奋性。甲状腺激素含量过高，会使机体细胞氧化分解过快、产热增多，导致容易出汗；过度消耗能源物质，使储备的脂肪减少，导致体重降低；神经系统兴奋性过高，导致情绪激动、焦虑等。

下丘脑合成和分泌促甲状腺激素释放激素（TRH），TRH能作用于垂体，促进垂体合成和分泌促甲状腺激素（TSH），TSH作用于甲状腺，促进甲状腺细胞的增生及甲状腺激素的合成和分泌。这种由下丘脑控制垂体，再由垂体控制内分泌腺来调节激素分泌的方式称为分级调节（graded regulation）。

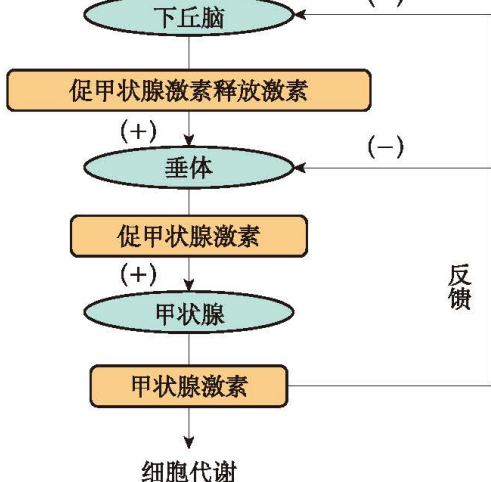


图3-4 甲状腺激素的分级调节和反馈调节示意图

当血液中甲状腺激素的含量超过一定浓度时，就会反过来抑制下丘脑和垂体的活动，使TRH和TSH的分泌减少。像这种内分泌腺分泌的激素反过来作用于控制该内分泌腺的垂体和下丘脑来调节激素分泌的方式称为反馈调节（feedback regulation）。甲状腺激素的分泌在分级调节和反馈调节的协同作用下保持相对稳定（图3-4）。

在反馈调节中，如果某一生理过程的产物（或效应）反过来使该生理过程受到抑制或减弱，称为负反馈。例如，甲状腺激素对下丘脑和垂体分泌的反馈调节就属于负反馈。反之，如果某一生理过程的

产物（或效应）使该生理过程进一步加强则称为正反馈。例如，催产素能促进子宫平滑肌收缩，使胎儿娩出。在胎儿娩出过程中，子宫平滑肌的收缩和胎儿对产道的刺激又进一步促进催产素的分泌，直至胎儿娩出。

在甲亢患者的体内，产生了一种叫作刺激甲状腺免疫球蛋白（TSI）的物质，其化学结构与 TSH 相似，能与 TSH 竞争甲状腺细胞膜上的受体，刺激甲状腺细胞持续分泌甲状腺激素。由于甲状腺激素的反馈作用，抑制 TRH 和 TSH 的分泌，使患者体内的 TSH 浓度降低，但并没有消除 TSI 对甲状腺细胞的刺激作用，因而导致患者体内的甲状腺激素总是处于较高水平（图 3-5）。

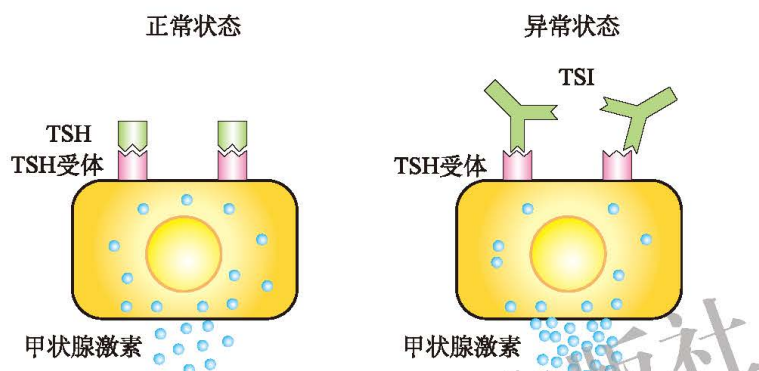


图 3-5 TSI 与 TSH 竞争受体示意图

与甲状腺激素的分泌调节类似，肾上腺皮质激素、性激素的分泌等也是在分级调节和反馈调节的协同作用下，维持在适宜的生理水平。例如，下丘脑分泌的促肾上腺皮质激素释放激素（CRH）促进垂体分泌促肾上腺皮质激素（ACTH），ACTH 促进肾上腺皮质合成和分泌皮质醇；血液中皮质醇浓度升高时，又可反过来抑制 CRH 和 ACTH 的分泌。

激素通过分级调节、反馈调节等机制维持机体的稳态。分级调节和反馈调节的任何一个环节出现问题都将破坏机体的稳态。例如，库欣综合征患者因下丘脑功能失调而分泌过量 CRH，或因垂体腺瘤导致 ACTH 过量分泌，进而出现肾上腺皮质增生和血中皮质醇浓度明显升高。而且，患者垂体分泌的 ACTH 已达异常的高水平，血中皮质醇水平不足以形成有效的反馈抑制。皮质醇对身体不同部位的脂肪代谢的作用不同，它可以促进面、肩、背及腹部的脂肪合成，促进四肢的脂肪分解，因而库欣综合征患者表现出“向心性肥胖”的特殊体形。

#### 小资料

##### 库欣综合征

库欣综合征由美国神经外科医生哈维·库欣于 1921 年首先报道。本征是由于多种病因引起肾上腺皮质长期分泌过量皮质醇所产生的一组症候群，主要表现为满月脸、向心性肥胖、痤疮、皮肤紫纹、高血压、继发性糖尿病和骨质疏松等。

实践应用 **实验** (选做)

### 构建利用光照提高母鸡产蛋率的调节模型

在鸡的养殖实践中人们发现,适当延长每日的光照时长和光照强度能提高母鸡的产蛋率。这一效果是通过调节光照影响母鸡的下丘脑—垂体—性腺的活动而实现的。光作用于视网膜,后者将光刺激信号转换为神经冲动传入下丘脑,促进下丘脑分泌促性腺激素释放激素(GnRH),GnRH能够刺激垂体分泌促卵泡激素(FSH)和黄体生成素(LH),FSH和LH刺激卵巢分泌雌激素并促进卵泡发育和排卵。但是,如果光照时间过长,如每日连续光照时长超过17h,使雌激素分泌过多,反而会抑制排卵。根据上述资料,构建利用光照提高母鸡产蛋率的分级与反馈调节模型。

● **方法建议**

1. 每个同学独立完成或分小组完成均可,但都需要事先制订构建模型的方案,根据方案选择材料和用具。
2. 参照图3-6制作相应的卡片,将各卡片粘贴在纸上,用线条、箭头或其他方式将卡片联系起来。也可利用计算机制作动画模型。

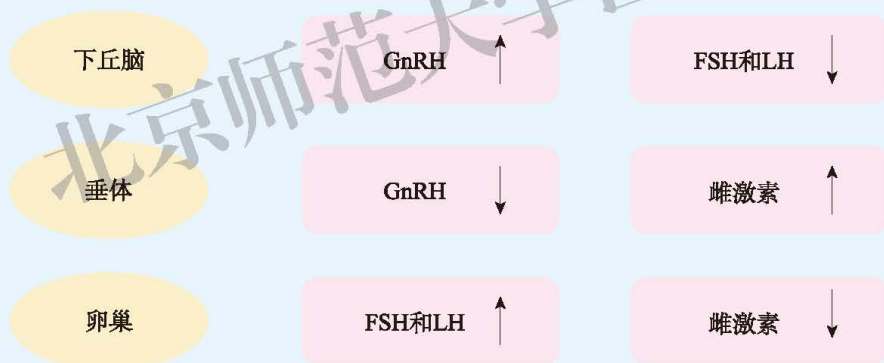


图3-6 构建模型的卡片

3. 模型要能反映相关结构、分子和信号之间的功能关系,能显示分级调节和反馈调节的各个环节,要考虑科学性与艺术性的结合。
4. 在班级展示构建好的模型,并与同学进行交流。根据交流结果,对模型进一步完善。

● **思考讨论**

1. 阐述你构建模型的思路,分析模型的优点和缺点,提出改进方法。
2. 用稳态与平衡的观点,说明分级调节与反馈调节的生物学意义。
3. 通过构建模型,你有哪些心得体会或收获?

## 检测评价

1. 碘是人体合成甲状腺激素的重要原料。下表表示在缺碘与不缺碘的两类人群中与甲状腺活动密切相关的两种激素的含量状况。

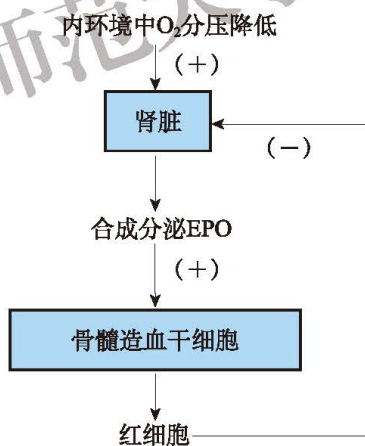
分泌腺体	激素名称	不缺碘人群激素含量	缺碘人群激素含量	
			补碘前	补碘后
甲状腺	A	正常	降低	正常
B	促甲状腺激素	正常	C	正常

请回答下列问题：

(1) 表中 A 是 \_\_\_\_\_，B 是 \_\_\_\_\_，C 表示 \_\_\_\_\_。A 对促甲状腺激素的分泌起 \_\_\_\_\_ 作用。在 A 的分泌调节中，控制枢纽是 \_\_\_\_\_。

(2) 长期缺碘，成年人会表现出少言寡语、反应迟钝及嗜睡等现象。试分析原因，并尝试提出治疗措施。

2. 应用基因重组技术生产的促红细胞生成素 (EPO) 能促进红细胞的生成，临床上常用于治疗慢性肾功能衰竭导致的贫血等，其作用机理如下图所示。



请回答下列问题：

(1) 根据 EPO 的化学特性，分析其使用方法。

(2) 阐述使用 EPO 治疗贫血的原理。

(3) EPO 被有些运动员违规使用来暂时提高运动成绩。从 EPO 作用机理中找出属于反馈调节的环节，分析 EPO 过多可能给机体带来的危害。

## 第四节 神经调节与体液调节的协调作用

同学们都有这样的经历，在剧烈运动期间或运动结束后的一段时间内，呼吸加深、加快，浑身发热，大量出汗，尿量减少，并感到口渴和饥饿等。这些反应中，有的是由神经调节控制的，有的则是由体液调节控制的。那么，神经调节和体液调节是如何相互协调共同维持机体稳态的呢？

### 血糖平衡受自主神经、激素与血糖浓度的多重调节



#### 寻找证据 阅读

阅读下面资料，重点关注调节胰岛素分泌的各种因素。

**资料 1.** 对多种哺乳动物胰岛的形态学研究表明，胰岛内有交感神经末梢和副交感神经末梢分布。并且，刺激交感神经能促进胰高血糖素的分泌，刺激副交感神经能促进胰岛素的分泌。

**资料 2.** 切除动物的整个胰腺，动物就会出现严重的高血糖和尿糖，并且在短时间内死亡。切除动物的大部分胰腺，动物仍可保持正常血糖，但在一段时间内给予过量葡萄糖，则可使动物出现高血糖，并伴随胰岛 B 细胞的损伤；切除大部分胰腺的同时，如果给予胰岛素和葡萄糖，则可避免高血糖的出现和胰岛 B 细胞的损伤。

根据阅读获得的信息，思考下列问题：

1. 自主神经调节胰岛素和胰高血糖素的分泌有何生理意义？
2. 切除整个胰腺的动物出现高血糖和尿糖，并且难以存活的原因是什么？
3. 保留小部分胰腺的动物被给予过量葡萄糖会引起胰岛 B 细胞损伤并出现高血糖的原因是什么？
4. 都有哪些因素参与调节血糖平衡？这些因素间有何关系？

血糖就是血液中的葡萄糖。正常情况下，血糖的来源和去路保持动态平衡，使血糖浓度维持在一个相对稳定的水平（图 3-7）。那么，血糖是如何维持平衡的呢？

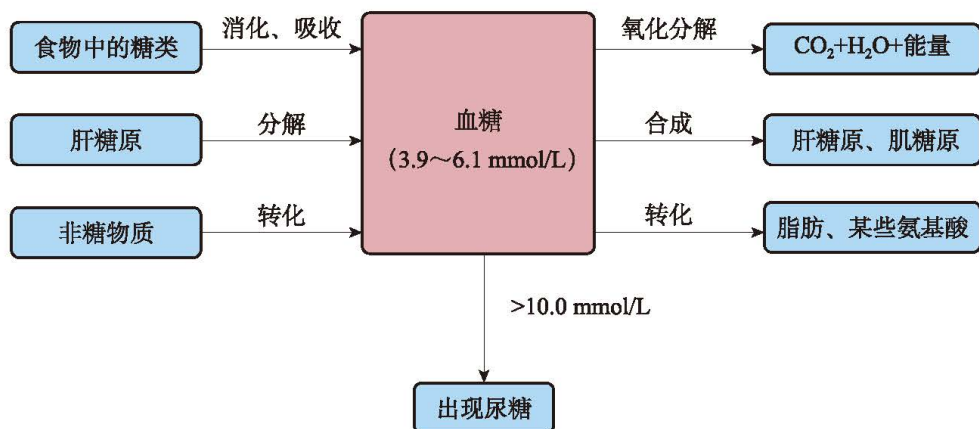


图 3-7 血糖来源和去路示意图

胰岛是胰腺内具有内分泌功能的细胞团，其中的胰岛 A 细胞能分泌胰高血糖素，胰岛 B 细胞能分泌胰岛素（图 3-8）。

胰岛受自主神经的直接支配，当自主神经的活动发生变化时，胰岛素和胰高血糖素的分泌也会发生相应变化，以快速适应机体代谢活动的需要。例如，当机体的体力活动或精神活动增强时，交感神经兴奋使胰高血糖素分泌增多，促进肝糖原分解使血糖升高。反之，当机体安静时，副交感神经兴奋水平提高，使胰岛素分泌增多，促进组织细胞摄取和利用葡萄糖。

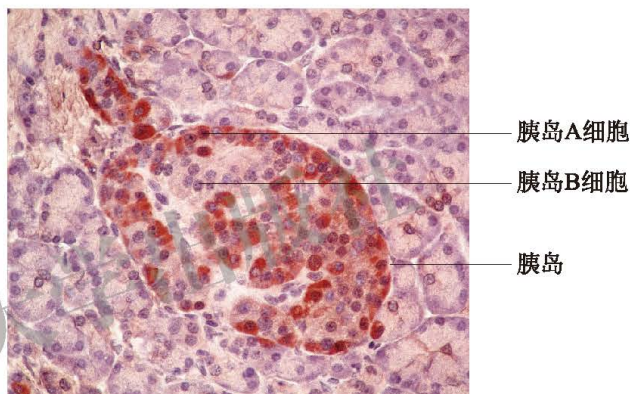


图 3-8 胰岛位置和组织结构（400×）

动物被切除整个胰腺后，胰岛素的降血糖作用消失，在各种升血糖激素的作用下会出现严重的高血糖，当血糖过高时，就会从肾脏排出而出现糖尿。此外，因为机体缺乏胰岛素，葡萄糖不能被组织细胞吸收、利用，而葡萄糖是组织细胞的主要供能物质，所以被切除胰腺的动物在短时间内就会因能源耗竭而死亡。

被切除大部分胰腺的动物，在各种调节机制作用下，保留的胰岛所分泌的胰岛素和胰高血糖素仍可维持正常的血糖水平，但是在给予过量葡萄糖的情况下，剩余的胰岛 B 细胞活动过度而损伤，致使胰岛素分泌不足而引起高血糖。

另外，胰高血糖素还可以直接作用于胰岛 B 细胞，促进胰岛素的分泌；而胰岛素也可以直接作用于胰岛 A 细胞，抑制胰高血糖素的分泌。

综上所述，血糖平衡主要受胰岛素和胰高血糖素的调节，而胰岛素和胰高血糖素的分泌受神经系统、激素与血糖浓度的多重调节（图 3-9）。

### 思考

机体活动水平改变时，胰岛素和胰高血糖素分泌的变化有何生理意义？

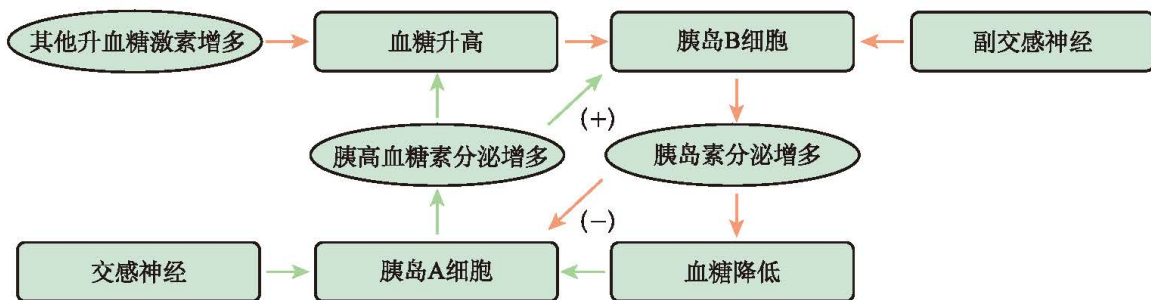


图 3-9 血糖平衡调节示意图

糖尿病是由胰岛素分泌不足或作用障碍导致血糖调节异常而引起的疾病，预防和控制糖尿病要“管好嘴、迈开腿”。不暴饮暴食，避免过多的糖类物质摄入导致血糖浓度过高，要经常进行体育锻炼，通过加速体内物质氧化分解，降低血糖，增强机体免疫力。同时注意避免长期情绪紧张、过度焦虑、睡眠不足，降低由神经调节异常而导致糖尿病发生的风险。

## 大脑、下丘脑和多种激素参与水盐平衡调节

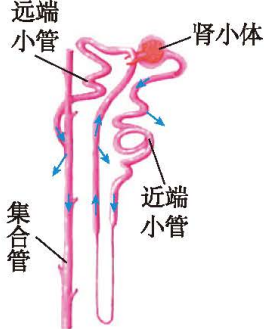
人在大量出汗后或饮食过咸时，尿量会减少，同时会感到口渴而引发饮水行为。在大量饮水后，尿量就会增多。机体缺水后尿量减少，可避免机体水分的继续丢失，但若不能及时补充水分，机体的缺水状态难以缓解。机体的水盐平衡是在肾脏排尿量调节和饮水行为调节的协同作用下实现的。那么，机体是如何调节肾脏排尿量和饮水行为的呢？

细胞外液的渗透压是调节肾脏排尿和饮水行为的重要因素。机体缺水或饮食过咸都会导致细胞外液的渗透压升高，刺激下丘脑内的渗透压感受器。渗透压感受器产生的兴奋一方面传到大脑皮层，产生渴觉并激发饮水行为；另一方面作用于下丘脑内能分泌抗利尿激素（ADH）的神经元，使ADH分泌增加。ADH经血液运输到肾脏，促进肾小管和集合管对水的重吸收，从而减少尿的排出（图3-10）。

### 小资料

#### 集合管

集合管与肾单位的远端小管相连，对机体的水平衡调节起着重要作用。集合管可收集来自多个肾单位的液体。集合管管壁的上皮细胞在ADH



的作用下，对水的通透性增加，集合管内液体的水分被重吸收入血，尿量减少。大量饮水后，ADH分泌减少，集合管对水的重吸收减少，尿量增加。



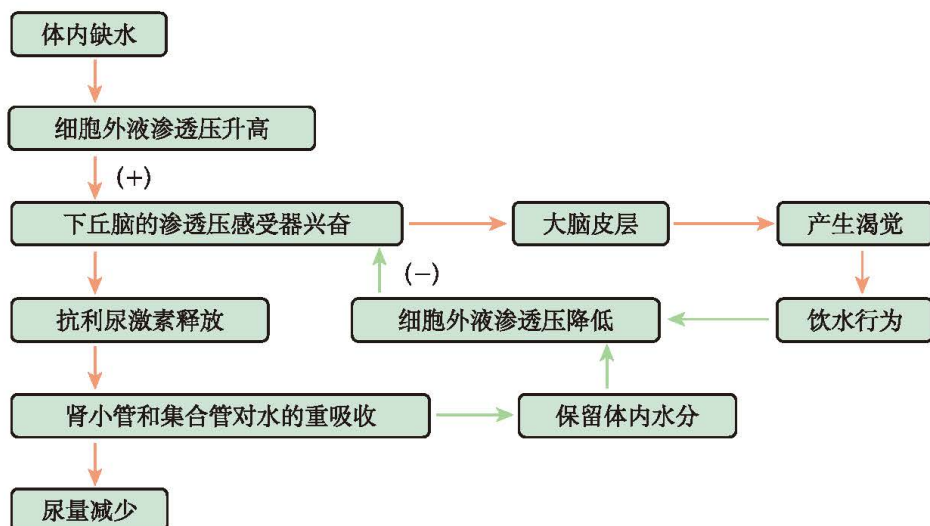


图 3-10 机体水平衡调节示意图

血液中无机盐含量能影响相应激素的分泌，从而调节水盐平衡。例如，肾上腺皮质分泌的醛固酮能促进肾小管和集合管对  $\text{Na}^+$  的重吸收和对  $\text{K}^+$  的排泄，即“保钠排钾”作用。当血钠含量降低或血钾含量升高时，可直接刺激肾上腺皮质分泌醛固酮；当血钠含量升高或血钾含量降低时，醛固酮分泌减少（图 3-11）。有研究表明，血钠含量降低时，机体对食盐的主动摄取行为增强。

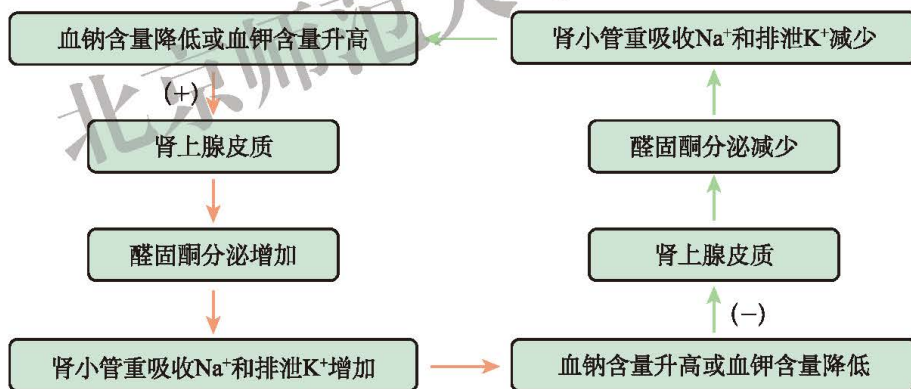


图 3-11 血钠、血钾平衡调节示意图

各种原因导致的细胞外液渗透压的变化，一方面影响抗利尿激素、醛固酮等激素的分泌，调节肾脏对水或无机盐离子的排出量，另一方面影响机体的饮食行为，调节水和无机盐的摄入量，维持机体的水盐平衡。

饮食中长期缺乏某种无机盐会引起机体形态异常或功能缺陷。例如，儿童长期缺钙会导致佝偻病，缺铁会导致贫血，缺碘会导致甲状腺激素合成不足等。而无机盐摄入过多或代谢障碍使无机盐沉积于体内也会对机体造成危害。例如，钙过量可增加患肾结石的风险，铁过量可引起血色素沉着病导致器官损伤，碘过量可导致高碘性甲状腺肿。因此，对各种无机盐的摄入量应慎重，既不要低于适宜摄入量，也不应超过人体可耐受的最高摄入量。

## 神经和体液共同调节实现体温稳定

体内的各种生理生化过程，特别是由各种酶参与的代谢活动都需要一个适宜的温度范围，体温过高或过低，都将引起酶活性的改变，从而导致生理功能障碍，甚至危及生命。那么，体温的相对稳定是如何调节的呢？

体温的相对稳定是机体产热量和散热量保持动态平衡的结果。机体的产热量与代谢强度密切相关，肌肉运动、精神活动、环境温度过低、进食等都会增加机体的产热量。人体产生的热量，90%以上经皮肤散发到外界，小部分随呼吸、排便散失。

皮肤的散热方式有辐射、对流、传导和汗液蒸发。各种散热方式和散发热量的多少取决于皮肤和环境之间的温度差。当环境温度接近或超过皮肤温度时，辐射、对流、传导散热的方式便失去作用，人体甚至还会从环境中吸收热量。这时，人体几乎完全靠汗液蒸发来散热。

人的体温调节包括行为性调节和生理性调节。行为性调节是指在意识控制下，通过相应的行为活动达到御寒或祛暑的目的。生理性调节是指非意识控制下的反馈调节。皮肤、黏膜、内脏以及脊髓、脑干、下丘脑等部位存在温度感受器，能把体内、外温度变化的信息传递给下丘脑的体温调节中枢，然后经传出神经或体液途径，调节产热和散热反应，从而维持体温稳定。

机体的散热反应主要包括皮肤血管扩张、出汗等，产热反应主要包括寒战、肾上腺素等激素分泌增加等。

机体因剧烈运动等产热过多，或处于炎热环境中时，对热敏感的温度感受器兴奋，该兴奋传至下丘脑的体温调节中枢，经传出神经引起皮肤血管扩张，增加皮肤血流量，并促进汗腺分泌，从而增加散热量。

在机体受到寒冷刺激时，皮肤血管收缩以减少热量散失；骨骼肌紧张性提升，甚至发生寒战，增加产热；交感神经活动增强，肾上腺素分泌增多，使机体代谢活动增强，产热量增加。另外，长时间处于寒冷环境中，还会刺激下丘脑释放促甲状腺激素释放激素，进而引起垂体释放促甲状腺激素，引起甲状腺分泌甲状腺激素，使机体的代谢产热增加（图 3-12）。

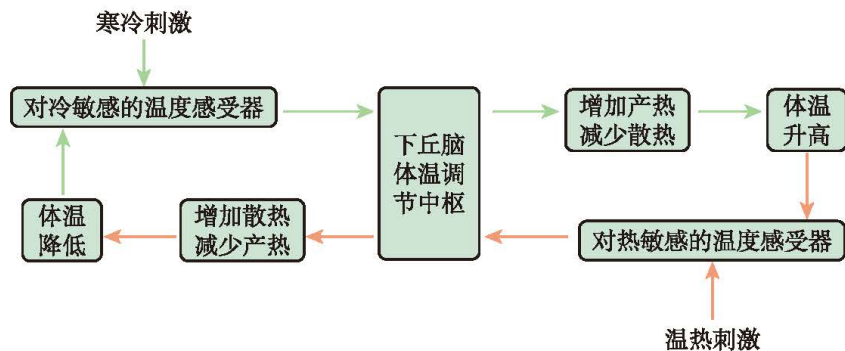


图 3-12 体温平衡调节示意图

体温持续地高于正常水平称为发热。导致发热的因素有很多，如感染、组织损伤、免疫异常、恶性肿瘤、中暑等，其中以感染引起的发热最为常见。一般情况下，发热是机体对感染的一种适应性反应，在一定程度上可增强机体的免疫功能，有利于消灭病原体。但体温过高可能对身体造成伤害，应及时就医。

体温调节和水盐平衡调节的过程和结果说明，神经调节与体液调节相互协调共同维持机体的稳态。

## 其他体液成分参与稳态调节

在体液中除激素外，还有一些其他成分也参与机体的代谢调节。当人逃离有害气体环境时，会尽力屏住呼吸。逃离后，能够明显感到呼吸加深、加快，这是由于屏气过程中，血液的  $\text{CO}_2$  分压升高，通过刺激机体的  $\text{CO}_2$  感受器，使延髓内的呼吸中枢兴奋，调节呼吸运动的深度和频率。这一调节过程能够排出体内多余的  $\text{CO}_2$ ，保证血液中  $\text{O}_2$  分压的相对稳定，有利于细胞内氧化分解的正常进行。

另外，机体代谢所产生的  $\text{CO}_2$  能与  $\text{H}_2\text{O}$  结合形成  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ，而  $\text{H}_2\text{CO}_3$  溶于水后解离出的  $\text{H}^+$  在体内积累过多，会导致体液 pH 降低，从而影响内环境稳态。 $\text{CO}_2$  作为调节物质在维持机体 pH 稳定中同样发挥着重要作用。

呼吸担负着机体与外界环境进行气体交换的功能。呼吸运动是由骨骼肌完成的，在清醒状态下，我们可在一定时间内屏气或加深、加快呼吸。正常情况下，机体能自动调节呼吸的深度和频率以适应代谢水平的变化，即使在睡眠中，也不用担心呼吸会停止。这是因为有许多因素调节着呼吸运动。在这些因素中， $\text{CO}_2$  发挥着重要作用。

### 实践应用 讨论

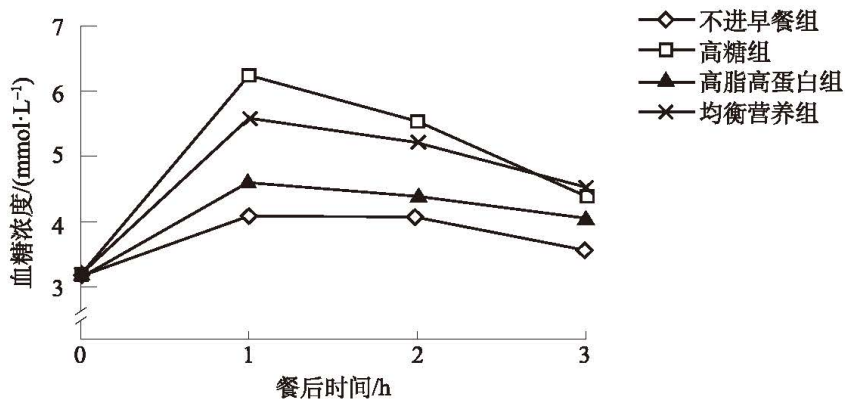
#### 钙离子平衡的调节机制

$\text{Ca}^{2+}$  在神经传递、肌肉收缩、激素分泌、信号转导等方面都发挥着重要作用。搜集资料，从  $\text{Ca}^{2+}$  的代谢及相关激素的生理作用、分泌调节、相互关系等方面进行归纳、整理，分析  $\text{Ca}^{2+}$  平衡的调节机制，讨论各器官、系统在调节过程中是如何协调发挥作用的。

### 检测评价

1. 某研究小组选取 40 名健康的学生志愿者，按平时早餐习惯分成不进早餐组、高糖组、高脂高蛋白组和均衡营养组，按组别给予相应的早餐，并分别于空

腹（餐前）和餐后 1 h、2 h、3 h 取静脉血检测血糖浓度，实验期间学生志愿者不食用其他食物，实验结果如下图所示。



请回答下列问题：

(1) 不进早餐组 3 h 后表现出精力不旺盛、注意力不集中，请阐述原因。

(2) 在 4 组实验中，早餐后高糖组血糖浓度升得最快，请分析发生机制。

(3) 胰岛素分泌的调节方式既有体液调节又有神经调节，这与胰岛 B 细胞表面的多种受体有关。下列物质中可被该细胞受体识别的有\_\_\_\_\_。

- ①胰淀粉酶    ②胰高血糖素    ③促甲状腺激素    ④神经递质

2. 人在长跑、踢足球、打篮球等剧烈运动过程中往往会大量出汗、脸红、乏力，之后还会出现肌肉酸胀，这些都是由剧烈运动时体内发生的多种生理变化所致。请回答下列问题：

(1) 大量出汗会导致失水增多，这种状态下机体如何维持水盐平衡？根据汗液成分分析，大量出汗后除了补水，还应该补充什么物质。

(2) 机体剧烈运动的能量来源是什么？脸红的原因是什么？这一过程中机体是如何调节体温的？

(3) 为什么运动后会出现肌肉酸痛的现象？应该采取什么措施使其尽快缓解？



## 开阔眼界

### 正确认识“发热”

关于体温调节的机制，研究者提出了多种假说，其中影响最大的是“调定点”学说。这一学说认为人体有一确定的体温调定值——37℃。体温偏离这一数值，能反馈作用于下丘脑的体温调节中枢，通过调节散热和产热过程，维持体温的恒定。

发热是由于致热原的作用使体温调定点上移而引起的调节性体温升高，是

由于各种原因导致产热增加或散热减少。一般情况检测腋下体温 10 min, 超过 37℃ 可定为发热, 也就是人们常说的发烧。

发热虽然通常伴随着疾病的发生, 却是对感染等异常状态的应激反应, 具有一定的生理意义: 发热引起的高温超过了许多病原体生长的最适温度, 能抑制这些病原体的繁殖; 发热引起的高温会使病毒的酶或毒素失活; 发热通过提高人体自身的代谢速率来提高免疫水平, 缩短感染过程; 发热会使人产生不适感而注意休息, 有更多的体能来对付感染。

另外需要注意, 发热过程中产热大于散热, 所以适当减少衣物, 有利于皮肤散失热量以达到退热目的。

正确认识发热能够帮助人们采用恰当的治疗或者辅助治疗的方法, 有利于机体尽快恢复正常稳态。

北京师范大学出版社

## 第五节 激素的应用

每当太阳落山、夜晚悄悄降临的时候，那些白天活动的动物都回到了各自的巢穴休息并躲避天敌的侵害。但是，养鸡场的鸡舍内仍然灯火通明，鸡欢快地啄食饮水，鸡鸣声此起彼伏，生机勃勃。延长光照时间在鸡的养殖中有何作用？其作用机制又是什么呢？

### 激素在多个领域有广泛应用

在畜牧养殖业、农业、医药产业等多个领域，激素都有广泛的应用。

在自然状态下，禽类的产卵、兽类的换毛等都是受日照长短的影响，由激素调节的。因此，在养殖中，通过改变光照周期干预动物的激素分泌，或直接给予激素，可以调节动物产卵或换毛。养鸡场通过增加光照时间，刺激母鸡的下丘脑分泌促性腺激素释放激素（GnRH），GnRH 作用于垂体，使垂体分泌的促性腺激素增多，刺激卵巢分泌雌激素和产卵，从而提高母鸡的产蛋量（图 3-13）。水貂、狐狸等动物的换毛，是由脑内松果体分泌的褪黑激素（MLT）所控制的。短日照条件下，褪黑激素分泌增多，促进动物换毛。通过人工控制光照或皮下埋植褪黑激素，能诱导动物提前换毛和冬毛早日成熟。



图 3-13 改变光照周期提高母鸡产蛋量

奶牛在产犊之后开始泌乳，通常在 10 个月后停止泌乳，进入“干奶期”，直到下次产犊才能再次泌乳。牛的妊娠期在 280 天左右。因此，在产犊后的适当时间给母牛注射 GnRH 或类似药物，促进母牛发情，配合及时配种或人工授精，能缩短“干奶期”，提高产奶量。

生长激素具有促进蛋白质合成、减少脂肪沉积等作用。现已能用重组 DNA 技术生产猪生长激素（PST），给猪注射 PST 可促进猪的生长，提高饲料利用率和瘦肉率。

在农业害虫的防治上，可用昆虫的性外激素作为性引诱剂，干扰昆虫交尾，降低害虫繁殖率；适时喷洒保幼激素，使害虫形成超龄幼虫，失去繁殖能力，降低害虫数量；使用

蜕皮激素促使害虫的幼虫提前蜕皮而死亡。在桑蚕养殖方面，将小剂量保幼激素类似物喷洒到末龄桑蚕体表，可延长老熟桑蚕的生长期，增加蚕丝产量（图 3-14）。



图 3-14 用保幼激素类似物延长老熟桑蚕的生长期

在医药产业中，现已研制出多种激素类药物用于治疗各类疾病。例如，用胰岛素治疗糖尿病，用甲状腺激素治疗甲状腺机能减退，用重组人促红细胞生成素治疗贫血，用糖皮质激素治疗多种炎症等。

### 激素过度或不正确使用危害很大

激素的不当使用会给人类健康带来威胁。研究表明，给奶牛使用牛生长激素，牛患乳房炎的概率会增加，给公众健康带来潜在的危害。某些化妆品违规添加雌激素使美容、丰胸效果明显，但过多的雌激素持续刺激乳腺可能增加乳腺癌的发生概率。

有些运动员为了提高比赛成绩而把某些激素类药物作为兴奋剂来使用，严重损害奥林匹克精神，破坏运动竞赛的公平原则。除此之外，使用兴奋剂还会严重危害运动员的心理和生理健康。使用兴奋剂虽然可暂时提高运动成绩，但是往往会引起多种机能障碍，如心力衰竭，激动狂躁，成年女性男性化，男性患前列腺炎、糖尿病、心脏病等各种严重的疾病，甚至在比赛中猝死。

#### 实践应用 讨论

#### 滥用兴奋剂以及吸食毒品的危害

参照《反兴奋剂条例》和《中华人民共和国禁毒法》等，并通过网络、图书馆查询和走访当地戒毒机构的工作人员等途径搜集与兴奋剂、毒品相关的文献资料，讨论滥用兴奋剂以及吸食毒品对人的身心健康和公共安全等方面的危害，探讨危害人体健康的机制，宣传我国关于反兴奋剂和禁毒的法规和政策。

### 检测评价

1. 机体的生长、发育受激素的调节。在生产实践中，常采用特定的方法调节机体的激素分泌，或者外源给予激素改变体内激素含量，达到增产增收的目的。请回答下列问题：

(1) 以下措施中，属于外源给予激素的是 ( )。

- A. 延长光照时间以促进母鸡产卵
- B. 改变光照时长以促进动物提前换毛
- C. 阉割雄性动物以提高肉质
- D. 皮下埋植激素缓释药物调节动物生殖周期

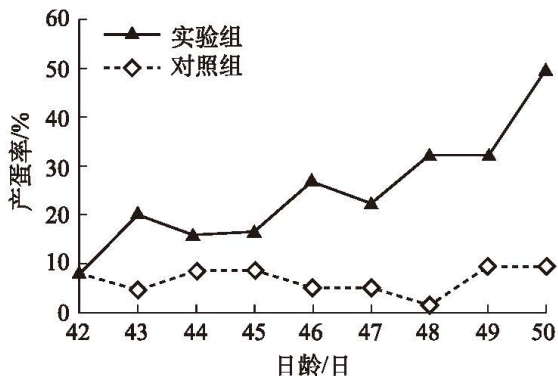
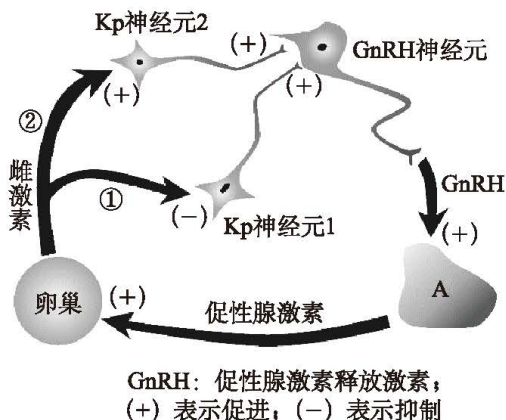
(2) 激素的化学性质不同，给予激素的方法也不一样。不宜采用口服方式的两种激素是 ( )。

- A. 生长激素和性激素
- B. 肾上腺素和胰岛素
- C. 生长激素和胰岛素
- D. 甲状腺激素和性激素

(3) 欲观察某动物甲状腺功能亢进引起的症状，合理的实验方法是 ( )。

- A. 切除正常动物的甲状腺
- B. 给切除甲状腺的动物饲喂甲状腺激素
- C. 用甲状腺激素持续饲喂正常动物
- D. 用治疗甲亢的药物持续饲喂正常动物

2. Kp-10 是 Kp 神经元产生的一种激素，它通过调节生物体内雌激素含量来调控生殖活动，其调节过程如下面左图所示。为研究 Kp-10 对鹤鹑产蛋的影响，对 20 日龄的鹤鹑连续 20 日腹腔注射一定剂量的 Kp-10，从产蛋之日起统计每日的产蛋率，结果如下面右图所示。



请回答下列问题：

(1) 通常情况下，左图中过程\_\_\_\_\_ (填写图中数字) 参与鹤鹑体内雌激素含量的调节，维持较低的雌激素含量。而排卵期则启动过程\_\_\_\_\_ (填写图中数字) 进行调节，促进排卵。图中器官 A 是\_\_\_\_\_。



(2) 实验中所注射的 Kp-10 作用的靶器官是\_\_\_\_\_。据右图可知, Kp-10 \_\_\_\_\_(影响/不影响) 鹤鹑开始产蛋的日龄。在 42~50 日龄内, Kp-10 对产蛋率的影响是\_\_\_\_\_。

(3) Kp-10 调控鹤鹑产蛋的方式属于\_\_\_\_\_调节。



### 开阔眼界

## 环境激素

环境激素是指存在于环境中, 能够使动物内分泌功能失调的一类化学物质, 常见的有二噁英、壬基酚、DDT (双对氯苯基三氯乙烷)、塑化剂等。

二噁英是环境激素中分布最广、危害最大的一类。它能引起雌性动物卵巢功能障碍, 抑制雌激素的作用, 使雌性动物不孕、胎仔数减少、流产等; 能引起雄性动物的精细胞减少、成熟精子退化、雌性化等。

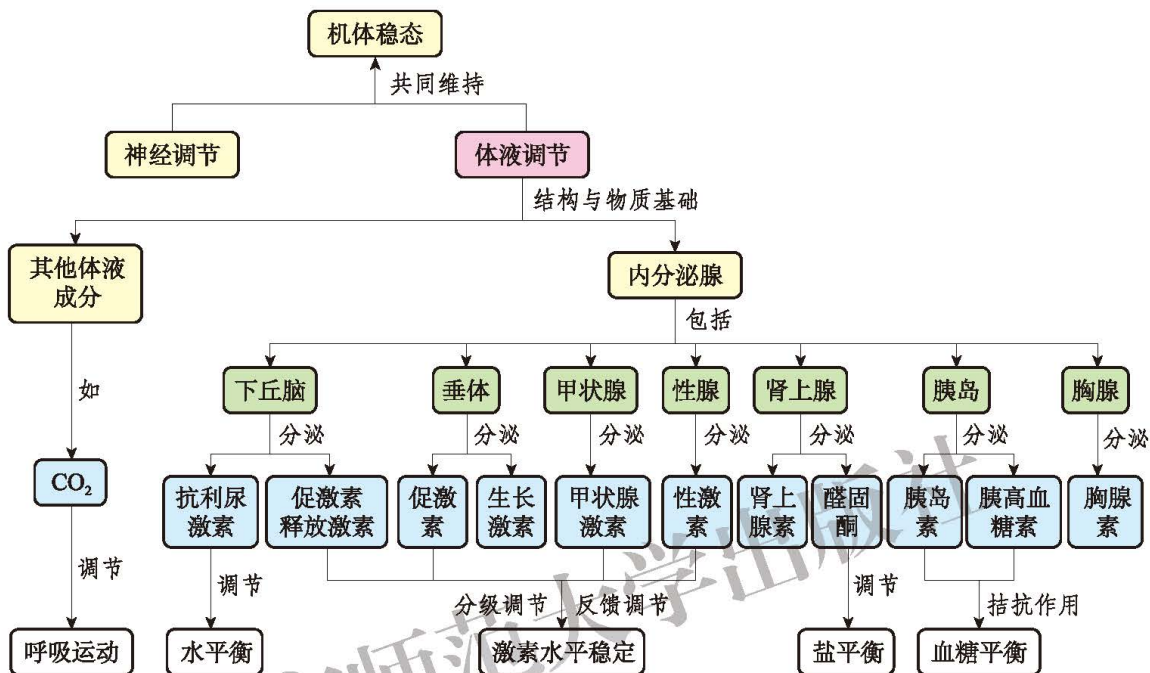
除了直接影响内分泌功能, 环境激素还能与天然激素的受体结合, 阻断“激素-受体复合体”的生成, 有时还会作为分子信息间接启动基因, 改变细胞生长与分裂程序等, 通过多种方式对人和动物体产生危害。

制药、塑料制品添加剂生产、除草剂的使用和垃圾处理等, 都有可能产生和释放环境激素, 对环境造成危害。环境激素大多具有不易分解、随食物链富集、随风飘散等特点, 因此, 容易在较大区域内造成危害。

日常生活中减少环境激素危害的途径有: 减少使用或尽量不使用一次性用品, 不用微波炉加热聚氯乙烯塑料容器, 不用泡沫塑料容器泡方便面, 少用洗涤剂, 简化房屋装修, 回收废旧电池, 减少农药使用量等。

## 本章小结

### ● 基础知识梳理



内分泌系统主要由内分泌腺组成，它们分泌多种类型的激素，通过体液传送到相应的靶细胞，影响靶细胞的代谢活动。各种激素之间通过协同、拮抗等作用，调节机体的生长、发育、生殖等生命活动，并与神经系统相互协调、共同作用，对体温、血糖平衡、水盐平衡等进行调节，实现机体稳态。机体通过分级调节和反馈调节维持激素水平相对稳定，从而使各种生理活动正常进行。除激素外，其他一些体液成分也参与机体稳态的调节，如  $\text{CO}_2$  对呼吸运动的调节等。

### ● 学科素养提示

结合科学家研究内分泌调节的历程，举例说明激素功能研究中的加强法和阻断法等原理。通过探究甲状腺激素对生长发育的生理作用、构建利用光照提高母鸡产蛋率的调节模型等科学探究活动，提高科学思维和科学探究能力，能对激素在农业、养殖业和医药业的应用现状和前景进行科学分析。通过讨论生活用品或食品中含有过量激素对身体健康的危害、讨论滥用兴奋剂和吸食毒品的危害等实践活动，自觉抵制激素的过度 and 不当使用，反对滥用兴奋剂及吸食毒品等行为。

The top half of the page features a vibrant green background with several green, rod-shaped bacteria. Interspersed among them are blue Y-shaped antibodies, some of which are shown binding to the surface of a larger, central bacterium. The overall scene is set against a dark green, slightly blurred background, suggesting a microscopic environment.

## 第 4 章

# 机体稳态的免疫调节

在我们生活的环境中，存在着许多有致病作用的细菌、病毒等病原体，机体本身也常常会产生一些异常的细胞，但一般情况下，这些病原体和体内的异常细胞并不能对人体造成危害。若皮肤受到轻微损伤，伤口有时候也会因病原体感染而发炎，但常常不需要特殊治疗而能自愈。是哪些结构和物质使我们的机体能够抵抗病原体的侵袭呢？



### 学习目标

1. 在理解机体免疫应答的不同方式及其结构基础等知识的基础上，形成稳态与平衡观、局部与整体观等生命观念，认识免疫调节维持机体稳态的特点，分析各种免疫应答方式之间的关系。
2. 基于免疫反应的基本原理，运用概括与归纳等科学思维方法，用图示、模型等方式，阐释机体识别和清除病原体与自身异常细胞的机制，分析出现器官移植排斥反应的原因及其预防措施。
3. 针对免疫功能异常引起的疾病，能结合具体病例，提出问题，设计相应的研究方案寻找证据，探讨病因，并尝试提出预防和治疗建议。
4. 主动关注免疫制剂的应用现状，运用免疫学的原理，分析免疫调节剂的作用及其开发前景，宣传我国免疫预防接种的政策和成就。

## 第一节 免疫系统的构成

刚一入冬，一股寒流就滚滚袭来，气温骤降，不少人感到咽部干痒、灼热，开始咳嗽。随后咽部开始疼痛，吞咽时痛感加重，咽部黏膜红肿，两侧下颌下方可触摸到肿块，并有明显压痛。这是病原体侵入了我们机体所引起的免疫反应。有哪些器官、细胞和物质参与了机体的免疫反应呢？



### 寻找证据 阅读

阅读下面资料，重点关注机体内发挥抗感染作用的器官、细胞和物质。

为了研究在体内发挥免疫功能的细胞，科学家用小鼠做了一系列实验。

用大剂量放射线处理小鼠后，小鼠很容易被病原体感染。

向经放射线处理后的小鼠注射来自胸腺的淋巴细胞，小鼠的抗感染能力得到一定恢复，但未从小鼠的体内检测到抗体。

向经放射线处理后的小鼠注射来自骨髓的淋巴细胞，可从小鼠体内检测到少量抗体，但小鼠的抗感染能力仍不能完全恢复。

向经放射线处理后的小鼠同时注射来自胸腺和来自骨髓的淋巴细胞，小鼠的抗感染能力基本恢复正常，并且能从小鼠体内检测到大量抗体。

根据阅读获得的信息，思考下列问题：

1. 被大剂量放射线处理的小鼠很容易被病原体感染，说明了什么？
2. 淋巴细胞的功能是什么？
3. 来自胸腺的淋巴细胞与来自骨髓的淋巴细胞在功能上有何异同点？
4. 胸腺、骨髓、淋巴细胞、抗体与机体的免疫功能有什么关系？

用大剂量放射线处理小鼠后，小鼠很容易被病原体感染，说明放射线能破坏小鼠的免疫系统。在破坏小鼠的免疫系统后，再分别注射来自胸腺的淋巴细胞（T 细胞）或来自骨髓的淋巴细胞（B 细胞），小鼠的抗感染能力都能得到一定程度的恢复，说明淋巴细胞具有抵抗病原体感染的免疫作用。但是，在注射 T 细胞后，小鼠体内检测不到抗体，说明 T 细胞不需要抗体即可发挥免疫作用。在注射 B 细胞后，在小鼠的抗感染能力得到部分恢复的同时，可在小鼠体内检测到少量抗体，说明 B 细胞的免疫功能可能是通过抗体实现的。在同时注射 T 细胞和 B 细胞后，小鼠的免疫功能可基本恢复正常，同时有大量抗体产生，说明 T 细胞制约着某些抗体的产生，并且机体的免疫功能需要 T 细胞和 B 细胞共同作用。

在上述资料中，胸腺、骨髓属于免疫器官，T 细胞和 B 细胞属于免疫细胞，抗体属于

免疫活性物质。

免疫器官是指主要由淋巴细胞构成的器官或者培育淋巴细胞的器官，如胸腺、骨髓、淋巴结、脾等（图 4-1）。

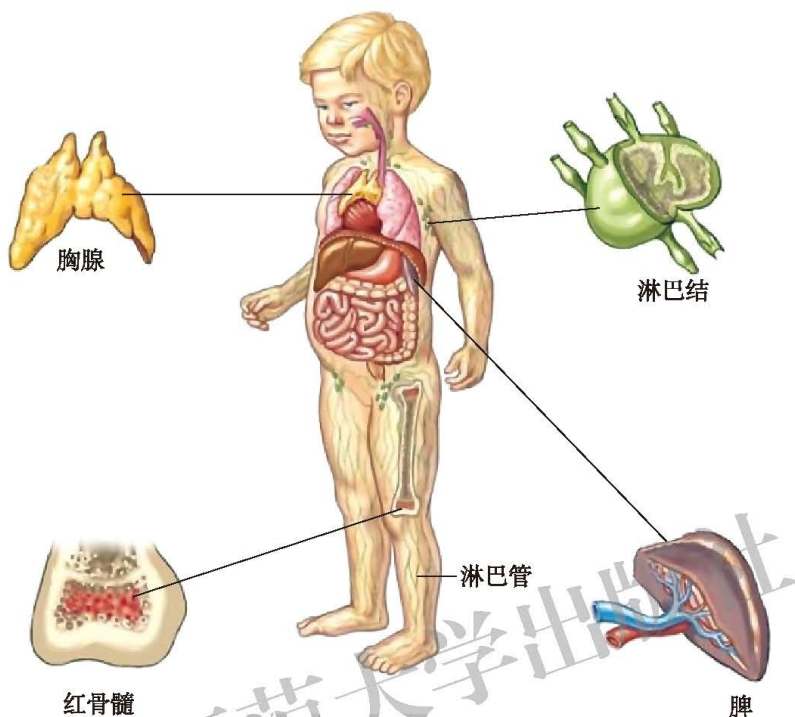


图 4-1 人的主要免疫器官

免疫细胞是指参与免疫反应的细胞或与免疫反应相关的细胞，如 T 细胞、B 细胞、巨噬细胞、嗜中性粒细胞等。胸腺和骨髓分别是 T 细胞和 B 细胞分化、发育和成熟的场所（图 4-2），称为中枢免疫器官。淋巴结、脾等是 T 细胞和 B 细胞发生免疫应答的场所，称为周围免疫器官。淋巴细胞在中枢免疫器官发育成熟后，迁移至周围免疫器官，并在其中发挥免疫作用。病原体进入周围免疫器官后，可诱导其中的淋巴细胞增生而使免疫器官发生肿大，病原体被清除后周围免疫器官可恢复正常。

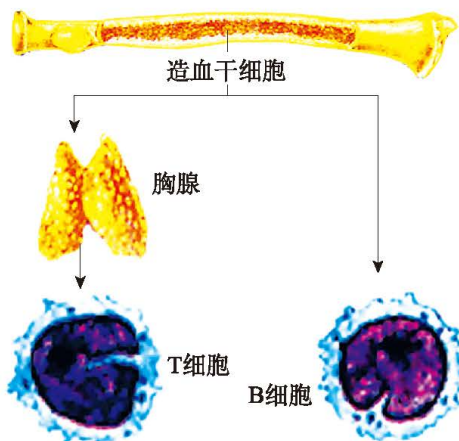


图 4-2 淋巴细胞的发生

免疫活性物质是指参与免疫反应的化学物质，如抗体、补体、干扰素、溶菌酶等。

免疫细胞、免疫器官和免疫活性物质共同构成了免疫调节的结构和物质基础。

病原体几乎无处不在，但如果机体的免疫功能强盛，入侵病原体的毒力相对较弱或数量较少，病原体只对机体产生轻微损害，并且在机体的免疫作用下会很快被消灭。然而，如果机体免疫能力较弱，入侵病原体毒力相对较强且数量较大，就会导致机体组织受损和功能异常。因此，我们应保持良好的生活习惯，坚持科学地锻炼身体，使免疫功能保持较

高水平。同时，在传染病流行期间，应注意采取相应的保护措施，减少感染疾病的机会或降低病原体的危害程度。

### 实践应用 交流

## 干扰素的应用

干扰素是一种广谱抗病毒剂。它虽然不直接杀伤或抑制病毒，但可以通过细胞表面受体的作用使细胞产生抗病毒蛋白，对多种病毒感染性疾病具有疗效。干扰素还能增强自然杀伤细胞（NK细胞）、巨噬细胞和T细胞的活力，从而起到免疫调节作用，增强机体的抗病毒能力。通过网络、查阅书刊等途径搜集资料，从干扰素的类型、制备方法、作用机制、应用范围和应用前景等方面进行归纳和整理，与其他同学进行交流和讨论。

### 检测评价

1. 在我们生活的环境中，有许多病原体，但在免疫机能健全的情况下，人体可以抵抗这些病原体的入侵。免疫系统的构成或其功能有缺陷时，机体就易于被病原体感染而患病。请回答下列问题：

- (1) 关于免疫系统的构成，下列说法正确的是（ ）。
- A. 免疫活性物质有抗体、补体、干扰素、溶菌酶等
  - B. 免疫细胞和免疫器官共同构成了免疫调节的结构和物质基础
  - C. 淋巴细胞有T细胞、B细胞、巨噬细胞、嗜中性粒细胞等
  - D. 只有B细胞与抗体的产生有关，T细胞与抗体的产生无关

- (2) 如果某人胸腺发育不全，该患者将会出现的症状是（ ）。
- A. 造血干细胞数目显著减少
  - B. B细胞数目显著减少
  - C. 完全不能产生抗体
  - D. T细胞数目显著减少

(3) 为什么在气温骤变时，人们更容易患病？采取哪些措施可以降低患病风险？依据是什么？

2. 为了研究胸腺在淋巴细胞发育和成熟中的作用，科学工作者切除初生期动物的胸腺，待动物长大后观测，发现其淋巴结和脾内的T细胞分布区明显萎缩，B细胞分布区无变化，但体内的抗体水平有所降低。请回答下列问题：

- (1) 分析胸腺的功能与淋巴结和脾的功能联系。
- (2) 初生期被切除胸腺的动物，成年后其体内的抗体水平有所降低，请分析可能原因。

(3) 切除成年动物的胸腺能否获得前述实验结果？为什么？

(4) 欲恢复初生期被切除胸腺的动物的免疫功能，有哪些可能的途径和方法？



## 开阔眼界

### 祖国医学对免疫学的贡献

我国古代医学家把具有传染性的疾病称为“疫”，把致病因素称为“邪气”，而把人体的抗病能力称为“正气”。早在2000多年以前的《黄帝内经》中就有“正气存内，邪不可干”“邪之所凑，其气必虚”等论述，这些朴素的免疫学思想与现代免疫学的观点不谋而合。祖国医学对免疫学的实践应用具有突出贡献。例如，用人痘接种的方法来预防天花，其基本方法是取天花患者的少量痘浆或痘痂，置于健康儿童的鼻孔内，使其获得对天花的免疫能力。该法在宋代就有应用，至明代时，痘苗有了长足进步，已有时苗（生苗）和种苗（熟苗）之分。清代《种痘心法》记载，“选时痘之极顺者，取其痂以为苗，是名时苗”“若时苗能连种七次，精加选炼，即为熟苗”，说明当时人们已经掌握了通过人体连续接种降低痘苗毒力来制备熟苗的方法。据清代《种痘新书》记载，人痘接种法在明代隆庆时期已经风行全国。到了清代，该方法逐渐传播到朝鲜、土耳其及北欧国家。18世纪中叶，人痘接种法已传遍欧亚。直到18世纪末，牛痘接种法出现，才逐渐取代了人痘接种法。我国的人痘接种法比牛痘接种法早了近千年。



记载免疫疗法的祖国医学著作

## 第二节 非特异性免疫

正常皮肤表面常附着许多微生物，但一般并不会对人体造成伤害。皮肤受到损伤后，会出血或有一些液体渗出，然后形成血痂，局部红肿。几天后，皮肤的红肿现象消失，皮肤细胞再生，血痂脱落。在这一过程中，体内的免疫系统是如何发挥作用的呢？



### 寻找证据 阅读

阅读下面资料，重点关注唾液的溶菌作用和嗜中性粒细胞的吞噬作用。

**资料 1.** 在刚制备好的含微球菌琼脂平板上打两个直径 5 mm 的小洞。向一个小洞滴加 2~3 滴唾液，向另一个小洞滴加等量生理盐水，然后将平板放入 37℃ 恒温培养箱培养 24 h。结果滴加唾液的小洞周围有一个透明的溶菌环（图 4-3），而在滴加生理盐水的小洞周围微球菌正常生长。

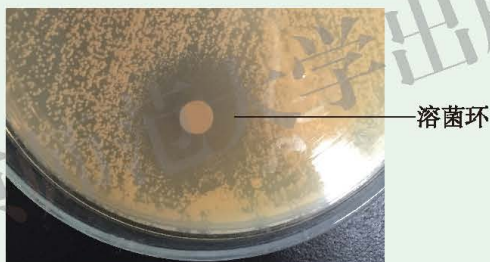


图 4-3 溶菌环

**资料 2.** 将灭活的白色葡萄球菌悬液与抗凝的新鲜血液混合，置于 37℃ 恒温培养箱中温育 30 min，取培养液制作涂片并染色，然后在高倍显微镜下观察，发现有的嗜中性粒细胞内有被吞噬的白色葡萄球菌（图 4-4）。



图 4-4 嗜中性粒细胞吞噬白色葡萄球菌 (400×)



根据阅读获得的信息，思考下列问题：

1. 滴加唾液的小洞周围微球菌不能生长，说明了什么？
2. 嗜中性粒细胞在体内如何有效杀灭细菌？它是怎样识别细菌的？
3. 唾液的溶菌作用和嗜中性粒细胞的吞噬作用属于非特异性免疫的原因是什么？非特异性免疫有哪些特征？

唾液中含有溶菌酶。溶菌酶能特异性地分解肽聚糖，而肽聚糖是细菌细胞壁的重要成分，所以，唾液能通过溶菌酶的杀菌作用抑制细菌的生长。除唾液外，人的泪液、鼻腔分泌物中也都含有一定量的溶菌酶。这些分泌物与皮肤、黏膜共同构成了人体抵御病原体侵入的屏障。

在病原体突破皮肤和黏膜屏障进入机体组织后，细菌本身的多糖类物质以及机体产生的一些化学物质能够吸引吞噬细胞向病原体侵入部位移动和聚集，称为吞噬细胞的趋化作用。吞噬细胞聚集到病原体侵入部位后，识别病原体并启动吞噬过程。嗜中性粒细胞是体内重要的吞噬细胞，其细胞质内含有丰富的溶酶体，能将吞噬的细菌分解（图 4-5）。一个嗜中性粒细胞可吞噬数十个细菌，而后嗜中性粒细胞解体释放各种溶酶体酶，后者溶解周围组织形成脓肿。除嗜中性粒细胞外，血液中的单核细胞、组织器官内的各种巨噬细胞等也都具有吞噬病原体的作用。

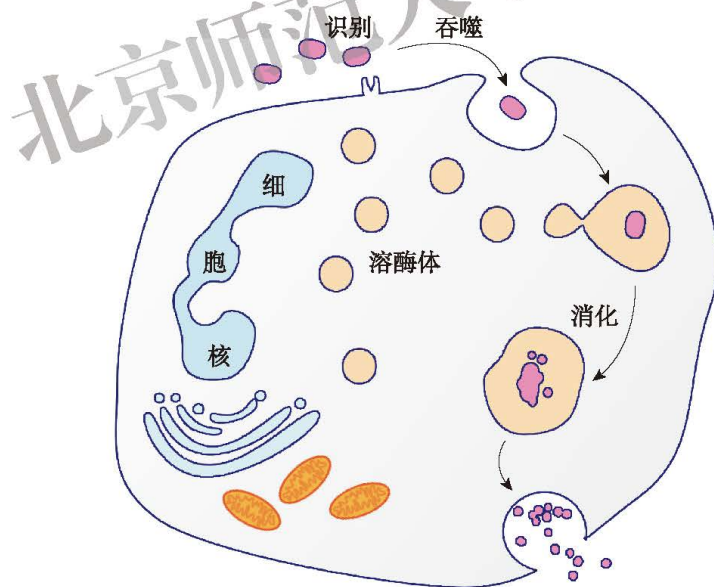


图 4-5 嗜中性粒细胞吞噬、消化细菌示意图

人体血浆中还有一组具有酶活性的蛋白质，称为补体。一般情况下，补体以非活化的形式存在，在病原体侵入后，补体就会被激活，破坏靶细胞膜的正常结构，导致靶细胞溶解。另外，补体与靶细胞结合后，还可以增强吞噬细胞的活性，促进吞噬细胞对靶细胞的吞噬。

溶菌酶、吞噬细胞和补体，对多种病原体都有免疫作用，属于非特异性免疫。体内具

有杀菌、抑菌作用的物质，具有吞噬作用的细胞，皮肤、黏膜等体外、体内的屏障结构共同构成了人体的非特异性免疫系统。

非特异性免疫具有反应速度快、作用范围广、免疫效果稳定、个体差异小、无免疫记忆等特点，是人体免疫功能的重要组成部分。如果相关结构遭到破坏，或相关细胞及分子减少，均会使人体易被病原体侵入而得病。例如，当皮肤有外伤时，应及时处理伤口，防止病原体经伤口侵入体内；抽烟等不良生活习惯会影响口腔黏膜和鼻黏膜的正常分泌，增加感染风险；用力抠鼻子、掏耳朵、揉眼睛等都有可能破坏或削弱人体表面屏障的作用，引发病原体感染，严重时导致听力或视力损伤。因此，养成良好的生活和卫生习惯对于提高人体的免疫能力非常重要。

### 检测评价

1. 人体的皮肤、黏膜、吞噬细胞、补体、溶菌酶等可以无选择性地阻止多种病原体侵入机体或杀灭侵入机体的病原体，构成了非特异性免疫系统。病原体侵入机体后，可以释放一些化学物质吸引吞噬细胞聚集于被病原体侵入的部位，有利于机体及时清除病原体。请回答下列问题：

- (1) 关于非特异性免疫的叙述，错误的是( )。
- A. 非特异性免疫是先天具有、可以遗传的
  - B. 非特异性免疫是特异性免疫的基础
  - C. 非特异性免疫只针对某些特定病原体起作用
  - D. 反应速度快、作用范围广、个体差异小、效果稳定
- (2) 关于吞噬细胞的叙述，不正确的是( )。
- A. 吞噬细胞的吞噬和处理过程可以针对多种病原体发挥作用
  - B. 吞噬细胞中溶酶体的含量非常丰富
  - C. 吞噬细胞中的水解酶可以将抗原水解为小分子
  - D. 吞噬细胞只存在于血液中
- (3) 下列物质中，能增强吞噬细胞活性的是( )。
- A. 溶菌酶和补体
  - B. 补体和干扰素
  - C. 黏膜上皮及其分泌物
  - D. 干扰素和溶菌酶

2. 在人的体表及与外界相通的消化道、呼吸道、泌尿生殖管道内，存在不同种类和数量的微生物。在正常的生理状态下，这些微生物并不致病，称为正常微生物菌群，菌群之间相互制约。正常微生物菌群失调，就会对人体造成不利影响。请回答下列问题：

- (1) 有人认为，人体内的正常微生物菌群是人体非特异性免疫的重要组成部分。这种说法对吗？阐述你的观点，并说明理由。
- (2) 周围环境、饮食等发生较大变化，往往会引起腹泻，试从肠道菌群、人

体与环境之间的相互关系论述其可能原因。

(3) 生活环境、饮食习惯不同的人,体内的正常微生物菌群是否会有差别?请用人体与环境相适应的观点予以解释。

(4) 抗菌药物应用不当,就会导致正常微生物菌群失调,请阐述其机制,并为抗菌药物的合理运用提出建议。



### 开阔眼界

## 炎症反应的利与弊

炎症就是我们所说的“发炎”,是机体组织对损伤性刺激的一种防御性反应,表现为受损处组织的发红、肿胀、疼痛、发热甚至发烧等。由病原微生物感染引起的炎症称为感染性炎症,由各种理化因素引起的炎症称为非感染性炎症。炎症引起组织损伤的同时,会诱发组织释放组织胺、溶酶体酶、前列腺素等,使局部毛细血管通透性增加,有利于血浆中抗菌物质的渗出和致炎刺激物的清除。此外,炎症还促使组织释放趋化因子,吸引吞噬细胞聚集于炎症部位,吞噬和消灭病原微生物。另外,炎症部位温度升高,并产生乳酸等物质,可以抑制病原微生物的生长和繁殖。这些都是对机体有益的方面。但是,严重而持久的炎症也会对机体组织造成损伤,甚至引发全身性的反应,影响整体机能状态。因此,炎症既是机体的一种积极防御反应,又是一种病理现象,是组织损伤和抗损伤的对立统一过程。当有炎症发生时,应注意控制炎症发展过程,将其限制在不对机体造成危害的程度。

## 第三节 特异性免疫

除了非特异性免疫之外，侵入机体的病原体、自身体内的异常细胞、异体移植物等抗原（antigen）也能刺激机体发生一系列生理反应，使机体有针对性地清除这些抗原，并且还能产生记忆，长期保持对这些抗原的免疫能力。这种后天获得的、针对特定病原体发生的免疫应答称为特异性免疫（specific immunity）。在特异性免疫应答中，发挥核心作用的是T细胞和B细胞。其中，T细胞介导的免疫应答称为细胞免疫（cellular immunity），B细胞介导的免疫应答称为体液免疫（humoral immunity）。

### 一 细胞免疫

结核分枝杆菌是一种胞内感染菌，可侵害人体多种组织和器官，引起结核病，其中以肺结核最为多见。结核分枝杆菌侵入机体被吞噬细胞吞噬后，其荚膜和细胞壁中的多糖和脂质成分可抑制吞噬细胞中吞噬体与溶酶体的融合，因而能在细胞内长期存活，并干扰宿主细胞的代谢，逃避宿主细胞的杀伤作用。另外，机体自身的细胞在代谢、更新、生长、发育等过程中也会产生一些异常细胞或癌变细胞，这些细胞也需要被及时清除，才能维持机体的稳态。那么，机体的免疫系统如何识别并清除这些被胞内病原体感染的细胞以及自身的异常细胞呢？



#### 寻找证据 阅读

阅读下面资料，重点关注对结核分枝杆菌具有免疫作用的细胞。

为了研究机体内能对结核分枝杆菌产生免疫作用的物质或细胞，科学家用适量的结核分枝杆菌感染小鼠，使小鼠产生对结核分枝杆菌的特异性免疫。采集这些小鼠（供体）的血清、巨噬细胞和淋巴细胞分别注射给未经免疫的正常小鼠（受体），再用结核分枝杆菌来感染这些受体小鼠。结果，只有被注射了供体小鼠淋巴细胞的受体小鼠能够抵抗结核分枝杆菌的攻击。进一步研究表明，初生期摘除胸腺的小鼠对结核分枝杆菌感染没有抵抗力。

根据阅读获得的信息，思考下列问题：

1. 对结核分枝杆菌产生免疫作用的是哪种细胞？根据是什么？
2. 供体小鼠能够产生对结核分枝杆菌的免疫能力的原因是什么？

3. 受体小鼠在被注射供体小鼠的淋巴细胞后能获得对结核分枝杆菌的持久免疫能力吗？为什么？

## T 细胞能识别在细胞表面与 MHC 分子结合的抗原

感染可使正常小鼠获得对结核分枝杆菌的免疫能力。采集这些小鼠的淋巴细胞注射给未经免疫的小鼠，可使未经免疫的小鼠获得对结核分枝杆菌的免疫能力。而初生期摘除胸腺的小鼠不能抵抗结核分枝杆菌的感染。由于胸腺是产生 T 细胞的中枢免疫器官，可见对结核分枝杆菌这种胞内感染病原体的免疫作用依赖于 T 细胞。

T 细胞不能直接识别细胞外液中“游离”的抗原，只能识别在细胞表面与 MHC 分子结合的抗原。侵入细胞的病原体所编码的蛋白、肿瘤细胞内的特异性蛋白等，在相应的细胞内被分解为小分子抗原肽，与 MHC 分子结合形成抗原肽-MHC 分子复合物并转移到细胞表面，即可被 T 细胞识别（图 4-6）。

### 小资料

#### MHC 分子

在移植实验中人们发现，动物的自体组织移植不发生排斥反应，异体组织移植就会发生排斥，这种决定个体特异性的、能引起强烈排斥反应的抗原就称为主要组织相容性抗原，编码这类抗原的基因群叫作主要组织相容性复合体（major histocompatibility complex, MHC），其表达产物统称为 MHC 分子。

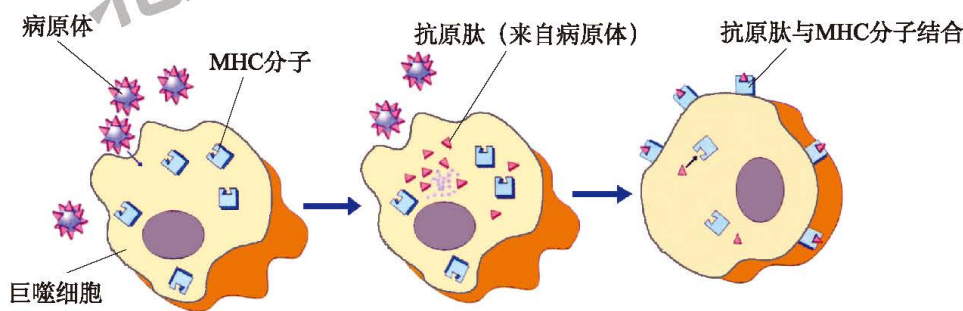


图 4-6 抗原与 MHC 分子结合示意图

## T 细胞被激活后增殖、分化为效应 T 细胞和记忆 T 细胞

T 细胞识别抗原后被激活，开始分化并大量增殖。其中大部分细胞功能活跃，称为效应 T 细胞，小部分细胞转入静息状态，称为记忆 T 细胞。

当有同种抗原再次侵入机体时，记忆 T 细胞可迅速增殖、分化，形成效应 T 细胞，使机体能长期保持对该种抗原的免疫能力。

如果把已获得针对某种病原体的细胞免疫个体的淋巴细胞分离出来，注射给未获得该

细胞免疫的个体，后者也可获得相应的免疫能力。但是，由于淋巴细胞的主要组织相容性问题等，淋巴细胞并不能在其他个体内长期存活，因此，通过接受淋巴细胞输入的方法，机体只能在短时间内获得相应免疫能力，不能长时间维持。

## 效应 T 细胞可直接杀伤靶细胞

细胞免疫中分化出的效应 T 细胞，能分泌穿孔素、颗粒酶等物质，使被病毒感染的细胞或肿瘤细胞的膜溶解而形成孔洞，导致这些靶细胞坏死或凋亡（图 4-7）。

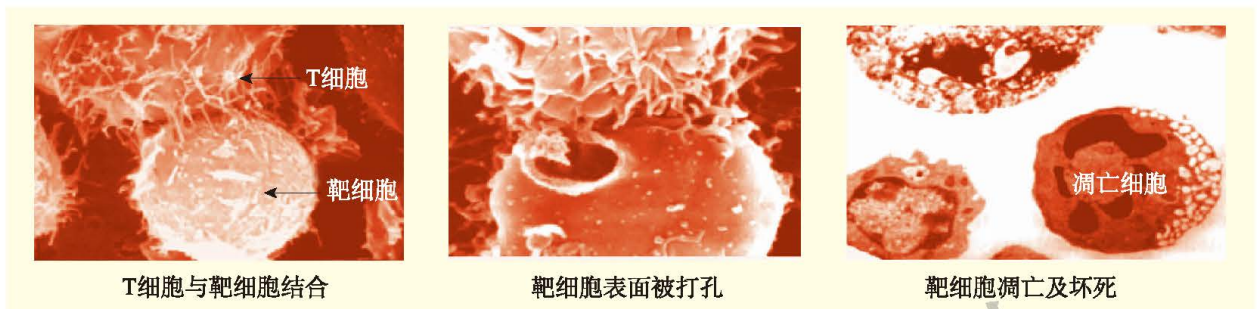


图 4-7 效应 T 细胞杀伤靶细胞



### 小资料

#### NK 细胞

NK 细胞即自然杀伤细胞 (natural killer cell)，它是不同于 T 细胞和 B 细胞的另一类淋巴细胞，其表面没有特异性抗原识别受体，具有天然杀伤活性，能非特异性地杀伤被病毒感染的细胞和某些肿瘤细胞等。

另外，有些活化后的 T 细胞还能分泌白细胞介素 II (interleukin II) 等细胞因子，提高 NK 细胞和巨噬细胞的活性，增强免疫效应，并且对促进 B 细胞的增殖和分化发挥重要作用（图 4-8）。

细胞免疫的效应通常伴随着被感染细胞的死亡，如果这些细胞具有重要的生理功能，就意味着部分生理功能的丧失。因此，对于一些感染性强、危害性大的疾病，应该把预防工作放在首位。

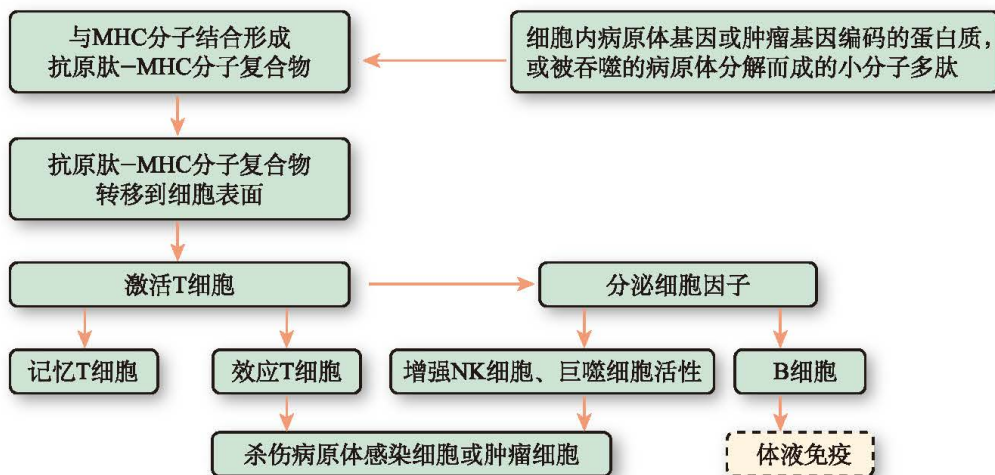


图 4-8 细胞免疫过程示意图

 实践应用 讨论

## 器官移植与主要组织相容性抗原的关系及干细胞移植的价值

器官移植是当代医学的重大成就，接受器官移植者的免疫系统对移植物的排斥反应的强弱是移植物能否成活的关键。动物实验和临床实践证明，器官移植排斥反应的强弱主要取决于供体与受体组织细胞上的主要组织相容性抗原或 MHC 分子的差异大小。人的主要组织相容性抗原首先在白细胞表面被发现，故称为人类白细胞抗原 (HLA)，人的 MHC 则称为 HLA 复合体。

单个受精卵可以分裂发育为多细胞的组织、器官乃至整个机体。在成年机体中，正常组织的更新或病理损伤也会引起组织或器官的修复再生。这说明早期胚胎的细胞具有多向分化潜能，成年机体中也存在尚未完全分化并能自我更新和复制的细胞，这些细胞统称为干细胞。因此，干细胞移植的研究受到了人们的极大关注，并已经取得了一定的成效。

从以下几个方面讨论器官移植与主要组织相容性抗原的关系，以及干细胞移植的价值。

1. 受体的免疫细胞是如何识别供体细胞上的主要组织相容性抗原的？
2. 器官移植排斥反应的免疫机制是什么？如何防治器官移植排斥反应？
3. 从干细胞的种类、特点、研究现状等方面，探讨干细胞移植的价值。

 检测评价

1. 在胚胎期，造血组织中的造血干细胞分化为淋巴干细胞，后者进入胸腺并在其中发育为成熟的 T 细胞。当胸腺内的 T 细胞转移到脾和淋巴结等周围免疫器官内之后，受到抗原刺激增殖分化为效应 T 细胞，杀灭被病毒感染的细胞或自身的异常细胞。请回答下列问题：

- (1) 关于 T 细胞的描述错误的是 ( )。
  - A. 能识别被病毒感染的细胞和肿瘤细胞
  - B. 能识别侵入机体的各种抗原
  - C. 能分泌细胞因子提高吞噬细胞的活性
  - D. T 细胞识别抗原需要 MHC 分子的参与
- (2) 在细胞免疫过程中，与杀灭和清除靶细胞无关的细胞或分子是 ( )。
  - A. 巨噬细胞
  - B. MHC 分子
  - C. 穿孔素和颗粒酶
  - D. NK 细胞
- (3) 下列细胞中分别具有特异性杀伤作用和非特异性杀伤作用的是 ( )。
  - A. 效应 T 细胞和 NK 细胞
  - B. 巨噬细胞和 NK 细胞
  - C. 被病毒感染的细胞和肿瘤细胞
  - D. 巨噬细胞和效应 T 细胞

(4) 为什么成年机体的胸腺退化后其细胞免疫功能仍存在?

2. 有些病原体侵入机体后, 可以在机体的细胞内存活、繁殖, 并在细胞间传播, 称为胞内感染。研究人员为了探讨机体对这些胞内感染病原体的免疫作用, 用小鼠做了下表所列的实验。

分组	处理
A	幼年时被切除胸腺, 成年后让其接受某种胞内感染病原体的感染
B	幼年时被施行类似切除胸腺的手术, 但不切除胸腺, 对成年后小鼠的处理同 A 组
C	幼年时被切除胸腺, 成年后注射来自同种小鼠的 T 细胞并接受胞内感染病原体的感染
D	对幼年小鼠的处理同 B 组, 成年后注射抗 T 细胞血清并接受胞内感染病原体的感染

请回答下列问题:

(1) 推测各组小鼠的结果, 并阐述依据。

(2) 对上述小鼠进行异体器官移植, 移植物更易在哪些小鼠体内存活? 为什么?

(3) 如果从获得对胞内感染病原体的特异性免疫的小鼠体内, 采集血清、淋巴细胞、巨噬细胞、NK 细胞, 分别注射到未接触过上述病原体的小鼠体内, 接受哪种注射物的小鼠可获得相应的特异性免疫? 这种免疫力能持久维持吗? 为什么?

## 二 体液免疫

2006 年 11 月 10 日, 中华人民共和国卫生部印发了《2006—2012 年全国消除麻疹行动计划》的通知。通知要求“到 2012 年, 全国麻疹发病率控制在 1/100 万以下(不包括输入病例), 无本土麻疹病毒传播”。某市疾病预防控制中心为做好本市的麻疹控制工作, 于 2009 年对辖区内健康人群麻疹疫苗接种情况和麻疹抗体水平进行了抽样调查。结果显示, 在 1 岁到 18 岁各年龄组样本人群中, 麻疹疫苗接种率都达到 100%, 抗体阳性率均在 90% 以上。那么, 抗体是怎样产生的? 抗体的作用是什么呢?

### B 细胞被激活后增殖、分化为浆细胞并分泌抗体

B 细胞表面存在着大量的特异性受体, 抗原与相应受体结合后激活 B 细胞。这一过程称为免疫应答的感应阶段。



进入机体内环境的抗原，大部分需要在 T 细胞的辅助下才能激活 B 细胞，称为胸腺依赖性抗原 (TD-Ag)。少数抗原 (如细菌的脂多糖、荚膜多糖等) 不需要 T 细胞的辅助，可以直接激活 B 细胞，称为胸腺非依赖性抗原 (TI-Ag)。

B 细胞被抗原激活后，增殖、分化为浆细胞，浆细胞能分泌与抗原相应的特异性抗体，这一过程称为免疫应答的反应阶段。

TD-Ag 初次进入机体后，被吞噬细胞吞噬并分解为小分子多肽。这些多肽与吞噬细胞内的 MHC 分子结合，形成抗原肽-MHC 分子复合物，后者转移到吞噬细胞表面激活 T 细胞。B 细胞在 TD-Ag 与 T 细胞的协同作用下被激活，激活后的 B 细胞增殖、分化成为浆细胞，浆细胞能够分泌与抗原相应的特异性抗体，称为初次应答。与此同时，小部分 B 细胞分化，转变为记忆 B 细胞。在 TD-Ag 再次进入机体后，记忆 B 细胞可迅速增殖、分化为浆细胞，后者分泌大量抗体，发生强烈的再次应答。

B 细胞被 TI-Ag 激活后，也分化为浆细胞并分泌抗体，但不形成记忆 B 细胞。所以，TI-Ag 只能引起初次应答，不能引起再次应答 (图 4-9)。

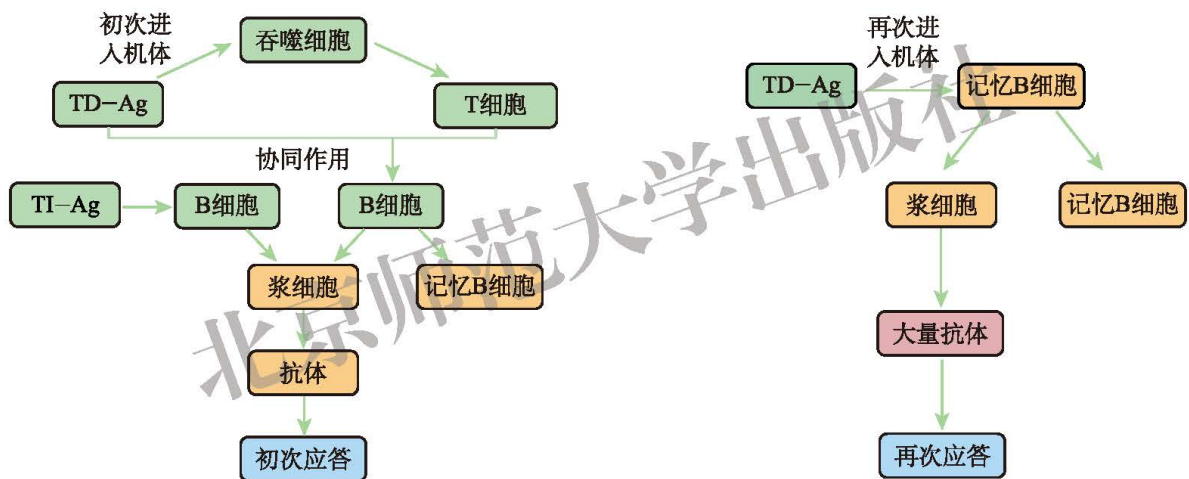


图 4-9 体液免疫的初次应答 (左) 和再次应答 (右) 过程示意图

## 抗体与抗原结合并通过多种机制清除抗原

体液免疫中产生的抗体，与抗原结合形成抗原-抗体复合物，起到中和抗原、阻止病原体侵入机体组织的作用 (图 4-10a)；抗体还能够增强吞噬细胞的活性并激活 NK 细胞，吞噬细胞可以吞噬抗原-抗体复合物，激活后的 NK 细胞可以杀伤与抗体结合的靶细胞 (图 4-10b)；抗原-抗体复合物还能活化补体，通过补体破坏靶细胞 (图 4-10c)。上述抗原被清除的过程称为免疫应答的效应阶段。

另外，母体产生的抗体还可通过胎盘进到胎儿体内，使新生儿产生相应的免疫能力 (图 4-10d)。

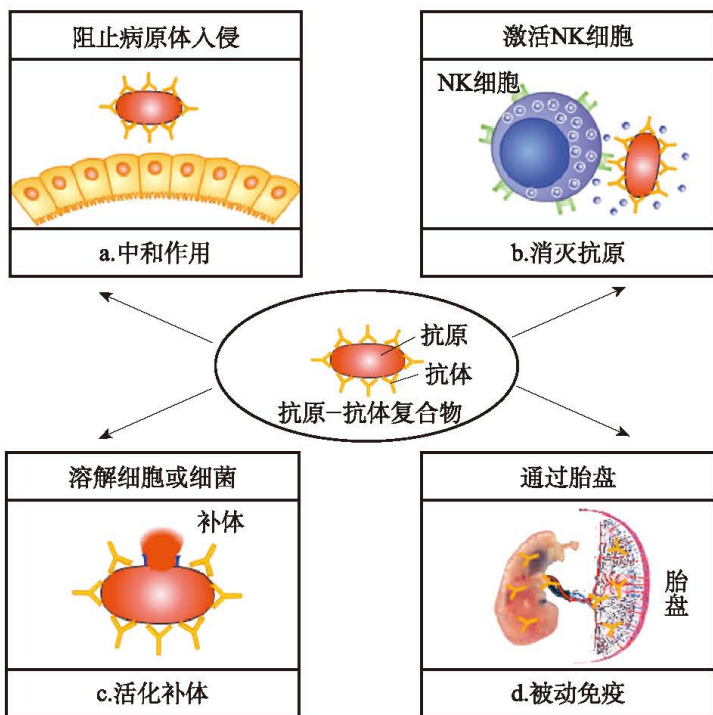


图 4-10 体液免疫效应示意图

感染破伤风杆菌时注射的破伤风抗毒素就是破伤风毒素诱导机体发生体液免疫而产生的抗体，可以与破伤风毒素结合使其失去毒性作用。破伤风类毒素是破伤风毒素经过灭活、脱毒处理，但仍具有免疫活性的制剂，注射后可激活机体产生抗毒素，从而起到预防破伤风的作用。注射抗毒素属于被动免疫，是利用外来抗体来中和自身体内的抗原，起效较快，但其作用维持时间短；注射类毒素属于主动免疫，是刺激自身免疫细胞产生抗体和记忆细胞，起效较慢，但获得的免疫能力可以长期保持。

体液免疫和细胞免疫都属于特异性免疫。机体通过体液免疫和细胞免疫两种方式，对特定病原体发生免疫应答。

人体后天获得的特异性免疫和生来就有的非特异性免疫共同担负着机体的免疫调节功能。

**实践应用 讨论**

**讨论不同免疫途径的独特作用及其相互关系**

病原体种类繁多，感染途径、感染方式、寄生部位等不尽相同。与此相适应，机体需要针对不同的情况产生相应的免疫应答，同时各种应答途径之间还需要协同作用，才能清除病原体，实现机体稳态。例如，B 细胞对 TD-Ag 的识别需要 T 细胞的辅助，活化后的 T 细胞产生的一些淋巴因子具有促进 B 细胞增殖、分化的作用；细胞免疫和体液免疫都需要吞噬细胞的协同作用等。请查阅资料，讨论不同免疫途径针对不同病原体所发挥的独特作用及其相互关系。

**检测评价**

1. 人类手足口病主要由肠道病毒 71 型 (EV71) 引起。2015 年，我国率先研发出了 EV71 疫苗。该疫苗能诱发人体的细胞免疫和体液免疫。并且妊娠期间母亲在注射 EV71 疫苗后产生的抗体还可以通过胎盘进到胎儿体内，从而使婴儿获

得对手足口病的免疫力。请回答下列问题：

(1) 下列有关EV71 疫苗的描述，不正确的是( )。

- A. 该疫苗可刺激机体产生相应的抗体
- B. 该疫苗可刺激机体产生相应的效应T细胞
- C. 该疫苗可以与EV71 病原体特异性结合
- D. 该疫苗不能预防其他肠道病毒感染所致的手足口病

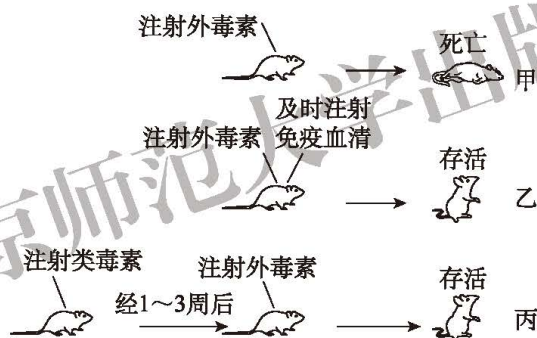
(2) 注射EV71 疫苗后，机体内能产生特异性抗EV71 抗体的细胞是( )。

- A. 浆细胞
- B. 效应T细胞
- C. 巨噬细胞
- D. B细胞

(3) 注射EV71 疫苗后，机体产生了大量特异性抗EV71 抗体，该抗体的产生需要T细胞的参与吗？为什么？

(4) 婴儿从母体获得的免疫力属于特异性免疫还是非特异性免疫？这种免疫力能维持多年吗？为什么？

2. 破伤风外毒素是由破伤风杆菌产生的一种强毒性蛋白质，该毒素经脱毒处理后可制成类毒素。下图是关于这种类毒素的一组免疫学实验。



请回答下列问题：

(1) 甲组在该实验过程中属于\_\_\_\_\_组。

(2) 乙组小鼠能够存活的原因是免疫血清中含有\_\_\_\_\_，该物质不仅能够与进入机体的外毒素形成\_\_\_\_\_，从而阻止外毒素对机体的破坏，而且能够增强\_\_\_\_\_细胞的活动并激活\_\_\_\_\_细胞，从而发挥免疫应答的效应。

(3) 丙组中的类毒素可以作为小鼠机体的\_\_\_\_\_，刺激机体通过体液免疫产生\_\_\_\_\_，通过细胞免疫产生\_\_\_\_\_细胞，在初次免疫应答中发挥作用。更重要的是能够形成\_\_\_\_\_，在再次免疫应答中发挥更强的免疫功能。

(4) 乙组注射免疫血清治疗破伤风属于\_\_\_\_\_免疫；丙组注射类毒素预防破伤风属于\_\_\_\_\_免疫。两种免疫方式中起效慢，但是获得的免疫能力可以保持较长时间的是\_\_\_\_\_组。



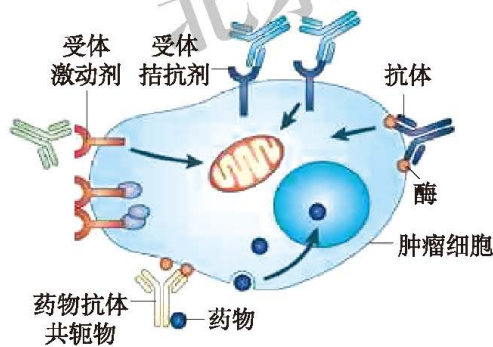
## 癌症的免疫治疗策略

科学家艾利森与本庶佑因发现“抑制负性免疫调节治疗癌症的方法”而获得2018年诺贝尔生理学或医学奖。他们分别发现了对免疫细胞具有抑制作用的蛋白质CTLA-4和PD-1，并且证实阻断CTLA-4和PD-1对免疫细胞的抑制作用，可以激活机体自身免疫系统攻击肿瘤细胞的能力，有效杀灭癌细胞。他们用这种方法治愈了患有癌症的小鼠。

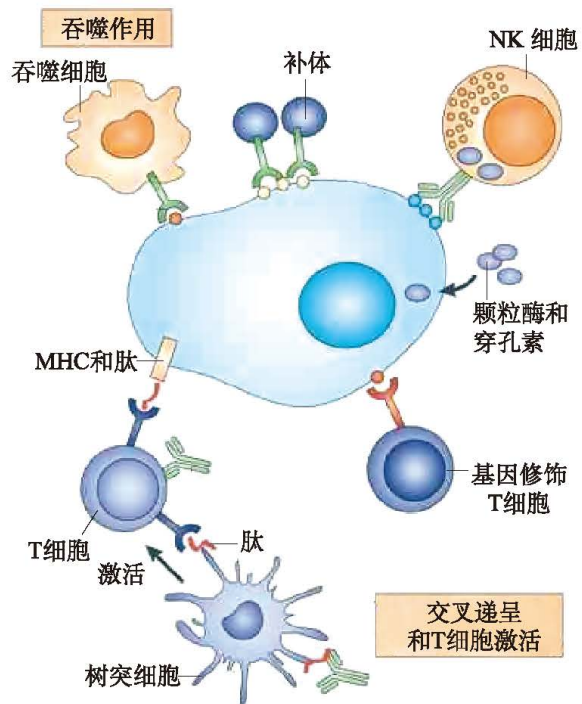
另外，根据特异性免疫原理，抗体与抗原特异性结合能够使抗原失去致病能力，并激活吞噬细胞、NK细胞、补体等，最终清除抗原。那么，如果能制备出针对肿瘤细胞上的特异性抗原的抗体，能否借助后者与肿瘤特异性抗原的结合来清除肿瘤细胞呢？

那么，如何才能利用针对肿瘤特异性抗原的抗体来杀伤肿瘤细胞呢？现有的策略可概括为如下几种。一是抗体的直接杀伤作用。例如，抗体与抗原结合后，改变细胞信号转导过程，抑制肿瘤细胞增殖或诱导肿瘤细胞凋亡，或者改变肿瘤细胞膜的物质转运特性，帮助药物进入细胞。二是通过免疫介导作用杀伤肿瘤细胞。例如，激活补体，活化巨噬细胞和NK细胞等。三是作用于肿瘤基质细胞和肿瘤血管细胞，诱导基质和血管细胞溶解，抑制肿瘤细胞生长和增殖，或促进药物经基质和血管进入肿瘤细胞。

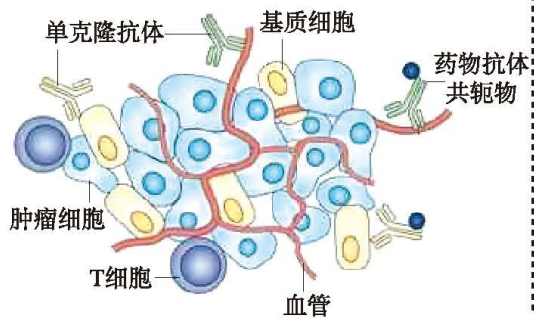
a. 直接杀伤肿瘤细胞



b. 通过免疫介导作用杀伤肿瘤细胞



c. 血管和基质细胞溶解



抗体杀伤肿瘤细胞示意图

## 第四节 免疫功能异常引起的疾病

春风习习，万物复苏，阳光明媚，百花竞开。在春意盎然的气息中，有些人却出现咳嗽，打喷嚏，流涕，眼睛和咽喉痒、痛、红肿等症状，苦不堪言。这是怎么回事呢？该如何防治呢？

### 对某些抗原的异常免疫应答导致超敏反应

有的人吸入某种花粉后会发生鼻炎或哮喘；有的人用过某种药物后会发生药疹甚至休克；有的人吃过某种食物后会发生奇痒难耐的荨麻疹；有的人接触某些化学物品后会发生皮炎。这些都是超敏反应（hypersensitivity）的表现。

超敏反应实质上是一种非正常的、病理性的免疫应答。因此，超敏反应也具有特异性和记忆性。超敏反应又叫过敏反应或变态反应，引起超敏反应的物质叫作变应原。

引起超敏反应的变应原种类很多，如各种动植物蛋白、花粉、尘螨、药物等。变应原可通过消化道、呼吸道、皮肤接触、注射等途径进入机体。

变应原进入机体后，刺激机体产生抗体。抗体与肥大细胞及嗜碱性粒细胞膜上的相应受体结合，这一过程称为致敏。当相同的变应原再次进入机体时，就与致敏细胞上的抗体结合，使这些细胞释放组织胺等物质。这些物质可引起小血管扩张，毛细血管通透性增加，消化道及呼吸道平滑肌收缩，黏膜或腺体分泌活动增强等（图 4-11），从而出现各种临床症状。

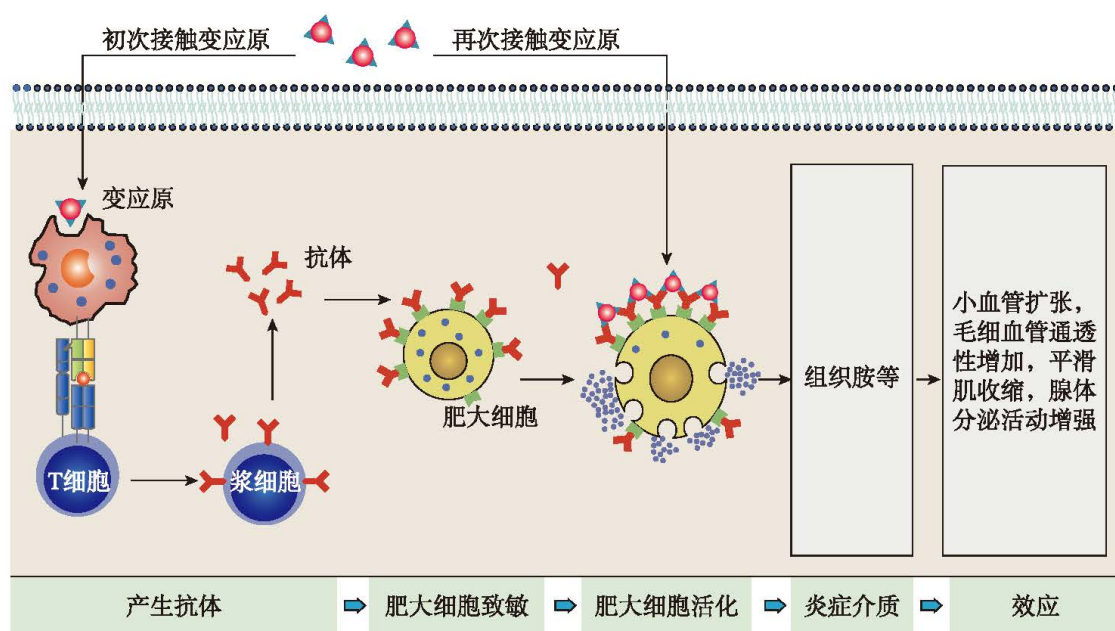


图 4-11 超敏反应发生机理示意图

超敏反应是由机体接触变应原引起的，因此找出变应原，并尽量避免机体与其再次接触，是预防超敏反应的主要措施。另外，也可根据超敏反应的发生、发展过程，干扰或切断其中某个环节，从而达到防治目的。

## 对自身抗原发生免疫应答导致自身免疫病

免疫系统能识别“自己”和“异己”并清除“异己”，从而维护机体的稳态。如果免疫系统对自身抗原发生免疫应答，并对自身的组织和器官造成了损伤或功能障碍，就称为自身免疫病（autoimmune disease）。例如，溶血性链球菌细胞壁与人的心肌细胞具有共同的抗原性，人体被溶血性链球菌感染后，所产生的抗体在攻击病菌的同时，也与心肌细胞上的抗原发生反应，从而引起心肌炎。

另外，人体的正常细胞成分因感染或理化因素的作用而发生改变，一些原本不与免疫细胞接触的隐蔽抗原因创伤、感染等释放入血，免疫细胞因突变而失去原有的识别能力等，均可导致自身免疫病。

## 免疫系统组分缺失或功能低下导致免疫缺陷病

由遗传、个体发育或其他原因造成免疫系统某个组分缺失或功能低下而引起的疾病，称为免疫缺陷病（immunodeficiency disease）。其中，由遗传因素或先天性免疫系统发育不全引起的，称为先天性免疫缺陷病；由疾病等后天因素引起的，称为获得性免疫缺陷病。

先天性免疫缺陷病中，有非特异性免疫方面的，如补体不足、吞噬细胞缺陷等，也有特异性免疫方面的，包括B细胞缺陷、T细胞缺陷或二者联合缺陷。例如，X-连锁无丙种球蛋白血症就是最常见的B细胞免疫缺陷病。该病属于伴X染色体隐性遗传病，多见于男性。病因是B细胞成熟过程受阻，患者血液中B细胞极少，淋巴组织中无浆细胞，故不能产生抗体，血液中免疫球蛋白缺乏，易反复发作化脓性感染。由于T细胞数量和功能正常，所以患者对病毒、真菌及多数细胞内寄生微生物有免疫能力。

艾滋病是获得性免疫缺陷综合征（acquired immunodeficiency syndrome, AIDS）英文缩写的音译，由人类免疫缺陷病毒（human immunodeficiency virus, HIV）（图4-12）感染引起。HIV是一种逆转录病毒，它攻击人体的T细胞，导致T细胞的杀伤力减弱，B细胞不能产生特异性抗体，使免疫功能处于瘫痪状态。各种病原微生物乘虚而入，最终导致患者全身器官衰竭而死亡。

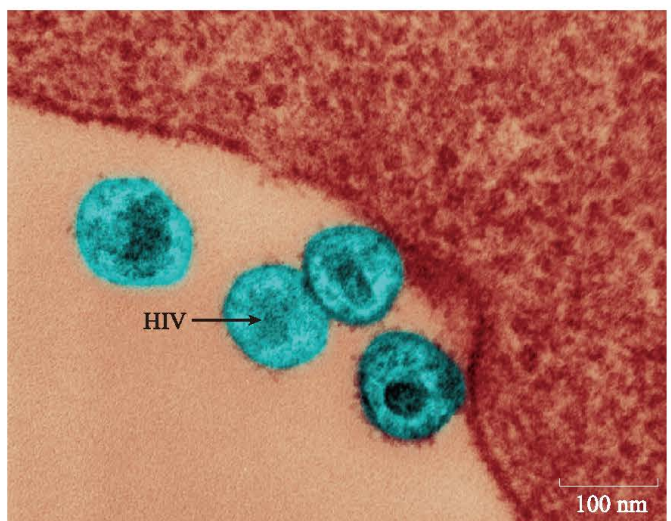


图4-12 透射电子显微镜下的HIV

HIV 可存在于感染者的血液、精液、阴道分泌物及唾液、泪液、尿液与乳汁中，主要通过性接触传播和血液传播。被 HIV 感染的母亲可以在孕期、分娩和哺乳时将 HIV 传给她的孩子。HIV 不能在蚊子等昆虫体内存活，而且在外界环境中抵抗力很弱，暴露在空气中很快就会死亡。因此，艾滋病不会通过蚊虫叮咬、握手、触摸、共用浴缸等途径传播。

对艾滋病患者，我们应遵照人道主义原则，帮助他们树立生活信念。艾滋病患者应注意精神及营养卫生，对已出现的症状积极治疗，以减轻痛苦，延长生存时间。

我国对艾滋病患者实行“四免一关怀”的政策：国家实施艾滋病自愿免费血液初筛检测；对农民和城镇经济困难人群中的艾滋病患者实行免费抗病毒治疗；对艾滋病患者遗孤实行免费就学；对孕妇实施免费艾滋病咨询、筛查和抗病毒药物治疗；将生活困难的艾滋病患者及其家庭纳入政府救助范围，给予必要的生活救济。

免疫功能异常可能引发疾病，对某些抗原的异常免疫应答可引起超敏反应，对自身抗原发生免疫应答可引起自身免疫病，免疫系统组分缺失或功能低下可引起免疫缺陷病。

### 思考

日常生活中如何预防艾滋病？

### 实践应用 调查

#### 调查青少年中的超敏现象

调查可参考以下提示开展。

1. 确定调查范围和调查对象。例如，你所在学校的全部学生，或者几个班级，或者在几个班级中随机抽取一部分学生。

2. 确定调查内容和项目。例如，是否在接触（或摄取、吸入、注射、服用）某些物质（食物、药物、化学试剂等）后出现特殊的不适症状；有无家族史；是否曾到医院就诊，医院的诊断结果如何；是否有需要特殊说明的问题等。

3. 确定调查方式。可采用询问的形式，让被调查者回答，由调查者记录；也可用填表的形式，把调查表发给被调查者，填好后收回。

4. 设计调查表。无论采用哪种调查方式，都要事先设计好调查表。调查表的格式可根据调查方式确定。

5. 分组进行调查。

6. 统计、分析调查结果。调查结果至少应包括以下内容：

- (1) 你所调查的人群中曾表现出超敏反应的人占多大比例？有无性别差异？
- (2) 对于有家族史的超敏反应其遗传规律是什么样的？
- (3) 对于超敏反应的防治，你有哪些建议？

### 检测评价

1. 下图是关于艾滋病预防的宣传画，图中指出了“不会传播”艾滋病和“可能传播”艾滋病的几种途径。



请回答下列问题：

- (1) 为什么蚊虫叮咬不会传播艾滋病？
- (2) 和艾滋病患者在公共游泳池内游泳会被传染吗？为什么？
- (3) 与艾滋病患者共用牙刷、刮胡刀的行为有感染艾滋病的风险吗？为什么？
- (4) 请根据艾滋病的病因和 HIV 传播途径，写一份“正确认识艾滋病”的报告。

2. 临床上发现，原本生育能力正常的青年男子因外伤导致输精管和附睾破裂，少量精子进入血液，外伤治愈后，精液中精子数量正常，但均不具有活性，其原因最可能与下列哪种现象的机理相同（ ）。

- A. 少数人接触花粉后产生强烈免疫反应
- B. 接受肾脏移植治疗的患者需较长时间服用免疫抑制剂
- C. 某患者体内具有针对自身成分的抗体
- D. 注射流感疫苗引起免疫反应产生流感病毒的抗体和记忆细胞

3. 重症肌无力是一种自身免疫病，患者体内存在抗乙酰胆碱受体的自身抗体，也存在乙酰胆碱受体自身反应性 T 细胞，二者可封闭或破坏乙酰胆碱受体，减弱或阻断神经肌肉接头的兴奋传递。请回答下列问题：

- (1) 重症肌无力的治疗，有给予免疫抑制剂、胸腺切除等方法。试从免疫调节的角度阐述其治疗原理。
- (2) 多种诱因可导致重症肌无力加重或复发，如感染、精神创伤、过度疲劳、吸烟、饮酒等。尝试为重症肌无力患者制订一份日常保健方案。





## 用味觉或嗅觉刺激治疗自身免疫病的探索

自身免疫病的治疗有时需要用免疫抑制剂来减弱对自身抗原的免疫应答，但是，免疫抑制剂会有一些不良作用。怎样减轻这些不良作用呢？科学家经过多年的动物实验研究，发现可以通过建立条件反射的方法，用一些动物一般接触不到的新异的味觉刺激或嗅觉刺激作为条件刺激，诱发免疫抑制剂的药理作用。上述过程称为条件性免疫抑制（CIS）。

例如，以大鼠或小鼠为实验动物，先给予新异的味觉刺激（如糖精水、巧克力奶等）或嗅觉刺激（如樟脑气味等）作为条件刺激，随后注射免疫抑制剂作为非条件刺激。两种刺激多次结合后，检测单独给予味觉刺激或嗅觉刺激能否引起免疫抑制效应。

已有很多研究表明，CIS 建立后，仅给予味觉刺激或嗅觉刺激就可以引起抗体、淋巴因子分泌减少等免疫抑制效应，而且可以延长移植心脏的存活时间。这表明 CIS 对于自身免疫病及移植排斥反应的辅助治疗具有临床应用潜力。

北京师范大学出版社

## 第五节 免疫学的实际应用

2020年，世界范围内暴发了新冠肺炎疫情，威胁人类健康和生命安全。面对新冠肺炎疫情的全球大流行，我国倡导构建人类卫生健康共同体。新冠肺炎疫情出现后，我国迅速检测到病原体，及时公开信息，采取有效隔离和治疗措施，很快便控制了疫情传播，对全世界疫情防控做出了巨大贡献。新冠肺炎疫情暴发一年之后，多款疫苗开始在数十个国家和地区进行注射，为最终战胜疫情带来了希望。那么，疫苗为何能预防病原体感染？还有哪些免疫学手段可预防传染病的发生和流行呢？



### 寻找证据 讨论

同学们每人都有一本自己的“免疫预防接种证”，上面记录了你接种疫苗的种类和时间。它不仅是你预防接种的记录凭证，而且在入托、入学、入伍和出入境时，还需要接受查验，如有遗漏应及时补种。请结合个人免疫接种的经历，讨论免疫制剂的作用。

根据讨论获得的信息，思考下列问题：

1. 注射疫苗能预防传染病的原理是什么？
2. 当已被病原体感染或有感染风险时，如何治疗或紧急预防？
3. 对于免疫功能低下或亢进所导致的疾病，应采取何种治疗策略？

### 接种抗原类制品可刺激机体产生特异性免疫

从特异性免疫应答过程我们知道，受病原体侵染的机体能产生针对侵入病原体的特异性抗体或效应T细胞，并产生记忆细胞，从而获得持久的特异性免疫能力。根据特异性免疫应答的原理，人们采用物理或化学的方法，在保留病原体的免疫原性的基础上，将病原微生物（细菌、病毒等）或致病产物（外毒素等）经杀死、减毒、脱毒等处理制成疫苗或类毒素，然后把这些疫苗或类毒素注射到人体内，诱导机体的特异性免疫应答，提高机体的免疫能力，这种方法称为人工主动免疫。通过持续、大范围地进行人工主动免疫能够预防相应传染病的发生，并最终实现消灭该传染病的目标。

我国实行有计划的预防接种制度，编制并多次修订了国家免疫规划疫苗儿童免疫程序，免费为儿童接种卡介苗、乙肝疫苗、脊髓灰质炎疫苗、百白破疫苗、白破二联疫苗、麻疹疫苗、A群流脑疫苗、乙脑疫苗等，并对各种疫苗的接种时间、接种方法、接种剂量、基本原则和注意事项都进行了详细说明。1986年6月，经国务院批准，成立了全国计

划免疫协调领导小组，并确定每年 4 月 25 日为“全国儿童预防接种日”。2019 年的宣传主题是“防控传染病，接种疫苗最有效”（图 4-13）。



图 4-13 2019 年第 33 个“全国儿童预防接种日”宣传海报

### 输入抗体类制品可快速预防和治疗特定传染病

接种疫苗或类毒素可以诱导机体的特异性免疫应答，获得持久的免疫能力。但是，如果机体已被感染，或有被感染的风险，通常是直接注射抗体类制品，使机体快速获得针对特定病原体的免疫能力，以达到治疗和紧急预防的目的。这种方法称为人工被动免疫。

由于人工被动免疫是直接输入抗体类物质，可以立即产生免疫效应，但不能刺激机体主动产生特异性免疫应答，也不产生记忆细胞，所以维持时间较短，也没有记忆性（表 4-1）。在输入的抗体消失后，同样的病原体再次侵入机体时，机体仍会被感染而患病。

表 4-1 人工主动免疫和人工被动免疫的比较

比较项目	人工主动免疫	人工被动免疫
输入的物质	抗原（疫苗、类毒素等）	抗体、细胞因子等
免疫产生的时间	慢，1～4 周	快，立即
免疫维持的时间	较长，半年至数年，甚至终身	较短，2～3 周
免疫记忆	有	无
主要用途	疾病的预防	疾病的治疗或紧急预防

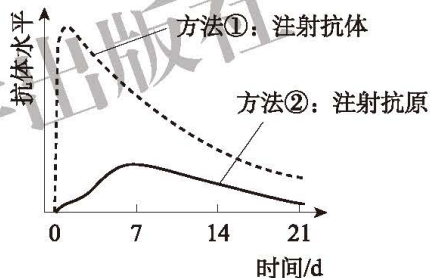
## 免疫增强剂和免疫抑制剂通过调节免疫功能治疗疾病

许多疾病的发生、发展与免疫系统的功能失调有密切关系，因此，通过调节机体的免疫功能，就可达到治疗疾病的目的。调节免疫功能的药物有两类：一类是增强免疫功能的药物，称为免疫增强剂；另一类是抑制免疫功能的药物，称为免疫抑制剂。免疫增强剂常用于治疗免疫功能低下或缺陷导致的疾病，如免疫缺陷病、肿瘤等；免疫抑制剂用于治疗免疫功能亢进导致的疾病（如超敏反应、自身免疫病）和预防移植排斥反应。

随着人们健康意识日益增强，免疫增强剂和免疫抑制剂的作用备受关注。随着相关科学技术的进步，一些新的特性明确、药效稳定、无毒副作用的免疫调节性药物不断出现，对于免疫功能低下或缺陷以及免疫功能亢进所致疾病的治疗效果越来越好，临床应用范围也越来越广。

### 检测评价

1. 2003年，在抗击重症急性呼吸综合征（“非典”）的过程中，医务人员将已经治愈的个体的血清经处理后输给“非典”患者，起到了很好的治疗效果。右图曲线显示了两种使机体获得免疫力的方法，其中一种与治疗“非典”的方法类似。请回答下列问题：



(1) 医务人员所采用的治疗“非典”的方法与曲线中方法\_\_\_\_\_类似，这种免疫方式是被动免疫还是主动免疫？两种方法中哪一种所获得的免疫力更长久？为什么？

(2) 对图中所示的两种使机体获得免疫力的方法，分析正确的是（ ）。

- A. 若要预防“非典”则采用方法②较好
- B. 方法②主要通过刺激机体产生抗体发挥免疫作用
- C. 采用方法①使人体获得大量的浆细胞
- D. 机体通过方法②获得记忆细胞的过程属于细胞免疫

(3) 我国对儿童进行预防接种增强免疫力，采用的是图中方法\_\_\_\_\_。但是需要对抗原进行处理，制成疫苗。请列举几种我国免费给儿童接种的疫苗：\_\_\_\_\_。

(4) 若科研人员想用小鼠检验所研制“非典”疫苗是否有作用，对小鼠的处理恰当的是（ ）。

- A. 给正常小鼠先注射“非典”病毒，一段时间后注射疫苗
- B. 给正常小鼠先注射“非典”疫苗，一段时间后注射“非典”病毒

C. 给患“非典”的小鼠注射疫苗

D. 给患“非典”后痊愈的小鼠注射疫苗

2. 用于免疫预防接种的疫苗分为灭活疫苗和减毒活疫苗。灭活疫苗是选用抗原性和毒性都较强的细菌菌株和病毒毒株，经人工培养后再将其杀死而制成的疫苗；减毒活疫苗是用人工的方法使病原体减毒或从自然界中筛选某病原体的无毒或微毒株而制成的疫苗。请回答下列问题：

(1) 灭活疫苗和减毒活疫苗各有何优、缺点？

(2) 曾有“免疫缺陷病患者因接种疫苗而患病”的报道，试分析其原因。

(3) 为什么预防白喉和破伤风要用白喉类毒素和破伤风类毒素接种？



### 开阔眼界

#### 来自中药的免疫增强剂

我国人民在长期与疾病的斗争中，形成了一套独特的医学理论与方法，并发现了许多具有免疫增强作用的中草药。近些年，科学工作者进一步对中草药中的各种成分进行提取、纯化，发现具有免疫活性的主要物质是其中的多糖或糖复合物，如灵芝多糖、黄芪多糖、云芝多糖、猪苓多糖、牛膝多糖、香菇多糖、淫羊藿多糖、枸杞糖肽等。它们能通过刺激T细胞和B细胞增殖及分化、增加抗体产生量、提高吞噬细胞的吞噬能力、提高NK细胞活性、促进淋巴因子分泌等途径增强机体的免疫能力，有的还可用作疫苗佐剂，增强机体对疫苗的免疫应答反应。而且，一些中草药及其提取物还表现出对免疫功能的双向调节作用，使机体的免疫功能维持在合适的水平。用中草药及其提取物治疗免疫功能失调引起的疾病具有广阔的前景，随着中医药学与现代科学手段的结合，中医药学将为人类健康做出越来越大的贡献。

## 第六节 神经-内分泌-免疫调节网络

早在1896年,就有人在《美国医学科学杂志》上发表文章称,对玫瑰花的花粉产生超敏反应的人,当看到人造玫瑰花时也会产生超敏反应。那时的科学家对此百思不得其解。后来,人们知道这是一种条件反射。20世纪50年代,我国学者发现,胰岛素的分泌也可以形成条件反射。那么,神经系统、内分泌系统和免疫系统是如何发生联系的呢?



### 寻找证据 阅读

阅读下面资料,重点关注神经系统、内分泌系统和免疫系统在调节机体稳态中的相互关系。

20世纪50年代以后,随着神经生理学技术的发展,科学家发现某些脑部位的毁损或刺激能改变血中单核细胞的吞噬能力及抗体浓度,而且当机体接受抗原刺激后,脑内一些神经元的电活动发生改变。随着对各种生物活性物质的分离、纯化和鉴定,以及细胞培养技术的发展,科学家发现许多神经递质、神经肽及激素在体内和体外均可影响免疫细胞的应答,免疫细胞除分泌细胞因子之外,还能合成某些激素和神经肽,参与对神经系统和内分泌系统的功能调节。

根据阅读获得的信息,思考下列问题:

1. 神经-内分泌-免疫调节网络如何进行信息交流?
2. 神经系统、内分泌系统与免疫系统相互联系的结构基础有哪些?
3. 如何看待神经系统、内分泌系统和免疫系统的独特性和整体性?

### 神经-内分泌-免疫系统存在共同的信号分子和受体

免疫细胞能产生多种激素和神经肽,如促肾上腺皮质激素、促甲状腺激素、生长激素、脑啡肽等,这些激素和神经肽的结构和功能与内分泌细胞和神经元产生的激素和神经肽完全相同。免疫细胞上还有多种神经递质、激素和神经肽的受体,如乙酰胆碱受体、肾上腺素受体、生长激素受体等。

中枢神经系统内存在白细胞介素和干扰素等细胞因子,以及多种细胞因子的受体或相应的mRNA。内分泌腺或散在的内分泌细胞内也存在多种细胞因子,而且在抗原刺激下细胞因子的种类与含量会发生改变。

神经系统、内分泌系统和免疫系统内存在共同的神经递质、神经肽、激素和细胞因子等信号分子,而且细胞表面都分布有相应的受体。它们构成了神经-内分泌-免疫调节

网络的“通用信号”，三大调节系统通过经常性的信息交流，相互协调，共同维持机体的稳态。

## 神经-内分泌-免疫系统以神经-体液通路相联系

几乎所有的内分泌腺和淋巴器官内均有自主神经的末梢分布，这些末梢能释放去甲肾上腺素、乙酰胆碱和神经肽，相应的内分泌细胞和免疫细胞上存在神经递质和神经肽的受体。从结构上，可以将内分泌腺和免疫器官视作反射弧的效应器，神经系统通过传出神经对内分泌系统和免疫系统发挥调节作用。例如，调节内分泌腺和免疫器官内的血流量；调节淋巴细胞的分化、发育和成熟；调节激素和细胞因子的生成和分泌；调节免疫应答的强度等。

激素和免疫细胞分泌的各种细胞因子既可以进入组织液，在局部发挥作用，也可以进入血液循环，远距离作用于包括神经元、内分泌细胞和免疫细胞在内的各种细胞。由此可见，神经系统、内分泌系统和免疫系统借助神经-体液通路以及相应的神经递质、激素和细胞因子形成一个有机整体，共同调节机体的稳态（图4-14）。

### 小资料

#### 神经肽

神经肽是主要分布在神经系统内的一类生物活性多肽，它既有神经元信息传递作用，又有神经激素样作用，能够整合神经系统和身体其他系统功能，调节多种生理功能。

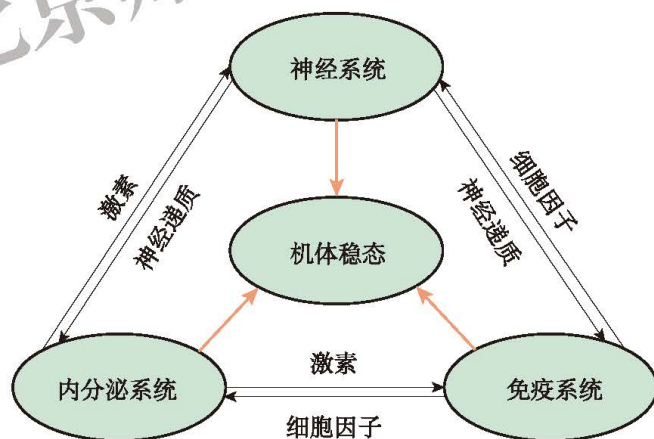


图4-14 神经-内分泌-免疫系统的联系示意图

## 神经-内分泌-免疫系统在功能上相辅相成

神经系统、内分泌系统和免疫系统既各司其职，又相辅相成。神经系统接受来自内、外环境的各种理化刺激，并通过特定的神经通路对相应的刺激做出快速而精确的反应；内分泌系统释放各种激素并通过体液输送到身体各处，对机体的生长、发育、生殖和新陈代

谢发挥着持久而广泛的调节作用；免疫系统主要识别侵入机体的病原体以及自身的衰老和异常细胞，通过复杂的免疫应答过程，清除各种“非己”抗原，以保证机体的正常生命活动。

但是，神经系统、内分泌系统和免疫系统的功能又服从机体稳态的整体需要。例如，在遇到地震、洪水和火灾等难以抗拒的意外情况或受到缺氧、冷冻、感染、失血和中毒等伤害性刺激时，精神高度紧张，交感神经兴奋水平大大提高，肾上腺髓质激素、肾上腺皮质激素、胰高血糖素等分泌增加，免疫系统活动减弱，以保证机体应对与生存有关的体内、外各种条件的改变。如果这些状态持续时间过长，将会导致神经-内分泌-免疫系统的功能紊乱而引发疾病。

神经-内分泌-免疫系统之间的相互作用机制，为一些疾病的临床治疗提供了新的科学依据和治疗思路。例如，通过相应的药物，改变神经递质、神经肽、激素、细胞因子等在体内的分布和含量，从而控制疾病的发展；根据正常和异常免疫反应均可形成条件反射的现象，采用心理疗法以及条件反射的消退、分化等手段，减弱或消除患者面对相应刺激源时的不良情绪，使一些疾病得到一定程度的缓解。

### 实践应用 讨论

#### 激素对免疫功能的调节作用

已有研究表明，肾上腺皮质激素、生长激素、性激素、催乳素、促甲状腺激素、甲状腺激素等对机体的免疫功能有调节作用。每个同学选择其中1~2种激素，搜集有关资料，与其他同学进行交流和讨论。

讨论的内容至少应包括以下几个方面：

1. 你所选择的激素对机体的免疫功能有抑制作用还是有增强作用？
2. 你所得的结论有哪些实验或临床证据？
3. 还有哪些问题需要进一步研究？

#### 检测评价

1. 淋巴结和脾是重要的免疫效应器官，淋巴结和脾内有交感神经和副交感神经的末梢分布。其中交感神经末梢释放的去甲肾上腺素可以抑制免疫应答。研究表明，将绵羊红细胞注射到大鼠体内，几天后，大鼠血浆内抗体含量明显增加，脾和淋巴结内的去甲肾上腺素含量显著降低。



请回答下列问题:

(1) 对上述研究结果的解释, 不合理的是 ( )。

- A. 机体的免疫应答能调控脾及淋巴结内的交感神经活动
- B. 淋巴器官内去甲肾上腺素含量减少, 可使机体产生较强的免疫应答
- C. 在免疫应答过程中, T细胞的活动不会受到影响
- D. 中枢神经系统可通过自主神经调节免疫反应的强度

(2) 上述实验中, 脾和淋巴结内去甲肾上腺素含量减少。该结果既可由去甲肾上腺素合成减少引起, 也可由去甲肾上腺素的释放减少引起。利用哪些方法可以阐明其原因? 其原理是什么?

2. 生长激素具有促进胸腺组织增生、刺激胸腺分泌胸腺素等作用。研究表明, 生长激素缺乏的小鼠胸腺萎缩、T细胞功能缺陷、淋巴组织退化, 用生长激素治疗能缓解或消除上述症状。请回答下列问题:

(1) 如果给幼年小鼠注射抗生长激素血清, 其中的抗生长激素抗体可以与小鼠血浆中的生长激素结合, 部分消除生长激素的作用。这种情况下不会出现的结果是 ( )。

- A. 血浆中抗体含量减少
- B. 胸腺萎缩
- C. 抗病能力降低
- D. 垂体分泌生长激素减少

(2) 关于生长激素增强免疫作用的研究, 已得到了许多肯定性结果。但某项研究表明, 有的血浆内生长激素浓度较低的个体, 并未出现免疫功能降低的症状。有人列举了下列可能原因, 试分析其合理性。

①淋巴细胞也可以合成生长激素, 血浆生长激素水平并不能反映局部组织内的生长激素浓度。

②多种激素对免疫功能有调节作用, 其他激素的作用抵消了生长激素不足的影响。

(3) 研究表明, 老龄大鼠胸腺萎缩, 给予生长激素后, 其胸腺体积可增大。据此有人认为, 可用生长激素来延缓或预防衰老。你认为这种观点的可行性如何? 为什么?



## 胚胎为什么不被母体排斥

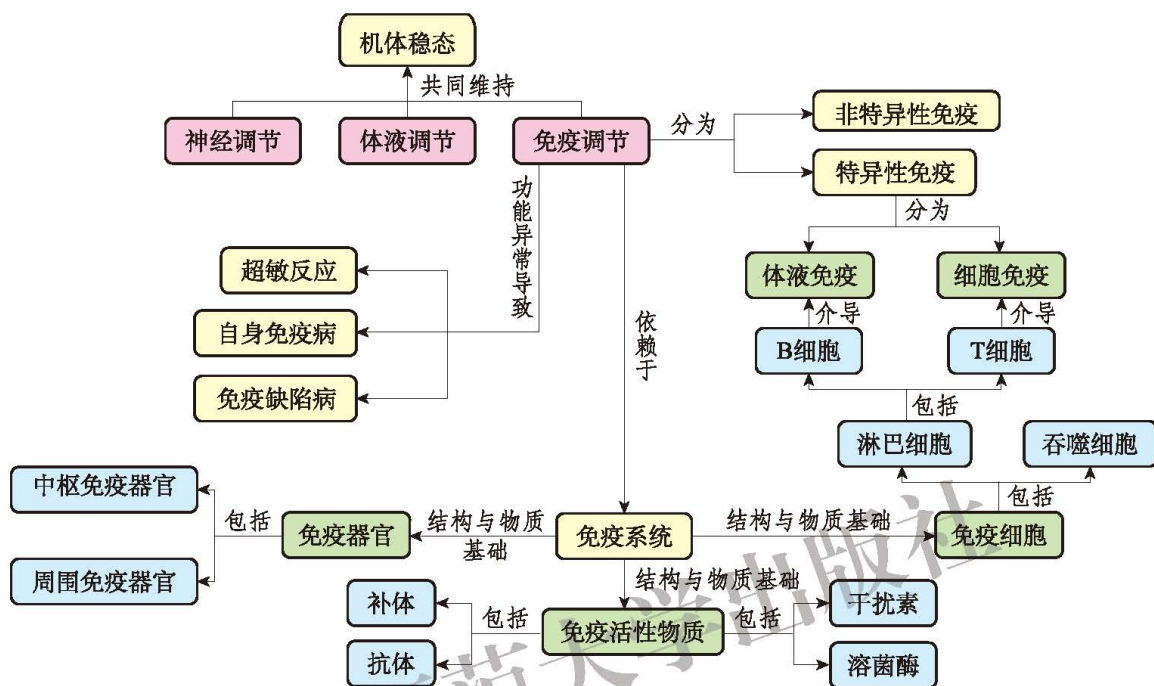
胚胎由受精卵分裂而来，其中含有来自父亲的遗传信息。从免疫学角度来看，胚胎对于母体相当于一个同种移植物，但为什么胚胎不被母体的免疫系统所排斥呢？这说明母体对胚胎存在着非常复杂的免疫应答和免疫耐受机制。

胎盘是母-胎免疫调节的关键结构。胎盘可产生多种神经肽、神经递质、激素和细胞因子。其中，孕激素具有较强的免疫抑制效应，它能通过旁分泌降低临近的T细胞和巨噬细胞的活动，减少白细胞数量；胎盘产生的绒毛膜促性腺激素也对母体免疫系统的活动具有抑制作用；雌激素可促进 $\alpha 2$ 微球蛋白的合成，后者具有免疫抑制作用。胎盘的细胞还能吸引一种特殊的抑制性淋巴细胞聚集，引起局部免疫抑制，以保护胚胎不被排斥。胎盘的细胞还能表达一种非典型的组织相容性分子，称为HLA-G，它是一种免疫耐受分子，可以使胚胎免遭母体内NK细胞的攻击。有研究人员从孕妇的尿液中分离出一些具有免疫抑制作用的化合物，可能具有防止排斥胎盘和胎儿的作用。

胚胎不被母体的免疫系统所排斥的机制尚不完全清楚，该机制的阐明将对生殖医学、免疫学等都具有重要理论和实践意义。

## 本章小结

## ● 基础知识梳理



免疫细胞、免疫器官和免疫活性物质是免疫调节的结构和物质基础。皮肤、黏膜、吞噬细胞、溶菌酶等，能无选择性地防御病原体的入侵，是机体的非特异性免疫。侵入机体的病原体及机体自身的异常细胞等，能诱发机体的特异性免疫。在特异性免疫中，T细胞介导细胞免疫，主要识别和清除被胞内病原体感染的细胞和机体产生的异常细胞；B细胞介导体液免疫，主要识别“游离”于体液内的抗原，通过产生特异性抗体清除抗原。机体的免疫系统能抵御病原体的侵袭，识别和清除体内的异常细胞，与神经调节、体液调节协同作用，共同维持机体稳态。免疫功能异常可引发过敏、自身免疫病、艾滋病和先天性免疫缺陷病等。

## ● 学科素养提示

基于免疫调节的特点及其与神经调节、体液调节的关系，通过讨论不同免疫途径的独特作用及其相互关系，以及调查青少年中的超敏现象等一系列实践活动，运用稳态与平衡观、局部与整体观等生命观念，解释各种免疫应答过程在维持机体稳态中的作用，阐述接种疫苗、注射抗体、使用免疫调节剂预防和治疗疾病的原理。结合讨论器官移植与主要组织相容性抗原的关系及干细胞移植的价值等活动，关注免疫学技术的发展，宣传我国预防和治疗传染病（包括艾滋病）的有关政策和成就。



## 第5章

# 植物生命活动的调节

初春，银杏柔嫩的叶片如秀气的折扇随风摇曳。盛夏，生机盎然的树冠像漂亮的阳伞为人们遮挡烈日。深秋，那满枝的金黄构成一道靓丽的风景，飒爽的秋风吹过，片片黄叶飘落，铺出一地彩锦。银杏的季节性变化除了受气候因素的影响，在其体内还有哪些调控因子？这些因子是如何调节植物的生命活动的呢？让我们在本章的学习中一探究竟吧。



### 学习目标

1. 在理解生长素的生理作用具有两重性等基础上，形成稳态与平衡观等生命观念，解释植物激素调节作用的特点，论述植物生命活动调节的一般规律。
2. 基于植物生命活动的调节需要各种植物激素及其与光、重力和温度等因素的相互作用，能通过概括、归纳等科学思维过程，用图示、模型等方式阐释参与植物生命活动调节的各种因素的内在关系。
3. 针对某种植物激素的生理作用，能选择合适的材料用具，设计研究方案，通过实验等科学探究过程寻找证据，分析研究结果，探讨植物激素发挥作用的最佳条件。
4. 主动关注植物生长调节剂的应用，能收集植物生长调节剂应用的有关资料，从人类与环境和谐发展的角度对其应用中存在的问题进行分析和评价，并提出合理化建议。

## 第一节 植物生长素的发现与作用

幼嫩的向日葵花盘总是把它的正面对着太阳；室内的花草，会向着窗户的方向弯曲生长（图 5-1）。埋在土壤中的种子萌发时，根向地生长而芽向上生长钻出地面。这些奇妙的植物生长现象是如何发生的？科学家在对这些现象的研究中都有哪些发现呢？



图 5-1 植物的向光生长

### 对植物向光性的研究促进了植物生长素的发现

进化论的奠基人达尔文是最早对植物的向光性进行实验研究的科学家。他把莴苣的种子种下后，让其在完全黑暗的环境中萌发，几天后莴苣胚芽鞘破土而出并垂直向上生长。然后他在距离莴苣幼苗大约 3 m 的地方点燃了一盏煤气灯。一段时间后，胚芽鞘的顶端就明显地弯向了灯光，而且弯曲都是发生在尖端下方大约 2.5 cm 的部位。基于上述结果，达尔文认为，植物的向光弯曲是由于植物本身具有向光生长的能力。那么，植物的什么部位“看到”了光呢？是胚芽鞘尖端？还是其下方发生弯曲的部位？

达尔文假设莴苣的“眼睛”长在了胚芽鞘尖端，然后在其他条件不变的情况下，对幼苗采取了不同的处理方法检验该假设。达尔文发现，用不透光的小帽罩住胚芽鞘尖端，幼苗就不会向光弯曲生长，但用透明的小帽罩住尖端或用不透光的小管套在尖端的下方，胚芽鞘仍会向光弯曲生长（表 5-1）。据此达尔文推测，植物向光性是单侧光照射到胚芽鞘尖端的结果，胚芽鞘尖端产生一种信号物质输

#### 小资料

##### 胚芽鞘

胚芽鞘是胚芽外的锥形套状结构，是植物叶片的保护组织，能够保护胚芽中的幼叶和生长锥。胚芽鞘还能靠它很强的顶土能力使埋在土壤中的种子破土萌发。胚芽鞘为单子叶植物所特有。



送到下方，使其下方的背光面和向光面生长速度不同，因而使胚芽鞘的尖端向光弯曲。

表 5-1 对藜草幼苗的几种处理方法及结果

组别	处理方法	幼苗生长情况
1	幼苗不做任何处理	向光弯曲生长
2	切除胚芽鞘尖端	没有生长，也无弯曲
3	用不透光的小帽罩住胚芽鞘尖端	直立生长
4	用透明的小帽罩住胚芽鞘尖端	向光弯曲生长
5	用不透光的小管套在胚芽鞘尖端的下方	向光弯曲生长

达尔文的实验激发了人们的研究热情，很多人相继设计出了巧妙的实验，来验证达尔文的推测。

1913年，鲍森-詹森（Peter Boysen-Jensen, 1883—1959）切下燕麦胚芽鞘的尖端，在切面上放置一薄琼脂片，再将切下的胚芽鞘尖端放在琼脂片上，发现向光生长仍可发生（图 5-2）。这说明胚芽鞘尖端产生了某种物质，这种物质可以透过琼脂扩散到下方的组织，证实了达尔文关于“胚芽鞘尖端在光照下产生一种信号物质输送到下方”的推测。

**思考**

如果把该实验中的琼脂片换成不能透过物质的云母片，其他条件不变，实验结果会是怎样的？

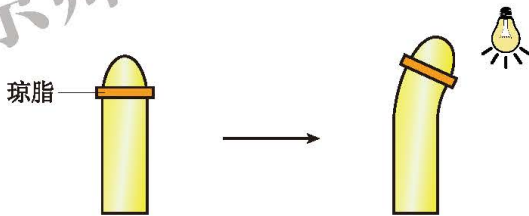


图 5-2 鲍森-詹森放置琼脂片实验示意图

1919年，帕尔（Árpád Paál, 1889—1943）把燕麦胚芽鞘尖端切下后再放回到原切面上的一侧，在无光照情况下，胚芽鞘向未放置尖端的一侧弯曲生长（图 5-3）。这证明胚芽鞘尖端产生的可扩散性物质具有促进生长的作用，证实了达尔文关于“胚芽鞘尖端产生的信号物质使其下方的背光面和向光面的生长速度不同”的推测。

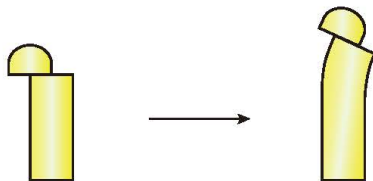


图 5-3 帕尔的胚芽鞘尖端移位实验示意图

1928年,温特(Frits Went, 1903—1990)将燕麦胚芽鞘尖端切下后放置在琼脂块上,1h后移去胚芽鞘尖端,然后将琼脂块切成小块放到胚芽鞘原切面上,该胚芽鞘的生长与完整胚芽鞘的生长一样。若把琼脂小块放在胚芽鞘原切面的一侧,幼苗就会向对侧弯曲生长。但是,未经胚芽鞘尖端处理过的琼脂小块既不能使胚芽鞘生长,也不能使其弯曲(图5-4)。这进一步证明了胚芽鞘尖端能产生某种能促进生长的物质,温特将该物质定名为“生长素(auxin)”。生长素的不对称分布,即背光侧生长素含量高于向光侧,引起了植物的向光生长。

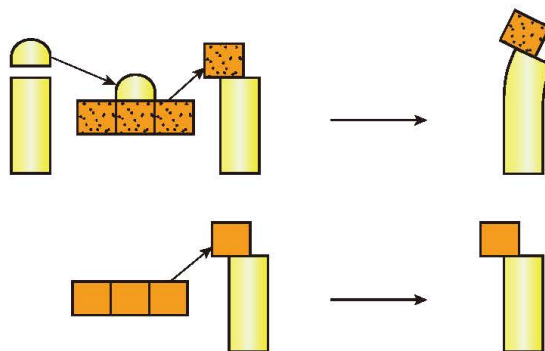


图5-4 温特的琼脂块收集促生长物质实验示意图

生长素的化学本质是什么呢?科学家并没有放慢探索的脚步。

1934年,科格尔(Fritz Kögl, 1897—1959)和哈根-施密特(Arie Haagen-Smit, 1900—1977)从人尿、玉米油等物质中分离提纯了某种化学物质,用这种物质处理琼脂块,可以完美地重复温特的实验。后经化验分析,人们得知该物质是吲哚乙酸(indole acetic acid, IAA),之后人们又陆续发现植物体内还具有吲哚丁酸等其他生长素。众多科学家经过不断的探索,终于发现了植物生长素。植物生长素的发现推动了植物生长调节物质的研究及其在生产实践中的广泛应用。

## 植物生长素的作用具有两重性

生长素主要在植物茎尖、根尖、幼嫩叶片等生长旺盛的组织或器官内合成,然后运输到特定的部位发挥作用。

一般来说,低浓度下生长素促进生长,高浓度下则抑制生长。即使在同一植株上,不同器官对生长素的敏感性也有很大差异(图5-5)。因此,适宜茎生长的生长素浓度,可能对根和芽产生抑制作用。这表明,生长素对植物生长的调节作用具有两重性,既能促进生长,也能抑制生长。

多数植物在生长中具有顶端优势现象,即顶芽优先生长而侧芽的生长被抑制。这是由于顶芽

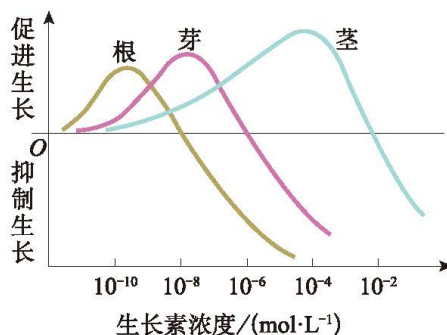


图5-5 不同器官对生长素的敏感性不同

产生的生长素向侧芽运输，积累在侧芽部位，导致侧芽处的生长素浓度过高，使侧芽的生长受到抑制。因此，在生产实践中，常采用人工去除顶芽或剪枝等方法解除顶端优势，促使侧芽生长发育成侧枝，改善植株形状，达到增加产量的目的。

生长素对细胞分裂、分化也有一定的作用。例如，用一定浓度的生长素处理某些植物的枝条切段基部，可刺激该部位的细胞分裂，诱导和促进生根。

生长素还能促进植株单性结实产生无子果实。自然状态下，植物开花受精后，子房中生长素的含量增加，从而促进子房及其周围组织膨大，加速了果实的发育。如果雌蕊未经受精而子房获得了适当浓度的生长素，就可能诱导无子果实的形成。利用这一原理，在未授粉的雌蕊柱头上喷施一定浓度的生长素，可培育出无子果实，如无子番茄、无子黄瓜等。

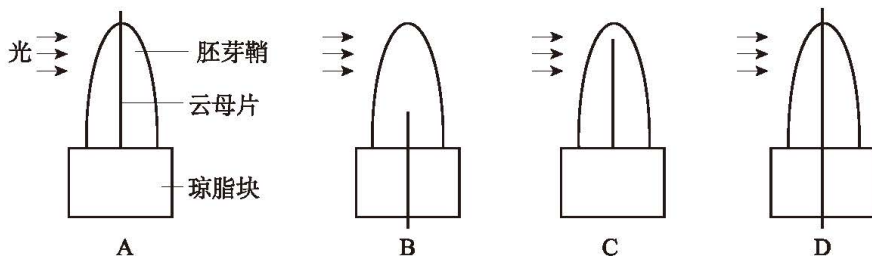
**实践应用 设计**

**设计嫩芽浸出液影响植物枝条生根的方案**

植物嫩芽能合成生长素，而生长素具有促进植物枝条生根的作用。那么用植物嫩芽的浸出液处理枝条，是否可以促进枝条生根呢？请设计研究方案比较不同植物嫩芽、浸出液浓度（可用嫩芽与浸出液质量的比值表示）、浸出液浸泡枝条的时间长短等因素对植物枝条生根时间和生根条数的影响。

**检测评价**

1. 关于植物向光性的发生机制，有人提出了“生长素不对称分布假说”，即背光侧的生长素浓度高于向光侧，使背光侧生长快于向光侧。某科研小组为了验证这一假说，以燕麦胚芽鞘的尖端为实验材料，设计了如下图所示的A、B、C、D四种方案，分别用琼脂块收集生长素，然后再测定其含量。



请回答下列问题：

- (1) 为什么要以胚芽鞘尖端为实验材料？
- (2) 四种收集生长素的方法中哪一种是正确的？为什么？
- (3) 如果假说成立，该实验的预期结果如何？根据是什么？



(4) 如果把 B、D 两组实验中的云母片换成琼脂片，则两组实验结果是否相同？为什么？

2. 三碘苯甲酸 (TIBA) 能阻碍生长素在植物体内的运输，抑制植物的顶端生长，促进侧芽的分化和生长。请回答下列问题：

(1) 人们在生产实践中发现，喷洒 TIBA 可防止大豆倒伏，试解释其原因。

(2) TIBA 能否抑制植物的向光性？试设计实验予以证实。



### 开阔眼界

## 关于植物向光生长原因的探讨

关于植物向光生长的原因，影响力较大的假说是温特等人提出的“生长素不对称分布假说”。20世纪70年代，有人重复了温特的实验，发现用燕麦胚芽鞘背光侧处理后的琼脂块，确实比用胚芽鞘向光侧处理后的琼脂块具有更明显的促进生长的作用，但用物理化学法测定的结果显示两种琼脂块内的生长素含量并无明显差别，进一步分析发现琼脂块中含有能够抑制植物生长的物质，而且这种生长抑制物在向光侧的含量高于背光侧。据此有人认为，燕麦胚芽鞘向光生长是由向光侧的生长抑制物分布较多引起的。人们之后在不同植物中分离出多种生长抑制物，主要有黄质醛、萝卜宁、萝卜酰胺等。生长抑制物可能妨碍了生长素与其受体结合，减少与生长有关的 mRNA 的转录和蛋白质的合成。也有研究表明，生长抑制物能影响表皮细胞中微管的排列，引起器官的不均衡伸长。

也有观点认为，植物向光生长是生长素在向光侧和背光侧的不对称运输及向光侧生长抑制物活性增强两种作用的综合效果。

总之，不同的观点都能在一定程度上对植物的向光生长做出解释，但尚需更有说服力的证据。随着研究的不断深入，其机制终将越来越明确。

## 第二节 主要植物激素的功能及其相互作用

苹果、橙、梨、香蕉等水果在成熟阶段由绿色变成了红、橙或黄色，质地由硬变软，口感由酸涩变甘甜。这一系列的变化与植物激素的作用有关吗？植物激素又是如何发挥作用的呢？

### 植物激素具有各自的特定作用

植物激素主要有生长素、赤霉素（gibberellin, GA）、细胞分裂素（cytokinin, CTK）、脱落酸（abscisic acid, ABA）、乙烯（ethylene）等。

赤霉素最显著的作用是促进茎秆伸长和果实生长（图 5-6）。这一作用主要是通过提高植物体内生长素的含量来加速细胞的伸长实现的。另外，赤霉素还具有促进细胞分裂、诱导开花、防止器官脱落和打破种子休眠等作用。赤霉素和生长素的分布类似，都集中分布在生长较为旺盛的部位，如茎尖、幼叶、根尖、发育着的果实和种子等。

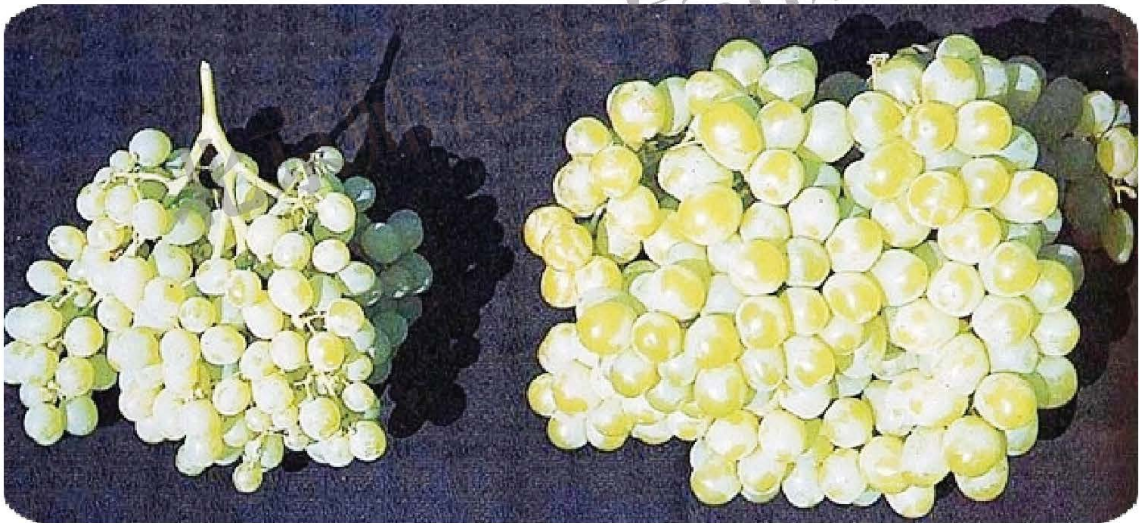


图 5-6 正常生长的葡萄（左）和喷施赤霉素的葡萄（右）

细胞分裂素的主要作用是促进细胞分裂，也能促进多种组织的分化和生长，诱导芽的形成并促进其生长（图 5-7）。另外，细胞分裂素还具有抑制不定根和侧根形成、延缓叶片衰老等作用。细胞分裂素在根尖、茎尖、萌发着的种子和发育着的果实及种子等处合成和分布。

脱落酸是一种抑制生长的植物激素，因能促使叶片脱落而得名（图 5-8）。除此之外，脱落酸还可以促进芽和种子的休眠以及果实的衰老和脱落。脱落酸的合成部位主要是根冠和衰老的叶、茎等器官。

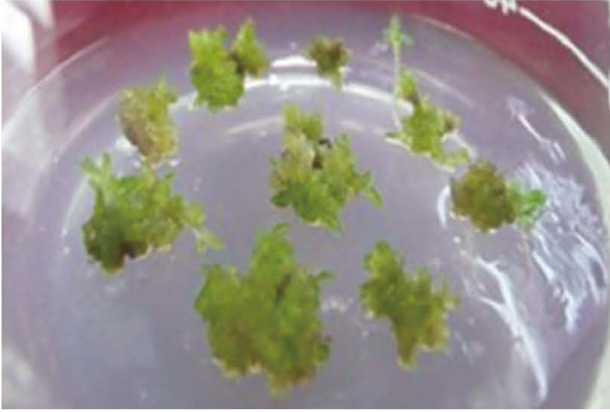


图 5-7 细胞分裂素在植物组织培养中促进芽的生长



图 5-8 脱落酸促使叶片脱落

乙烯能促进果实成熟，促进叶片衰老，打破种子和芽的休眠，抑制多种植物开花，在单性花植物中能诱导雌花分化。植物的各种组织都能合成乙烯。乙烯分布广泛，在成熟的果实中含量较多。

生长素能促进细胞分化，赤霉素能促进茎秆伸长，细胞分裂素和乙烯都能促进果实成熟，叶片中的脱落酸可促使叶片脱落（图 5-9）。总之，各种植物激素都有其特殊作用。

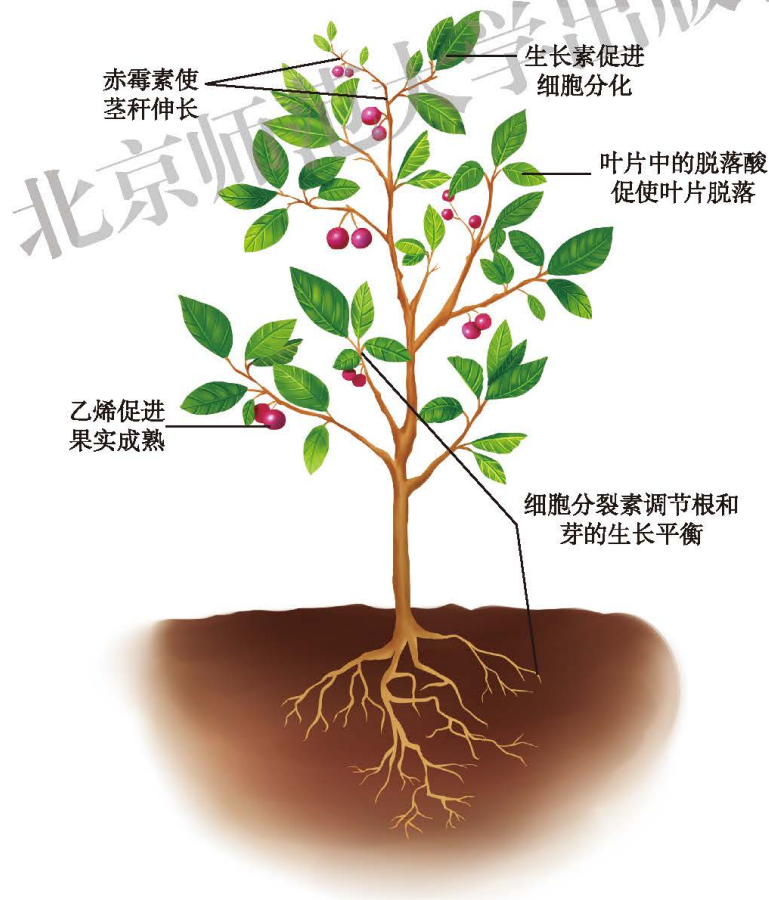


图 5-9 不同植物激素的作用示意图

## 多种激素相互协调共同实现调节作用



### 寻找证据 阅读

阅读下面资料，重点关注赤霉素和生长素的相互关系。

**资料 1.** 为研究赤霉素和生长素对玉米胚芽鞘生长的影响，对初始长度为 2 cm 的玉米胚芽鞘分别用等量的清水、0.1 mg/L 的赤霉素溶液、0.1 mg/L 的生长素溶液、0.1 mg/L 的赤霉素和 0.1 mg/L 的生长素混合溶液对胚芽鞘的尖端进行处理。实验结果如图 5-10 所示。

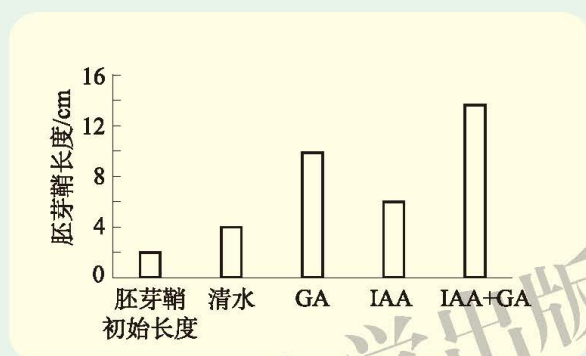


图 5-10 不同处理方式对玉米胚芽鞘生长的影响

**资料 2.** 在研究月桂花芽的分化诱导实验中，科学家发现施加外源赤霉素可以抑制生长素氧化酶的活性，减少生长素的氧化分解。在对豌豆生长的研究中，科学家发现茎顶端的生长素是维持赤霉素正常水平所必需的。去掉顶芽后，豌豆幼苗合成赤霉素的能力丧失。

根据阅读获得的信息，思考下列问题：

1. 赤霉素和生长素在促进植物生长方面有何种关系？
2. 赤霉素和生长素相互影响的可能原因有哪些？

在玉米胚芽鞘生长的实验中，可以看出，使用 GA 和 IAA 均对胚芽鞘生长有促进作用，但是两种激素共同使用时，对胚芽鞘生长的促进作用明显高于两种激素单独使用时。这说明赤霉素和生长素在促进植物生长方面具有协同作用。赤霉素和生长素能够共同调节植物体内的物质合成，可能是二者产生协同作用的原因之一。

实际上，植物体内多种激素间存在着协同作用。例如，生长素促进细胞核的分裂，细胞分裂素促进细胞质的分裂，二者共同促进细胞分裂；细胞分裂素加强生长素的运输，而生长素使细胞分裂素的作用持续期延长；脱落酸和乙烯在促进器官脱落方面也有相互增效作用。

顶端优势也与不同激素间的相互作用有关。顶芽存在时，侧芽生长被抑制；去除顶芽后，侧芽生长加快；但去除顶芽后将含有生长素的羊毛脂膏涂于断面上，侧芽的生长仍可被抑制。若用细胞分裂素处理侧芽，即可消除生长素的抑制作用，说明顶芽合成的生长素向下运输抑制侧芽的生长，而根合成的细胞分裂素向上运输促进侧芽的生长，结果植物发育成了下宽上尖的宝塔形（图 5-11）。由此可见，在顶端优势形成过程中，细胞分裂素和生长素表现为拮抗关系。另外，在植物种子萌发、叶片衰老和扦插枝条生根等过程中都存在激素间的拮抗作用（表 5-2）。

### 思考

有人认为植物呈下宽上尖形状的一个主要原因是下面的侧枝生长时间长，而上面的侧枝生长时间短。你怎么看？



图 5-11 植物的顶端优势

表 5-2 不同植物激素间的拮抗作用

作用效果	扦插枝条生根	种子萌发	叶片衰老
促进	生长素	赤霉素	脱落酸
抑制	赤霉素	脱落酸	细胞分裂素

不同植物激素间的关系不是一成不变的，在某些条件下可以转化。例如，赤霉素能促进拟南芥根的伸长，乙烯在暗处抑制拟南芥下胚轴和根的生长，而在光照下乙烯对根的生长具有与赤霉素一致的作用。

另外，不同植物激素的含量比例也会影响植物生命活动。例如，赤霉素和脱落酸的比例降低可以增强植物的抗逆性；生长素与细胞分裂素比例升高，能维持顶端优势；生长素与赤霉素比例升高促进木质部分化，二者比例降低则促进韧皮部分化；赤霉素与细胞分裂素比例升高促进顶芽分化为雄花，二者比例降低则促进顶芽分化为雌花。

激素通过协同、拮抗等方式共同实现对植物生命活动的调节。在植物组织培养过程中，需要在培养基中合理添加多种激素，并且可以根据生产和科研的需要调整激素间的比例关系。通常情况下，当需要分化更多根时，宜将添加的生长素与细胞分裂素比值调高；如果

仅诱导芽的分化，宜将该比值降低；若同时诱导根、芽的分化，二者比例宜适中；为了获取代谢产物，需要大量培养愈伤组织时，则不宜添加细胞分裂素。

## 实践应用 实验

### 探究乙烯利对水果的催熟作用

#### ● 目的要求

1. 说明乙烯利对水果有特殊的作用。
2. 应用科学探究方法设计并完成实验，得出实验结论。

#### ● 实验原理

乙烯利溶于水后能释放出乙烯。成熟后的果实也能释放乙烯。因此，将乙烯利溶液或成熟果实与未成熟果实存放在同一容器中，即可使未成熟果实加快成熟。

#### ● 方法步骤

利用身边材料，设计实验方案，探究乙烯利对水果的催熟作用。

##### 提示

1. 可利用成熟的梨和青香蕉进行实验。
2. 实验分3组进行处理：A组将2个成熟的梨和4根青香蕉放到1个塑料袋中密封；B组将盛有100 mL 乙烯利溶液的小烧杯和4根青香蕉放到1个塑料袋中密封；C组将盛有100 mL 清水的小烧杯和4根青香蕉放到1个塑料袋中密封。

##### 注意

乙烯利具有强酸性，使用时要戴手套和眼镜，使用后的器具要及时清洗干净。

3. 将3个密封好的塑料袋及其内容物放在室温下，每天观察比较各组香蕉的颜色变化。

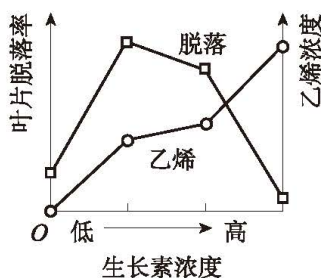
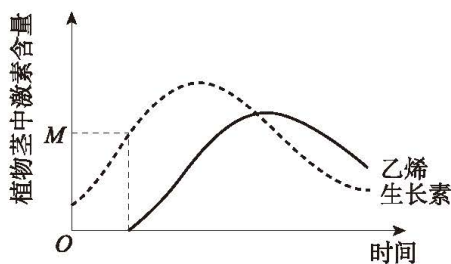
4. 设计表格，记录实验结果。

#### ● 思考讨论

1. 成熟的梨为什么对香蕉有催熟作用？
2. 为什么B组不用香蕉直接蘸取乙烯利溶液，而是将其与盛有乙烯利溶液的小烧杯共同存放？

### 检测评价

1. 为了探究生长素和乙烯对植物生长的影响及其相互作用，科学家进行了两个实验：实验一在不同时间段测定两种激素在茎中的含量；实验二观察了两种激素的含量变化对叶片脱落的影响。



请回答下列问题：

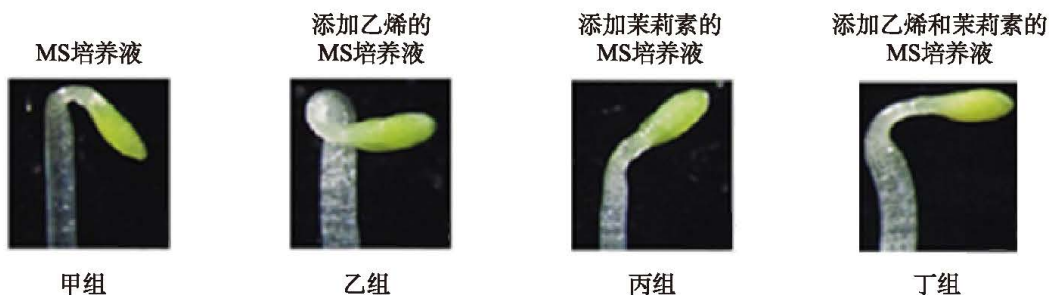
- (1) 下列关于实验一的分析，不能得出的结论是 ( )。
- 当乙烯的浓度增大到一定程度时，可能抑制生长素的合成
  - 该植物茎中生长素和乙烯的含量达到峰值是不同步的
  - 在植物的生长发育中各种激素是单独起作用的
  - 图中M点表示，生长素浓度增大到一定值时，可能会促进乙烯的合成

(2) 下列关于实验二的分析正确的是 ( )。

- 乙烯浓度越高叶片脱落率越高
- 叶片脱落率随生长素和乙烯浓度增加而不断提高
- 生长素和乙烯对叶片脱落的作用是相互拮抗的
- 生产上可喷施较高浓度生长素类似物降低叶片脱落率

(3) 由上述两个实验可以看出，同一器官不同生长阶段同种激素含量\_\_\_\_\_ (相同/不同)，不同器官中同种激素含量的变化\_\_\_\_\_ (相同/不同)，两个实验的结果显示：植物的正常生长发育是多种激素\_\_\_\_\_的结果。

2. 埋在土中的种子萌发时，幼苗的下胚轴顶端会发生弯曲，这种弯曲的结构称为“顶端弯钩”。科研人员为了研究茉莉素与乙烯对“顶端弯钩”形成的影响，用MS培养液（植物生长的完全培养液）、乙烯、茉莉素进行了实验，结果如下图所示。



请回答下列问题：

- 实验中设置甲组的目的是什么？
- 茉莉素的生理作用是什么？依据是什么？
- 茉莉素与乙烯在“顶端弯钩”形成中有何关系？理由是什么？
- “顶端弯钩”对子叶和分生组织的出土有何作用？

## 第三节 植物生长调节剂的应用

“长安回望绣成堆，山顶千门次第开。一骑红尘妃子笑，无人知是荔枝来。”这首诗由唐朝诗人杜牧所作，描写了不远千里从南方为杨贵妃飞骑送荔枝的场景。现在，各种新鲜的水果已经进入人们的日常生活。为了避免水果在运输途中腐烂，有些水果在完全成熟之前便被采摘下来，运送到目的地之后，再用人工的方法催熟。此外，还有许多人工合成的调节植物生长的物质也被用于农业生产。那么，这些物质都有哪些方面的应用呢？



### 寻找证据 调查

走访当地农民、蔬果经销商、农业专家和农业监管部门，调查植物激素在农业生产中的应用情况及其产生的经济效益和社会效益。

根据调查获得的信息，思考以下问题：

1. 在农业生产中几乎不使用天然植物激素，原因是什么？
2. 植物激素及其类似物在农业生产中的应用有哪些？效益如何？
3. 农业生产中使用植物激素应注意什么？

### 植物生长调节剂的合理应用效果显著

存在于植物体内的天然植物激素，含量极低，难以提取应用。人工合成的植物生长调节剂与天然植物激素相比，其原料来源广泛，价格低廉，可大量生产。人工合成的对植物的生长发育有调节作用的激素类似物和从植物中提取的天然植物激素，统称为植物生长调节剂（plant growth regulator）。植物生长调节剂可以分为植物生长促进剂、植物生长延缓剂、植物生长抑制剂。

植物生长促进剂主要有赤霉素、氯吡脲、吲哚乙酸、萘乙酸、2,4-D等。赤霉素用于茎叶类的蔬菜，如芹菜、莴笋、菠菜、韭菜等，能够促进植株长高，使茎增长、增粗，叶片宽大、叶肉肥厚，提高品质和产量。氯吡脲是一种具有细胞分裂素活性的植物生长调节剂，俗称“膨大剂”。氯吡脲主要用于黄瓜、猕猴桃、葡萄、甜瓜、西瓜等，可以促进细胞分裂、扩大伸长，使果实肥大，提高产量。2,4-D是一种人工合成的植物生长调节剂，可以起到与生长素相似的生理效应，在农业生产中已广泛代替生长素使用。2,4-D可以促进扦插枝条生根，还可用于促进坐果、防止早期落果、获得无子果实（图5-12）等。





图 5-12 无子番茄

植物生长延缓剂有矮壮素、多效唑、氟节胺等。矮壮素是赤霉素的拮抗剂，其作用是抑制细胞的伸长，但不抑制细胞的分裂。矮壮素可以使植物矮化（图 5-13），培育壮苗，增强植物抗倒伏、抗寒、抗旱、抗盐碱的能力。在农业生产上，矮壮素用于防止小麦、水稻、玉米等作物徒长，使茎秆变粗，利于根系生长，增强作物抗倒伏能力，并且使穗粒饱满，增加产量。矮壮素还能防止棉花落铃，使马铃薯块茎增大，使番茄株型紧凑并提早开花。



图 5-13 使用矮壮素的玉米（右侧）

植物生长抑制剂有青鲜素、脱落酸、乙烯利、三碘苯甲酸等。青鲜素又称“抑芽丹”，是一种人工合成的植物生长抑制剂，其作用与生长素相反。青鲜素可通过叶面角质层进入植物体，降低光合作用、渗透压和蒸腾作用，能强烈抑制芽的生长和茎的伸长，促使植物提早结束生长，促进成熟。在农业生产上，青鲜素用于防止马铃薯块茎、洋葱、大蒜、萝卜等储藏期间的抽芽，控制烟草侧芽生长等。青鲜素与 2,4-D 混用，还可作为除草剂。

由此可见，植物激素及其类似物在生产上得到了广泛应用。

## 滥用植物生长调节剂危害人体健康

过量使用植物生长调节剂可能会损害人体健康。例如，矮壮素对人的皮肤有害，青鲜素可能有致癌作用。用于果实催熟的乙烯利毒性虽然较小，但若长期过量使用，也会影响人体的健康。使用植物生长调节剂时，要综合考虑药物功效、药物毒性、药物残留等各方

面因素。按照我国《农药管理条例》的规定，植物生长调节剂属于农药管理范围，不得使用。只有取得农药登记并获得生产许可的植物生长调节剂产品，才能进行生产、经营和使用。

植物生长调节剂在现代农业生产中的应用十分广泛，可以提高作物产量，改善作物品质。由于植物生长调节剂的使用效果与浓度、使用时间、使用次数、使用方法、使用部位等都密切相关，如若使用不当，不仅达不到预期功效，反而会造成损失，所以务必要科学地使用植物生长调节剂。

## 实践应用 实验

### 探究 2, 4-D 促进扦插枝条生根的最适浓度

#### ● 目的要求

1. 说明 2, 4-D 对扦插枝条生根的作用。
2. 提高设计和实施实验、数据记录、结果分析以及与他人合作的能力。

#### ● 实验原理

2, 4-D 是一种人工合成的生长素类似物，可以促进扦插枝条生根，并且具有与生长素相似的两重性作用。通过对比经不同浓度的 2, 4-D 处理后的扦插枝条的生根情况，即可确定 2, 4-D 的最适浓度。

#### ● 方法步骤

先在小组内讨论，确定实验的总体思路，再逐步细化，写出具体的实验方案，然后再实施实验。

#### 提示

1. 选择一种植物的枝条若干，所选枝条的芽数尽量一样多。用于扦插的枝条要选择生长旺盛的，插条的形态学下端要修成斜面，扦插后可增加吸水面积，促进成活。

2. 注意设置对照组和重复组，并且控制好无关变量（各组温度、药液处理的时间、插条的初始情况等应保持一致）。使用蒸馏水作为空白对照组，再设置药液浓度不同的几个实验组，每组不少于 3 个枝条。

3. 2, 4-D 浓度的选择可以参照包装上的说明。或者先设计一系列浓度梯度比较大的预实验进行摸索，找到最适浓度的大致范围后，再缩小浓度梯度，进行更为细致的实验设计。

4. 2, 4-D 处理插条的方法主要有两类。（1）浸泡法：把插条的形态学下端浸泡在配制好的溶液中，深约 1.5 cm，处理几小时至一天。（2）沾蘸法：把插条的形态学下端在溶液中蘸一下，约 5 s，深约 1.5 cm 即可。

5. 可将插条生根的数目或长度作为生根情况的检测指标。

## ● 思考讨论

不同小组间进行交流，对比本组的实验方案、实验结果等与其他小组是否相同。分析原因，从中吸取经验，进一步完善本组的实验方案。

## 检测评价

1. 植物生长促进剂用于经济作物，可促使其长高增产；植物生长延缓剂用于粮食作物，可使其矮化结穗；植物生长抑制剂用于马铃薯、大蒜等，可防止其在储存过程中发芽。但过量使用植物生长调节剂反而会造成减产，甚至危害人体健康。请回答下列问题：

(1) 芦苇茎秆坚韧，纤维含量高，是造纸的重要原材料。但是，大多数自然生长的芦苇纤维比较短，不利于生产应用。为了使芦苇的纤维长度增加，对生长期的芦苇应使用( )。

- |          |        |
|----------|--------|
| A. 2,4-D | B. 赤霉素 |
| C. 乙烯利   | D. 青鲜素 |

(2) 某种植基地为了防止玉米秧苗的疯长使用了矮壮素，但是由于用量过多，造成秧苗停止生长。为解除矮壮素的作用，可以使用( )。

- |        |        |
|--------|--------|
| A. 多效唑 | B. 氟节胺 |
| C. 赤霉素 | D. 乙烯利 |

(3) 马铃薯发芽后，其幼芽和芽眼部分的龙葵碱含量较高，对人体有害。为了防止马铃薯在储存过程中发芽，可使用( )。

- |        |        |
|--------|--------|
| A. 矮壮素 | B. 赤霉素 |
| C. 青鲜素 | D. 脱落酸 |

2. 乙烯利属于植物生长调节剂，因对水果具有催熟作用，被广泛用于果蔬催熟。但如果超量、超标使用，乙烯利也会对人体健康产生一定的不利影响。请回答下列问题：

(1) 乙烯利对植物生命活动有怎样的调节作用？

(2) 作为消费者，你对使用乙烯利催熟水果有何看法？

(3) 相关职能部门怎样才能更好地规范和监管乙烯利的使用？试提出你的建议。



## 使用植物生长调节剂安全吗？

植物生长调节剂在农作物生产中的应用已经很普遍，施用植物生长调节剂是一种促进农业增产、增收的重要技术措施。植物生长调节剂会不会危害人体健康呢？植物生长调节剂会不会对人体的生长发育产生影响呢？

我国将植物生长调节剂纳入农药的管理范畴。与杀虫剂、除草剂等其他农药相比，植物生长调节剂的毒性要小得多，一般为低毒或微毒，并且这些植物生长调节剂只有在很低的浓度下才能起作用，浓度太高反而会起反作用，甚至引起植物死亡。所以，按照我国《农药管理条例》的有关规定，正确使用植物生长调节剂不会影响农产品质量安全。

植物生长调节剂只有在被植物细胞质膜上的特异性受体识别后才能发挥作用，而动物细胞的质膜上并没有类似的受体，所以，植物生长调节剂并不能调节人体的生长发育。反之，把动物激素应用在植物上，植物也一样会“无动于衷”，用避孕药来催熟植物果实的说法毫无根据。目前普遍用于果实催熟的主要是乙烯利，它对人体是没有“催熟”作用的。所以，不用担心儿童食用乙烯利催熟的水果会引起性早熟。

然而，过量使用植物生长调节剂确实会因为其化学毒性危害人体健康。为此，应正确使用植物生长调节剂，避免随意滥用。我国正不断完善相关使用标准，加强农产品中残留农药的检测，保障农产品的质量安全。

## 第四节 外界因素对植物生命活动的影响

春兰、夏荷、秋菊、冬梅，总是应时序开放；种子的萌发总是根向下扎、芽向上发；树木的年轮疏密宽窄不同。哪些外界因素影响了植物开花的时节、根茎生长的方向和植物的生长发育速度呢？植物对这些因素又是如何反应的呢？

### 光照周期影响植物开花



#### 寻找证据 阅读

阅读下面材料，重点关注秋菊开花与日照长短的关系。

秋菊是一种观赏性植物，一般在10月前后开花。进入秋季后，日照时间逐渐缩短，黑夜变长。当每天的光照时间短于12 h，也就是短于菊花的临界日长，并且持续一段时间后，秋菊便会开花。

园艺工作者为了让秋菊在日照时间较长的夏季开花，人为缩短日照时间，在白天的时候对秋菊进行遮光处理，当日照时间短于秋菊的临界日长时，秋菊就会开花。反之，为了让秋菊在冬天开花，需要在开花前人为延长日照时间，使日照时间长于秋菊的临界日长。从9月初开始，每天午夜前后给秋菊增加3 h的灯光照明，一直到10月下旬为止，这样菊花可在元旦前后开花。为了让秋菊开花的时间再推迟一些，可每日继续在夜晚给秋菊灯光照明，这样甚至可使菊花按人们的意愿，到春节时开花。

根据阅读获得的信息，思考下列问题：

1. 秋菊开花主要受什么因素的影响？
2. 怎样使秋菊提前或延迟开花？其原理是什么？
3. 对于春季开花的植物怎样人工改变其开花时间？

自然界中，很多植物的开花需要有光信号的刺激，各种植物都有其特定的临界日长。像秋菊这样，每天光照时间短于它的临界日长并持续若干天后才能开花，长于它的临界日长就不开花的植物叫作短日植物。短日植物有秋菊、大豆、紫苏、烟草等。而长日植物只有当每天光照时间长于它的临界日长时才开花，短于它的临界日长就不开花。冬小麦、菠菜、燕麦等就是长日植物。有些植物只要成熟了就能开花，与日照长短无关，这类植物叫作日中性植物，如番茄、四季豆、月季、黄瓜等。

根据光照长短对植物开花的影响，可以人为控制开花时间。例如，缩短光照时间可使秋菊提前开花，而延长光照时间可使秋菊推迟开花。

有实验显示，用短暂的黑暗打断光照对长日植物开花没有影响，但是用短暂的光照打断黑暗却能阻碍短日植物开花。从某种意义上来说，临界夜长比临界日长对开花更为重要。夜长长于临界夜长时，短日植物开花（图 5-14）；夜长短于临界夜长时，长日植物开花。因此，也把短日植物叫作长夜植物，把长日植物叫作短夜植物。

光不仅可以调节植物的开花，而且作为一种触发信号影响着植物生长发育的许多方面。植物体内含有不同的光受体，它们可以感受光照时间长短、光照强度和光质等，对种子的萌发、叶片的伸展、叶绿素的形成、茎的向光性等都有重要的调节作用。

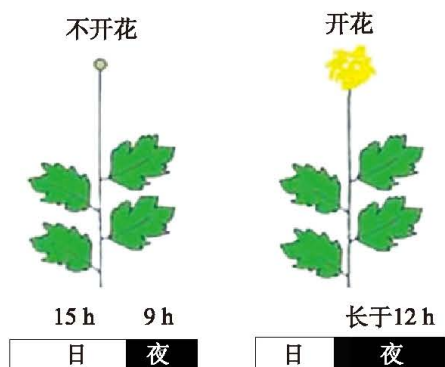


图 5-14 夜长对菊花开花的影响

## 温度影响植物的生长发育速度

各种植物的生长、发育都要求有一定的温度条件，植物的生长和繁殖要在一定的温度范围内才能进行。温度是影响植物是否发芽和生长的重要因素。一般而言，温度升高，代谢加快，生长发育加速；温度下降，代谢减慢，生长发育迟缓。当温度低于或高于植物所能忍受的温度范围时，植物生长逐渐缓慢、停止，发育受阻，甚至死亡。

温度的变化包括昼夜变化和季节变化两个方面。在一定范围内，昼夜温差增大能促进植物生长，提高种子萌发率，对植物的开花结果有利，并能提高产品品质。温度的季节性变化也会影响植物的生命活动。大多数植物在春季温度开始升高时发芽、生长，继之出现花蕾；夏秋季高温下开花、结果；秋末低温条件下落叶，随即进入休眠。一些植物必须经历一段时间的持续低温才能由营养生长阶段转入生殖生长阶段。例如，冬小麦一般于秋季萌发，进行一段时间的营养生长后必须经过冬季的低温，次年夏初才能开花结实。

## 重力影响根和茎的生长方向

植物受到外界刺激时，体内某种物质的含量或分布发生变化，引起相应部位向一定方向运动，这种现象称为植物的向性运动。向性运动是植物对外界刺激所做出的应激反应，植物的向光性就是一种向性运动。向重力性也是植物很常见的一种向性运动。

向重力性是指植物在重力的影响下，根会顺着重力的方向向下生长，表现出向地性，而茎则会背离重力方向向上生长，表现出背地性。把玉米籽粒种下去后，不论籽粒朝什么方向，将来根都向地生长，茎都背地生长（图 5-15）。把一株已经生长了一段时间的植物水平放置后，新生的根也会向下弯曲生长，新生的茎也会向上弯曲生长（图 5-16）。



图 5-15 玉米根的向地生长

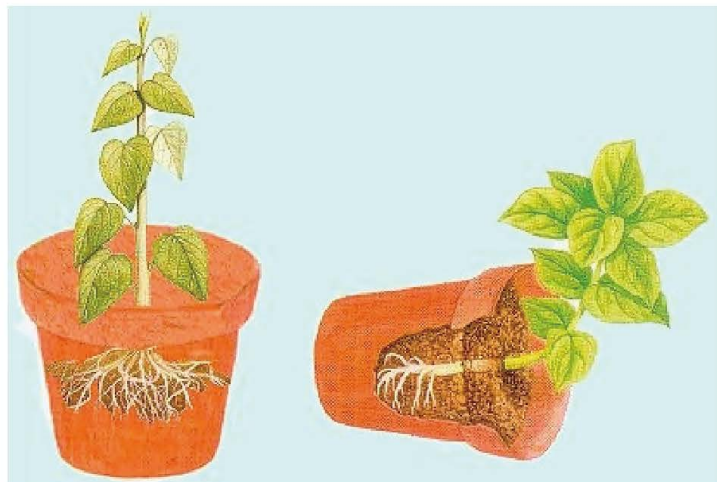


图 5-16 植物直立或水平放置时根与茎的生长情况

向重力性也与生长素的分布不均有关。在植株被水平放置时，生长素向近地侧移动。但为什么根表现为向地性而茎表现为背地性呢？通常认为这是由根和茎对生长素的敏感性不同所致。根对生长素很敏感，根的近地侧生长素分布较多时，其生长被抑制，使背地侧生长快，因此根向下弯曲。而茎对生长素不敏感，茎的近地侧生长素分布较多时，其生长加快，因此茎就向上弯曲。

光、温度和重力等环境因素参与了植物生命活动的调节。根据不同环境因素对植物的影响，将植物放置在人为控制的光照、温度等条件下，满足植物不同生长阶段的要求，可以使植物按照人的意愿在特定的时间发育到特定的阶段。

### 实践应用 设计

#### 设计使水仙花春节盛开的方案

水仙花是我国的传统观赏花卉，叶色鲜绿，花香扑鼻。人们常常在春节前栽培水仙，希望它能在春节时开花，以装饰室内环境，烘托节日气氛。

通过查阅网络、书籍报刊等获取有关水仙花种植的资料，设计使水仙花恰逢春节期间盛开的方案。在设计方案时，要考虑光照、温度、水分等各种外界因素的影响。

### 检测评价

1. 采用大棚覆盖塑料薄膜种植蔬菜，可以人为创造适宜的环境条件，进行春提前、秋延后甚至越冬栽培，使开花结果期延长，以达到避免冻害、调整蔬菜上市季节、促进蔬菜优质高产的目的。

请回答下列问题：

(1) 大棚可以创造适宜蔬菜生长发育的环境条件，其中主要调整的外界因素是( )。

A. 光照      B. 水分      C. 温度      D. 重力

(2) 冬季日照时间较短，且阳光不很强烈，再加上有棚膜覆盖，棚内光照会受到一定程度的影响，不利于蔬菜的生长，可通过什么方式进行弥补？

(3) 蔬菜大棚中还需要经常补充  $\text{CO}_2$ ，这是为什么？可以怎样补充？请提出你的建议。

2. 暖冬对冬小麦的生长常造成不利影响，加快小麦出叶和分蘖速度，苗提早形成，还使病原体和虫卵更容易越冬，因而会造成病虫害的增加。请回答下列问题：

(1) 阐述暖冬导致冬小麦减产的原因。

(2) 怎样才能更好地解决暖冬问题？



开阔眼界

## 植物在太空中的生长方向

生活在地球上的植物都要受到地球重力场的作用，因而有上下方向之分，总是茎向上、根向下生长，表现出向重力性。植物在单侧光的照射下，也会表现出向光性。另外，植物还具有向水性、向肥性等。向性运动是植物对于环境的适应，这种适应使植物的叶接受充足的阳光照射，有利于植物进行光合作用，使植物的根向土壤深处生长，既有利于植株的固定，又有利于植物从土壤中吸收水分和养分。

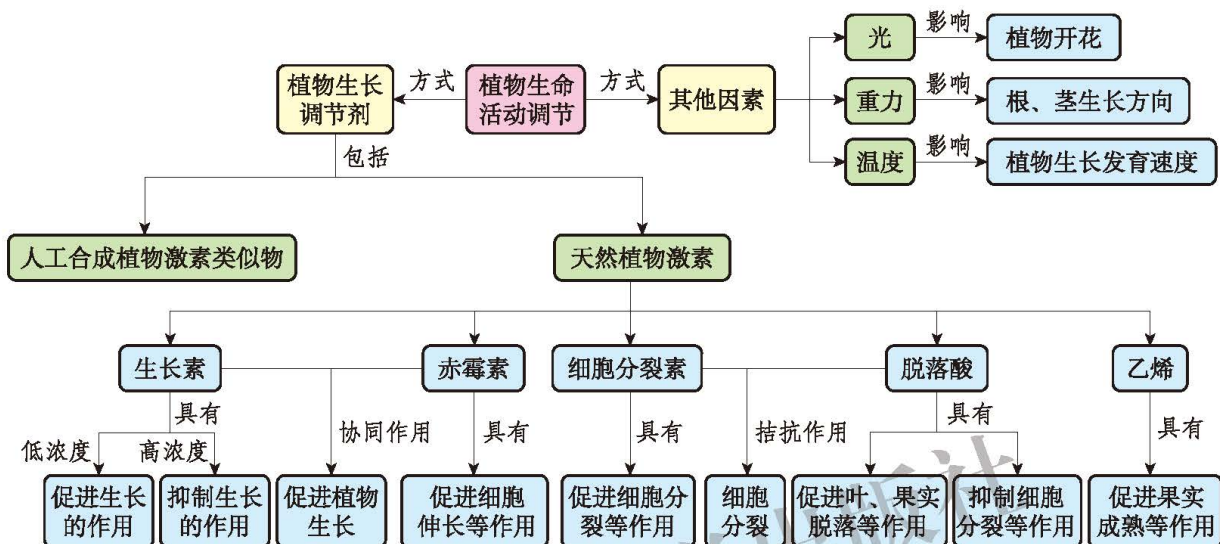
在太空中，植物所处环境的重力场只有地面十万分之一到千分之一的水平。在这种微重力环境中，植物的生长就失去了重力方向的引导。除去太空中微重力的影响之外，植物生长方向的关键就是水分和光照来源的方向。如果没有其他因素，如单侧光照等外界因素的刺激，植物就会表现出在随机方向上的生长。

为了让植物有序生长，能够识别方向，科学家研究设计了特殊的空间实验装置，将植物固定培养在基质中，使其能够按照合理的方式有序生长，以便完成它们的生活史。



## 本章小结

## ● 基础知识梳理



植物生命活动的调节主要是激素调节。科学家通过不断探索发现了植物生长素，并揭示其作用表现出两重性。赤霉素、细胞分裂素、乙烯和脱落酸等也是重要的植物激素。各种植物激素通过协同、拮抗等方式共同调节着植物的生命活动。天然植物激素和人工合成的激素类似物已在提高作物产量、改善作物品质等方面取得了很大成效。光、重力、温度等因素也参与植物生命活动的调节。

## ● 学科素养提示

结合植物激素和其他因素调节植物生命活动的作用及其原理，查找植物激素在生产中应用的相关资料，并通过探究乙烯利对水果的催熟作用、探究2,4-D促进扦插枝条生根的最适浓度、设计使水仙花春节盛开的方案等实践活动，尝试提出使用植物激素以及调节光、温度和重力等因素控制植物生长、发育的生产实践方案。分析和评价滥用植物生长调节剂带来的问题，对植物生长调节剂的规范应用提出合理化建议。

## 后 记

北师大版普通高中教科书《生物学》是根据经全国中小学教材审定委员会 2004 年初审通过的普通高中课程标准实验教科书《生物》(主编:刘植义 付尊英)修订而成的。本次修订以教育部制定的《普通高中生物学课程标准(2017 年版)》为依据,力图在落实课程标准要求的基本理念,完成课程标准中课程目标、课程内容和学业质量等要求的基础上,全面提升教科书的水平。编写组着力围绕培养学生生物学核心素养、帮助学生构建生物学大概念进行总体设计,注重从真实情境出发,引导学生通过科学探究获取证据,再通过科学思维构建概念,进而形成生命观念,力求在解决实际问题中培养学生的社会责任意识,最终做到培养并提升学生的生物学学科核心素养。

本套教科书由付尊英和刘广发担任主编,潘紫千、白文忠、李连杰和乔文军担任副主编,乔文军、朱正歌、白文忠、万五星、边艳青(以教科书模块前后为序)担任分册主编。本套教科书的核心编写人员有(以教科书模块前后为序):刘欣、张斌、胡彬、肖振龙、朱正歌、侯金海、刘彤、王梦奇、白文忠、裴柳、张雪倩、乔萌萌、宋洁莲、陈华、闫白洋、边艳青、毕诗秀、周春江、周予新、齐永平、李冰。

本册教科书由白文忠担任主编,主要编写人员有白文忠、裴柳、张雪倩、乔萌萌。参与本册教材编写、讨论的人员还有崔庚寅、王梦奇、张静洁、翁永良、王亚琴。

在教科书编写过程中,许多学科专家、教研员以及一线教师对教科书的修改给予了热情的帮助,同时也提出了许多宝贵的意见和建议,在此一并表示感谢!

希望广大师生在使用过程中提出宝贵意见,以便我们进一步修改和完善。欢迎来电来函与我们联系:北京师范大学出版社基础教育一分社(100088), (010) 58802799, shengwu2@bnupg.com。

北京师范大学出版社