

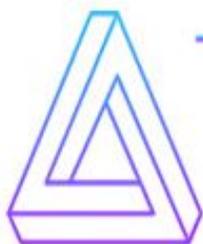


普通高中教科书

生物学

选择性必修 1

稳态与调节



——专注做高中生物教学——

生物清风岭

本资源来源于网络，仅用于个人教学研究
以及及时查阅需求，请勿作他用！
建议购买最新用书，防止存在错误！

主 编：朱正威 赵占良

副 主 编：何奕骢

本册主编：曹保义 吴成军

编写人员：（以姓氏笔画为序）

王天祥 包春莹 刘 丹 林祖荣

顾咏梅 徐国恒 曹保义 谭永平

责任编辑：包春莹

美术编辑：王 喆

普通高中教科书 生物学 选择性必修 1 稳态与调节

人民教育出版社 课程教材研究所
生物课程教材研究开发中心 编著

出 版 人民教育出版社
(北京市海淀区中关村南大街 17 号院 1 号楼 邮编：100081)

网 址 <http://www.pep.com.cn>

重 印 北方联合出版传媒（集团）股份有限公司

发 行 辽宁省新华书店

印 刷 辽宁新华印务有限公司

版 次 2020 年 5 月第 1 版

印 次 2020 年 7 月第 1 次印刷

开 本 890 毫米×1240 毫米 1/16

印 张 7.5

字 数 176 千字

书 号 ISBN 978-7-107-34599-9

定 价 13.45 元（含光盘）

版权所有·未经许可不得采用任何方式擅自复制或本产品任何部分·违者必究

如发现内容质量问题，请登录中小学教材意见反馈平台：jcyjfk.pep.com.cn

如发现印、装质量问题，影响阅读，请与印厂联系调换。电话：024-31255233

监督电话：024-23284486

目 录

科学家访谈 探索生命活动调节的奥秘 ——与许智宏院士一席谈

第 1 章 人体的内环境与稳态.....	1
第 1 节 细胞生活的环境.....	2
第 2 节 内环境的稳态.....	7
探究·实践 模拟生物体维持 pH 的稳定.....	7
第 2 章 神经调节.....	15
第 1 节 神经调节的结构基础.....	16
生物科技进展 脑细胞真的是死一个少一个吗... 21	
第 2 节 神经调节的基本方式.....	22
与生物学有关的职业 影像技师.....	26
第 3 节 神经冲动的产生和传导.....	27
生物科学史话 生物电的发现.....	32
第 4 节 神经系统的分级调节.....	33
生物科技进展 中国脑计划.....	36
第 5 节 人脑的高级功能.....	37
科学·技术·社会 脑机接口让工具真正实现 “随心所欲”.....	40





第3章 体液调节	43
第1节 激素与内分泌系统	44
第2节 激素调节的过程	50
科学·技术·社会 评价应用激素类药物的 利与弊	56
第3节 体液调节与神经调节的关系	57



第4章 免疫调节	65
第1节 免疫系统的组成和功能	66
生物科技进展 免疫系统的新发现	70
第2节 特异性免疫	71
科学·技术·社会 流行性感冒及其预防	76
生物科技进展 癌症的免疫疗法	76
第3节 免疫失调	77
科学·技术·社会 HIV与艾滋病	81
第4节 免疫学的应用	82
与生物学有关的职业 疫苗制品工	86



第5章 植物生命活动的调节.....	89
第1节 植物生长素	90
第2节 其他植物激素	96
第3节 植物生长调节剂的应用	100
探究·实践 探索植物生长调节剂的应用.....	103
第4节 环境因素参与调节植物的生命活动	105
科学·技术·社会 调控花期创造美好生活....	109



探索生命活动调节的奥秘

——与许智宏院士一席谈



许智宏

江苏无锡人，植物生理学家，北京大学生命科学学院教授，中国科学院院士，发展中国家科学院院士。曾任中国科学院副院长、北京大学校长等职务。许智宏院士长期从事植物发育生物学、植物细胞工程等方面的研究，取得了突出成就。

许智宏院士非常关心基础教育事业。2017年9月25日，在他的办公室里，许院士接受了我们的采访。

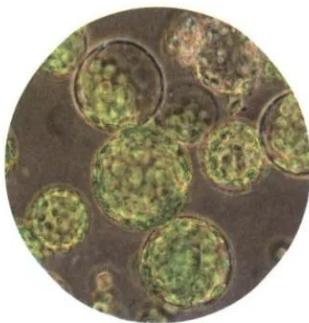
问：您早期从事植物激素的研究，后来在植物发育及植物细胞工程方面取得了许多成果。您是怎么进入该研究领域的？

答：我出生在无锡，从小就非常喜欢大自然，经常在野外爬山、捕虫、钓鱼；我也对植物特别感兴趣。我们知道，在生物体中，体细胞的遗传物质基本上是一样的，但为什么叶肉细胞可以进行光合作用，而根的细胞能从土壤中吸收水分和养料呢？通过组织培养技术，这些细胞为什么又可以回到“原始”状态，可以再生为植株呢？这其中蕴含的奥秘就是植物细胞的全能性。组织培养是一种能够用来探索植物细胞全能性的技术，而植物激素又是组织培养中调控细胞分裂和分化等的重要因素。在北京大学学习时，这个领域就深深

吸引着我，使我更加向往科学研究。

问：在您的研究过程中，您最深的感悟是什么？能和同学们分享一下吗？

答：在实验中，不能忽略任何细节，要养成关注细节的习惯。我曾在英国做访问学者，刚回国时做植物原生质体的培养（植物原生质体是研究植物发育、植物细胞工程的理想材料），需要在高浓度蔗糖溶液中进行低速离心，使原生质体漂浮在溶



光学显微镜下的原生质体（放大约200倍）

液上。我重复了很多次，都没有成功。后来更换蔗糖后，实验就成功了。原来是之前采购的蔗糖纯度有问题。可见，有时候，一个小小的细节就能决定实验的成败。



许智宏院士早年在从事研究

有时候灵感也很重要。在早期分离原生质体时，遇到的问题是用什么组织为材料来分离。一次，我在炒绿豆芽时突然想到，绿豆芽长得那么快，幼嫩组织中的细胞肯定分裂快，于是就用发芽绿豆的根尖部分分离原生质体，实验很成功。以后，我们用幼嫩的子叶培养了多种难以培养的豆科植物的原生质体，并进一步分化形成植株，都取得了成功。

问：动植物生命活动的调节都离不开激素。您能否以植物激素为例，谈谈激素在生命活动调节中的作用？

答：植物的整个生命活动过程，生长、发育、开花和结果都离不开植物激素的调节。最早发现的植物激素是生长素，在植物体内到处都有它的“身影”，它从不同的角度参与植物的生命活动调节过程。目前已经发现了六大类植物激素（生长素、细胞分裂素、脱落酸、赤霉素、乙烯和油菜

素内酯）。科学家还在不断地发现新的植物激素，如独脚金内酯，它的受体是我国科学家发现的。这些植物激素相互影响，共同调节植物的生命活动。环境因素对植物生命活动的调节经常是通过激素来实现的。所以说，植物激素是植物生命活动调节中最基础、最重要的物质之一。同样，动物激素也在动物生命活动调节中起着非常重要的作用。

问：高中生学习“稳态与调节”有什么意义？

答：动物、植物和微生物，它们的生命活动都受到很多因素的影响。通过学习，学生可以了解生物体内的调控机制非常复杂，有基因水平的调控、蛋白质水平的调控等。这些调控并不是孤立地起作用，而是共同调节。从调控方式上看，它们都是反馈调节，反馈有正反馈和负反馈等。正是有了调节的两面性，生命活动才能精致、高效、有序地进行。这是生命的共性。

植物与动物的发育过程有很大不同。植物在胚胎发育过程中只产生少数的组织和器官原基（将来发育为某器官的原始细胞团），而动物在胚胎发育完成后，所有的器官原基均已形成，以后只是不断长大的过程。植物的营养生长和生殖生长是分开的。在胚里没有花的原型，只有长到生殖生长阶段才出现花。这种胚后发育模式赋予了植物极强的发育可塑性以适应环境的变化。冬天来了，有些动物可以使毛加



厚或者躲入洞里冬眠，而植物必须经受大自然的考验，如形成种子进行休眠，或者以它巧妙的调控机制来适应环境。这种调节方式的不同也体现了生物多样性。

了解生命活动的调节，不仅在理论上具有重要意义，而且对我们的生产、生活也同样重要。植物激素在农业上的应用非常广泛，如赤霉素在无子葡萄和杂交水稻制种中都有应用。但是，很多人不了解这些，一听到在作物生产中应用激素就担心食用后有安全问题。例如，有媒体报道某地的香蕉是用植物激素处理过的，很多人就不购买也不吃这些香蕉，造成大量的香蕉滞销，蕉农因此损失惨重。类似的实例还有很多。了解激素的作用原理，就可以利用激素或其类似物对植株生长发育过程进行调控，也能够理解植物激素本来就存在于植物体内，正确使用它们，并不会对人体造成损害。

问：您能不能对高中生目前的学习乃至他们今后的学习和生活提供一些建议呢？

答：中学阶段的学习是为以后打基础的，首先要培养自己的兴趣、爱好。不管做什么工作，一旦有了兴趣，你就会有毅力坚持下去，可以长时间专注于一件事情。同时，要知道兴趣是可以培养的。

其次，我希望年轻人能多一点时间去大自然中去，要多创造一些条件接触大自然。在大自然中，你能发现很多有趣的生命现象，激发你对生活的热爱。我在北大当校长的时候，很多学生喜欢在网上玩“偷菜”的游戏，我就对他们说，你们为什么不能在窗台上养几盆花，种点番茄、辣椒或其他植物，这样，你们就可以知道番茄是怎样生长的。年轻人一定要与现实生活多接触，与生产实践多接触。



许智宏院士（右）与研究生在野外考察

再次，不要偏科，每门功课都应认真学好。将来，你可能去当工程师、教师、法律工作者，也可能去做记者，但生物学的基础知识对生活和工作都是需要的。了解生命科学，是未来合格公民所必备的。

我最想对高中生说的话：

在学习中发现和培养兴趣，
增长自己的才能。

许智宏
2017年9月

第1章

人体的内环境与稳态

无论是在炎炎夏日进行户外作业的工人、农民，还是在冰天雪地的南极进行考察的科学家，他们的体温都是 37°C 左右，这是为什么？严重腹泻时，需要及时补充水分和盐分，这又是为什么？

在外界环境发生剧烈变化的情况下，人体仍能通过自身的调节作用，维持内环境的相对稳定，从而使体内的细胞拥有稳定而适宜的生活条件。



无论春夏秋冬，风云变幻，
它却总是轻波微澜。
稳态是生命系统的特征，
也是机体存活的条件。
它让每一个细胞分享，
又靠所有细胞共建。

第1节

细胞生活的环境

问题探讨

在初中的生物学课上，你曾观察过多种动物细胞的装片。右侧的两幅图片你一定还有印象。

讨论

1. 图1和图2所示的各是什么细胞？它们分别生活在什么样的环境中？尝试说出它们生活环境的异同。

2. 若将图1所示的细胞置于图2所示细胞的生活环境中，会发生什么变化？

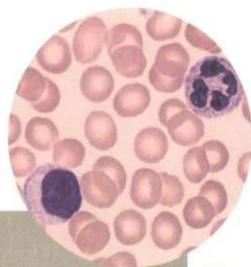


图1



图2

本节聚焦

- 什么是内环境？
- 内环境具有哪些理化性质？
- 人体细胞如何与外界环境进行物质交换？

细胞是生命活动的基本单位。无论是单细胞生物还是多细胞生物的细胞，都有其特定的生活环境，并与环境之间不断进行着物质和能量的交换。

生活在水中的单细胞生物，如草履虫，可以直接从水里获取生存所必需的养料和 O_2 ，并把废物直接排入水中。这些单细胞生物只能在水环境中生活，如果水体干涸，它们就会休眠或者死亡。

组成我们身体的绝大多数细胞没有直接与外界环境接触，不能直接与外界环境进行物质交换。

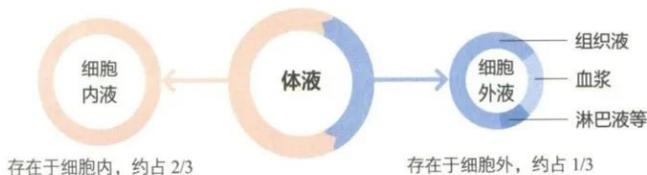
这些细胞直接生活的环境是什么呢？

体内细胞生活在细胞外液中

《红楼梦》中有句话说，女人是水做的。其实，不论男性还是女性，体内都含有大量以水为基础的液体，这些液体统称为体液（图1-1）。体液中除含有大量的水以外，还含有许多离子和化合物。

相关信息

成年人体内的水量大约是体重的60%；出生一天的婴儿，体内水量大约是体重的79%。



▲ 图1-1 体液的组成示意图

说到体液，你首先想到的可能是血液，它在由全身血管和心脏组成的系统中循环运动。其实，血液并不全是体液，这是因为血液中除了液体部分——血浆（plasma），还有大量的血细胞。血浆是血细胞直接生活的环境。

组织液（tissue fluid）是存在于组织细胞间隙的液体，又叫组织间隙液。它主要由血浆通过毛细血管壁渗出到细胞间而形成，大部分物质能够被重新吸收回血浆。组织液为细胞提供营养物质，细胞的代谢产物也透过细胞膜进入组织液。绝大多数细胞都浸浴在组织液中，因此，组织液是体内绝大多数细胞直接生活的环境。

淋巴液（lymph fluid）存在于淋巴管中，它是由一部分组织液经毛细淋巴管壁进入毛细淋巴管而形成的。淋巴液在淋巴管中流动，经过淋巴结等淋巴器官，并最终汇入血浆。淋巴液中有大量的淋巴细胞等，可以协助机体抵御疾病，对这些细胞来说，淋巴液就是它们直接生活的环境。

知识链接

关于淋巴结、淋巴细胞等内容，参见本书第4章。

思考·讨论

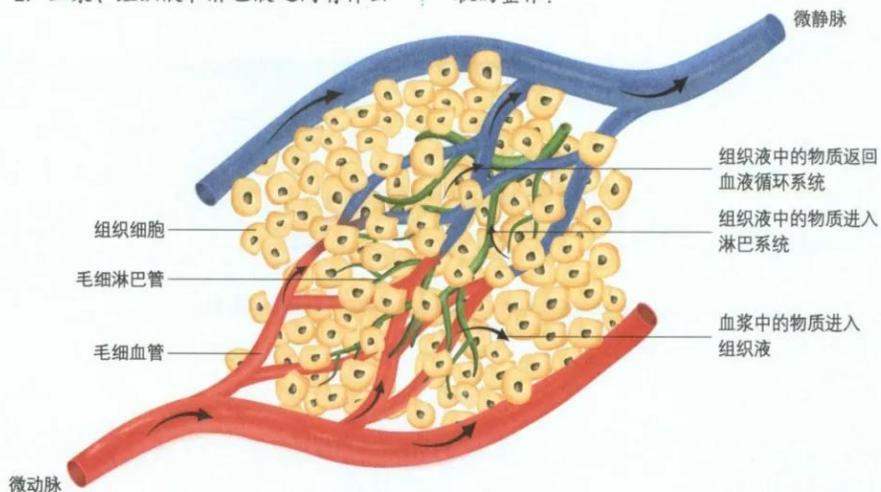
血浆、组织液和淋巴液之间的关系

观察下图，回答下列问题。

- 1. 为什么说细胞外液是细胞直接生活的环境？
- 2. 血浆、组织液和淋巴液之间有什么

内在联系？请依据下图绘制出能反映三者联系的模式图（用文字和箭头表示）。

- 3. 为什么说全身的细胞外液是一个有机的整体？



血浆、组织液、淋巴液之间的关系示意图

血浆、组织液和淋巴液通过动态的有机联系，共同构成机体内细胞生活的直接环境。为了区别于个体生活的外界环境，人们把这个由细胞外液构成的液体环境叫作内环境（internal environment）。

细胞外液的成分

假如将你身体的一个细胞或一块组织拿到体外，如果不提供特殊的环境条件，它很快就会死亡。而在内环境中，体内细胞却能正常地生活。

内环境里含有哪些成分呢？

下面以血浆的化学成分为例进行探讨。

思考·讨论

血浆的化学组成

血浆的成分复杂，主要为水。科学家用化学分析的方法，测得人体血浆中部分成分的含量如下表。

成分	含量	成分	含量
丙氨酸氨基转移酶	9 ~ 60 U/L*	总胆固醇	3.1 ~ 5.2 mmol/L
总蛋白	65 ~ 85 g/L	钠	137 ~ 147 mmol/L
总胆红素	5 ~ 21 μmol/L	钾	3.5 ~ 5.3 mmol/L
碱性磷酸酶	45 ~ 125 U/L	钙	2.2 ~ 2.65 mmol/L
尿素	2.8 ~ 7.2 mmol/L	磷	0.81 ~ 1.45 mmol/L
肌酐	57 ~ 111 μmol/L	镁	0.73 ~ 1.06 mmol/L
尿酸	208.3 ~ 428.4 μmol/L	血清铁	11 ~ 30 μmol/L
葡萄糖	3.9 ~ 6.1 mmol/L	氯	99 ~ 110 mmol/L
乳酸脱氢酶	140 ~ 271 U/L	碳酸氢盐	22 ~ 28 mmol/L
三酰甘油	0 ~ 1.7 mmol/L	总CO ₂	21 ~ 31.3 mmol/L

*注：U表示酶的活力单位。

讨论

1. 血浆中这么多物质，你能将它们归归类吗？

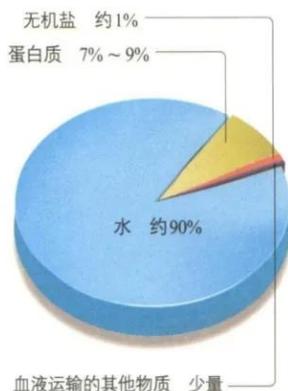
2. 除表中所列成分外，血浆中还可能含有哪些物质？

3. 回忆所学知识，你能说出其中哪

些物质在人体中的作用？

4. 从葡萄糖、三酰甘油（甘油三酯）、尿素、钠中，任选一种你熟悉的成分，分析它的来源和去路，并说明这与人体的哪些系统有关。

研究表明，血浆中约90%为水；其余10%分别是：蛋白质（7%~9%），无机盐（约1%），以及血液运输的其他物质，包括各种营养物质（如葡萄糖）、激素、各种代谢废物等（图1-2）。组织液、淋巴液的成分和各成分的含量与血浆的相近，但又不完全相同，最主要的差别在于血浆中含有较多的蛋白质，而组织液和淋巴液中蛋白质含量很少。从某种意义上说，细胞外液是一种类似于海水的盐溶液。这在一定程度上反映了生命起源于海洋。



▲ 图1-2 血浆的主要成分

内环境的理化性质

将血液中的红细胞放在清水或浓度很低的溶液中，细胞会由于吸水过多而破裂；将红细胞放在浓度较高的溶液中，红细胞会由于过多失水而死亡。此外，在过酸、过碱或温度过高、过低等条件下，细胞也不能正常生活。

在细胞外液中细胞会出现这样的情况吗？

这就要分析细胞外液的理化性质。**渗透压、酸碱度和温度**是细胞外液理化性质的三个主要方面。

所谓渗透压，简单地说，是指溶液中溶质微粒对水的吸引力。渗透压的大小取决于单位体积溶液中溶质微粒的数目，溶质微粒越多，即溶液浓度越高，溶液渗透压越高。血浆渗透压的大小主要与无机盐、蛋白质的含量有关。在组成细胞外液的各种无机盐离子中，含量上占有明显优势的是 Na^+ 和 Cl^- ，细胞外液渗透压的90%以上来源于 Na^+ 和 Cl^- 。在37℃时，人的血浆渗透压约为770 kPa，相当于细胞内液的渗透压。

正常人的血浆近中性，pH为7.35~7.45。血浆的pH之所以能够保持稳定，与其中含有的 HCO_3^- 、 H_2CO_3 等物质有关。

人体细胞外液的温度一般维持在37℃左右。

细胞通过内环境与外界环境进行物质交换

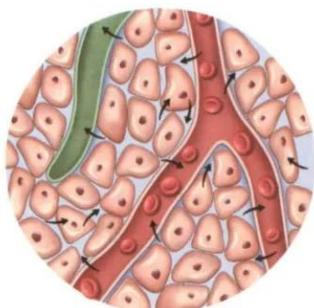
细胞作为一个开放系统，可以直接与内环境进行物质交换：不断获取进行生命活动所需要的物质，同时又不间断排出代谢产生的废物，从而维持细胞正常的生命活动（图1-3）。

内环境又是如何与外界环境进行物质交换的呢？

学科交叉

与化学的联系

酸碱度（pH）是指溶液中自由氢离子浓度的负对数，即 $\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]$ 。



▲ 图1-3 细胞直接与内环境进行物质交换（箭头代表物质运输方向）

思考·讨论

内环境如何完成与外界环境的物质交换

结合初中学过的人体消化、呼吸、循环、排泄等知识，与同学讨论以下问题。

1. Na^+ 、葡萄糖、氨基酸和 O_2 等分别是经过什么途径进入内环境的？
2. 参与维持 pH 的 $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$ 是怎样形成的？

3. 体内细胞产生的代谢废物（如尿素和 CO_2 ），是通过哪些器官排到体外的？

4. 请你用简单的示意图表示内环境与外界环境的物质交换的关系。

5. 通过以上讨论，是否增进了你对本章章首页题诗的理解？

通过讨论可以看出，内环境与外界环境的物质交换过程，需要体内各个系统的参与。例如，消化系统将营养物质摄入体内，呼吸系统吸入 O_2 、排出 CO_2 ，泌尿系统把代谢废物、水和无机盐排出体外，循环系统把各种物质运输到机体的相应部位。机体的各个部分正常运行和协调一致，共同保证内环境与外界环境之间物质交换的顺利进行。

细胞和内环境之间也是相互影响、相互作用的。细胞不仅依赖于内环境，也参与了内环境的形成和维持。

练习与应用

一、概念检测

1. 人在进行一定强度的体力劳动后，手掌或脚掌上可能会磨出水疱。水疱中的液体主要是组织液，一段时间后水疱可自行消失。请判断以下有关说法是否正确。

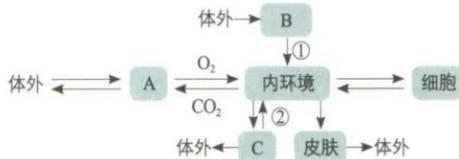
- (1) 水疱的成分中蛋白质的含量最高。 ()
- (2) 水疱主要是由血浆中的水大量渗出到组织液形成的。 ()
- (3) 水疱自行消失是因为其中的液体可以渗入毛细血管和毛细淋巴管。 ()
- (4) 水疱的形成和消失说明内环境中物质是不断更新的。 ()

2. 人体内环境是体内细胞直接生活的环境。下列属于人体内环境的是 ()

- A. 膀胱内的尿液 B. 大脑细胞间隙的液体
C. 肺泡腔内的气体 D. 小肠腔内的消化液

3. 右上图表示人体内细胞与外界环境之间进行物质交换的过程，A、B、C 表示直接与内环境进行物质交换的几种器官，①②是有关的生理过程。

请回答下列问题。



- (1) A、B、C 分别是_____。
- (2) B 内的营养物质通过①过程进入内环境，则①表示_____。
- (3) ②表示_____。

二、拓展应用

剧烈运动会使肌肉产生大量乳酸等酸性物质，这会影响血浆的 pH 吗？在这种情况下，机体是如何维持细胞外液的酸碱度的？请查阅相关资料，寻找答案。

第2节 内环境的稳态

问题探讨

在进行常规体检时，通常要做血液生化检查，以了解肝功能、肾功能、血糖、血脂等是否正常。右图是某人的血液生化检查化验单的一部分。

讨论

1. 为什么血液的生化指标能反映机体的健康状况？
2. 每种成分的参考值（即正常值）都有一个变化范围，这说明什么？
3. 从化验单上可以看出什么成分超出正常范围？这可能会对人体造成什么不利影响？

北京市医疗机构临床检验结果报告单					
姓名: 高青博	登记号: 00000000000000000000	出生日期: 1988-11-22	标本日期: 2018-11-22	流水号: 15	检验编号: 000000
性别: 男	科室: 综合科18	申请医师: 于雷	标本种类: 血 仪 器: 丁	年龄: 29岁	床号: 18002床
医嘱: 生化2	床号: 18002床	申请日期: 2018-11-22	采样时间: 2018-11-22	初诊/复诊: 初	检验项目: 肝功能、肾功能、血脂
检验项目	英文对照	结果	单位	参考值	
1 *丙氨酸氨基转氨酶	ALT	11	U/L	9-40	
2 *天冬氨酸氨基转氨酶	AST	12	U/L	15-45	
17 *葡萄糖	GLU	10.96	mmol/L	3.9-6.1	↑
18 糖化血红蛋白	GA	33.70	%	10.0-11.0	↑
19 *肌酐	CR	126	μmol/L	38-174	
20 尿酸	UA	1.9	mg/dl	0.6-0.8	
21 *乳酸脱氢酶	LDH	173	U/L	140-210	
22 *甘油三酯	TC	2.21	mmol/L	0-1.7	↑
23 *总胆固醇	TCHO	5.15	mmol/L	3.1-5.6	

备注:
接收者: 李雷 接收时间: 2018-11-22 07:29:27 操作者: 张博 审核者: 曹德胜
注: 1. 本报告仅供检验标本使用, 结果供医生参考。 审核时间: 2018-11-22
2. 如怀疑结果有疑问, 请于报告发出后3日内与相应的检验室联系。
3. *项目代表北京市三级医院检验结果适用范围。
4. 检验结果中*为危急值, †为高于参考值, ‡为低于参考值, ▲不在参考值范围内。

血液生化检测化验单(部分)

随着外界环境的变化和体内细胞代谢活动的进行，内环境（如血浆）的各种化学成分和理化性质在不断发生变化。

内环境会因此而剧烈变动吗？

内环境的动态变化

细胞代谢会产生许多酸性物质，如碳酸等；人和动物吃的食物代谢后也会产生一些酸性或碱性物质。这些物质进入内环境，会使机体的pH发生怎样的变化呢？下面的探究活动将帮助你回答这个问题。

本节聚焦

- 什么是内环境的稳态？它有什么重要意义？
- 稳态调节的机制是什么？
- 在日常生活中，如何更好地维持内环境的稳态？

探究·实践

模拟生物体维持pH的稳定

在溶液中加入酸或碱，缓冲对（如 $\text{HPO}_4^{2-}/\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ）能使溶液pH的变化减弱；与自来水相比，生物组织匀浆更类似于缓冲液。

目的要求

通过比较自来水、缓冲液和肝匀浆在加入酸或碱后pH的变化，推测生物体是如何维持pH稳定的。

材料用具

防护手套、护目镜、50 mL烧杯、50 mL量筒、pH计或pH试纸、镊子、自来水、物质的量浓度为0.1 mol/L的HCl（盛于滴瓶中）、物质的量浓度为0.1 mol/L的NaOH（盛于滴瓶中）、pH为7的磷酸盐缓冲液、肝匀浆等。

方法步骤

1. 在记录本中，画一个如下的表格。

材料	0.1 mol/L 的 HCl							0.1 mol/L 的 NaOH						
	加入不同数量液滴后的 pH							加入不同数量液滴后的 pH						
	0	5	10	15	20	25	30	0	5	10	15	20	25	30
自来水														
缓冲液														
肝匀浆														

2. 将 25 mL 自来水倒入 50 mL 烧杯中。

3. 用 pH 计或 pH 试纸测试起始的 pH，并作记录。

4. 一次加一滴 0.1 mol/L 的 HCl，然后轻轻摇动。加入 5 滴后再测 pH。重复这一步骤直到加入了 30 滴为止。将 pH 测定结果记入表中。

注意：HCl 有腐蚀性。应避免它与皮肤和眼睛接触，也不要入口。若有酸溅到皮肤上，要立即用水冲洗 15 min，并尽快告诉老师。

5. 充分冲洗烧杯并向其中倒入 25 mL 自来水。测定并记录起始的 pH。再如步骤 4，一滴一滴地加入 0.1 mol/L 的 NaOH，测定并记录 pH。

注意：NaOH 也有腐蚀性，注意事项同前。

6. 充分冲洗烧杯，用缓冲液代替自来水，重复步骤 2 至步骤 5，记录结果。

7. 充分冲洗烧杯，用肝匀浆代替自来水，重复步骤 2 至步骤 5，记录结果。

8. 根据所得数据，以酸或碱的滴数为横坐标，以 pH 为纵坐标，画出自来水 pH 变化的曲线。以实线表示加入酸后 pH 的变化，虚线表示加入碱后 pH 的变化。再用另两种颜色的线条分别表示缓冲液、肝匀浆的 pH 变化情况，也同样以实线和虚线分别表示加入酸、碱后的变化。

9. 尝试用不同生物材料（如动物血浆、用 2~5 倍水稀释的鸡蛋清或马铃薯匀浆）代替肝匀浆完成实验。

结论

根据实验结果，说出不同实验材料 pH 变化的特点。

讨论

1. 就加入 HCl 或 NaOH 后 pH 的变化来说，肝匀浆更像自来水还是更像缓冲液？

2. 缓冲液的 pH 变化为什么与自来水的不同？

3. 方法步骤 9 中所用到的生物材料与肝匀浆的实验结果类似吗？

4. 请根据模拟实验的结果，尝试对机体维持 pH 稳定的机制进行解释。



人体内环境中也有很多缓冲对，其中最重要的是 $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$ ，其次还有 $\text{HPO}_4^{2-}/\text{H}_2\text{PO}_4^-$ 等。当一定量的酸性或碱性物质进入后，内环境的pH仍能维持在一定范围内。

内环境的其他化学成分和理化性质也维持在一定范围内吗？

正常情况下，不同人的体温，会因年龄、性别等的不同而存在微小差异；同一个人的体温在一日内也有变化，但变化幅度一般不超过 $1\text{ }^\circ\text{C}$ 。尽管气温波动范围较大，但健康人的体温始终接近 $37\text{ }^\circ\text{C}$ 。不仅体温如此，健康人内环境的每一种成分如血糖、血脂，以及渗透压等理化性质都是不断变化的，但都处于一定的范围内。若某种成分含量高于或低于参考值，则预示机体可能处于不健康状态。内环境的这种动态平衡是通过机体的调节作用实现的。生理学家把正常机体通过调节作用，使各个器官、系统协调活动，共同维持内环境的相对稳定状态叫作稳态 (homeostasis)。

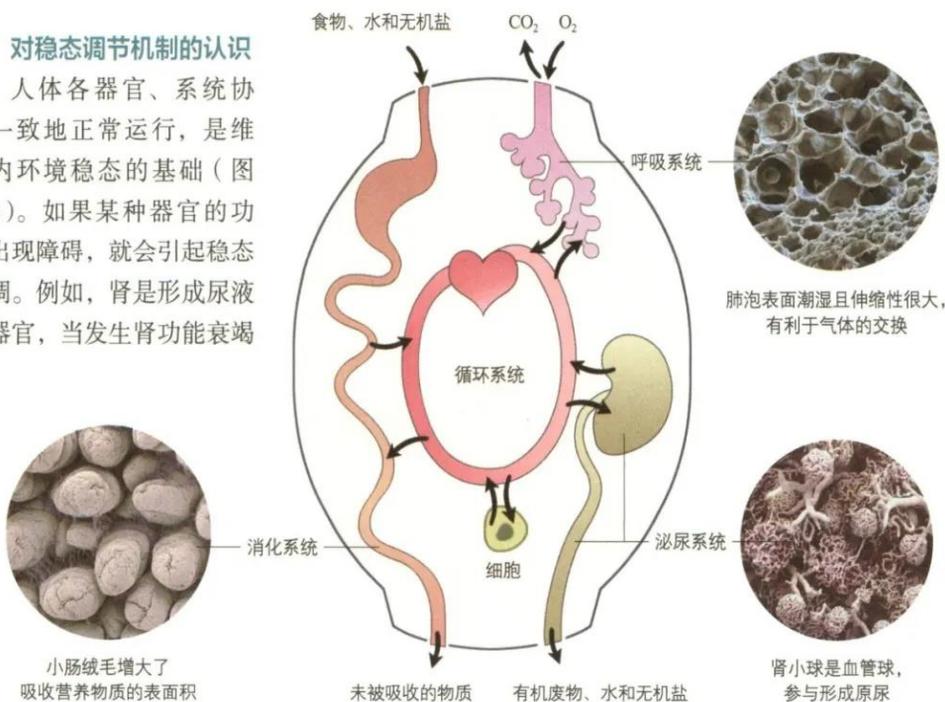
稳态是如何实现的呢？

对稳态调节机制的认识

人体各器官、系统协调一致地正常运行，是维持内环境稳态的基础 (图 1-4)。如果某种器官的功能出现障碍，就会引起稳态失调。例如，肾是形成尿液的器官，当发生肾功能衰竭

知识链接

关于体温是如何调节的，参见本书第3章第3节。



▲ 图 1-4 内环境稳态与消化、呼吸、循环、泌尿系统的功能联系示意图



尿毒症与内环境稳态失调有何关系？你知道如何治疗尿毒症吗？

时，病人的水和无机盐等的代谢会紊乱，可出现全身水肿、尿素氮升高、呕吐等一系列症状，即尿毒症，严重时会导致死亡。

机体内各个器官、系统，为什么能够保持协调一致呢？

1857年，法国著名生理学家贝尔纳（C. Bernard, 1813—1878）提出：内环境的稳定是生命能独立和自由存在的首要条件，内环境保持稳定主要是依赖神经系统的调节。1926年，美国著名生理学家坎农（W. B. Cannon, 1871—1945）提出稳态的概念。稳态不是恒定不变，而是一种动态的平衡。他提出，内环境稳态是在神经调节和体液调节的共同作用下，通过机体各种器官、系统分工合作、协调统一而实现的。随着分子生物学的发展，人们发现免疫系统对于内环境稳态也起着重要的调节作用：它能发现并清除异物、病原微生物等引起内环境波动的因素。因此，目前普遍认为，神经—体液—免疫调节网络是机体维持稳态的主要调节机制。

内环境的稳态会不会出现失调的情形呢？



思考·讨论

分析内环境稳态失调的实例

1. 你有过发高热的经历吗？谈谈高热最严重时的感受。体温过高时为什么要采取物理降温或药物降温的措施？

2. 严重腹泻后，如果只喝水，不补充盐，内环境的渗透压可能会出现什么变化？

3. 援藏的技术人员到青藏高原后常会出现头痛、乏力、心跳加快甚至血压升高等症状，为什么？这说明外界环境与内环境稳态之间有什么关系？



人体维持稳态的调节能力是有一定限度的。当外界环境的变化过于剧烈，或人体自身的调节功能出现障碍时，内环境的稳态就会遭到破坏，危及机体健康。

与社会的联系 炎炎夏季，在高温环境中从事体力劳动的人，最容易发生中暑。中暑是指高温引起机体体温调节功能紊乱所表现出的一系列症状，如高热、皮肤干燥、恶心、呕吐、食欲不振、心悸、头痛等。严重中暑会使体温超过 40°C ，病死率比较高。

内环境稳态的重要意义

细胞代谢是由细胞内众多复杂的化学反应组成的，完成这些反应需要各种物质和条件。例如，细胞代谢需要依靠氧化分解葡萄糖来提供能量，只有血糖浓度和血液中的含氧量保持在正常范围内，才能为这一反应提供充足的反应物。细胞代谢的进行离不开酶，酶的活性又受温度、pH等因素的影响。只有温度、pH等都在适宜的范围内，酶才能正常地发挥催化作用。由此可见，内环境稳态是机体进行正常生命活动的必要条件。

稳态概念的发展

随着生理学及其他学科的发展，稳态的概念得到巩固和发展，其内涵也不断充实。人们发现，不同层次的生命系统都存在着类似于内环境稳态的特性。

在分子水平上，存在基因表达的稳态、激素分泌的稳态、酶活性的稳态等。例如，在正常生长和分裂的细胞中，原癌基因和抑癌基因的表达存在着稳态，如果这个稳态受到破坏，正常细胞就可能会变成癌细胞；正常人体内调节血糖的胰岛素和胰高血糖素等激素是处于动态平衡的，如果它们的分泌紊乱，人体血糖的稳态就会受到破坏。

在细胞水平上，存在细胞的分裂和分化的稳态等；在器官水平上，存在心脏活动的稳态（血压、心率）、消化腺分泌消化液的稳态等；在群体水平上，种群数量的变化存在稳态，生态系统的结构和功能也存在稳态。可见，在生命系统的各个层次上，都普遍存在着稳态。稳态已经成为生命科学的一大基本概念。

知识链接

人体内大多数酶的最适温度和最适pH是多少？参见必修1《分子与细胞》第5章第1节。

知识链接

关于种群动态和生态系统的稳定性，参见选择性必修2《生物与环境》第1章和第3章。

我国天山地区的生态系统



练习与应用

一、概念检测

1. 稳态是生命系统的特征，也是机体存活的条件。判断下列与人体稳态有关的表述是否正确。

(1) 人吃进酸性或碱性的食物会使血浆 pH 发生紊乱。 ()

(2) 有的人常吃咸鱼、咸菜，但他细胞外液的渗透压仍能保持相对稳定。 ()

(3) 在正常情况下，一个人的体温是恒定不变的。 ()

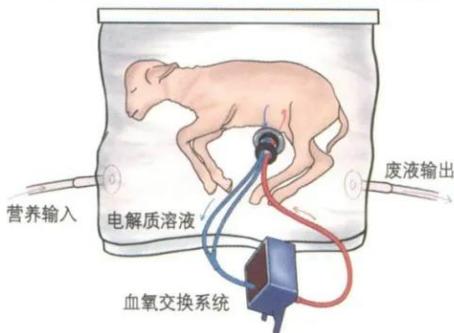
(4) CO_2 是人体细胞呼吸产生的废物，不参与维持内环境的稳态。 ()

2. 在长跑比赛时，运动员的体内会发生复杂的生理变化，如机体大量产热、出汗等。下列相关叙述正确的是 ()

- A. 大量产热会使体温急剧升高
- B. 大量出汗会使血浆的 pH 下降
- C. 大量出汗可使血浆渗透压降低
- D. 大量出汗有利于机体体温的稳定

二、拓展应用

2017年，科学家研制了一个充满电解质溶液的大塑料袋，并用它来抚育早产的羊羔。羊羔在此“人造子宫”中待了4周。足月后，研究者发现，它们与在母羊子宫中待到足月出生的小羊一样健康。请你推测或搜集相关资料，从内环境稳态的角度分析：“人造子宫”必须具备哪些条件？



“人造子宫”原理图

课外实践

调查体温的日变化规律

请完成家庭成员一日内体温（腋窝温度，精确到小数点后一位）变化调查表。

成员	6:00	9:00	12:00	15:00	18:00	21:00	睡前	平均温度
母亲								
父亲								
自己								

根据调查数据，在同一坐标系中绘制家庭成员一日内体温变化曲线图（用不同颜色的线表示不同成员的体温变化情况），并思考以下问题。

- (1) 不同家庭成员的体温完全一致吗？这说明了什么？
- (2) 与其他同学交流调查结果，比较班

级中同一年龄、同一性别同学的体温数据，可以得出什么结论？

(3) 比较不同个体在一日内不同时间段的体温数据，由此可知体温的日变化有什么规律？

(4) 将体温变化情况与当地实际气温日变化大致情况进行对比，结果如何？

本章小结

理解概念

● 内环境是由血浆、组织液、淋巴液等细胞外液共同构成的，它是机体细胞赖以生存的液体环境。内环境含有相对稳定的化学成分，渗透压、pH、温度等理化性质处于相对稳定的状态，能为机体细胞提供适宜的生活环境。

● 机体细胞生活在内环境中，通过内环境与外界环境进行物质交换，这一过程离不开呼吸、消化、循环、泌尿等系统的直接参与，以及机体不同器官、系统协调统一的活动。机体细胞也参与了内环境的形成和维持。

● 内环境的各种成分和理化性质，会随外界因素和体内细胞代谢活动的变化而变化，这种变化会引发机体的自动调节，使其维持在相对稳定的范围内，这就是内环境稳态。内环境稳态对机体健康至关重要。

发展素养

通过本章的学习，应在以下几个方面得到发展。

● 基于对人体内环境稳态的理解，认同生命系统的开放性、整体性及动态平衡等特点，并以此为指导分析生命现象。

● 基于对稳态是生命存活的条件、稳态由机体所有细胞乃至器官、系统共建、共享的认识，分析有关社会和人生问题，提升自己在家庭、集体和社会中的责任担当。

● 能够分析人体稳态失调的相关实例，养成自我保健的意识和习惯，运用这方面的知识关爱家人和亲友，并向他人宣传这方面的科学知识。

复习与提高

一、选择题

1. 正常情况下，人体具有维持内环境相对稳定的能力。下列相关叙述错误的是 ()

A. 偶尔吃咸的食物不会长时间影响血浆渗透压的稳定

B. 在高温或寒冷条件下，正常人的体温总是接近 37℃

C. 血浆的 pH 是由血浆中的氢离子维持的，与其他物质无关

D. 喝水多则尿多，出汗多则尿少，以维持体液中水含量的稳定

2. 人在剧烈运动时，体内会发生一些变化。下列相关叙述，正确的是 ()

A. 大量乳酸进入血液，血浆由弱碱性变为弱酸性

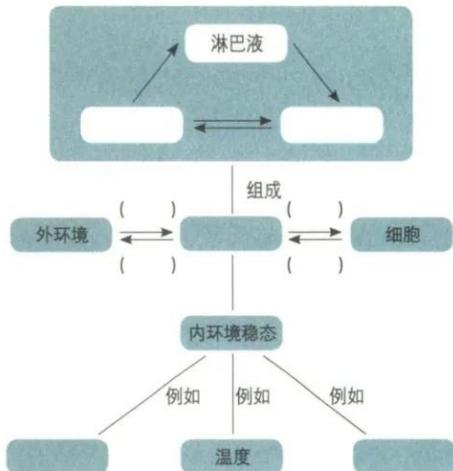
B. 大量消耗葡萄糖，血浆中葡萄糖的浓度会大幅降低

C. 大量失钠，对细胞外液渗透压的影响大于细胞内液

D. 大量失水，会引起血浆渗透压和细胞外液渗透压下降

二、非选择题

1. 在下图空白框和括号中填写适当的名词 (箭头表示流动方向)。



2. 据报道，美国某法庭判决“酸碱体质理论”的提出者赔偿一名癌症患者 1.05 亿美元。该理论的主要意思是：①人的体质有酸性与碱性之分，酸性体质是“万病之源”；②人若要想健康，应多摄入碱性食物。有些癌症患者受此理论影响，不去医院进行正规治疗，而寄希望于注射碱性物质以达到治愈目的。

(1) 请运用本章所学关于内环境稳态的有关知识，并通过查阅相关资料获得更多的证据，尝试对“酸碱体质理论”进行评判。

(2) 现在有些生产厂家在售卖饮用水时，宣称碱性水为“健康水”。若你的亲朋好友为了健康而购买、饮用碱性水，你会怎样做？

3. 2016 年 10 月，我国神舟十一号载人飞船与“天宫二号”成功实现自动交会对接，航天员顺利进入空间实验室。太空环境是一个高真空环境，人必须穿上特制的航天服，乘坐专门设计的载人航天器，才能在太空中安全地生活和工作。因为航天器和航天服都具备生命保障系统，为宇航员提供一个类似于地面的环境。请搜集有关资料，分析这套生命保障系统中有哪些是为维持内环境的稳态设计的。



在“伟大的变革——庆祝改革开放 40 周年大型展览”中展出的航天服

第2章 神经调节

人体内有一个巨大的神经网络，其中大脑皮层中的神经元就有140多亿个。人体的一切生命活动都离不开神经系统的调节和控制。就在此刻，你的阅读、理解和记忆就是靠神经系统（特别是大脑）完成的，你的呼吸、心跳等，也正在受到神经系统的调控。

2018年，我国成立了脑科学研究中心，“中国脑计划”正式拉开序幕，并被列入我国重大科技创新和工程项目。在此之前，欧盟、美国和日本等相继启动了脑科学研究计划。

神经系统有哪些基本结构？它是如何调节人体生命活动的？

大脑皮层作为最高级的神经中枢，在神经调节中起什么作用？又是如何起作用的？

大脑有哪些高级功能？研究大脑的结构和功能有什么重要意义呢？

是重帘低垂抑或星云闪亮，
不，是脑细胞织就信息之网。
万千信息在此传输交汇：
调节着机体的稳态，
更闪耀着智慧的光芒！

第1节

神经调节的结构基础

问题探讨

足球比赛的胜负很大程度上取决于队员之间的配合，配合要靠信息的传递。

讨论

1. 足球队员是如何及时获得来自同伴、对手、裁判和足球的信息的？
2. 队员获得信息后，是如何经过自身的处理，并迅速作出反应的？
3. 跑位、接球、铲球等动作主要受神经系统的哪个器官支配？心跳和呼吸加快也受神经系统支配吗？



足球比赛

本节聚焦

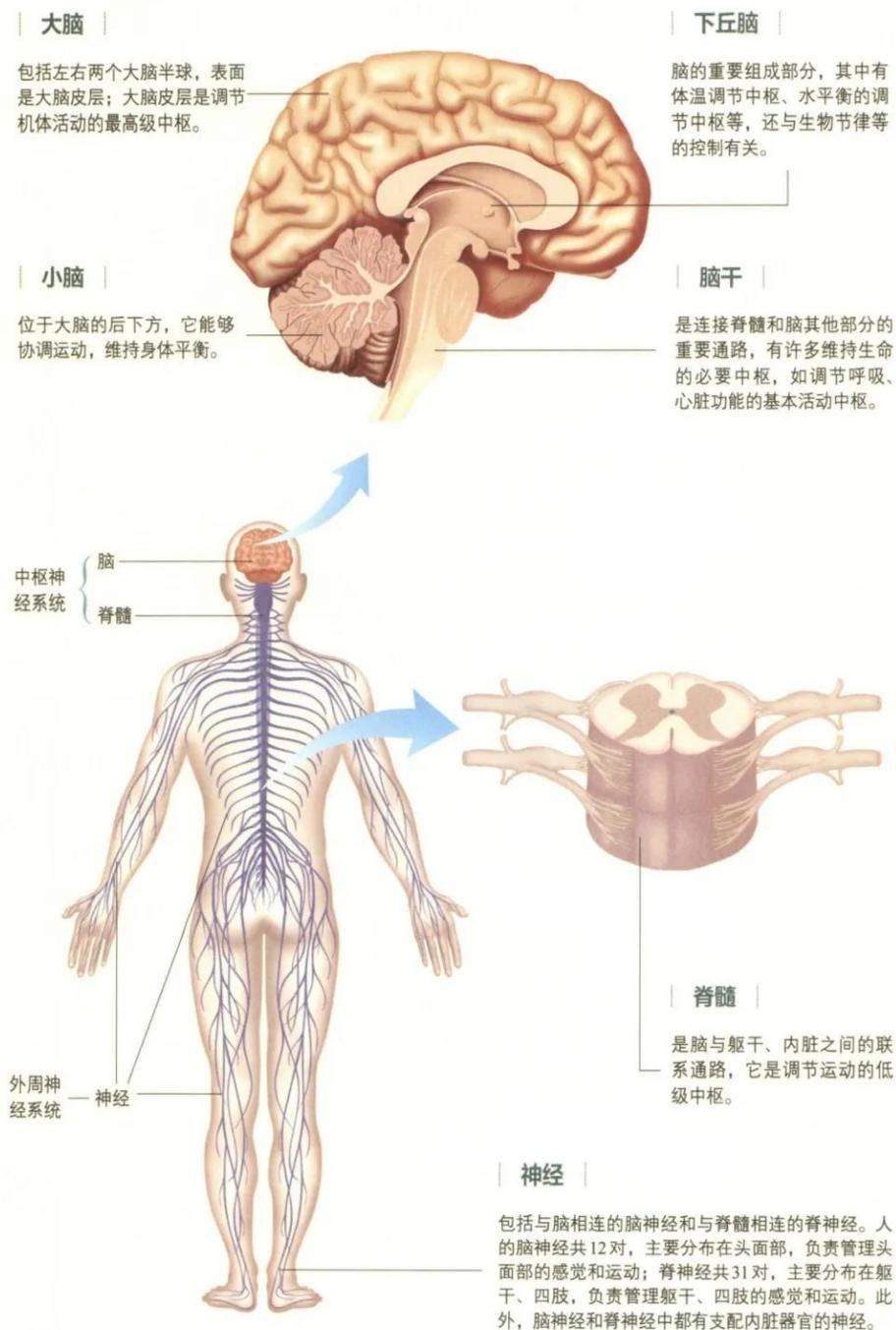
- 中枢神经系统包括哪些组成部分？
- 外周神经系统包括哪些组成部分？
- 组成神经系统的细胞有什么特点？

在足球赛场上，球员靠眼、耳等感觉器官及时获得来自同伴、对手、裁判、足球等的信息之后，对这些信息进行处理并迅速作出反应。这是一个快速而协调的过程，需要体内多个器官、系统的配合，在这个过程中，神经系统扮演了主要角色，它通过复杂而精巧的调节，使得机体能够保持高度的协调一致与稳定。

神经系统的基本结构

在上述过程中，球员感知到的外界信息传到大脑之后，经过大脑的分析加工又通过神经传到四肢，控制四肢的运动。其中大脑属于中枢神经系统，而控制四肢运动的神经属于外周神经系统。人的神经系统就包括中枢神经系统（central nervous system）和外周神经系统（peripheral nervous system）两部分（图2-1）。

中枢神经系统包括脑（大脑、脑干和小脑等，位于颅腔内）和脊髓（位于椎管内）。在中枢神经系统内，大量神经细胞聚集在一起，形成许多不同的神经中枢，分别负责调控某一特定的生理功能，如脊髓中的膝跳反射中枢、脑干中的呼吸中枢、下丘脑中的体温调节中枢等。



▲图2-1 神经系统基本结构示意图

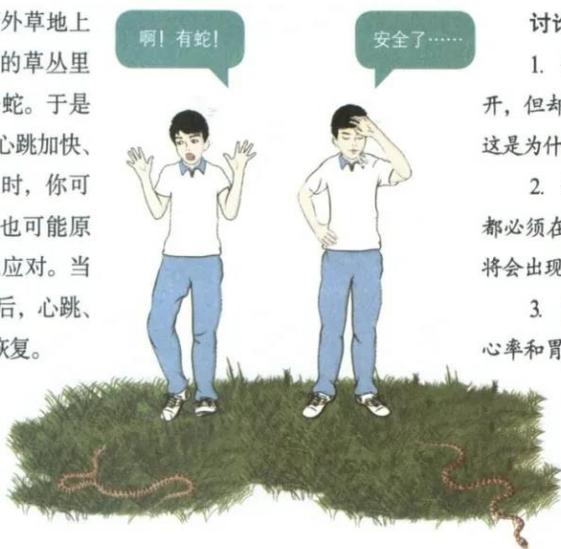
外周神经系统分布在全身各处，包括与脑相连的脑神经和与脊髓相连的脊神经，它们都含有传入神经（感觉神经）和传出神经（运动神经）。传入神经将接受到的信息传递到中枢神经系统；中枢神经系统经过分析和处理，发出指令信息，再由传出神经将指令信息传输到相应器官，从而使机体对刺激作出反应。

传出神经又可分为支配躯体运动的神经（躯体运动神经）和支配内脏器官的神经（内脏运动神经）。大脑可以通过传出神经随意地支配四肢运动，但如果我们想控制胃肠的蠕动，却是做不到的。这是怎么回事呢？

思考·讨论

内脏运动神经的作用特点

当你在野外草地上玩耍时，旁边的草丛里突然窜出一条蛇。于是你非常紧张：心跳加快、呼吸急促。此时，你可能撒腿就跑，也可能原地不动冷静地应对。当你确认安全之后，心跳、呼吸等会慢慢恢复。



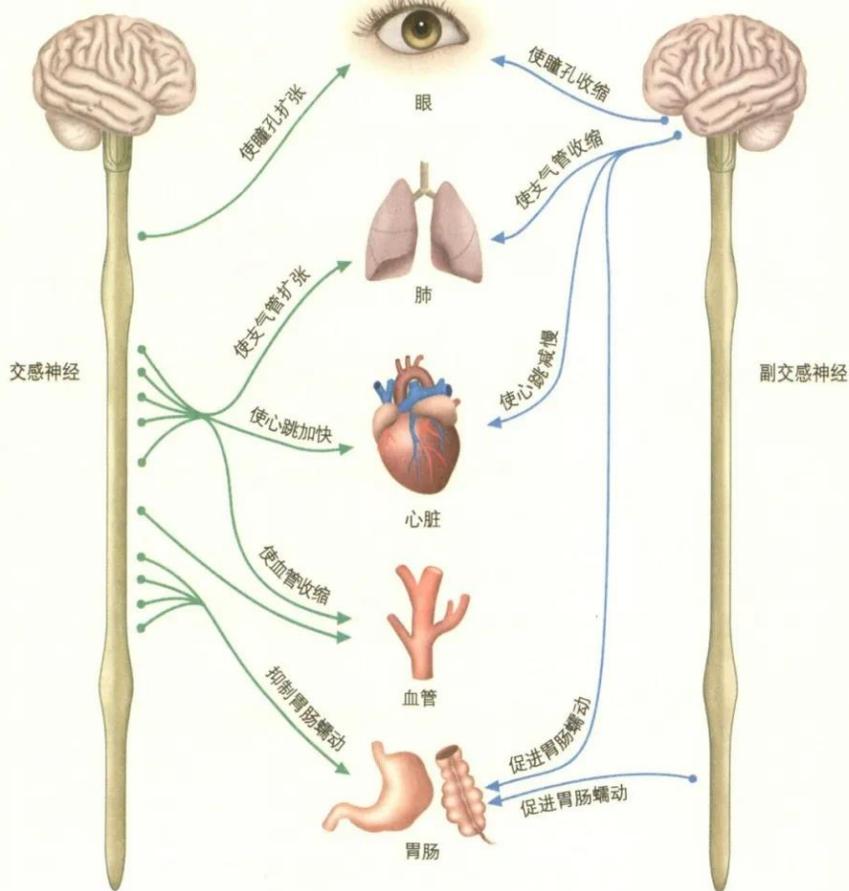
讨论

1. 你可以控制自己是否跑开，但却不能控制自己的心跳，这是为什么呢？
2. 如果你的呼吸或者心跳都必须在你的意识支配下完成，将会出现什么结果？
3. 长跑或静坐时，呼吸、心率和胃肠蠕动是怎样变化的？

比较这两种不同状况下这些生理活动变化的特点，你能发现什么规律？

通过以上讨论可以看出，奔跑等身体运动是由躯体运动神经支配的，它明显受到意识的支配；而由惊恐所引起的心跳与呼吸的变化是由内脏运动神经控制的，是不随意的。支配内脏、血管和腺体的传出神经，它们的活动不受意识支配，称为自主神经系统（autonomic nervous system）。

自主神经系统由交感神经 (sympathetic nerve) 和副交感神经 (parasympathetic nerve) 两部分组成, 它们的作用通常是相反的 (图2-2)。当人体处于兴奋状态时, 交感神经活动占据优势, 心跳加快, 支气管扩张, 但胃肠的蠕动和消化腺的分泌活动减弱; 而当人处于安静状态时, 副交感神经活动则占据优势, 此时, 心跳减慢, 但胃肠的蠕动和消化液的分泌会加强, 有利于食物的消化和营养物质的吸收。交感神经和副交感神经对同一器官的作用, 犹如汽车的油门和刹车, 可以使机体对外界刺激作出更精确的反应, 使机体更好地适应环境的变化。



▲ 图2-2 自主神经系统的组成和功能示例

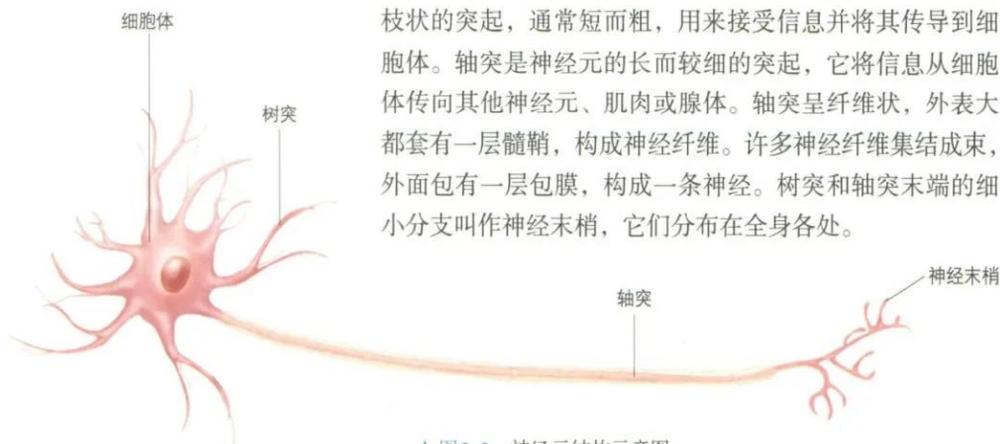
相关信息

神经元的轴突可以相当长。例如，支配人足部肌肉的轴突的长度可以超过1 m，而长颈鹿体内从头部延伸到骨盆的轴突大约有3 m长。

组成神经系统的细胞

神经系统的功能与组成它的细胞的特点是密切相关的。组成神经系统的细胞主要包括神经元（neuron）和神经胶质细胞（neuroglia）两大类。

神经元是神经系统结构与功能的基本单位，它由细胞体、树突和轴突等部分构成（图2-3）。细胞体是神经元的膨大部分，里面含有细胞核。树突是细胞体向外伸出的树枝状的突起，通常短而粗，用来接受信息并将其传导到细胞体。轴突是神经元的长而较细的突起，它将信息从细胞体传向其他神经元、肌肉或腺体。轴突呈纤维状，外表大都套有一层髓鞘，构成神经纤维。许多神经纤维集结成束，外面包有一层包膜，构成一条神经。树突和轴突末端的细小分支叫作神经末梢，它们分布在全身各处。



▲图2-3 神经元结构示意图

神经胶质细胞广泛分布于神经元之间，其数量为神经元数量的10~50倍，是对神经元起辅助作用的细胞，具有支持、保护、营养和修复神经元等多种功能。在外周神经系统中，神经胶质细胞参与构成神经纤维表面的髓鞘。神经元与神经胶质细胞一起，共同完成神经系统的调节功能。

练习与应用

一、概念检测

1. 从神经系统组成的角度，判断下列表述是否正确。

- (1) 中枢神经系统由大脑和脊髓组成。 ()
- (2) 支配躯体运动的全部神经就是外周神经系统。 ()
- (3) 自主神经系统是脊神经的一部分，包括交感神经与副交感神经。 ()

2. 交感神经和副交感神经是神经系统的重要组成部分，下列有关它们的叙述正确的是 ()

- A. 它们包括传入神经与传出神经
- B. 它们都属于中枢神经系统中的自主神经

C. 它们通常共同调节同一内脏器官，且作用一般相反

D. 交感神经使内脏器官的活动加强，副交感神经使内脏器官的活动减弱

二、拓展应用

1. 有些神经元的轴突很长，并且树突很多，这有什么意义呢？

2. 如果老师现在通知你，马上要进行一个非常重要的考试，你的自主神经系统可能会发生哪些变化？

生物科技进展

脑细胞真的是死一个少一个吗

传统的观点认为，高等动物的神经发生（neurogenesis）只存在于胚胎期或出生后的发育早期，成年后大脑就不会再生长了。也就是说，成年后，脑细胞（主要指神经元）死一个就少一个。然而，近几十年来的发现逐步改变了这种认识。

1977年，科学家发现，在3月龄大鼠（已性成熟）的某些脑区存在新生神经元。20世纪80年代，研究人员又在成年金丝雀的发声控制最高中枢中发现新生神经元。此后，人们对成年鸟类及更高等成年动物神经发生的研究越来越多。现在已发现，在包括人类的多种动物成体脑中，都有神经发生。

神经发生包括细胞增殖、分化、迁移和存活等，它们受多种激素和生长因子的影响，还受环境及社会多种因素的复杂调节。年龄也影响神经发生量，随着动物年龄的增加，神经发生量下降。对鼠类的实验表明，复杂的环境经历、跑动等都可以增加海马（与记忆有关的脑区）中新神经元的数量；丰富

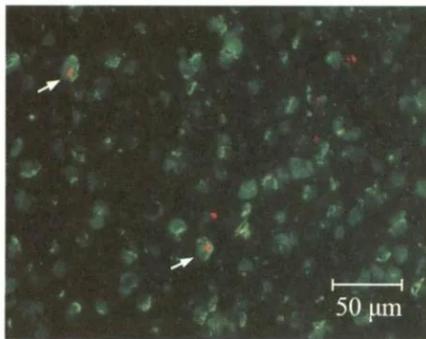
的气味接触可增加嗅球（一个与嗅觉感知相关的脑区）中的新生神经元数量，从而影响气味记忆功能。但应激（如环境温度剧烈变化、缺氧、创伤和精神紧张、焦虑不安）可抑制神经发生。有实验表明，胎儿出生前母体的紧张情绪会影响胎儿出生后海马区的神经发生。

成体脑中这些新生的神经元具有什么功能呢？研究人员以金丝雀、小鼠、大鼠等为模式动物进行了探索，认为这些新生神经元具有多方面的功能。例如，金丝雀的鸣唱行为和与此行为相关的脑中的发声控制核团会发生季节性变化，这可能与季节性的繁殖活动有关。在鼠类中，特别是孕期的鼠类，新生神经元会迁移到嗅球，这对识别后代可能有重要意义。

人脑中神经元的数量也不是一成不变的，即使到成年，也会有新生神经元产生；而丰富的学习活动和生活体验可以促进脑中神经元的产生。当然，人脑中某些脑区的新生神经元，还可能在一些疾病的康复中起作用，这或许意味着将来可以通过培养新的神经元，来修复由疾病或创伤导致受损的大脑。



跑动能增加小鼠海马中新神经元的数量



成年大鼠脑内的新生神经元（箭头所指）

第2节 神经调节的基本方式

问题探讨

如果你的手指被植株上尖锐的刺扎了一下，你迅速把手缩了回来，然后感觉到了疼痛，紧接着你意识到手被扎了。

讨论

1. 这一过程是如何发生的？分别涉及了神经系统的哪些结构？
2. 缩手动作在前、感觉到疼痛在后，这有什么适应意义？



带刺的“玫瑰”

本节聚焦

- 什么是反射？它有哪些类型？
- 反射弧的结构是怎样的？
- 条件反射是怎样形成的？它有什么意义？

如果你的手不小心触到了火或尖锐的东西，你手上的感觉神经末梢接受到这种刺激，神经将信息传到神经中枢，神经中枢发出信息，你迅速地将手缩回。

反射与反射弧

上面描述的是一个缩手反射。像这样，在中枢神经系统的参与下，机体对内外刺激所产生的规律性应答反应，叫作反射（reflex）。除了缩手反射，常见的反射还有眨眼反射、膝跳反射等。反射是神经调节的基本方式。完成反射的结构基础是反射弧（reflex arc）。反射弧包括哪些结构呢？下面以缩手反射和膝跳反射为例进行分析。

思考·讨论

反射弧的基本结构

仔细观察下列缩手反射和膝跳反射的示意图或观察相关动画演示，思考回答下列问题。



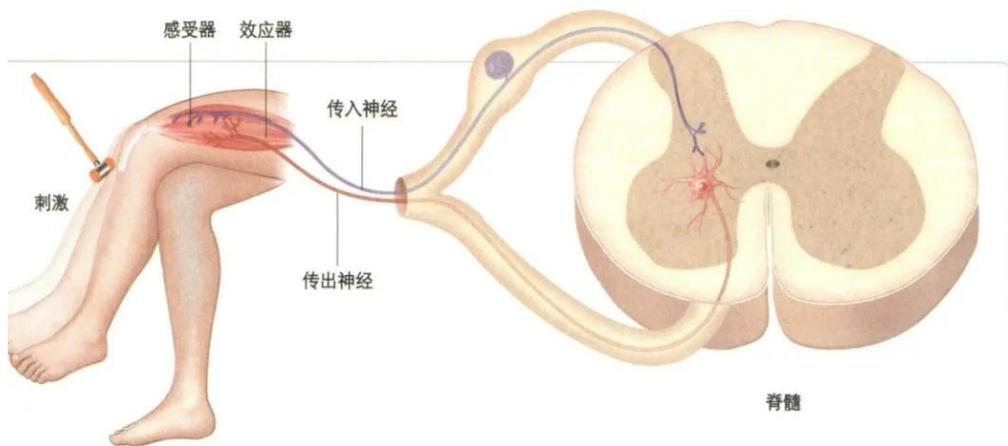
反射弧通常是由感受器、传入神经、神经中枢、传出神经和效应器（传出神经末梢和它所支配的肌肉或腺体等）组成的。反射活动需要经过完整的反射弧来实现，如果反射弧中任何环节在结构、功能上受损，反射就不能完成。体检时医生敲击膝盖下方，如果你小腿正常抬起，不仅说明你下肢参与该反射的功能正常，也说明脊髓中相应中枢是完好的。

在反射活动中，感受器接受一定的刺激后，产生兴奋（excitation）。兴奋是指动物体或人体内的某些细胞或组织（如神经组织）感受外界刺激后，由相对静止状态变为显著活跃状态的过程。感受器产生的兴奋沿着传入神经向神经中枢传导；神经中枢随之产生兴奋并对传入的信息进行分析和综合；神经中枢的兴奋经过传出神经到达效应器；效应器对刺激作出应答。这就是反射的大致过程（图2-4）。

兴奋除了在反射弧中传导，还会在脑与脊髓等中枢神经系统中传导。例如，在上述缩手反射与膝跳反射中，兴奋还会从位于脊髓的低级中枢传导到大脑皮层从而产生相应的感觉，所以你会感觉到手被扎或腿被叩击了。



▲图2-4 反射的大致过程



膝跳反射示意图

讨论

1. 一个完整的反射活动仅靠一个神经元能完成吗？
2. 缩手反射与膝跳反射的反射弧都是由

哪些部分组成的？

3. 结合生活经验，你还能举出说明脊髓在反射中作用的其他实例吗？

非条件反射与条件反射

缩手反射和膝跳反射都是与生俱来的，但也有一些反射是需要经过训练才能形成的。出生后无须训练就具有的反射，叫作非条件反射；出生后在生活过程中通过学习和训练而形成的反射叫作条件反射。下面以狗的唾液分泌与铃声关系为例，说明条件反射的建立过程（图2-5）。



▲图2-5 条件反射的建立过程示例

上面的实例说明，条件反射是在非条件反射的基础上，通过学习和训练而建立的。条件反射建立之后要维持下去，还需要非条件刺激的强化。如果反复应用条件刺激而不给

 与生物学有关的职业

影像技师

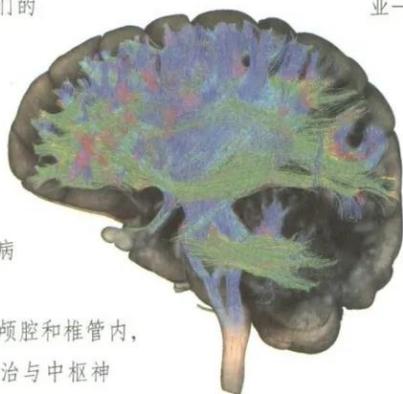
当病人突然出现不明原因的视力下降、肢体活动障碍、语言不清晰、记忆力明显下降等综合症状去医院就诊时，大夫通常说需要做个头部CT(计算机断层扫描术)。

你可能还听说过“B超”和“核磁共振”等名词，虽然它们的成像原理有所不同，对不同系统和部位的诊断价值也不一样，但都是通过所获取的影像来显示人体内部组织器官的形态和生理、病理功能状况的。

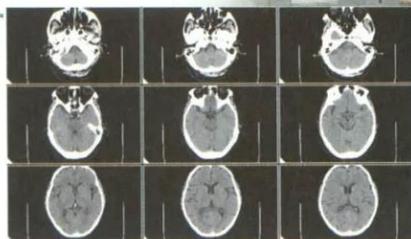
中枢神经系统位于颅腔和椎管内，一般的物理检查对于诊治与中枢神经系统相关疾病的价值有限，因此，影像学检查具有重要意义。CT是检查颅内各种疾病的首选和主要影像检查技术；磁共振成像也是颅内各种疾病的主要影像检

查技术，组织分辨率较高，对很多疾病可以定性诊断。其实，自从1895年德国物理学家伦琴发现X射线后，X射线就用于对人体进行检查从而帮助医生对疾病进行诊断。随着医学影像学的发展，社会上也出现了一个职业——影像技师。影像技师是操作医学成像设备获得病人身体内部结构影像的技术人员，他们从事的工作主要是：使用普通X射线机、血管造影机、CT机、磁共振成像仪、核医学成像设备等，采集病人身体内部结构相关影像。

影像除了用于形态学诊断，还可以应用于其他学术领域，比如认知心理学、语言学等，让研究者探索人类在进行认知行为时的脑部活动。因此，影像技师可以在很多领域大有作为。



用成像技术绘制的大脑图像



脑部CT组合图



影像技师在工作

第3节 神经冲动的产生和传导

问题探讨

短跑赛场上，发令枪一响，运动员会像离弦的箭一样冲出。现在世界短跑比赛规则规定，在枪响后0.1 s内起跑被视为抢跑。

讨论

1. 从运动员听到枪响到作出起跑的反应，信号的传导经过了哪些结构？
2. 短跑比赛规则中关于“抢跑”规定的科学依据是什么？

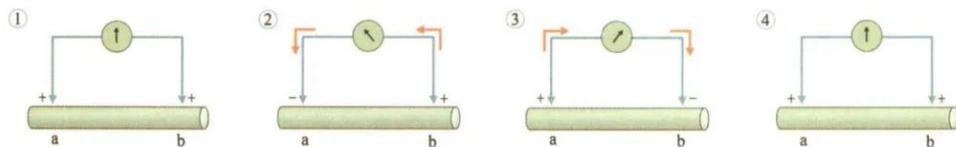


短跑赛场

运动员从听到枪响到作出起跑的反应，完成了一系列反射活动。运动员听到信号后神经产生兴奋，兴奋的传导经过了一系列的结构。那么，兴奋在反射弧中是以什么形式传导的？它又是怎样传导的呢？

兴奋在神经纤维上的传导

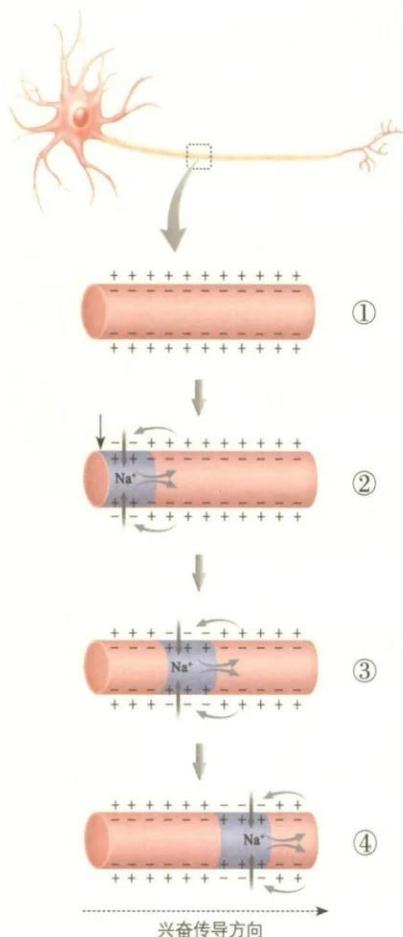
有人做过如下实验：在蛙的坐骨神经上放置两个微电极，并将它们连接到一个电表上。静息时，电表没有测出电位变化（图2-6，①），说明神经表面各处电位相等。当在图示神经的左侧一端给予刺激时，靠近刺激端的电极处（a处）先变为负电位，接着恢复正电位（图2-6，②、③）；然后，另一电极处（b处）变为负电位，接着又恢复为正电位（图2-6，③、④）。这说明在神经系统中，兴奋是以电信号的形式沿着神经纤维传导的，这种电信号也叫神经冲动（neural impulse）。



▲ 图2-6 神经表面电位差的实验示意图

本节聚焦

- 兴奋是如何在神经纤维上传导的？
- 兴奋在突触处是如何传递的？
- 为什么不能滥用兴奋剂和吸食毒品？



▲图2-7 神经冲动在神经纤维上产生和传导的模式图

神经冲动在神经纤维上是怎样产生和传导的呢？

在未受到刺激时，神经纤维处于静息状态（图2-7，①）。此时，神经细胞外的 Na^+ 浓度比膜内要高， K^+ 浓度比膜内低，而神经细胞膜对不同离子的通透性各不相同：静息时，膜主要对 K^+ 有通透性，造成 K^+ 外流，使膜外阳离子浓度高于膜内。由于细胞膜内外这种特异的离子分布特点，细胞膜两侧的电位表现为内负外正，这称为静息电位（resting potential）。

当神经纤维某一部位受到刺激时，细胞膜对 Na^+ 的通透性增加， Na^+ 内流，这个部位的膜两侧出现暂时性的电位变化，表现为内正外负的兴奋状态（图2-7，②）。此时的膜电位称为动作电位（action potential）。而邻近的未兴奋部位仍然是内负外正。在兴奋部位和未兴奋部位之间由于电位差的存在而发生电荷移动，这样就形成了局部电流。

这种局部电流又刺激相近的未兴奋部位发生同样的电位变化，如此进行下去（图2-7，③、④），将兴奋向前传导（图下方的箭头方向），后方又恢复为静息电位。

兴奋在神经元之间的传递

在完成一个反射的过程中，兴奋要经过多个神经元。一般情况下，相邻的两个神经元并不是直接接触的。

当兴奋传导到一个神经元的末端时，它是如何传递到另一个神经元的呢？

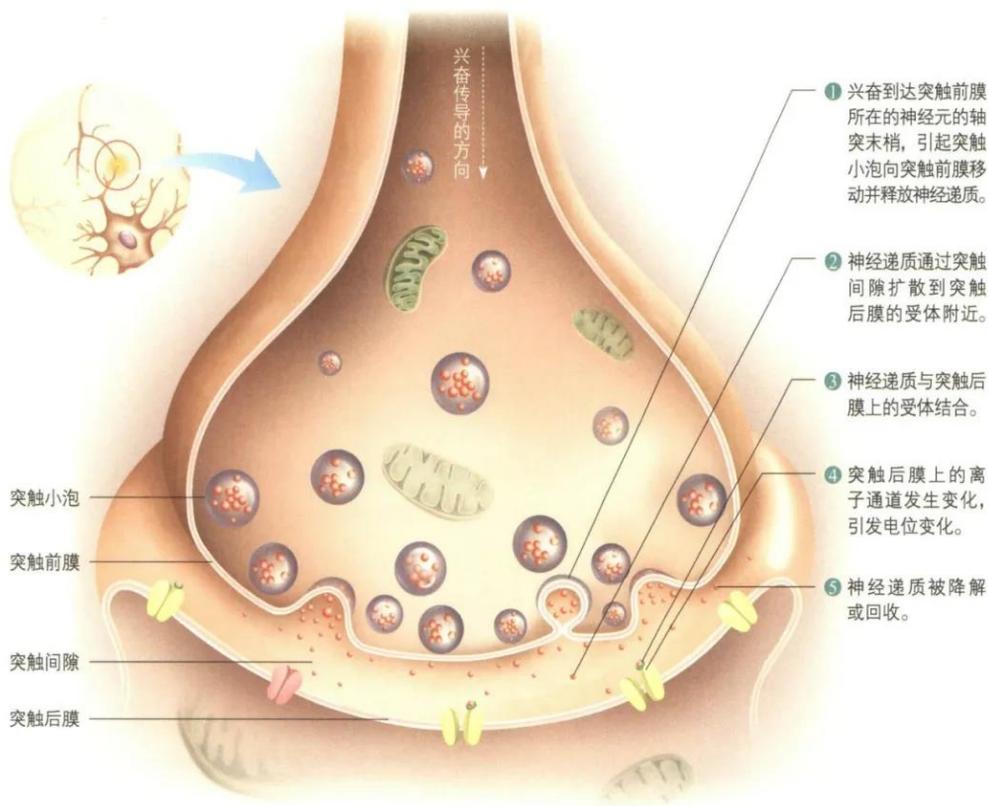
神经元的轴突末梢经过多次分枝，最后每个小枝末端膨大，呈杯状或球状，叫作突触小体。突触小体可以与其他神经元的细胞体或树突等相接近，共同形成突触（synapse）。

突触的结构包括突触前膜、突触间隙与突触后膜。在神经元的轴突末梢处，有许多突触小泡。当轴突末梢有神经冲动传来时，突触小泡受到刺激，就会向突触前膜移动并与它融合，同时释放

一种化学物质——神经递质 (neurotransmitter)。神经递质经扩散通过突触间隙，与突触后膜上的相关受体结合，形成递质—受体复合物，从而改变了突触后膜对离子的通透性，引发突触后膜电位变化，这样，信号就从一个神经元通过突触传递到了另一个神经元 (图2-8)。随后，神经递质会与受体分开，并迅速被降解或回收进细胞，以免持续发挥作用。

相关信息

目前已知的神经递质种类很多，主要的有乙酰胆碱、氨基酸类 (如谷氨酸、甘氨酸)、5-羟色胺、多巴胺、去甲肾上腺素、肾上腺素等。



▲图2-8 神经元之间通过突触传递信息图解

由于神经递质只存在于突触小泡中，只能由突触前膜释放，然后作用于突触后膜上，因此，神经元之间兴奋的传递只能是单方向的。例如，从一个神经元的轴突传到下一个神经元的细胞体或树突。由于突触处的兴奋传递需要通过化学信号的转换，因此兴奋传递的速度比在神经纤维上要慢。神经元与肌肉细胞或某些腺体细胞之间也是通过突触联系的，神经元释放的神经递质可以作用于这些肌肉细胞或腺细胞，引起肌肉的收缩或腺体的分泌。

滥用兴奋剂、吸食毒品的危害

某些化学物质能够对神经系统产生影响，其作用位点往往是突触。例如，有些物质能促进神经递质的合成和释放速率，有些会干扰神经递质与受体的结合，有些会影响分解神经递质的酶的活性。兴奋剂和毒品等也大多是通过突触来起作用的。

兴奋剂原是指能提高中枢神经系统机能活动的一类药物，如今是运动禁用药物的统称。兴奋剂具有增强人的兴奋程度、提高运动速度等作用，为了保证公平、公正，运动比赛禁止使用兴奋剂（图2-9）。

《中华人民共和国刑法》第357条规定：毒品是指鸦片、海洛因、甲基苯丙胺（冰毒）、吗啡、大麻、可卡因以及国家规定管制的其他能够使人形成瘾癖的麻醉药品和精神药品。有些兴奋剂就是毒品，它们会对人体健康带来极大的危害。

从鸦片战争到现在，我国人民同毒品的斗争一直没有停止过，因为这不仅关系个人的命运，而且关乎国家和民族的兴衰。



▲ 图2-9 反兴奋剂宣传画

思考·讨论

分析滥用兴奋剂和吸食毒品的危害

在一些重大的体育项目比赛中，少数运动员为了提高成绩，铤而走险，违反“公平竞争”的原则，违规服用兴奋剂。一旦查出，该运动员将面临禁赛、处以罚金等不同程度的处罚，而且还会受到国际社会和体育道德的谴责。请搜集这方面的事例，与同学展开交流。

可卡因既是一种兴奋剂，也是一种毒品，它会影响大脑中与愉悦传递有关的神经元，这些神经元利用神经递质——多巴胺来传递愉悦感。在正常情况下，多巴胺发挥作用后会被突触前膜上的转运蛋白从突触间隙回收。吸食可卡因后，可卡因会使转运蛋白失去回收多巴胺的功能，于是多巴胺就留在突触间隙持续发挥作用，导致突触后膜上的多巴胺受体减少。当可卡因药效失去后，由于多巴胺受体已减少，机体正常的神经活动受到影响，服药者就必须服用可卡因来维持

这些神经元的活动，于是形成恶性循环，毒瘾难戒。另外，可卡因能干扰交感神经的作用，导致心脏功能异常，还会抑制免疫系统的功能。吸食可卡因者可产生心理依赖性，长期吸食易产生幻觉与嗅幻觉，最典型的是有皮下虫行蚁走感，奇痒难忍，造成严重抓伤甚至断肢自残、情绪不稳定，容易引发暴力或攻击行为。长期大剂量使用可卡因后突然停药，可出现抑郁、焦虑、失望、疲惫、失眠、厌食等症状。

讨论

1. 服用可卡因为什么会使人上瘾？
2. 你还知道哪些毒品？如果有人劝你吸食毒品，你会以怎样的方式拒绝？
3. 你听说过吸毒导致家破人亡的事例吗？你认为吸毒会对个人、家庭和社会造成哪些危害？

2008年,《中华人民共和国禁毒法》正式施行。该法明确指出,禁毒是全社会的共同责任。禁毒工作实行以预防为主,综合治理,禁种、禁制、禁贩、禁吸并举的方针。参与制毒、贩毒或引诱他人吸毒,都会受到法律的严惩。

珍爱生命,远离毒品,向社会宣传滥用兴奋剂和吸食毒品的危害,是我们每个人应尽的责任和义务。

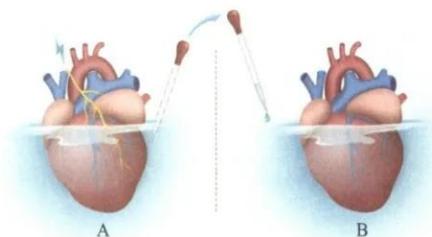
思维训练

推断假说与预期

有研究者提出一个问题:“当神经系统控制心脏活动时,在神经元与心肌细胞之间传递的信号是化学信号还是电信号呢?”

为了回答这一问题,科学家进行了如下实验。取两个蛙的心脏(A和B,保持活性)置于成分相同的营养液中, A有某副交感神经支配, B没有该神经支配;刺激该神经, A心脏的跳动减慢;从A心脏的营养液中取一些液体注入B心脏的营养液中(如右图), B心脏跳动也减慢。

由此,科学家得出结论:该神经释放一



A、B心脏跳动均变慢

种化学物质,这种物质可以使心跳变慢。

讨论:在进行这个实验时,科学家基于的假说是什么?实验预期是什么?

练习与应用

一、概念检测

1. 有些地方的人们有食用草乌炖肉的习惯,但草乌中含有乌头碱,乌头碱可与神经元上的钠离子通道结合,使其持续开放,从而引起呼吸衰竭、心律失常等症状,严重可导致死亡。下列判断不合理的是 ()

- A. 食用草乌炖肉会影响身体健康
- B. 钠离子通道打开可以使胞外的 Na^+ 内流
- C. 钠离子通道持续开放会使神经持续处于静息状态
- D. 阻遏钠离子通道开放的药物可以缓解乌头碱中毒症状

2. 乙酰胆碱酯酶可以水解乙酰胆碱,有机磷农药能使乙酰胆碱酯酶失活,则该农药可以()

- A. 使乙酰胆碱持续发挥作用
- B. 阻止乙酰胆碱与其受体结合
- C. 阻止乙酰胆碱从突触前膜释放

- D. 使乙酰胆碱失去与受体结合的能力

二、拓展应用

1. 枪乌贼的神经元是研究神经兴奋的好材料。研究表明,当改变神经元轴突外 Na^+ 浓度的时候,静息电位并不受影响,但动作电位的幅度会随着 Na^+ 浓度的降低而降低。

(1) 请对上述实验现象作出解释。

(2) 如果要测定枪乌贼神经元的正常电位,应该在何种溶液中测定?为什么?

2. 一般的高速路都有限速的规定。例如,我国道路交通安全法规定,机动车在高速公路行驶,车速最高不得超过120 km/h。在高速路上行车,要与前车保持适当的距离,如200 m。另外,我国相关法律规定,禁止酒后驾驶机动车。请你从本节所学知识的角度,解释这几项规定的合理性。如果遇到酒后还想开车的人,你将怎样做?

生物电的发现

生物体是能够“发电”的。例如，电鳐、电鲶、电鳗等，都有发电的本领。当受到适宜的刺激时，人体的很多细胞或组织都伴有电位的变化，如肌肉的收缩、兴奋的传导等。生物体在生命活动中所表现的电现象称为生物电。目前，人们可以记录人体多种细胞和组织的电位变化，如把心脏产生的心电用仪器记录下来，这就是心电图；把大脑所表现的脑电记录下来，这就是脑电图。



正在记录脑电波

关于生物电现象的发现，还有一段有趣的故事。

18世纪，意大利医生、生理学家伽尔瓦尼（L. Galvani, 1737—1798）意外地发现，当用两种金属导体在蛙的肌肉和神经之间建立起回路，肌肉就会收缩。他认为，这种收缩是由肌肉内部流出并沿着神经到达肌肉表面的电流刺激引起的。这是人类第一次将电现象与生命活动联系起来。伽尔瓦尼在1791年的论文中，宣称动物的组织可产生生物电。

物理学家伏特（A. Volta, 1745—1827）重复了伽尔瓦尼的实验，认为这纯属物理现象，因为两种不同的金属间可产生电位差。他的证据是：如果连接神经和肌肉的是不同

种类的导体，则肌肉收缩强烈；如果是同种金属，则收缩很弱，甚至完全没有收缩。伏特因此发明了世界上第一个直流电池，即伏特电池。而伽尔瓦尼则坚持认为生物体内有电现象存在，他及其后继者们改做无金属接触实验，后来又用电流计测出肌肉电流，从而出色地证明了生物电的存在。由此，电生理学诞生并迅速发展起来。

生物电现象的发现及研究的深化，给了我们很多教益。在科学研究上，存在不同意见是常有的事，只要展开自由的争论、靠科学实验来证明观点，就能促进科学研究健康地发展。

电生理学的发展历程还可以给我们更多的启示：每一项重大突破在很大程度上依赖于研究手段的更新、选择合适的实验材料或对象。例如，只有当电流计和示波器研制出来以后，人们才可以直接观察和记录电活动；而微电极技术和电压钳技术的发展，以及膜片钳技术的发明，使人们有可能将电极插入细胞内，或在仅为几平方微米的细胞膜片上进行记录，从而得以在细胞水平上深入研究生物电的本质。阐明动作电位原理的英国剑桥大学的生物物理学家霍奇金和他的同事赫胥黎，就是以枪乌贼为实验材料的。枪乌贼具有极粗的神经纤维，可以很好地进行电位和电流的测量活动。



科学家与枪乌贼

第4节 神经系统的分级调节

问题探讨

当一位同学在你面前挥一下手，你会不自觉地眨眼；而经过训练的人，却能做到不为所动。

讨论

1. 为什么眼前有东西飞来时，眼睛会不受控制地眨一下？
2. 为什么有些人可以练成长时间不眨眼呢？这说明了什么？



战士可以练成长时间不眨眼

当物体在你眼前突然出现时，你迅速眨眼，这是一个由脑干参与的眨眼反射，不需要位于大脑中的中枢参与也能够完成；但战士却可以练成长时间不眨眼，这是因为大脑也可以参与这个反射活动。就像这样，中枢神经系统的不同部位，存在着控制同一生理活动的中枢。那么，它们是如何分工、合作，从而协调地进行调节的呢？

神经系统对躯体运动的分级调节

研究表明，躯体的运动，如膝跳反射、缩手反射等，不仅受到脊髓的控制，也受到大脑的调节。通过前面对反射和反射弧内容的学习，你已经知道，膝跳反射的神经中枢位于脊髓；那么，大脑中的神经中枢是如何控制躯体运动的呢？这要从大脑的结构说起。

大脑的表面覆盖着主要由神经元胞体及其树突构成的薄层结构——大脑皮层。人的大脑有着丰富的沟回（沟即为凹陷部分，回为隆起部分），这使得大脑在有限体积的颅腔内，可以具有更大的表面积。据测算，如果将大脑的沟和回全部展开，一个成年人大脑皮层的总面积可达 $2\ 200\text{ cm}^2$ 。大脑通过脑干与脊髓相连，大脑发出的指令，可以通过脑干传到脊髓。

本节聚焦

- 神经系统是如何实现对躯体运动的分级调节的？
- 大脑皮层第一运动区有什么特点？
- 神经系统是如何对内脏活动进行分级调节的？



用直尺测量本教材的长和宽，然后计算面积，再与大脑皮层展开后的面积进行比较。你有什么发现？

思考·讨论

大脑皮层与躯体运动的关系

资料1 一位老人突然出现脸部、手臂及腿部麻木等症状，随后上下肢都不能运动。后经医生检查，发现他的脊髓、脊神经等正常，四肢也都没有任何损伤，但是脑部有血管阻塞，使得大脑某区出现了损伤。这类现象称为脑卒中，在我国非常普遍。

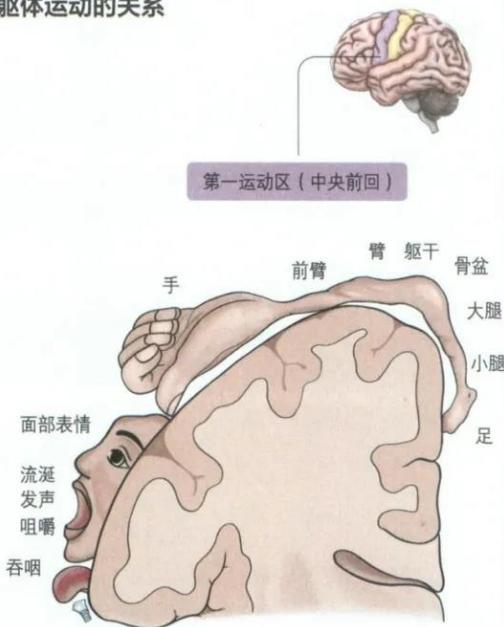
资料2 右图是大脑皮层第一运动区与躯体各部分关系示意图。

讨论

1. 在资料1中老人的上肢、下肢和脊髓都没有受伤，为什么不能运动呢？这说明大脑与脊髓之间有什么关系？

2. 躯体各部分的运动调控在大脑皮层有没有对应的区域？如果有，它们的位置关系有什么特点？

3. 大脑皮层运动代表区范围的大小，是与躯体中相应部位的大小相关还是与躯体运动的精细程度相关？



4. 分析缩手反射如何受大脑皮层相应区域的调控，推测这种调控的途径是怎样的。

大脑皮层的某些区域与躯体运动的功能是密切相关的。科学家发现，刺激大脑皮层中央前回的顶部，可以引起下肢的运动；刺激中央前回的下部，则会引起头部器官的运动；刺激中央前回的其他部位，则会引起其他相应器官的运动。这表明，躯体各部分的运动机能在大脑皮层的第一运动区内都有它的代表区，而且皮层代表区的位置与躯体各部分的关系是倒置的。

实际上，躯体的运动受大脑皮层以及脑干、脊髓等的共同调控，脊髓是机体运动的低级中枢，大脑皮层是最高级中枢，脑干等连接低级中枢和高级中枢（图2-10）。脑中的相应高级中枢会发出指令对低级中枢进行不断调整，就这样，机体的运动在大脑皮层以及其他中枢的分级调节下，变得更加有条不紊与精准。



▲图2-10 躯体运动分级调节示意图

神经系统对内脏活动的分级调节

神经系统对内脏活动的调节与它对躯体运动的调节相似，也是通过反射进行的。在中枢神经系统的不同部位（如脊髓、脑干、下丘脑和大脑），都存在着调节内脏活动的中枢，下面我们以排尿反射为例进行分析。

思考·讨论

神经系统不同中枢对排尿反射的控制

资料1 尿在肾中不断生成，经输尿管流入膀胱暂时储存。当膀胱储尿达到一定程度时，引起尿意。控制排尿的低级中枢在脊髓。

资料2 一般成年人可以有意识地控制排尿，你也可以“憋尿”。例如，上课的时候如果你有了尿意但不是很急，你可以憋到下课再去上厕所；课间，即使你没有尿意，但为了避免上课时去厕所，你可能会选择去排一次尿。

资料3 婴儿常尿床。有些人由于外伤等

使意识丧失，出现像婴儿那样尿床的情况。

讨论

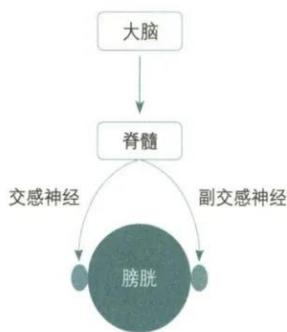
1. 成人可以有意识地控制排尿，婴儿却不能，二者控制排尿的神经中枢的功能有什么差别？

2. 有些成人患者出现资料3所提到的不受意识支配的排尿情况，是哪里出现了问题？

3. 这些例子说明神经中枢之间有什么联系？

排尿不仅受到脊髓的控制，也受到大脑皮层的调控。脊髓对膀胱扩大和缩小的控制是由自主神经系统支配的：交感神经兴奋，不会导致膀胱缩小；副交感神经兴奋，会使膀胱缩小（图2-11）。而人之所以能有意识地控制排尿，是因为大脑皮层对脊髓进行着调控。

不只是膀胱，其他内脏的活动也受到神经系统的分级调节。脊髓是调节内脏活动的低级中枢，通过它可以完成简单的内脏反射活动，如排尿、排便、血管舒缩等。但脊髓对这些反射活动的调节是初级的，并不能很好地适应正常生理活动的需要，如果没有高级中枢的调控，排尿反射可以进行，但排尿不完全，也不能受意识控制。脑干中也有许多重要的调节内脏活动的基本中枢，如调节呼吸运动的中枢，调节心血管活动的中枢等，一旦受到损伤，各种生理活动即失调，严重时呼吸或心跳会停止。下丘脑是调节内脏活动的较高级中枢，它也使内脏活动和其他生理活动相联系，以调节体温、水平衡、摄食等主要生理过程。大脑皮层是许多低级中枢活动的高级调节者，它对各级中枢的活动起调整作用，这就使得自主神经系统并不完全自主。



▲ 图2-11 排尿反射的分级调节示意图

知识链接

在躯体运动及排尿反射的分级调节过程中，还存在反馈调节。关于反馈调节，参见本书第3章第2节。

练习与应用

一、概念检测

1. 基于对神经系统分级调节的理解，判断下列表述是否正确。

(1) 脑与脊髓中的神经中枢分工明确，独立地调控机体的生命活动。 ()

(2) 自主神经系统是不受意识控制的，因此它对机体活动的调节与大脑皮层无关。 ()

2. 因交通事故，某人的脊髓不幸从胸部折断了，一般情况下会表现出 ()

- A. 膝跳反射存在，针刺足部有感觉
- B. 膝跳反射存在，针刺足部无感觉
- C. 膝跳反射不存在，针刺足部有感觉
- D. 膝跳反射不存在，针刺足部无感觉

二、拓展应用

以下是关于自主神经系统的错误假设。不妨逆向思考一下，在其中任何一种假设成立时，机体的调控机能可能发生哪些改变？这对你深入理解自主神经系统的特点有哪些启示？

(1) 它的调控不“自主”，而是必须在意识的支配下才能进行调控。

(2) 它绝对自主，不受大脑等高级中枢的控制。

(3) 内脏活动只受交感神经或副交感神经的单一控制。

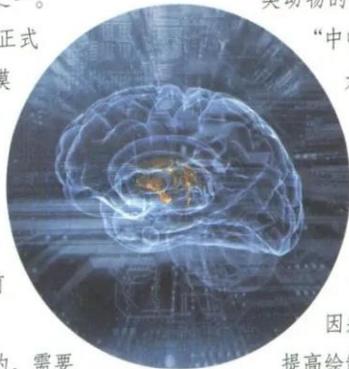
🔬 生物科技进展

中国脑计划

大脑皮层是调节人体生命活动的最高级中枢，但人们对它工作机制的了解仅仅揭示了冰山一角。研究大脑的结构和工作机制的新兴学科——脑科学，可以说是21世纪科学研究中最吸引人的领域之一。

2018年，“中国脑计划”正式启动。该计划以“认识脑、模拟脑、保护脑、开发脑”为目的，目标是在未来十五年内，在脑科学、脑疾病早期诊断与干预、类脑智能器件（用于运动损伤康复等情况）三个前沿领域取得国际领先的成果。

要弄清楚脑是如何工作的，需要绘制三种图谱：一是“细胞类型图谱”，即鉴定神经元和神经胶质细胞并确定它们在脑中的分布等；二是“连接图谱”，即表示脑中所有神经元相互连接的图谱；三是“活动图谱”，即表示脑中与特定状态相联系的神经元的放电模式图谱。只有将这三种图谱的信息相结合，



我们才能真正理解大脑的工作机制。

科学的发展离不开实验材料和实验工具的进步。研究脑，首先要有合适的模型动物。我国科学家于2017年攻克了体细胞克隆灵长类动物的世界难题，成功克隆了猴——

“中中”和“华华”。克隆猴技术将大大促进人类脑疾病的研究和治疗，既可以生产基因背景一致的“模型猴”，最大限度地控制个体差异；又可以用来标记某一类神经元，追踪其神经连接，最大限度排除由基因差异造成的大脑结构形状不一，提高绘制图谱的精确度。

另外，精准基因组编辑和大数据处理等生物医学研究方法，以及直接记录神经元的电压传感器和高速成像显微镜等工具也助力脑科学的研究。

脑科学的发展离不开技术进步。

脑科学，是大有可为的科学。

第5节 人脑的高级功能

问题探讨

阿尔茨海默病是老年人常见的一种疾病，该病主要表现为患者逐渐丧失记忆和语言功能、计算和推理等思维能力受损（如迷路）、情绪不稳定。研究发现，该病是由患者大脑内某些特定区域的神经元大量死亡造成的。

讨论

1. 上述资料可以说明人的大脑有哪些区别于脊髓的高级功能？
2. 人的大脑有哪些区别于动物大脑的高级功能？



迷路

人的大脑有很多复杂的高级功能，因为大脑皮层有140多亿个神经元，组成了许多神经中枢，是整个神经系统中最高级的部位。它除了感知外部世界以及控制机体的反射活动，还具有语言、学习和记忆等方面的高级功能。“问题探讨”中提到的阿尔茨海默病患者的语言能力、认路能力就是人脑高级功能的体现。脑的高级功能使人类能够主动适应环境，创造出灿烂的人类文明。

语言功能

语言文字是人类社会信息传递的主要形式，也是人类进行思维的主要工具。语言功能是人脑特有的高级功能，它包括与语言、文字相关的全部智能活动，涉及人类的听、说、读、写。

本节聚焦

- 人脑有哪些重要的高级功能？
- 学习与记忆的过程是怎样的？
- 在日常生活中，如何克服消极情绪、维持情绪稳定？

思考·讨论

大脑皮层的语言功能特点

资料1 一位病人能听懂别人讲话，能用面部表情和手势同别人交流思想，可是说话非常困难。经检查发现，病人与讲话有关的

肌肉和发声器官完全正常。病人死后，经解剖发现，他的大脑左半球的S区发生了病变。

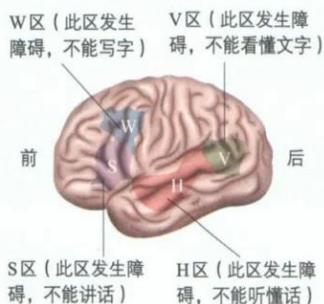
资料2 一位病人能主动说话，听觉也

正常，但他听不懂别人说话，连自己的话也听不懂。病人死后，研究者发现他的大脑左半球的H区有病变。

结合上面的资料及右图，讨论以下问题。

1. W区与S区接近躯体的运动中枢，V区接近视觉中枢，H区接近听觉中枢，这样的分布能给你什么联想？

2. 大脑皮层的语言中枢有什么特点？



人类大脑皮层(左半球侧面)的言语区

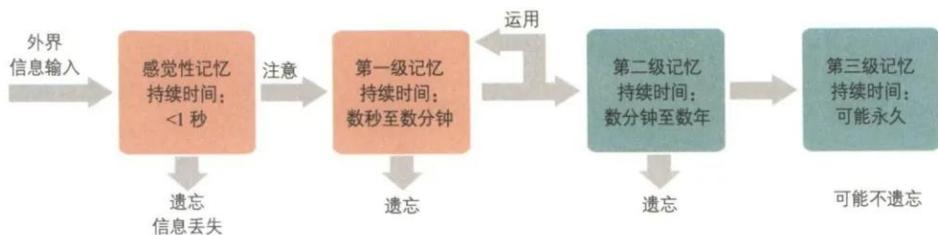
人类的语言活动是与大脑皮层某些特定区域相关的，这些特定区域叫言语区。大脑皮层言语区的损伤会导致所有的各种言语活动功能障碍。

大多数人主导语言功能的区域是在大脑的左半球，逻辑思维主要由左半球负责。大多数人的大脑右半球主要负责形象思维，如音乐、绘画、空间识别等。

学习与记忆

学习和记忆也是脑的高级功能，是指神经系统不断地接受刺激，获得新的行为、习惯和积累经验的过程。条件反射的建立也就是动物学习的过程。如同人脑的其他高级功能一样，学习和记忆也不是由单一脑区控制的，而是由多个脑区和神经通路参与。

人类的记忆过程分成四个阶段，即感觉性记忆、第一级记忆、第二级记忆和第三级记忆（图2-12）。前两个阶段相当于短时记忆，后两个阶段相当于长时记忆。感觉性



▲ 图2-12 记忆过程的四个阶段及其联系

记忆是转瞬即逝的，有效作用时间往往不超过1秒，所记的信息并不构成真正的记忆。感觉性记忆的信息大部分迅速消退，如果对于某一信息加以注意，如老师讲话的听觉刺激，或书本上文字的视觉刺激，则可以将这个瞬时记忆转入第一级记忆。第一级记忆保留的时间仍然很短，从数秒到数分钟，如临时记住某个验证码（图2-13）。第一级记忆中的小部分信息经过反复运用、强化，在第一级记忆中停留的时间延长，这样就很容易转入第二级记忆。第二级记忆的持续时间从数分钟到数年不等，储存的信息可因之前或后来的信息干扰而遗忘。想要长久地记住信息，可以反复重复，并将新信息与已有的信息整合。有些信息，通过长年累月地运用则不易遗忘，就储存在第三级记忆中，成为永久记忆，如对自己姓名的记忆。

学习和记忆涉及脑内神经递质的作用以及某些种类蛋白质的合成。短时记忆可能与神经元之间即时的信息交流有关，尤其是与大脑皮层下一个形状像海马的脑区有关。长时记忆可能与突触形态及功能的改变以及新突触的建立有关。关于学习和记忆更深层次的奥秘，仍然有待科学家进一步探索。

情绪

我们有时候开心、兴奋、对生活充满信心；有时失落、沮丧、对事物失去兴趣。这是情绪的两种相反的表现，它们都是人对环境所作出的反应。情绪也是大脑的高级功能之一。

当人们遇到精神压力、生活挫折、疾病、死亡等情况时，常会产生消极的情绪。当消极情绪达到一定程度时，就会产生抑郁。抑郁通常是短期的，可以通过自我调适、身边人的支持以及心理咨询好转。当抑郁持续下去而得不到缓解时，就可能形成抑郁症。一般抑郁不超过两周，如果持续两周以上，则应咨询精神心理科医生以确定是否患有抑郁症。抑郁症会影响患者的工作、学习和生活，严重时甚至使患者产生自残或自杀等消极行为，因此患者必须到医院去接受专业治疗。

积极建立和维系良好的人际关系、适量运动和调节压力都可以帮助我们减少和更好地应对情绪波动。当情绪波动超出自己能够调节的程度时，应向专业人士咨询，这样可以使我们更快地恢复情绪平稳，享受美好的、充满意义的生活。



在学习过程中，老师经常强调要动用多种器官。这有什么道理？

为什么刚才那个6位数的验证码我一下子就忘记了，却记住了妈妈的手机号码呢？



▲ 图2-13 第一级记忆示例

相关信息

抗抑郁药一般都通过作用于突触处来影响神经系统的功能。例如，被称为5-羟色胺再摄取抑制剂的药物，可选择性地抑制突触前膜对5-羟色胺的回收，使得突触间隙中5-羟色胺的浓度维持在一定水平，有利于神经系统的活动正常进行。

练习与应用

一、概念检测

语言功能，学习和记忆是人脑的高级功能。

判断下列相关表述是否正确。

1. 人类语言活动中的听、说、读、写分别由大脑皮层不同的区域控制，它们相互独立。（ ）
2. 经常运用已学过的生物学概念去解释相关的生命现象，概念就不容易遗忘。（ ）

二、拓展应用

1. 在背英文单词时，有人认为安静的环境

有利于记忆；也有人认为舒缓的音乐有利于记忆。

- (1) 你认为哪种环境更有利于对单词的记忆？提出你的假设。
 - (2) 设计实验证明你的假设。
 - (3) 如果你得出的结论与别的同学的不同，你对此有何看法？
2. 有的同学经常熬夜学习，请查阅资料并结合亲身的经历，谈一谈这样做的危害。

STS 科学·技术·社会

脑机接口让工具真正实现“随心所欲”

自从人类认识到大脑里的神经元会产生电信号这一事实开始，就一直设想利用这些电信号控制外部设备（如假肢、家用电器）。这是脑机接口概念的雏形。但直到近些年，脑机接口才成为现实。

脑机接口中的“脑”就是指我们的大脑，“机”是机械，“接口”用于编码和解码。

2017年，科学家将一个微电极阵列植入恒河猴的大脑，采集多个神经元的电信号；这些信号经过计算机处理，转换成控制电动假肢的命令。经过训练，猴子学会了用自己的大脑控制假肢，最终能准确抓取食物喂到自己嘴里。这种植入式的脑机接口在使用时需打开颅骨，植入微电极，因此可能带来手术风险。



恒河猴脑机接口实验示意图

非植入式的脑机接口在头皮上收集脑电波，手术风险低，但采集到的电信号非常微弱

和模糊，难以达到植入式的控制精度和速度。



非植入式的脑机接口测试场景

我国在脑电波分析和解读技术、脑机接口系统的实用性开发上已处于国际领先水平。2014年，全球首台用于全肢体中风康复的脑控人工神经机器人系统“神工一号”在我国问世；2016年9月，“神工”系统随“天宫二号”升空，开启史上首次在轨脑机交互实验，对未来实施深空探测有重要推动作用。

脑机接口将在医疗、教育、交通等领域大有作为。设想有一天，我们无须动笔或张口，就能分享自己的喜怒哀乐；我们也能用“意念”控制设备……那时的世界将会是什么样子呢？

本章小结

理解概念

● 神经系统能够及时感知机体内、外环境的变化并作出反应，以调节各器官、系统的活动，实现机体稳态。

● 人和脊椎动物的神经系统由中枢神经系统与外周神经系统组成，中枢神经系统包括脑和脊髓，外周神经系统包括脑神经和脊神经。脑神经与脊神经中有一部分支配内脏、血管与腺体的活动，不受意识支配，属于自主神经系统。自主神经系统包括交感神经与副交感神经，它们通常对同一器官的作用是相反的。

● 神经调节的基本方式是反射。反射包括条件反射与非条件反射。

● 反射的完成以神经元上兴奋的传导为基础。神经元受到刺激会产生兴奋。兴奋在神经纤维上以神经冲动的形式传导，在神经元之间通过突触传递。

● 脑与脊髓中含有大量的神经中枢，这些中枢分工负责调节机体的不同生理活动。各中枢不是孤立的，而是相互联系的，躯体与内脏器官的活动通常都受到不同中枢的分级调控，其中大脑皮层是最高级中枢。

● 人的大脑皮层具有与语言相关的中枢，分别负责听、说、读、写。学习与记忆、情绪等都是大脑的高级功能。

发展素养

通过本章的学习，应在以下几方面得到发展。

● 基于对神经系统是一个信息网络的理解，认同信息流在生命活动中具有重要作用。

● 能够区分假说与预期。

● 阐明中枢神经系统是机体控制中心，能够运用分级调节原理来分析相关疾病的原因。

● 关注滥用兴奋剂和吸食毒品的危害，能够向他人宣传这些危害，拒绝毒品。

● 基于对学习和记忆规律的认识，能够运用这些规律提高效率。

● 能够调整自己的情绪，积极、健康地享受美好生活。

复习与提高

一、选择题

1. 在足球赛场上，球员奔跑、抢断、相互配合，完成射门。下列对比赛中球员机体生理功能的表述，不正确的是 ()

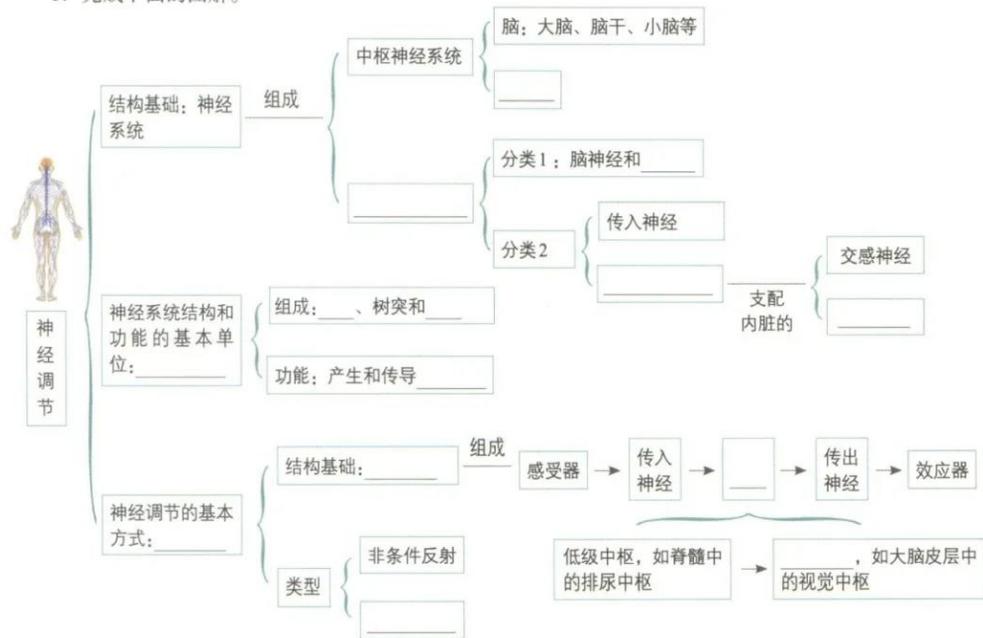
- A. 自主神经系统不参与这个过程
- B. 这些过程涉及一系列的反射活动
- C. 在大脑皮层调控下球员相互配合
- D. 球员在神经与肌肉的协调下起脚射门

2. 海蜗牛在接触几次电击后，能学会利用长时间蜷缩的方式保护自己；没有经过电击刺激的海蜗牛则没有类似的防御行为。研究者提取前者腹部神经元的RNA注射到后者颈部，发现原本没有受过电击的海蜗牛也“学会”了防御，而对对照组则没有此现象。以下叙述不符合该实验的是 ()

- A. 有助于我们对动物记忆形成机制的研究
- B. 本实验对照组的海蜗牛不需要注射RNA
- C. 不能说明RNA直接决定了动物记忆的形成
- D. 说明特定的RNA可以使海蜗牛“获得”记忆

二、非选择题

1. 完成下面的图解。



2. 为研究神经的兴奋传导，研究人员将蛙的脑和脊髓损毁，剥制了坐骨神经—腓肠肌标本。将该标本置于合适的溶液中，它可以保持活性。请回答相关问题。

(1) 刺激坐骨神经，腓肠肌会收缩。在这个过程中，突触前膜发生的变化有_____。

(2) 在反射弧五个组成部分中，该标本仍然发挥功能的部分有_____。

3. 毒扁豆碱等物质能影响神经递质的分解，某种箭毒会影响突触后膜受体发挥作用，这些物质因而能影响神经系统的信息传递及肌肉的收缩，有时会严重危害人的健康。

(1) 根据突触信息传递的特点分析：它们为什么会产生这些影响？

(2) 进一步查找资料回答：一旦出现类似物质引起的中毒，应该如何处置？

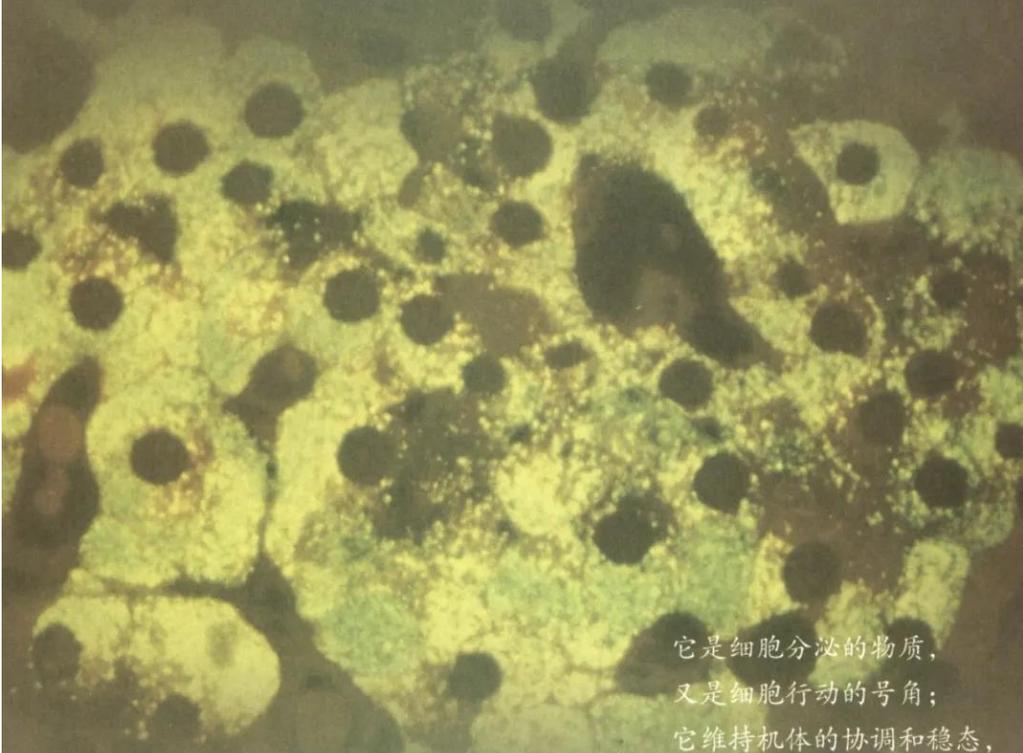
第3章

体液调节

胰岛素泵是一种人工智能控制的胰岛素输入装置。将它戴在糖尿病病人身上，可以模拟胰岛功能，向血液中注射胰岛素，以达到降低高血糖、维持血糖平衡的目的。

那么，胰岛素是如何降低血糖的？正常人的血糖为什么能维持平衡？

除血糖平衡的调节外，人体内还有许多生理活动也都受到激素的调节，它们的调节过程是怎样的？这些激素的调节有哪些共同的特点？



胰岛中的内分泌细胞及它们正在分泌的胰岛素（黄色）

它是细胞分泌的物质，
又是细胞行动的号角；
它维持机体的协调和稳态，
尽管微量，却精准、高效。

第1节

激素与内分泌系统

问题探讨

侏儒症患者的症状是生长迟缓，身材矮小，病因是患者幼年时生长激素分泌不足。

讨论

1. 如果在侏儒症患者成年时给他们注射生长激素，他们的症状能缓解吗？为什么？

2. 有的青少年觉得自己长得不够高，想去注射生长激素。你赞同这种想法吗？说出你的理由。



“我想打点生长激素！”

本节聚焦

- 激素的发现过程带给你什么启示？
- 研究激素的基本方法有哪些？
- 人体主要的内分泌腺有哪些？它们主要分泌什么激素？

人和高等动物体内都分布着许多能分泌物质的腺体。在这些分泌腺中，凡是分泌物经由导管而流出体外或流到消化腔的，称为外分泌腺，如汗腺、唾液腺、胃腺等；凡是没有导管的腺体，其分泌物——激素（hormone）直接进入腺体内的毛细血管，并随血液循环输送到全身各处的，称为内分泌腺。“问题探讨”中提到的生长激素是由垂体分泌的，除垂体外，内分泌腺还有甲状腺、肾上腺等。内分泌腺是内分泌系统的重要组成部分。

激素的发现

在相当长的时间内，人们对这些内分泌腺的机能并不了解。到19世纪，大量的动物实验和临床研究表明，许多疾病与内分泌腺有关，于是有人提出，内分泌腺可以不断地向血液中释放某些物质，这些物质具有调节生长发育和维持机体正常机能的作用。

在20世纪之前，激素这一概念还没有被提出，学术界普遍认为，人和动物体的一切生理活动都是由神经系统调节的。在这种情况下，探寻其他的调节方式就意味着向权威观点提出挑战，这需要有勇于探索和创新的精神。

相关信息

内分泌腺病变可导致机体产生疾病，例如，胰岛的功能异常可能会引起糖尿病；甲亢与甲状腺的病变有关。

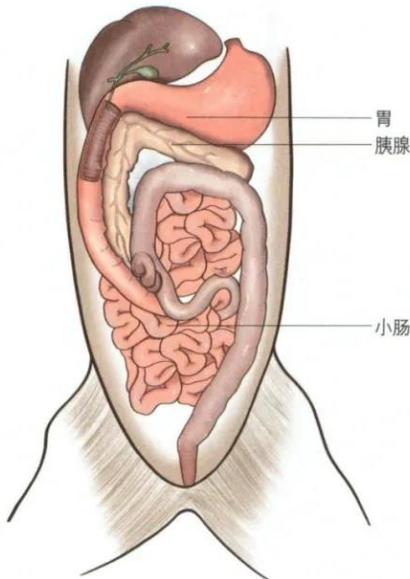
思考·讨论

促胰液素的发现

这是一个可以给我们很多启迪的故事。

1. 囿于定论的沃泰默

胰腺能分泌胰液。胰液通过导管注入小肠，其中的酶用来消化食物。胰液的分泌是如何调节的呢？在19世纪，学术界普遍认为，胃酸（主要成分为盐酸）刺激小肠的神经，神经将兴奋传给胰腺，使胰腺分泌胰液。法国学者沃泰默（E. Wertherimer, 1852—1924）通过实验发现：把稀盐酸注入狗的上段小肠肠腔内，会引起胰腺分泌胰液。若直接将稀盐酸注入狗的血液中则不会引起胰液的分泌。他进而切除了通向该段小肠的神经，只留下血管，再向小肠内注入稀盐酸，发现这样仍能促进胰液分泌。他对这一结果的解释是：这是一个十分顽固的反射。之所以说它顽固，是由于小肠上微小的神经难以剔除干净。



狗的胃、小肠和胰腺的位置示意图

2. 另辟蹊径的斯他林和贝利斯

英国科学家斯他林（E.H. Starling, 1866—1927）和贝利斯（W.M. Bayliss, 1860—1924）读了沃泰默的论文，却大胆地作出了另一种假设：这不是反射而是化学调节——在盐酸的作用下，小肠黏膜细胞可能产生了一种化学物质，这种物质进入血液后，随血流到达胰腺，引起胰液的分泌。

1902年，为了验证这一假设，他们把狗的一段小肠剪下，刮下黏膜，将稀盐酸加入黏膜磨碎，并制成提取液。将提取液注射到同一条狗的静脉中，发现能促进胰腺分泌胰液。这证明他们的假设是正确的。他们把小肠黏膜分泌的这种化学物质称作促胰液素。

3. 巴甫洛夫的感慨

俄国生理学家巴甫洛夫（I.P. Pavlov, 1849—1936）是近代消化生理学的奠基人、诺贝尔奖获得者。他和他的学生们在消化腺的神经调节方面做了大量研究，他们也认为小肠中盐酸导致胰液分泌属于反射。斯他林和贝利斯的发现与他们的结论大相径庭，于是他们重复做了实验，结果却与斯他林和贝利斯的一模一样。巴甫洛夫对学生深表遗憾地说：“自然，人家是对的。很明显，我们失去了一个发现真理的机会！”

讨论

1. 斯他林和贝利斯的实验比沃泰默实验的巧妙之处在哪里？
2. 促胰液素调节胰液分泌的方式与神经调节的方式有哪些不同？
3. “机遇只偏爱那种有准备的头脑”。是什么因素使斯他林和贝利斯抓住了成功的机遇呢？

促胰液素是人们发现的第一种激素。它的发现不仅使人类发现了一种新的化学物质，更重要的是，这使人们认识到，机体除了神经调节，还存在由内分泌器官或细胞分泌的化学物质——激素进行调节的方式，就是激素调节（hormonal regulation）。

激素研究的实例

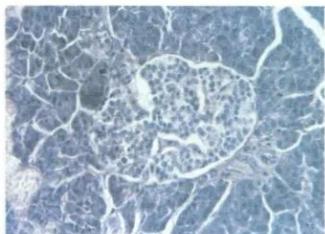
自从第一种激素被发现，世界上就出现了一个寻找激素的热潮。但激素的分泌悄无声息，它们直接进入血液周游全身，难以收集和分离。那么，人们是如何寻找激素的呢？又是如何确定它的分泌部位的？如何确定它的调节作用呢？从下面的研究实例中，可以获得一些启示。

思考·讨论

研究激素的方法

实例 1：胰岛素的发现

1869年，研究者在显微镜下观察胰腺组织时，发现其中有一些聚集成岛状的细胞堆，将其命名为“胰岛”，但对它的作用一无所知。



胰腺中的胰岛

1889年，科学家无意中发现，切除胰腺的狗会患上与人的糖尿病类似的疾病，据此提出胰腺能分泌某种抗糖尿病的物质的假说。

1916年，科学家将胰岛产生的、可能与糖尿病有关的物质命名为胰岛素，但这时没有人能精确地证实它的存在。从1889年到1920年的几十年里，科学家进行了几百次实验，试图证明胰腺中内分泌物的存在。

大多数实验都集中于制备胰腺提取物，然后注射给由胰腺受损诱发糖尿病或糖尿病患者，但都收效甚微。

1920年，在加拿大任助教的班廷（F. Banting, 1891—1941）在查阅资料时了解到，以实验方法结扎胰管或因胆结石阻塞胰管都会引起胰腺萎缩，而胰岛却保持完好，这样机体不会患糖尿病。这给了他获取胰岛素方法的启示：结扎狗的胰管，使胰腺萎缩，再用萎缩的胰腺提取液来治疗糖尿病。

1921年，班廷和助手贝斯特（C. H. Best, 1899—1978）先将狗的胰管结扎，使胰腺萎缩；然后摘除了另一只健康狗的胰腺，造成实验性糖尿病；之后，从结扎的狗身上取出萎缩得只剩胰岛的胰腺做成提取液，注入因摘除胰腺而患糖尿病的狗身上。奇迹出现了，患病狗的血糖（血液中的葡萄糖）迅速下降。经数天治疗后，病狗的血糖恢复了正常。随后他们与生物学家合作，抑制胰蛋白酶的活性，可直接提

取正常胰腺中的胰岛素。将提取的胰岛素用于对糖尿病患者的治疗，取得了很好的效果。



班廷、贝斯特和他们用来做实验的狗



正常的公鸡



公鸡阉割后

实例2：睾丸分泌雄激素的研究

对雄性家禽、家畜实行阉割在我国已有一千多年的历史；18世纪，英国也有学者进行了一系列令人感兴趣的性腺移植实验。但对性腺生理功能进行真正科学研究，是19世纪的事情了。

1849年，德国研究者发现，公鸡被摘除睾丸后，其雄性特征明显消失：鲜红突出的鸡冠逐渐萎缩、不再啼鸣、求偶行为也慢慢消失。如果将睾丸重新移植回去，公鸡的特征又会逐步恢复。

经过不断的实验，科学家从动物睾丸中提取出睾酮，经证实，睾酮就是睾丸分泌的雄激素。

讨论

1. 在班廷之前，科学家试图通过实验证明胰腺中分泌物的存在，为什么都收效甚微呢？

2. 班廷是如何证实胰岛素是由胰腺中的胰岛分泌的？

3. 从以上实例，你能归纳出研究一种内分泌腺及其分泌激素功能的方法吗？

4. 联系必修学到的内容，具体分析以上两个实例哪些实验用到了“减法原理”或“加法原理”。

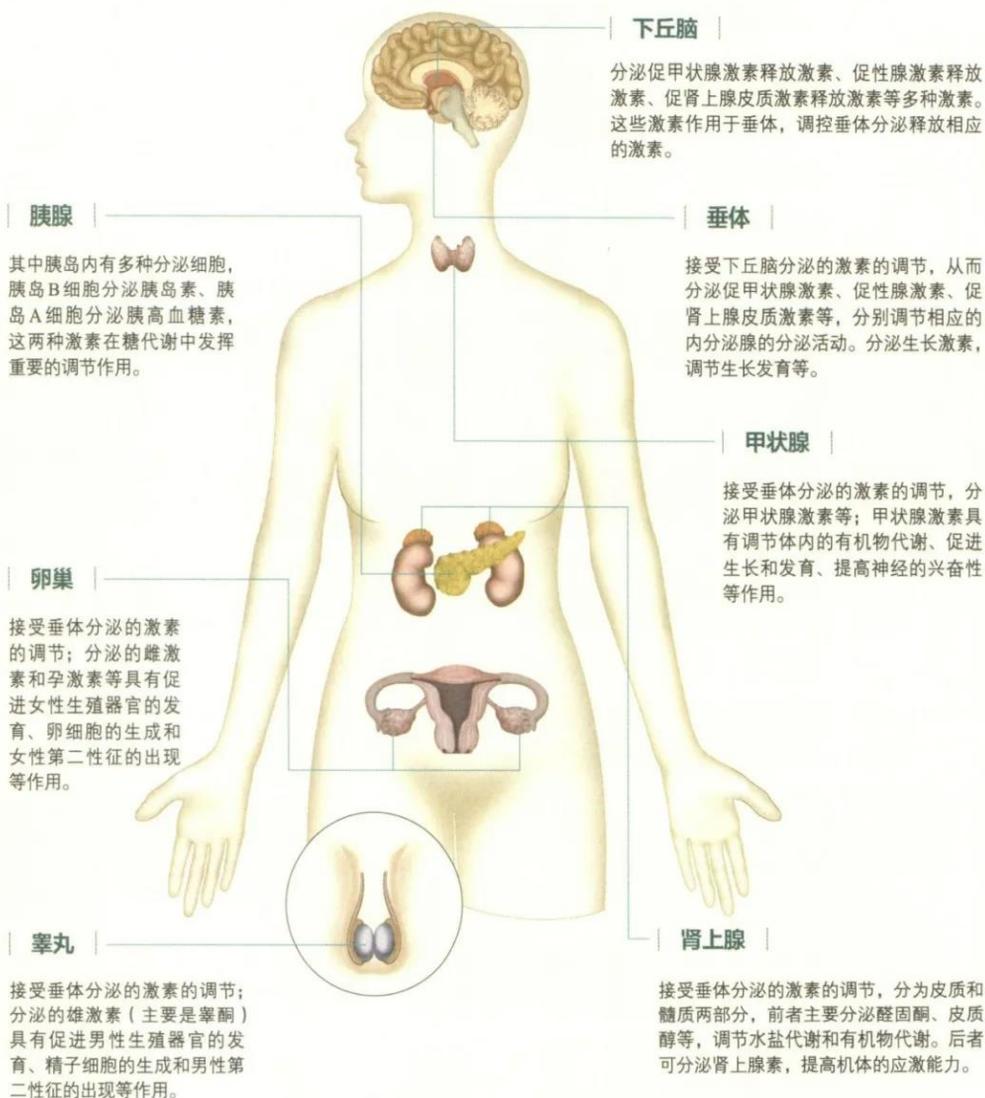
一个多世纪以来，在众多科学家前赴后继的努力下，多种内分泌腺和它们分泌的激素陆续被发现，人们逐步认识到了这些激素的来源和作用。

相关信息

激素是什么物质呢？研究发现，不同的激素，化学组成不同。例如，胰岛素是一种含有51个氨基酸的蛋白质，而性激素主要是类固醇。

内分泌系统的组成和功能

内分泌系统由相对独立的内分泌腺以及兼有内分泌功能的细胞共同构成。有的内分泌细胞聚集在一起成为内分泌腺体；也有的内分泌细胞分散在一些器官、组织内，如在小肠黏膜上有分泌促胰液素等的众多内分泌细胞；下丘脑中的某些神经细胞，也具有内分泌功能。人体内主要内分泌腺及其分泌的激素如图3-1所示。



▲ 图3-1 人体主要内分泌腺及其分泌的激素

内分泌系统是机体整体功能的重要调节系统。各种内分泌腺间具有复杂的功能联系，共同调节机体活动，包括维持内环境稳定、调节物质和能量代谢、调控生长发育和生殖等。

 思维训练

验证假说，预测结果

某科学家为了研究性激素在胚胎生殖系统发育中所起的作用，提出了如下假说。

假说1：发育出雄性器官需要来自睾丸提供的激素信号，当这一信号缺失时，胚胎发育出雌性器官；

假说2：发育出雌性器官需要来自卵巢提供的激素信号，当这一信号缺失时，胚胎发育出雄性器官。

为此，他设计了如下实验：在家兔胚胎生殖系统分化之前，通过手术摘除即将发育为卵巢或睾丸的组织。当幼兔生下来之后，观察它们的性染色体组成及外生殖器的表现。实验结果如下：

性染色体组成	外生殖器表现	
	未做手术	手术后
XY	雄性	雌性
XX	雌性	雌性

讨论

1. 实验结果验证了上述哪一个假说？如果另外一个假说成立，请预测相应的结果。
2. 为了进一步证实他的假说，在摘除即将发育为卵巢或睾丸的组织的同时，给予一定量的睾酮刺激。请你预测，性染色体组成为XX或XY的胚胎将分别发育出哪种性器官？

练习与应用

一、概念检测

1. 1937年，科学家在实验中观察到：阻断实验动物垂体与下丘脑之间的血液联系，可导致其生殖器官萎缩；若恢复垂体与下丘脑之间正常的血液联系，生殖器官的功能也恢复正常。请判断下列说法是否合理。

(1) 该实验表明垂体的活动受下丘脑控制。 ()

(2) 该实验表明动物生殖器官的发育受垂体的直接控制。 ()

(3) 阻断垂体与下丘脑之间的血液联系，依据了实验变量控制中的“减法原理”。 ()

2. 斯他林等在发现促胰液素之后，继续进行

研究：把一条狗的小肠黏膜刮下来，过滤后注射给另一条狗，后者在胰液分泌明显增加的同时，血压还骤然下降。下列推测或叙述合理的是 ()

- A. 本实验对照组应注射等量的清水
- B. 胰液的增加是小肠分泌促胰液素的结果
- C. 该研究说明促胰液素还具有降血压的作用
- D. 滤液中物质的作用效果多样说明激素不具有专一性

二、拓展应用

糖尿病分为1型和2型。它们都可以用注射胰岛素的方式进行治疗吗？为什么？请你查阅资料回答问题。

第2节 激素调节的过程

问题探讨

马拉松长跑是赛程超过40 km、历时2 h以上的极限运动，运动员每小时至少要消耗300 g糖类。

血糖可以补充肌肉因运动而消耗的糖类。正常人的血糖含量为3.9~6.1 mmol/L，全身的血量大约为5 L。

计算：如果仅靠血液中的葡萄糖，运动员能跑多长时间？

讨论

长跑过程中大量消耗葡萄糖，会导致血糖含量下降吗？为什么？



马拉松比赛

本节聚焦

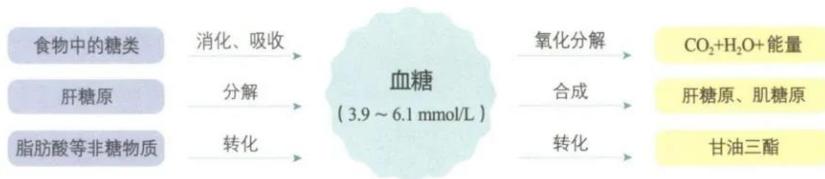
- 血糖的平衡是怎样维持的？
- 激素的分级调节是如何实现的？
- 激素调节有什么特点？

处于活动中的人体，如果没有持续的血糖供应，血糖很快就会枯竭。但事实上，无论是在运动还是安静的状态下，人体的血糖浓度总是维持在一定的水平，这是如何实现的呢？对于机体又有怎样的意义？研究表明，血糖的调节主要依靠激素的作用。其他许多生命活动的调节也与激素有关。

激素调节的实例

实例1：血糖平衡的调节

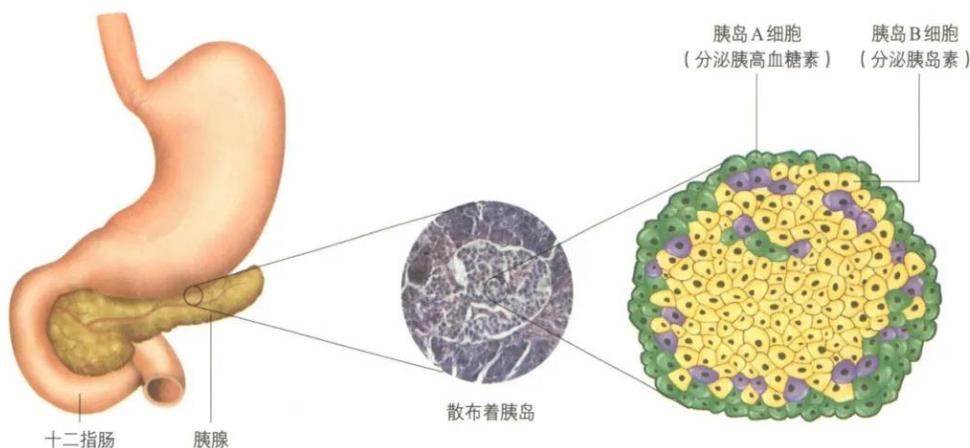
血液中的糖称为血糖，主要是葡萄糖。要想知道血糖平衡是如何维持的，首先需要分析血糖的来源和去路（图3-2）。



▲ 图3-2 血糖的来源和去向（正常情况下）

血糖的来源主要有以下几个方面：食物中的糖类经消化、吸收进入血液，是血糖的主要来源；肝糖原分解成葡萄糖进入血液，是空腹时血糖的重要来源；非糖物质可以转化为葡萄糖进入血液，补充血糖。血糖的去向可以概括为以下几个方面：随血液流经各组织时，被组织细胞摄取，氧化分解；在肝和骨骼肌细胞内合成肝糖原和肌糖原储存起来；脂肪组织和肝可将葡萄糖转变为非糖物质，如甘油三酯等。

血糖平衡的调节，也就是调节血糖的来源和去向，使其处于平衡状态。研究发现，机体是通过一些特定的激素来调节血糖的代谢速率的，其中最主要的是胰岛分泌的胰高血糖素（glucagon）和胰岛素（insulin）（图3-3）。



▲图3-3 胰岛A细胞和胰岛B细胞以及它们分泌的激素

当血糖浓度升高到一定程度时，胰岛B细胞的活动增强，胰岛素的分泌量明显增加。体内胰岛素水平的上升，一方面促进血糖进入组织细胞进行氧化分解，进入肝、肌肉并合成糖原，进入脂肪组织细胞转变为甘油三酯；另一方面又能抑制肝糖原的分解和非糖物质转变成葡萄糖。这样既增加了血糖的去向，又减少了血糖的来源，使血糖浓度恢复到正常水平。当血糖浓度降低时，胰岛A细胞的活动增强，胰高血糖素的分泌量增加。胰高血糖素主要作用于肝，促进肝糖原分解成葡萄糖进入血液，促进非糖物质转变成糖，使血糖浓度回升到正常水平。

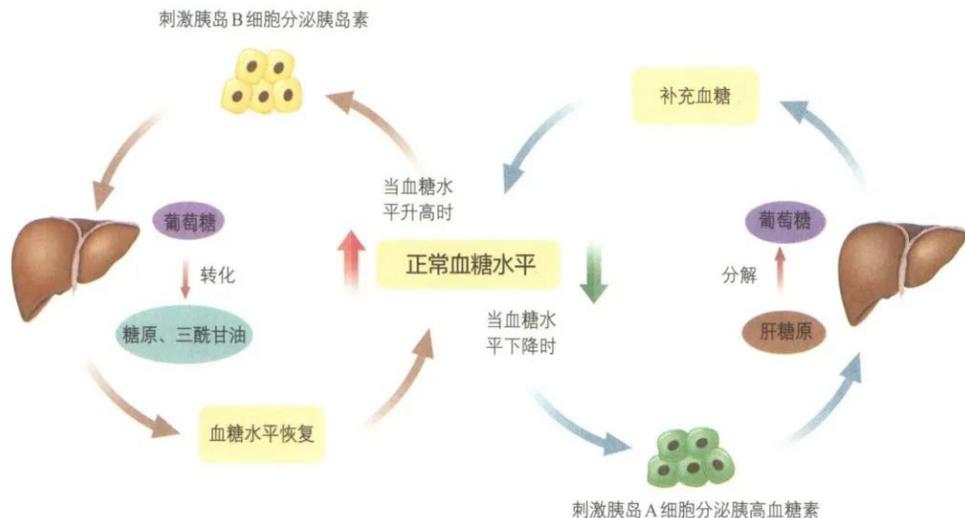
相关信息

人体内有多种激素参与调节血糖浓度，如糖皮质激素、肾上腺素、甲状腺激素等，它们通过调节有机物的代谢或影响胰岛素的分泌和作用，直接或间接地提高血糖浓度。胰岛素是唯一能够降低血糖浓度的激素。

也就是说，胰岛素和胰高血糖素共同维持血糖含量的稳定（图3-4）。同时，在血糖调节的过程中，胰岛素的作用结果会反过来影响胰岛素的分泌，胰高血糖素也是如此。像这样，在一个系统中，系统本身工作的效果，反过来又作为信息调节该系统的工作，这种调节方式叫作反馈调节（**feedback regulation**）。反馈调节是生命系统中非常普遍的调节机制，它对于机体维持稳态具有重要意义。

知识链接

生态系统的稳定性也是受反馈调节的，详见选择性必修2《生物与环境》第3章。



▲ 图3-4 血糖平衡的主要调节过程示意图

血糖的平衡还受到神经系统的调节。例如，当血糖含量降低时，下丘脑的某个区域兴奋，通过交感神经使胰岛A细胞分泌胰高血糖素，使得血糖含量上升。另外，神经系统还通过控制甲状腺和肾上腺的分泌活动来调节血糖含量。

与社会的联系 糖尿病是一种严重危害健康的常见病，主要表现为高血糖和尿糖，可导致多种器官功能损害。人类的糖尿病分为1、2两种类型，多饮、多尿、多食是其共同外在表现。1型糖尿病由胰岛功能减退、分泌胰岛素减少所致，通常在青少年时期发病，我国的发病率约为十万分之一。2型糖尿病很常见，与遗传、环境、生活方式等密切相关，但确切发病机理目前仍不明确。进入工业化社会以来，世界各国2型糖尿病的发病率都急剧升高。能量摄入过多、运动量过少、肥胖是2型糖尿病最常见的危险因素。目前，2型糖尿病的发病年龄也在降低，青年患者人数逐渐增加，甚至有几岁的儿童被诊断出患2型糖尿病。因此，青少年要注意控制饮食，多运动。

实例2：甲状腺激素分泌的分级调节

当你在寒风中瑟瑟发抖时，你身体内几乎所有的细胞都被动员起来，共同抵御寒冷。起动员作用的是神经冲动和激素，甲状腺分泌的甲状腺激素（thyroxine）在其中起重要作用。甲状腺激素随血液运到全身，几乎作用于体内所有的细胞，提高细胞代谢的速率，使机体产生更多的热量。那么，甲状腺激素的分泌是如何调节的呢？



为什么说寒冷条件下人体发抖也是抵御寒冷的自然反应呢？

思考·讨论

分析甲状腺激素分泌的调节

实验发现，摘除大鼠的垂体，甲状腺将萎缩，甲状腺激素显著减少；如果给该大鼠注射垂体的提取物，可以部分地恢复甲状腺的大小。如果向动物静脉注射下丘脑分泌的促甲状腺激素释放激素（TRH），可增加垂体分泌促甲状腺激素（TSH）的量。进一步实验发现，将实验动物下丘脑中分泌TRH的区域损毁，或向该动物的垂体中注射微量的甲状腺激素后，血液中的TSH水平会明显降低。

临床上发现，甲状腺机能亢进时，血液中甲状腺激素水平升高，TSH的水平降低；当甲状腺功能减退时，血液中甲状腺激素水平下降，TSH的水平升高。

讨论

1. 在甲状腺激素的分泌中，下丘脑、垂体和甲状腺之间有何关系？
2. 在正常情况下，血液中的甲状腺激素的水平总维持在一定范围内，这是如何实现的呢？

研究表明，甲状腺激素分泌的调节，是通过下丘脑—垂体—甲状腺轴来进行的（图3-5）。当机体感受到寒冷等刺激时，相应的神经冲动传到下丘脑，下丘脑分泌TRH；TRH运输到并作用于垂体，促使垂体分泌TSH；TSH随血液循环到达甲状腺，促使甲状腺增加甲状腺激素的合成和分泌。当血液中的甲状腺激素含量增加到一定程度时，又会抑制下丘脑和垂体分泌相关激素，进而使甲状腺激素的分泌减少而不至于浓度过高。也就是说，在甲状腺激素分泌的过程中，既存在分级调节，也存在反馈调节。

下丘脑、垂体和甲状腺功能的分级调节系统，也称为下丘脑—垂体—甲状腺轴；人和高等动物体内还有“下丘脑—垂体—肾上腺皮质轴”“下丘脑—垂体—性腺轴”等，人们将下丘脑、垂体和靶腺体之间存在的这种分层调控，称为分级调节。分级调节可以放大激素的调节效应，形成多级反馈调节，有利于精细调控，从而维持机体的稳态。



▲ 图3-5 甲状腺激素分泌的调节示意图

激素调节的特点

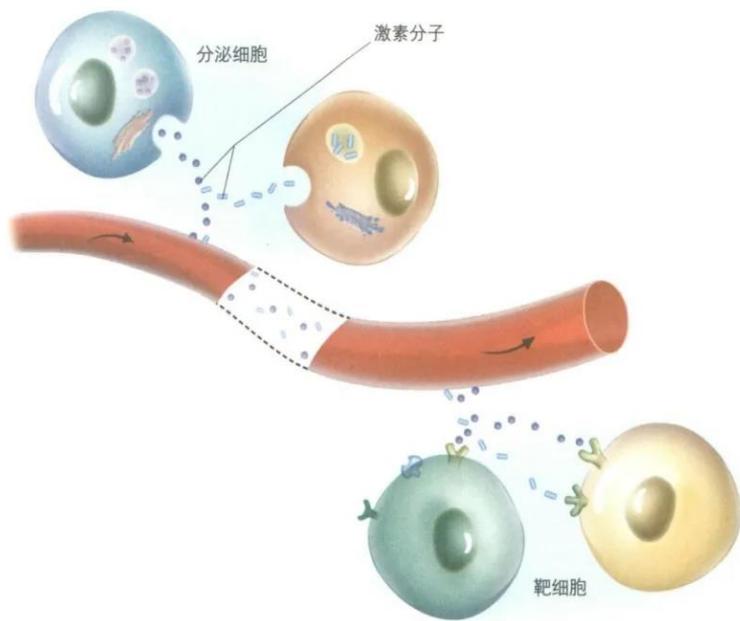
各种激素的化学结构不同，生理作用各异，但它们的作用方式却有着一些共同的特性。

通过体液进行运输 内分泌腺没有导管，内分泌细胞产生的激素弥散到体液中，随血液流到全身，传递着各种信息。因此，临床上常通过抽取血样来检测内分泌系统中激素的水平。

作用于靶器官、靶细胞 众多的激素分子弥散在全身的体液中，是不是对所有细胞都起作用呢？研究发现，甲状腺激素几乎对全身的细胞都起作用，而TSH只作用于甲状腺。能被特定激素作用的器官、细胞犹如“靶子”，就是该激素的靶器官、靶细胞（图3-6）。激素选择靶细胞，是通过与靶细胞上的特异性受体相互识别，并发生特异性结合实现的。



你能否以一种激素为例（如胰岛素或甲状腺激素），说明该激素的产生、运输、作用于靶器官和靶细胞的过程？



▲图3-6 激素的分泌、运输及与靶细胞结合的方式示例

作为信使传递信息 激素的作用方式，犹如信使将信息从内分泌细胞传递给靶细胞，靶细胞发生一系列的代谢变化。激素一经靶细胞接受并起作用后就失活了，因此，体内需要源源不断地产生激素，以维持激素含量的动态平衡。

微量和高效 在正常生理状态下，血液中的激素浓度都很低，一般为 $10^{-12} \sim 10^{-9}$ mol/L。虽然激素含量甚微，但其作用效果极其显著。激素是人和动物体内微量、高效的生物活性物质。因此，一旦体内激素含量偏离了生理范围，就会严重影响机体机能，这也是临床上常常通过测定血液中激素含量来检测疾病的原因（图3-7）。

在机体内，往往多种激素共同参与调节同一生理功能，各种激素彼此关联，相互影响。例如，胰高血糖素、甲状腺激素、肾上腺素等均可升高血糖，它们通过作用于不同环节，在提高血糖浓度上具有协同作用；而胰岛素则降低血糖，与上述激素的升糖效应相抗衡。

激素种类多、量极微，既不组成细胞结构，又不提供能量，也不起催化作用，而是随体液到达靶细胞，使靶细胞原有的生理活动发生变化。有人说激素是调节生命活动的信息分子，你赞成这一说法吗？

北京市医疗机构临床检验结果报告单				
姓名: 李博	性别: 男	年龄: 45岁	科室: 心外科	申请日期: 2018-11-07
出生日期: 1973-11-11	申请医生: 李博	标本日期: 2018-11-08	标本种类: 血清	接收日期: 2018-11-08 07:16:46
TLA	流水号: 490	初诊诊断: 甲状腺功能亢进	仪器: 718 (Roche)	接收科室: 内分泌科
检测项目	英文对照	结果	单位	参考值
1 总三碘甲状腺原氨酸	TT3	1.68	nmol/L	1.01-2.48
2 总甲状腺素	TT4	106.460	nmol/L	69.97-152.4
3 超敏人促甲状腺素	hTSH	2.160	mIU/L	0.49-4.91
4 游离三碘甲状腺原氨酸	FT3	5.430	pmol/L	3.28-6.47
5 游离甲状腺素	FT4	11.480	pmol/L	7.64-16.03
备注: 李博				
接收者: 李博	接收时间: 2018-11-08 08:10:45	操作者: 李博	审核者: 李博	审核时间: 2018-11-08 08:10:45
注: 1. 本报告仅对送检标本负责, 结果供医生参考。 2. 本检验结果有效期: 请于报告发出后三日内与相应的检验室联系。 3. *项目代表北京市三级医院检验结果互认项目。 检测仪器: 718 (Roche); 检测方法: 化学发光法。 4. 检测结果中 1 为高于参考值, 4 为低于参考值。				

▲ 图3-7 甲状腺激素检测报告单

练习与应用

一、概念检测

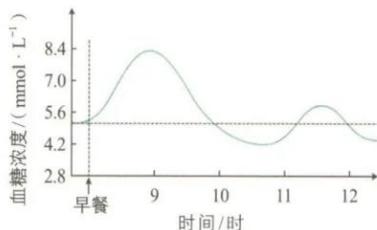
1. 以下关于胰岛素、甲状腺激素作用特点的叙述，错误的是 ()

- A. 需借助体液运输
- B. 发挥作用后立即失活
- C. 在代谢时发挥催化作用
- D. 作用于特定的细胞、器官

2. 机体内各种激素彼此关联，相互影响，共同参与调节同一生理功能。下列对激素间相互关系的描述，正确的是 ()

- A. 胰岛素与胰高血糖素都对血糖的稳定起作用，二者为协同关系
 - B. 胰岛素可降低血糖，肾上腺素可使血糖升高，二者作用相抗衡
 - C. 雌激素和雄激素都抑制垂体分泌促性腺激素，二者为协同关系
 - D. 生长激素可促进生长，甲状腺激素可促进发育，二者作用相抗衡
3. 右上图曲线表示某人从早餐开始到12时

血糖浓度的变化情况，请识图并结合自己的生活实际，分析曲线变化的具体原因（说明血糖的来源或去向，以及相关激素的作用）。



二、拓展应用

1. 甲状腺癌患者切除甲状腺后，其下丘脑分泌的TRH还有作用吗？其垂体分泌的TSH呢？为什么这样的患者要终生服用甲状腺激素类药物？
2. 假设你是一位工程师，要为胰岛素分泌不足的糖尿病患者设计一个随身携带的“人工胰岛”（已有这类产品），请写出你的设计思想，指出需要解决的主要问题。

评价应用激素类药物的利与弊

科学的发现，总会导致实践上的应用，影响到人们生活的方方面面，激素的发现也是这样。下面是一些具体事例，既可助你拓宽视野，也为你评价激素应用的利与弊提供素材。

1. 许多糖尿病患者可以通过按时注射胰岛素来治疗；临床上，常使用糖皮质激素类药物治疗过敏性鼻炎。



用于注射胰岛素的泵

2. 在养殖青、草、鲢、鳙四大家鱼时，人们给雌、雄亲鱼注射促性腺激素类药物，就能促使亲鱼的卵和精子成熟，从而进行人工授精和育苗。

3. 某些人给猪喂饲激素类药物，以提高猪的瘦肉率。

4. 昆虫的生命活动也受到许多激素的调节，其中有一种激素是保幼激素。如果在家蚕作茧之前数日，在桑叶上适量喷洒人工合成的保幼激素类似物，蚕吃后能推迟几天作茧，就能多吃几天桑叶而使绢丝腺更饱满，从而可以吐更多的丝。

5. 一些工业废弃物、杀虫剂、除草剂等，在分解过程中能产生与性激素分子结构类似的产物，称为环境激素或内分泌干扰物，可能对人和动物的内分泌功能产生不良影响。

6. 有些运动员服用人工合成的睾酮衍生物（兴奋剂的一种）来促进肌肉的生长，增强肌肉的力量，提高比赛成绩。

7. 临床上可以用适量的生长激素治疗侏儒症。有些人为了追求美丽，在某些部位违规使用生长激素，令局部组织过度生长出“大瘤”或者鼓起条索状的结构。

8. 某些医生使用糖皮质激素消除发热症状。这些激素可抑制热量释放或降低体温中枢的敏感性，从而使体温下降或防止发热。但也有部分医生把这些激素用到一些诊断不清、治疗效果不好的病例身上，以图缓解症状。

9. 美国生物学家平卡斯（G.G. Pincus，1903—1967）和美籍华人生物学家张明觉（1908—1991），发明了可抑制妇女排卵的口服避孕药——人工合成的孕激素类药物，用于计划生育、控制人口。

10. 在农业生产上，常在农田或果园中使用一些昆虫的性外激素（或类似物）来诱杀雄性昆虫以控制虫害。

通过分析上述事例，你对人们在生产和生活中应用或接触激素类药物的利和弊有什么看法？请就此话题与同学讨论和交流。



昆虫诱捕器

第3节 体液调节与神经调节的关系

问题探讨

在游乐园乘坐过山车，头朝下疾驰时，不少人感到心怦怦直跳，并狂呼乱叫。如果此时检测血液，发现能使心跳和呼吸加快的肾上腺素含量也会明显升高。

讨论

1. 既然知道过山车是安全的，为什么心跳还会加速呢？
2. 在这个例子中，人体所作出的反应，哪些与神经调节有关？哪些与激素调节有关？你能说出两者之间的关系吗？



过山车

坐过山车时人体的反应，有些与神经系统的调节有关，有些与激素的调节有关。人和高等动物无论是对复杂环境的刺激及时作出各种反应，还是维持机体各种机能间的协调统一，都既需要神经调节又需要体液调节。

体液调节与神经调节的比较

激素等化学物质，通过体液传送的方式对生命活动进行调节，称为体液调节。激素调节是体液调节的主要内容。除激素外，其他一些化学物质，如组织胺、某些气体分子（NO、CO等）以及一些代谢产物（如CO₂），也能作为体液因子对细胞、组织和器官的功能起调节作用。CO₂是调节呼吸运动的重要体液因子。体液中CO₂浓度变化会刺激相关感受器，从而通过神经系统对呼吸运动进行调节。

一些低等动物只有体液调节，没有神经调节，但在人和高等动物体内，体液调节和神经调节都是机体调节生命活动的重要方式，它们相辅相成，各具优势（表3-1）。

▼ 表3-1 体液调节和神经调节的特点比较

比较项目	作用途径	反应速度	作用范围	作用时间
体液调节	体液运输	较缓慢	较广泛	比较长
神经调节	反射弧	迅速	准确、比较局限	短暂

本节聚焦

- 体液调节和神经调节的特点有什么区别？
- 体温和水盐平衡是如何保持的？
- 体液调节和神经调节是如何协调的？

相关信息

临床上给患者输入O₂时，往往采用含有5%左右的CO₂的混合气体，以达到刺激呼吸中枢的目的。

体液调节和神经调节的协调

体液调节和神经调节的结构基础和作用方式都不一样，但二者并不是各行其道、互不相干的。它们是如何相互联系并彼此协调的呢？以下两个实例可以帮助你理解这一问题。

相关信息

人通过生理性调节（如排汗、血管的舒缩）和行为性调节（如使用空调、增减衣物）来维持体温相对稳定。其中，生理性调节是基本的调节方式，而行为性调节是重要的补充。这里主要讨论生理性调节过程。



带婴幼儿看病时，为什么要等他们停止哭闹几分钟之后，再给他们量体温呢？

实例 1：体温的调节

无论是酷热还是严寒，无论是静止还是运动，人的体温总能保持相对恒定，而这种恒定是人体产热和散热过程保持动态平衡的结果。

人体产热和散热的机制是怎样的？

代谢产热是机体热量的主要来源。在安静状态下，人体主要通过肝、脑等器官的活动提供热量；运动时，骨骼肌成为主要的产热器官。而皮肤是人体最主要的散热器官，皮肤散热主要通过辐射（如以红外线等形式将热量传到外界）、传导（机体热量直接传给同它接触的物体）、对流（通过气体来交换热量）以及蒸发（如汗液的蒸发）的方式进行。体温调节是通过调节上述器官的产热和散热实现的。

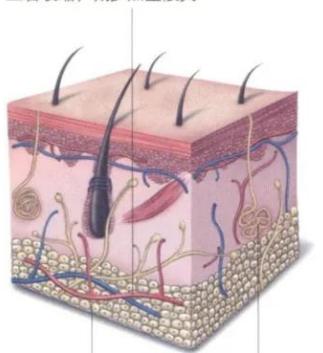
人处在寒冷环境中时，散热会加快。那么，机体是如何保持体温恒定的呢？

人和高等动物皮肤中分布有感受温度变化的温度感受器，包括冷觉感受器和热觉感受器。在寒冷环境中，散热加快，当局部体温低于正常体温时，冷觉感受器受到刺激并产生兴奋，兴奋传递到下丘脑的体温调节中枢，通过中枢的分析、综合，再使有关神经兴奋，进而引起皮肤血管收缩，皮肤的血流量减少，散热量也相应减少。同时，汗腺的分泌量减少，蒸发散热也随之减少（图3-8）。

在减少热量散失的同时，机体还会主动增加产热。寒冷刺激使下丘脑的体温调节中枢兴奋后，可引起骨骼肌战栗，使产热增加。与此同时，相关神经兴奋后可以促进甲状腺激素、肾上腺素等激素的释放，使肝及其他组织细胞的代谢活动增强，增加产热。就这样，机体在寒冷环境中实现产热和散热的平衡，体温维持正常。这类通过神经影响激素的分泌，再由激素对机体功能实施调节的方式，称为神经—体液调节。

如果处在炎热环境中，人体又是如何维持体温稳定的呢？

皮肤中的血管舒张，促进热量散失；
血管收缩，减少热量散失

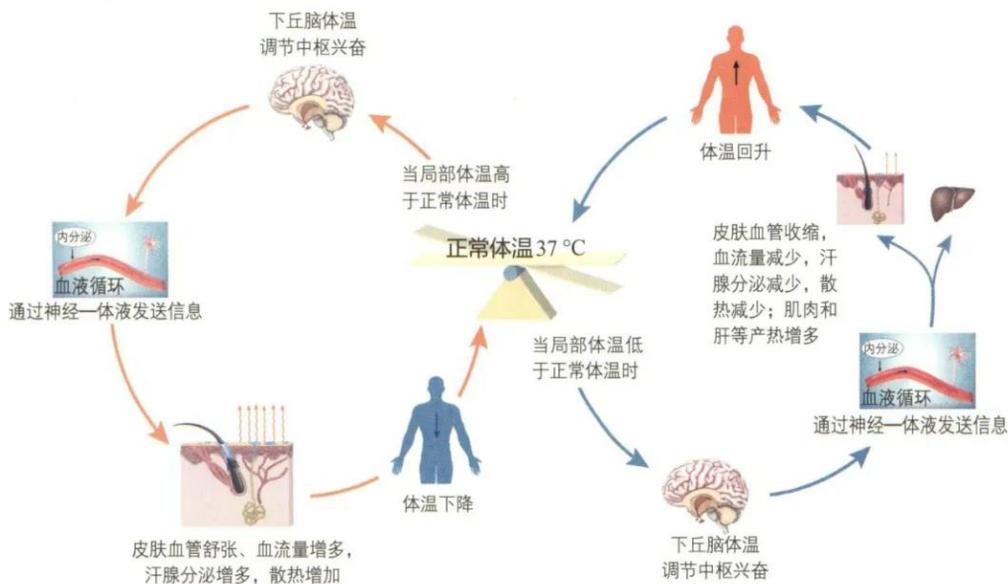


皮下脂肪层隔热，
减少热量散失

汗腺产生汗液，
汗液蒸发散热

▲ 图3-8 皮肤的体温调节作用示意图

在炎热的环境中时，皮肤中的热觉感受器兴奋，该兴奋传递至下丘脑的体温调节中枢，进而通过自主神经系统的调节和肾上腺等腺体的分泌，最终使皮肤的血管舒张，皮肤血流量增多，也使汗液的分泌增多等，从而增加散热。由此可见，体温调节是由神经调节和体液调节共同实现的（图3-9）。



▲图3-9 体温调节主要过程示意图

人体调节体温的能力是有限的。人如果在寒冷的环境中停留过久，机体产生的热量不足以补偿散失的热量，体温就会降低；人如果在高温环境中停留过久，体内产生的热量不能及时散出，会导致体温升高。体温过低或过高都会影响物质代谢的正常进行，使细胞、组织和器官发生功能紊乱，破坏内环境稳态，严重时甚至会危及生命。

🌀 体温升高或降低，对人体只有害而无益吗？

实例2：水和无机盐平衡的调节

人体每天都要从饮食中获得水和各种无机盐，同时又要通过多种途径排出一定的水和无机盐。人体内水的来源是饮水、食物中所含有的水和代谢中产生的水；水的排出有四条途径（表3-2），其中肾排尿是人体排出水的最主要途径。机体能够通过调节排尿量，使水的排出量与摄入量相适应，以保持机体的水平衡。人体内的无机盐有多种，



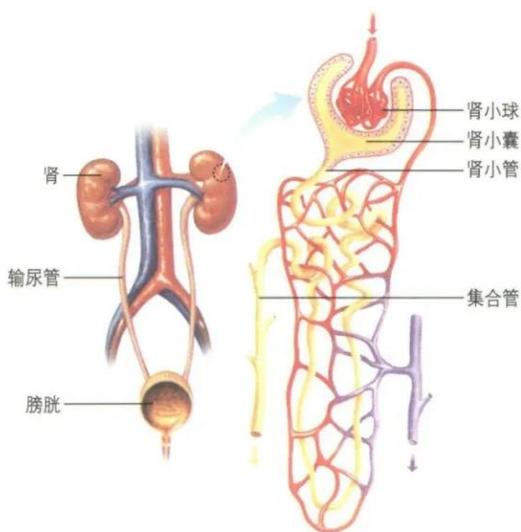
一般情况下，冬天人的尿较多，夏天人的尿较少。为什么会出现这种情况呢？

而且大多以离子形式存在，如 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 HCO_3^- 等，下面仅以 Na^+ 为例进行说明。 Na^+ 的主要来源是食盐，几乎全部由小肠吸收，主要经肾随尿排出，排出量几乎等于摄入量。

▼ 表3-2 正常成年人一天(24 h)水的摄入量和排出量*

摄入的水量/mL		排出的水量/mL	
来自饮水	1 200	由肾排出(尿液)	1 500
来自食物	1 000	由皮肤排出(汗液)	500
来自代谢	300	由肺排出(呼吸)	400
		由大肠排出(粪便)	100
共计	2 500	共计	2 500

*注：这是指一个体重为70 kg的成年人在25℃、活动量不大，以及中等饮食程度的情况下。

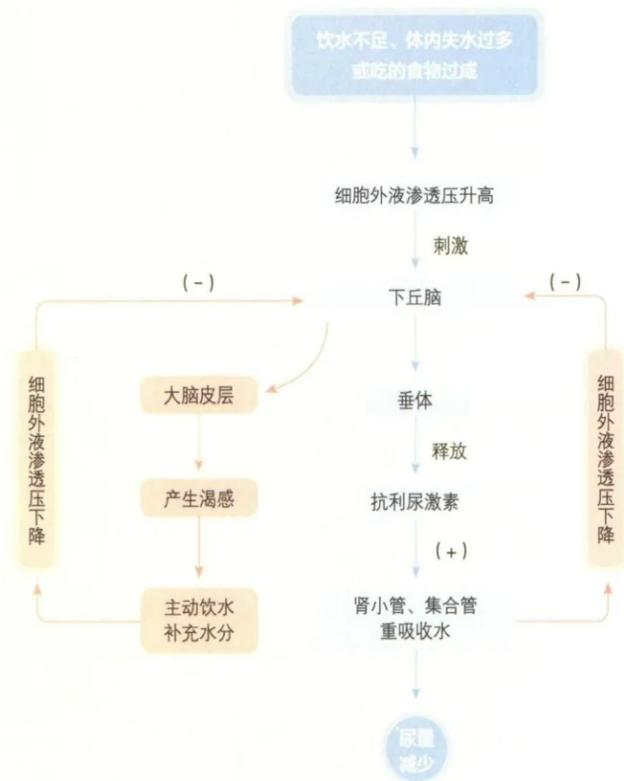


▲ 图3-10 人体泌尿系统结构模式图

Na^+ 的浓度对于细胞外液渗透压的维持具有重要作用，机体对水和无机盐的调节，是基于保持细胞外液 Na^+ 浓度，即保持细胞外液渗透压不变。因此，水平衡和盐平衡的调节过程密切相关，通常称为渗透压调节，主要是通过肾完成的(图3-10)。

当人饮水不足或吃的食物过咸时，细胞外液渗透压会升高，下丘脑中的渗透压感受器会受到刺激。这个刺激一方面传至大脑皮层，通过产生渴觉来直接调节水的摄入量；另一方面促使下丘脑分泌、垂体释放的抗利尿激素增加，从而促进肾小管和集合管对水分的重吸收，减少了尿量的排出，保留了体内的水分，使细胞外液的渗透压趋向于恢复正常(图3-11)。相反，当人饮水过多或盐分丢失过多而使细胞外液的渗透压下降时，对渗透压感受器的刺激减少，也就减少了抗利尿激素的分泌和释放，肾排出的水分就会增加，这样细胞外液的渗透压就恢复正常。

另外，当大量丢失水分使细胞外液量减少以及血钠含量降低时，肾上腺皮质增加分泌醛固酮，促进肾小管和集



▲图 3-11 水盐平衡的调节示意图

管对 Na^+ 的重吸收，维持血钠含量的平衡。相反，当血钠含量升高时，则醛固酮的分泌量减少，其结果也是维持血钠含量的平衡。水和无机盐的平衡，是在神经调节和激素调节的共同作用下，通过调节尿量和尿的成分实现的。

水和无机盐的平衡，对于维持人体的稳态起着非常重要的作用，是人体各种生命活动正常进行的必要条件。当人剧烈运动、在高温条件下工作或患某些疾病（如剧烈呕吐、严重腹泻）时，都会丢失大量的水和无机盐（主要是钠盐）。这时如果不及时补充水和钠盐，机体细胞外液渗透压就会下降，而且还会出现血压下降、心率加快、四肢发冷等症状，严重的甚至昏迷。这时如果及时补充生理盐水，就可以缓解上述症状。人体每昼夜有 35 ~ 50 g 的代谢废物必须要随尿液排出体外，而溶解这些代谢废物的最低尿量应在 500 mL 以上。如果排出的尿量过少，代谢废物不能及时随尿液排出体外，就会引起中毒而损害健康。因此，



有人说，不要等渴了再喝水。你觉得这句话有道理吗？



有人说：“一个人一天内不吃饭、不喝水，但只要没有大、小便，就可以维持体内水和无机盐的平衡。”这种说法对吗？为什么？



有的人喜欢吃清淡的食物，炒菜时放盐极少。如果长期这样下去，对他的健康可能会有什么影响？

人每天都要保证一定量的饮水。

人体除丢失水和 Na^+ 外，还会丢失 K^+ 。 K^+ 不仅在维持细胞内液的渗透压上起决定性作用，而且还具有维持心肌舒张、保持心肌正常兴奋等重要作用。蔬菜和水果中富含 K^+ ，只要保持合理膳食，就能满足机体的需要。

在人和高等动物体内，体液调节和神经调节的联系可概括为以下两个方面。一方面，不少内分泌腺直接或间接地受中枢神经系统的调节，在这种情况下，体液调节可以看作是神经调节的一个环节。例如，肾上腺髓质受交感神经支配，当交感神经兴奋时，肾上腺髓质分泌肾上腺素等激素，它们作用于靶细胞，使靶细胞产生相应的反应。另一方面，内分泌腺分泌的激素也可以影响神经系统的发育和功能，如人在幼年时缺乏甲状腺激素会影响脑的发育；成年时，甲状腺激素分泌不足会使神经系统的兴奋性降低，表现为头晕、反应迟钝、记忆力减退等症状。

总之，人和高等动物体的各项生命活动常常同时受神经和体液的调节。正是由于这两种调节方式的配合，各器官、系统的活动才能协调一致，内环境的稳态才得以维持，各项生命活动才能正常进行，机体才能适应环境的不断变化。

练习与应用

一、概念检测

1. 神经调节和体液调节对于机体稳态的维持具有重要作用。判断下列相关表述是否正确。

(1) 在寒冷的环境中，人体产热大于散热，使体温得以稳定。 ()

(2) 神经调节和体液调节是两个独立的调节系统。 ()

(3) 人体中的体液调节以激素调节为主。()

2. 人体在剧烈运动、大量出汗后，因口渴而大量饮水。关于此间发生的内环境变化及调节过程，下列推断正确的是 ()

A. 饮水后血浆渗透压下降、渗透压感受器抑制、抗利尿激素增加

B. 出汗时体温增高、冷觉感受器抑制、促甲状腺激素释放激素减少

C. 口渴时血浆渗透压增高、抗利尿激素含量增加、皮层渴觉中枢兴奋

D. 出汗后体温下降、热觉感受器兴奋、促甲状腺激素释放激素增加

二、拓展应用

1. 有人说“春捂秋冻”有益健康；也有人讲“知冷知热”不会生病。哪一种说法更有道理呢？

2. 人在恐惧、剧痛、失血等紧急情况下，肾上腺素的分泌增多，人表现出警觉性提高、反应灵敏、物质代谢加快、呼吸频率提高和心率加速等应激反应。请分析在这个例子中，神经调节和体液调节的联系，并解释这些应激反应的意义。

3. 洄游鱼类在从海水环境中移动到淡水中时（如俗称大麻哈鱼的鲑类产卵洄游）面临什么样的水盐平衡问题？请查找资料，看看它们是如何解决这一问题的。

本章小结

理解概念

● 体液调节是指激素等化学物质，通过体液传送的方式对生命活动进行的调节。体液调节主要指激素调节。

● 内分泌系统是由内分泌腺以及兼有内分泌功能的细胞共同构成的，内分泌腺主要包括垂体、甲状腺、肾上腺、胰岛和性腺等，它们分泌的各类激素参与生命活动的调节。

● 激素分泌的调节存在着反馈调节和下丘脑—垂体—靶腺轴的分级调节。

● 激素调节具有一些共同特征：激素通过体液进行运输；作用于靶器官、靶细胞；作为信使来传递信息；虽然微量，但在发挥作用时却很高效。

● 体液调节和神经调节紧密联系，密切配合，共同调节机体各种生命活动。

发展素养

通过本章的学习，应在以下几方面得到发展。

● 基于对激素作为信使分子来起作用的认识，从信息的角度阐释生命的本质。

● 能够分析“加法原理”和“减法原理”在生物学实验中的具体应用。

● 通过对促胰液素、胰岛素等激素的发现过程的学习，能够不迷信权威，敢于大胆探索生产、生活中相关的生物学问题。

● 能够运用反馈调节和分级调节的原理来探讨有关生命系统或其他系统的调节规律。

● 关注自己和亲友与体液调节相关的营养、健康等问题，能够运用相关知识指导自己健康生活。

复习与提高

一、选择题

1. 对于高热不退的病人，可以采用一些辅助措施来降低体温。下列措施不恰当的是 ()

- A. 适当撤减衣服
- B. 加盖棉被，增加排汗量
- C. 用酒精棉球擦拭四肢等部位
- D. 在额头上敷用冷水浸泡过的毛巾

2. 下图表示某雄性哺乳动物雄激素（睾酮）产生的调节过程，a~e表示有关生理活动过程。下列相关叙述，不正确的是 ()



- A. 睾酮由睾丸产生，与下丘脑和垂体无关
 - B. 图中各激素只作用于有相关受体的细胞
 - C. a、b、c过程体现了睾酮分泌的分级调节
 - D. d和e过程体现了激素分泌的负反馈调节
3. X和Y是两种激素。X刺激Y的分泌，Y能够抑制分泌X的细胞的分泌活性。如果Y的水平下降，那么接下来立即发生的是 ()

- A. X的分泌减少
- B. X的分泌增多
- C. Y的分泌停止
- D. X的分泌停止

4. 大面积烧伤的病人由于严重脱水，血钾含量升高，细胞外液渗透压升高，此时血液中 ()

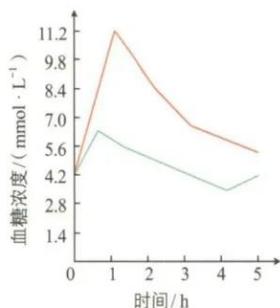
- A. 抗利尿激素浓度增加，醛固酮浓度降低
- B. 抗利尿激素浓度降低，醛固酮浓度增加
- C. 抗利尿激素浓度增加，醛固酮浓度增加
- D. 抗利尿激素浓度降低，醛固酮浓度降低

二、非选择题

1. 当你突然遇到一只大狗或一条蛇时，会感到毛骨悚然，甚至打寒颤、出冷汗。在上述过程中，自主神经系统中起主要作用的是_____，它使你的呼吸变得_____，心脏跳动_____，支气管_____。同时，你消化系统的各项功能将_____，肝细胞中_____转化为葡萄糖加剧。因为皮肤毛细血管_____，所以你吓得

脸色苍白；打寒颤使产热_____，同时汗腺分泌_____，为散热做准备。这一幕的细节储存在了_____里的某个区域，成为经验的一部分。

2. 下图中的曲线分别表示两个人饭后血糖变化的情况。请分析该图回答：哪一条曲线是糖尿病患者的？为什么？



3. 垂体和下丘脑发生病变都可引起甲状腺功能异常。现有甲、乙两人都表现为甲状腺激素水平低下，通过给两人注射适量的TRH，分别测定每个人注射前30 min和注射后30 min的TSH浓度来鉴别病变的部位是垂体还是下丘脑。测定结果如下表。

组别	TSH浓度 (mU/L)	
	注射前	注射后
健康人	9	30
甲	2	29
乙	1	2

(1) 由上述结果可以推测甲、乙发生病变的部位分别是哪里？为什么？

(2) 给小白鼠注射TSH，会使下丘脑的TRH分泌减少。基于对甲状腺激素分泌分级调节的认识，对此现象的解释有两种观点：观点1认为TSH直接对下丘脑进行反馈调节；观点2认为TSH通过促进甲状腺分泌甲状腺激素，甲状腺激素对下丘脑进行反馈调节。请你设计一实验，证明哪个观点是正确的。

第4章

免疫调节

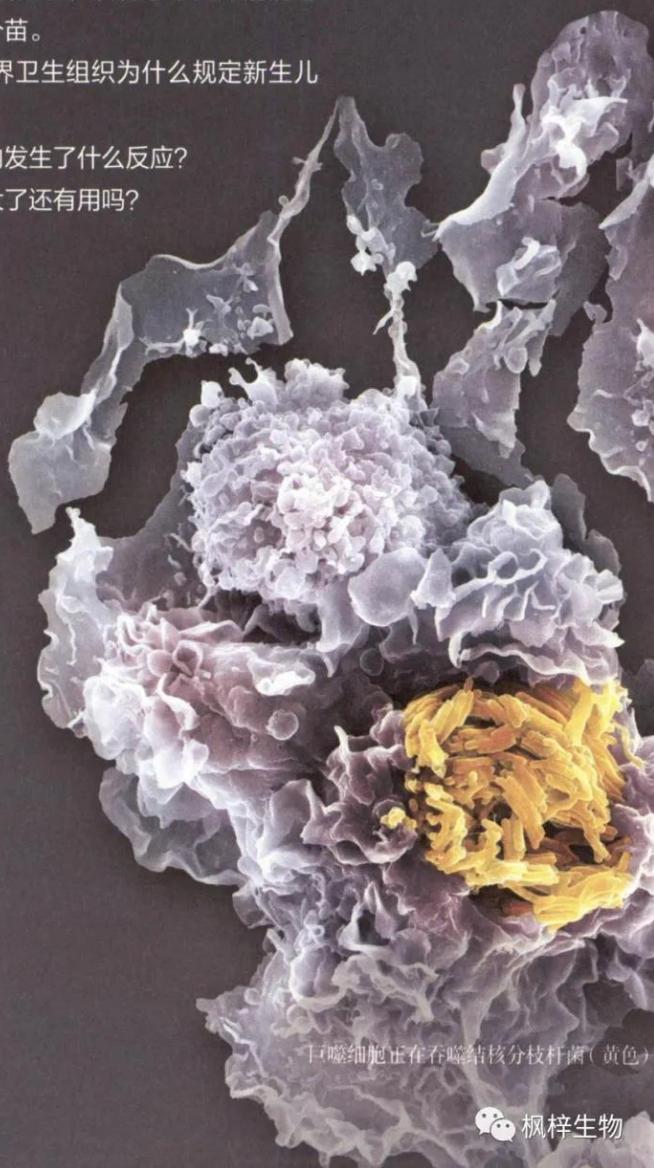
在你的上臂外侧，你很可能会发现一个微小的疤痕，这是接种预防肺结核的卡介苗所留下的印记，称为卡疤。我国规定，新生儿在满足条件的情况下，需在出生24 h后尽快注射卡介苗。世界卫生组织也明确建议，没有感染艾滋病病毒的新生儿或儿童需尽快接种卡介苗。

卡介苗是什么？我国及世界卫生组织为什么规定新生儿要接种卡介苗？

接种卡介苗之后，我们体内发生了什么反应？

小时候接种的卡介苗，长大了还有用吗？

它是人体内的护卫队，
日夜巡视，紧张有序。
病菌、病毒，癌变细胞，
都将被它视为“非己”。
细胞战士、分子武器，
让“非己”成分销声匿迹！



巨噬细胞正在吞噬结核分枝杆菌(黄色)

第1节

免疫系统的组成和功能

问题探讨

右图所示是我们在医院里常见的情景。

讨论

1. 医生为什么要检查患者的扁桃体？扁桃体肿大意味着什么？
2. 扁桃体肿大对机体的健康是有害还是有益呢？



本节聚焦

- 免疫系统包括哪些组成部分？
- 免疫系统的主要功能是什么？

当我们体内上呼吸道有炎症时，扁桃体会肿大，有时颌下、腋下、腹股沟等部位还会出现淋巴结肿大。你知道这是为什么吗？伤口感染后会化脓，脓液是什么呢？要弄清这些问题，需要先了解免疫系统的组成。

免疫系统的组成

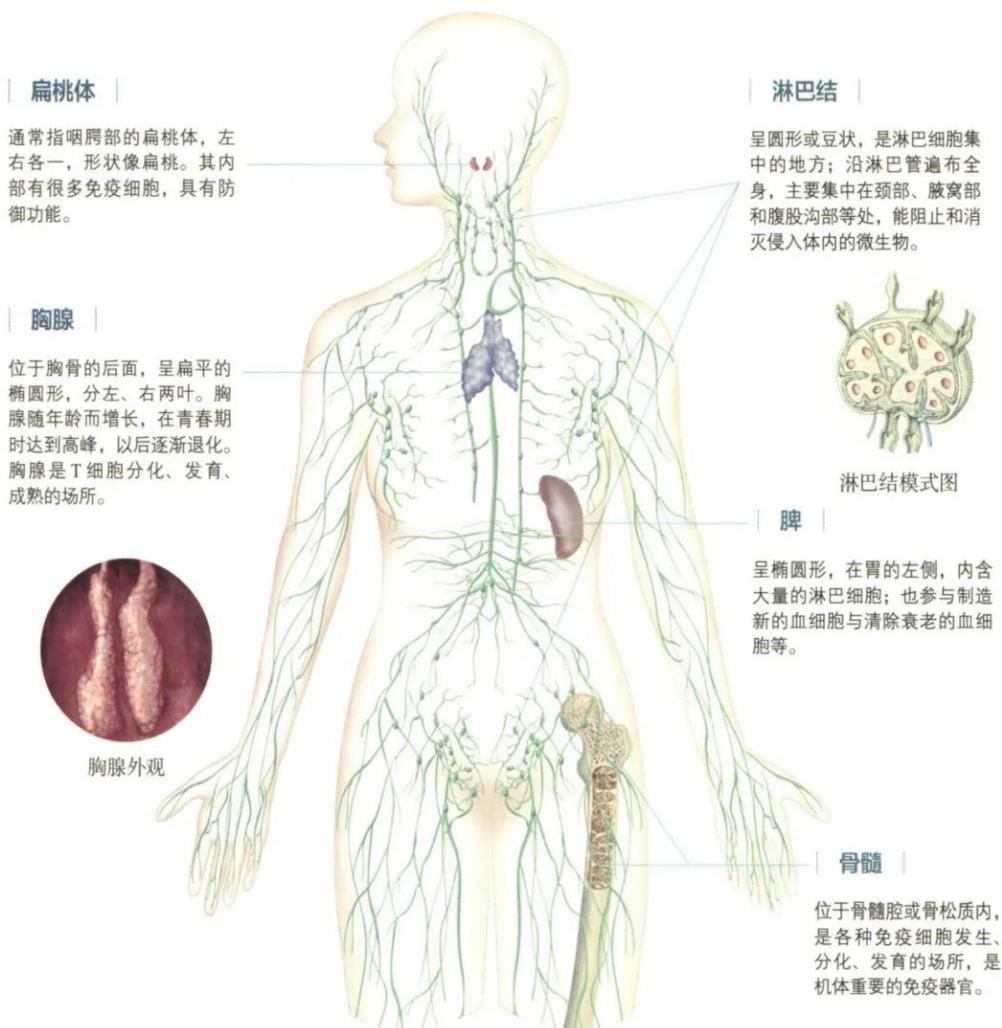
扁桃体是免疫系统的成员之一，淋巴结也是。免疫系统是人体的“安全保卫部”，它拥有一支强大的“部队”，主要包括免疫器官、免疫细胞和免疫活性物质（图4-1）。



▲ 图4-1 免疫系统的组成图解

免疫器官

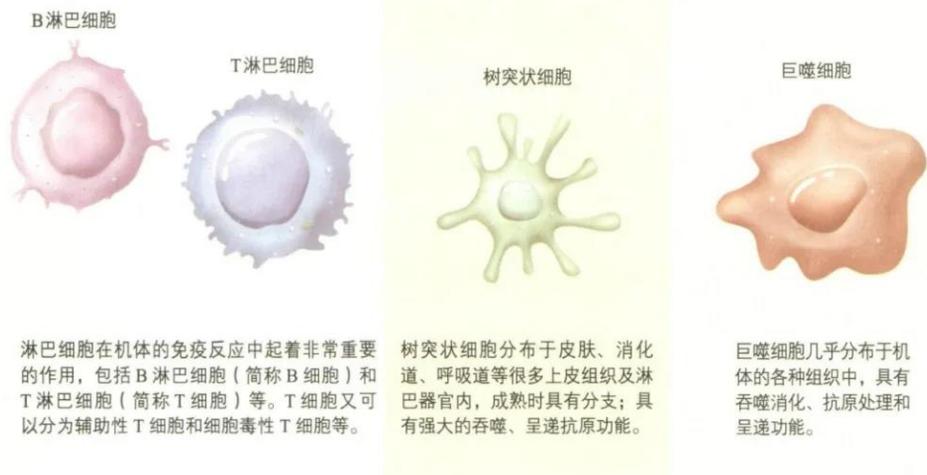
免疫器官主要由淋巴组织构成，并借助于血液循环和淋巴循环相互联系。免疫器官包括骨髓、胸腺、脾、淋巴结和扁桃体等（图4-2）。骨髓和胸腺是免疫细胞产生并发育成熟的地方，就像部队的大本营和训练基地；脾、淋巴结和扁桃体是免疫细胞集中分布的场所，也是它们“作战”的战场。



▲ 图4-2 人体内的免疫器官示意图

免疫细胞

免疫细胞是执行免疫功能的细胞，它们来自骨髓的造血干细胞，包括各种类型的白细胞，如淋巴细胞、树突状细胞和巨噬细胞等（图4-3）。



▲图4-3 几种免疫细胞示意图

相关信息

大多数抗原是蛋白质，它既可以游离，也可以存在于细菌、病毒等病原微生物以及细胞上，能刺激机体产生免疫反应。

病原体在进入机体后，其表面一些特定的蛋白质等物质，能够与免疫细胞表面的受体结合，从而引发免疫反应。这些能引发免疫反应的物质称为抗原（antigen）。B细胞、树突状细胞和巨噬细胞都能摄取和加工处理抗原，并且可以将抗原信息暴露在细胞表面，以便呈递给其他免疫细胞，因此，这些细胞统称为抗原呈递细胞（antigen presenting cell, APC）。

免疫活性物质

免疫活性物质是指由免疫细胞或其他细胞产生的、并发挥免疫作用的物质。机体产生的专门应对抗原的蛋白质，称为抗体（antibody，图4-4）。抗体能与相应抗原发生特异性结合，即一种抗体只能与一种抗原结合。抗体是一种免疫活性物质，能随血液循环和淋巴循环到达身体的各个部位。除了抗体，其他一些物质，如溶菌酶、淋巴细胞分泌的细胞因子等，也属于免疫活性物质。白细胞介素、干扰素、肿瘤坏死因子等是几类主要的细胞因子。



▲图4-4 抗体结构模式图

骨髓、胸腺、脾、淋巴结等免疫器官，淋巴细胞和树突状细胞、巨噬细胞等免疫细胞，以及体液中的各种抗体和细胞因子等免疫活性物质，共同组成了人体的免疫系统，这是免疫调节的结构和物质基础。

免疫系统的功能

人体有三道防线来抵御病原体的攻击。皮肤、黏膜是保卫人体的第一道防线；体液中的杀菌物质（如溶菌酶）和吞噬细胞（如巨噬细胞和树突状细胞）是保卫人体的第二道防线。这两道防线人人生来就有，是机体在长期进化过程中遗传下来的，不针对某一类特定的病原体，而是对多种病原体都有防御作用，因此叫作非特异性免疫。多数情况下，这两道防线可以防止病原体对机体的侵袭，这也是我们虽然时刻处在病原体的包围之中，但并不会经常感到不适的原因。

第三道防线是机体在个体发育过程中与病原体接触后获得的，主要针对特定的抗原起作用，因而具有特异性，叫作特异性免疫。这三道防线是统一的整体，它们共同实现免疫防御（immune defense）、免疫自稳（immune homeostasis）和免疫监视（immune surveillance）三大基本功能（图4-5）。

免疫防御是机体排除外来抗原性异物的一种免疫防护作用。这是免疫系统最基本的功能。该功能正常时，机体能抵抗病原体的入侵；异常时，免疫反应过强、过弱或缺失，可能会导致组织损伤或易被病原体感染等问题。

免疫自稳是指机体清除衰老或损伤的细胞，进行自身调节，维持内环境稳态的功能。正常情况下，免疫系统对自身的抗原物质不产生免疫反应；若该功能异常，则容易发生自身免疫病。

免疫监视是指机体识别和清除突变的细胞，防止肿瘤发生的功能。机体内的细胞因物理、化学或病毒等致癌因素的作用而发生癌变，这是体内最危险的“敌人”。机体免疫功能正常时，可识别这些突变的肿瘤细胞，然后调动一切免疫因素将其消除；若此功能低下或失调，机体会发生肿瘤或持续的病毒感染。

相关信息

新型冠状病毒肺炎康复者的血清中含有针对新型冠状病毒的抗体，提取这样的血清输给临床病人，其中的抗体可以与新型冠状病毒结合，使病毒失活，有助于病人康复。



▲ 图4-5 免疫系统的基本功能示意图

第2节 特异性免疫

问题探讨

天气突然降温，某同学不停地打喷嚏，初步判断是感冒。身边的好朋友都劝她赶快去医院，但她坚持不去，说：“反正我去不去医院、吃不吃药都得一周左右才能好。”

讨论

1. 这位同学说的有没有道理？为什么？
2. 你认为感冒时都要去医院就诊吗？说出你的理由。



周围环境中的病原体，大多数被健康的皮肤所阻挡；进入呼吸道的大多数病原体也被黏膜清扫出来。但是，总有一些漏网之鱼：这次，某种流感病毒进入体液。接下来，人体的防御部队会如何应战呢？

免疫系统对病原体的识别

流感病毒进入机体后，在体内时刻巡逻的、具有吞噬作用的细胞会主动吞噬它们。这种激烈的保卫战时刻都在进行着。

这些免疫细胞是如何识别己方和敌方的呢？

在人体所有细胞膜的表面，都有多种不同的蛋白质，其中包括作为分子标签来起作用的一组蛋白质。它们就像身份标志，能被自身的免疫细胞所识别。病毒、细菌等病原体也带有各自的身份标签，当它们侵入人体后，能被免疫细胞识别出来。免疫细胞是靠细胞表面的受体来辨认它们的。

当流感病毒突破了机体的前两道防线，第三道防线的“部队”就会紧急动员起来，产生特异性免疫。第三道防线的“作战部队”主要是众多的淋巴细胞。

这些细胞是如何来“作战”的呢？

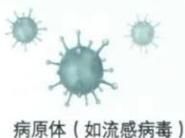
为研究方便，人为地将它们的“作战”方式分为体液免疫和细胞免疫两种。

本节聚焦

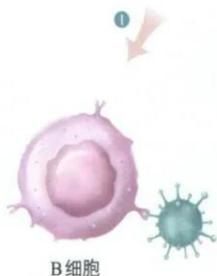
- 体液免疫和细胞免疫的过程分别是怎样的？
- 体液免疫与细胞免疫是如何协调配合来调节机体稳态的？
- 如何从系统的视角、信息的视角认识神经调节、体液调节、免疫调节的相互关系？

体液免疫

B细胞激活后可以产生抗体，由于抗体存在于体液中，所以这种主要靠抗体“作战”的方式称为体液免疫。体液免疫的基本过程如图4-6所示。



① 一些病原体可以和B细胞接触，这为激活B细胞提供了第一个信号。



B细胞

② 一些病原体被树突状细胞、B细胞等抗原呈递细胞摄取。



抗原呈递细胞

④ 辅助性T细胞表面的特定分子发生变化并与B细胞结合，这是激活B细胞的第二个信号；辅助性T细胞开始分裂、分化，并分泌细胞因子。



B细胞

辅助性T细胞

③ 抗原呈递细胞将抗原处理后呈递在细胞表面，然后传递给辅助性T细胞。



抗原呈递细胞

辅助性T细胞

⑤ B细胞受到两个信号的刺激后开始分裂、分化，大部分分化为浆细胞，小部分分化为记忆B细胞。细胞因子能促进B细胞的分裂、分化过程。



记忆B细胞

浆细胞

细胞因子

⑥ 浆细胞产生和分泌大量抗体，抗体可以随体液在全身循环并与这种病原体结合。抗体与病原体的结合可以抑制病原体的增殖或对人体细胞的黏附。



抗体

▲ 图4-6 体液免疫基本过程示意图

从图4-6可以看出，B细胞活化需要两个信号的刺激，此外，还需要细胞因子的作用。当B细胞活化后，就开始增殖、分化，大部分分化为浆细胞，小部分分化为记忆B细胞。随后浆细胞产生并分泌抗体。在多数情况下，抗体与病原体结合后会进一步的变化，如形成沉淀等，进而被其他免疫细胞吞噬消化。记忆细胞可以在抗原消失后存活几年甚至几十年，当再接触这种抗原时，能迅速增殖分化，分化后快速产生大量抗体。细菌等病原体侵入人体后，也会如病毒一样引起机体发生体液免疫反应。

病毒只有侵入细胞才能够增殖，而有一些致病细菌如结核分枝杆菌、麻风分枝杆菌等，也是寄生在宿主细胞内的。一旦病原体进入细胞，抗体对它们就无能为力了。

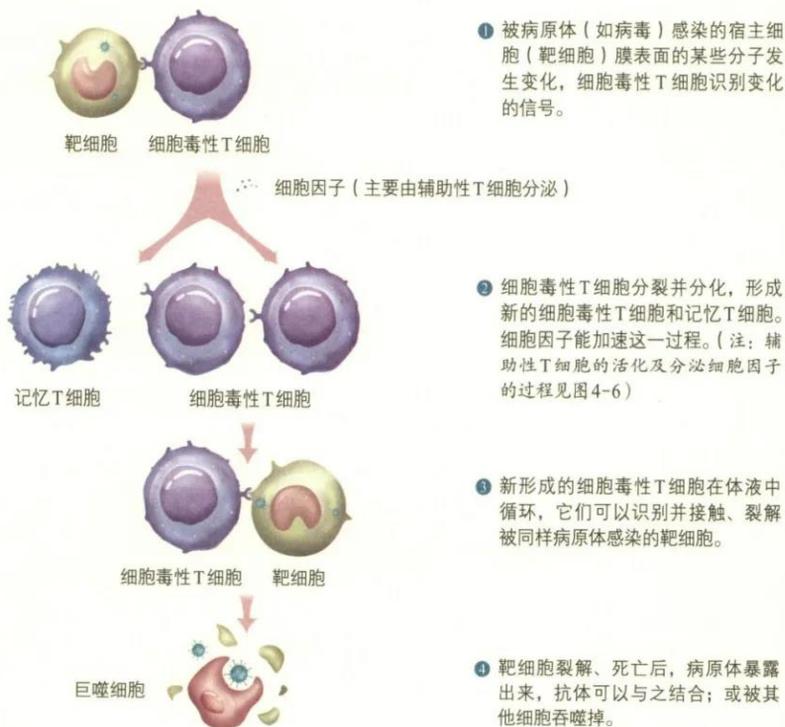
这时，免疫系统是如何对付它们的呢？

细胞免疫

当病原体进入细胞内部，就要靠T细胞直接接触靶细胞来“作战”，这种方式称为细胞免疫。细胞免疫的基本过程如图4-7所示。

相关信息

通常情况下，一个B细胞只针对一种特异的病原体，活化、增殖后只产生一种特异性的抗体。人体内B细胞的种数在 10^9 以上，至少可以产生 10^9 种独特的抗体，可以识别自然界存在的种类繁多的病原体。



▲ 图4-7 细胞免疫基本过程示意图

在细胞免疫过程中，靶细胞、辅助性T细胞等参与细胞毒性T细胞的活化过程。当细胞毒性T细胞活化以后，可以识别并裂解被同样病原体感染的靶细胞。靶细胞裂解后，病原体失去了寄生的基础，因而可被抗体结合或直接被其他免疫细胞吞噬、消灭；此后，活化的免疫细胞的功能受到抑制，机体将逐渐恢复到正常状态。在这个过程中形成的记忆细胞可以在体内存活几年甚至几十年，如果没有机会再次接触相同的抗原，它们就会逐渐死亡。如果再次遇到相同的抗原，它们会立即分化为细胞毒性T细胞，迅速、高效地产生免疫反应。

体液免疫和细胞免疫的协调配合

思考·讨论

体液免疫与细胞免疫的关系

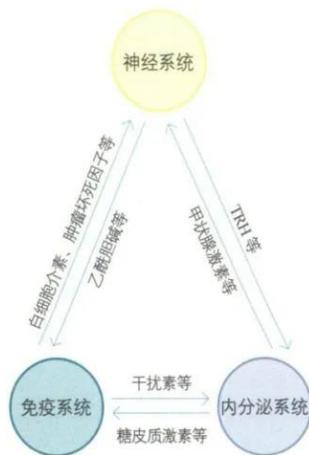
结合图4-6和图4-7，讨论以下问题。

1. 体液免疫和细胞免疫分别是如何体现针对某种病原体的特异性的？
2. 有人说，辅助性T细胞在免疫调节

过程中起着关键的调控作用。你认同这一观点吗？请说出你的理由。

3. 体液免疫和细胞免疫之间的联系体现在什么地方？

B细胞和细胞毒性T细胞的活化离不开辅助性T细胞的辅助，可见辅助性T细胞在体液免疫和细胞免疫中都起着关键的作用。体液免疫中产生的抗体，能消灭细胞外液中的病原体；而消灭侵入细胞内的病原体，要靠细胞免疫将靶细胞裂解，使病原体失去藏身之所，此时体液免疫就能发挥作用了。可见，体液免疫和细胞免疫巧妙配合、密切合作，共同完成对机体稳态的调节。



▲图4-8 神经系统、内分泌系统与免疫系统通过信息分子相互作用示例

越来越多的证据表明，神经系统、内分泌系统与免疫系统之间存在着相互调节，通过信息分子构成一个复杂网络（图4-8）。这三个系统各自以特有的方式在内环境稳态的维持中发挥作用，它们之间的任何一方都不能取代另外两方。神经调节、体液调节和免疫调节的实现都离不开信号分子（如神经递质、激素和细胞因子等），这些信号分子的作用方式，都是直接与受体接触。受体一般是蛋白质分子，不同受体的结构各异，因此信号分子与受体的结合具有特异性。通过这些信号分子，复杂的机体才能够实现统一协调，稳态才能够得以保持。

练习与应用

一、概念检测

1. 依据特异性免疫的基本过程，判断下列表述是否正确。

(1) T细胞只参与细胞免疫，B细胞只参与体液免疫。()

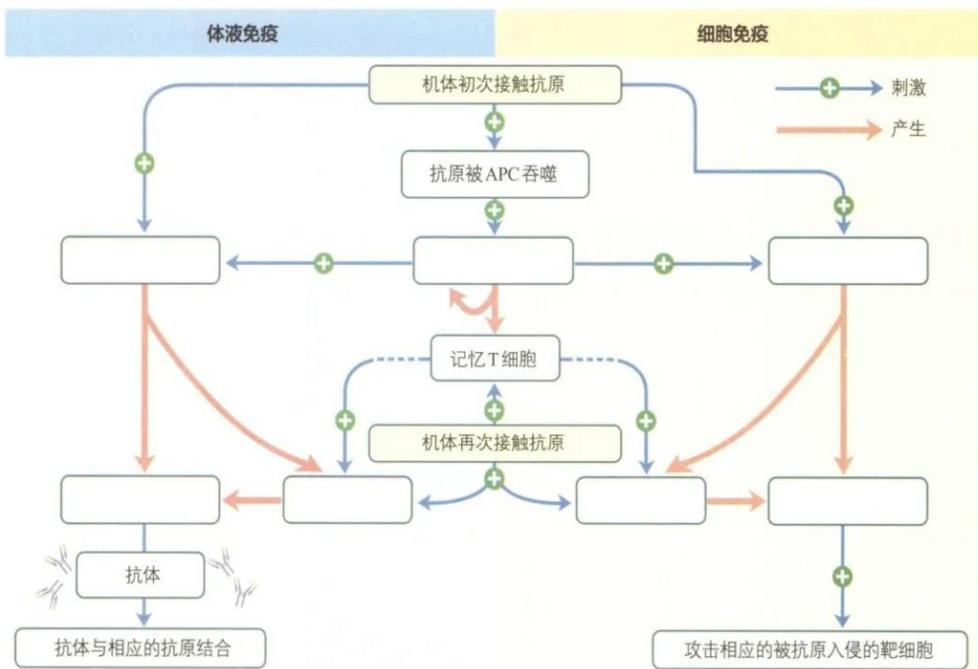
(2) B细胞只要接受了相应抗原的直接刺激就会分泌特异性抗体。()

(3) 刚得了感冒又痊愈的人不会再患流感。()

2. 关于浆细胞和细胞毒性T细胞在免疫反应中的作用，叙述正确的是 ()

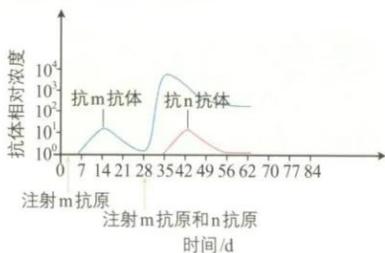
- A. 前者参与细胞免疫，后者参与体液免疫
- B. 前者直接杀死病原体，后者杀死靶细胞
- C. 前者分泌抗体，后者杀死受病原体感染的细胞
- D. 病原体首次进入机体时，前者发挥作用；再次进入机体时，后者发挥作用

3. 下图表示机体首次和再次接触抗原时，免疫系统的协调配合，请在方框中填写相应的细胞名称，使图解完整。



二、拓展应用

1. 在某种哺乳动物体内注射m抗原和n抗原后，机体内产生的抗体水平的变化情况如下图所示。请据图回答下列问题。



(1) 在第28天注射m抗原和n抗原之后，机体针对它们产生的抗m抗体和抗n抗体的浓度会有什么如此大的差异？

(2) 如果在第56天时再同时注射m抗原和n抗原，请你预测抗m抗体和抗n抗体的产生情况，并在曲线图上画出来。

2. 某媒体报道，“据专家推测，今年冬天北京不会有大规模流感暴发，因为没有发现流感病毒发生大的变异。”在报道的这个推理中，缺少了一些环节，请你根据本节所学内容，将推理过程补充完整。

流行性感冒及其预防

流行性感冒的病原体简称流感病毒，根据其内部蛋白质种类的不同，可分为甲、乙、丙三种类型。流感病毒的表面有血凝素（HA）和神经氨酸酶（NA）等蛋白。甲型流感病毒的HA分为H1~H18等亚型，NA分为N1~N11等亚型。HA和NA可以随机组合。例如，常见的人流感病毒有H1N1、H3N2等，常见的禽流感病毒有H7N9、H5N1等。流感病毒极易突变，表现为病毒表面的蛋白质分子（特别是HA、NA）改变。

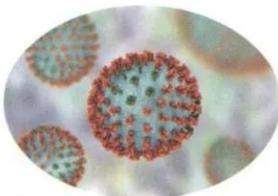
流感病毒的宿主有人、猪、禽类等。一般情况下，一种动物只会感染特定的流感病毒。但是，近些年来，出现了动物流感病毒传染给人类的情

况，如H5N1、H7N9等。

对于一些新出现的流感病毒（如H7N9），免疫系统对它没有任何记忆，一旦感染，机体对它剧烈的反应容易造成致病性损伤。而且人群普遍缺乏对它的免疫力，因而容易引起较大范围的流行。

接种疫苗是国际上普遍采用的预防流感的措施。但流感疫苗具有一定的局限性，如

不能应对新发的突变等。从个人角度讲，预防流感，首先要增强体质，其次要养成良好的生活习惯，例如，肉类、蛋类一定要加热到全熟后再吃，不要接触死因不明的禽类等。



H3N2病毒颗粒模式图
(橙色为HA, 绿色为NA)

癌症的免疫疗法

癌症已成为严重威胁人类健康的重大疾病，传统的手术切除、放射治疗和化学治疗不尽如人意。目前癌症治疗的研究热点是如何使人体依靠自身的免疫系统消灭癌细胞或抑制其进一步发展。

为了提升T细胞识别和杀伤肿瘤细胞的能力，科学家在体外改造病人自身的T细胞，使它识别特定癌细胞并被激活，再把大量增殖的此类细胞回输到病人体内。这种方法已用于临床治疗某些类型的淋巴瘤。

研究发现，活化的T细胞表面的PD-1（程序性死亡受体1）与正常细胞表面的PD-L1（程序性死亡配体1）一旦结合，T细胞即可“认清”对方，不触发免疫反应。肿

瘤细胞可通过过量表达PD-L1来逃避免疫系统的“追杀”。基于此，科学家使用PD-1或PD-L1抗体来阻断这一信号通路，从而使T细胞能有效对付癌细胞。截至2018年11月，PD-1抗体和（或）PD-L1抗体作为广谱抗癌药物已经获批用来治疗多种癌症。

除上述免疫疗法外，科学家还在研制癌症疫苗、使用其他抗体及其偶联药物等癌症治疗方面进行了富有成效的研究。当然，免疫疗法也有一定的局限性。例如，回输的T细胞也可能对正常细胞造成损害；过度阻断PD-1/PD-L1信号通路，可能会引起过强的免疫反应等。在与癌症作斗争的道路上，人类还有很多困难要克服，这需要研究者继续努力。

第3节 免疫失调

问题探讨

生活中，我们有时看到这样一些现象，有的人吃了鱼、虾等食物后，会发生腹痛、腹泻、呕吐，或是皮肤奇痒难熬；有的人吸入花粉后，会发生鼻炎或哮喘。这些都是过敏反应的表现。据统计，全世界20%~40%的人被过敏问题所困扰。

讨论

1. 你还知道哪些过敏现象？
2. 上述过敏反应与免疫反应有什么关系？



花粉过敏

我们在日常生活中，不可避免地要接触甚至摄入许多“非己”物质，如上面提到的鱼、虾、花粉等。

对人体无害的“非己”物质，是不是也可能引起免疫反应呢？

过敏反应

已免疫的机体，在再次接触相同的抗原时，有时会发生引发组织损伤或功能紊乱的免疫反应，这样的免疫反应称为过敏反应，比如上面提到的吃鱼、虾引起的过敏。

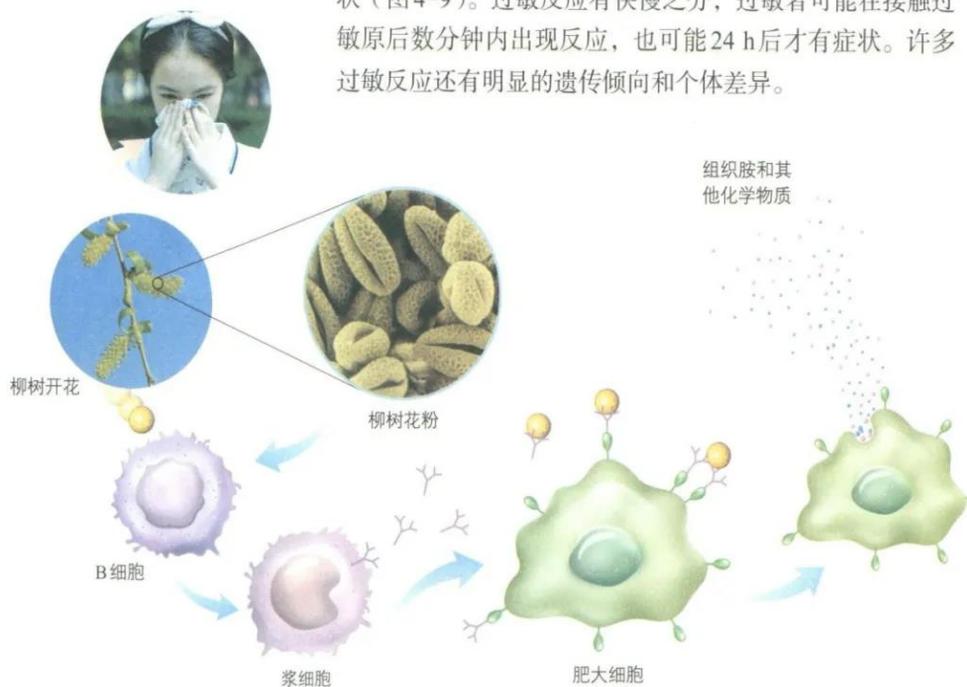
过敏原与过敏反应的关系是怎样的呢？

引起过敏反应的抗原物质叫作过敏原，鱼、虾、牛奶、蛋类、花粉、花生、室内尘土、磺胺、奎宁、宠物的皮屑、棉絮等都是（或含有）过敏原。有些人在接触过敏原时，在过敏原的刺激下，B细胞会活化产生抗体。这些抗体吸附在皮肤、呼吸道或消化道黏膜以及血液中某些细胞（如肥大细胞）的表面。当相同的过敏原再次进入机体时，就会与吸附在细胞表面的相应抗体结合，使这些细胞释放出组织胺等物质，引起毛细血管扩张、血管壁通透性增强、平滑肌收缩和腺体分泌增多，最终导致过敏者出现皮肤红肿、发疹、流涕、打喷嚏、哮喘、呼吸困难等症

本节聚焦

- 什么是过敏原？过敏反应是怎样发生的？
- 什么是自身免疫病？自身免疫病是什么原因造成的？
- HIV感染人体的机理是什么？怎样预防艾滋病的传播？

状（图4-9）。过敏反应有快慢之分，过敏者可能在接触过敏原后数分钟内出现反应，也可能24 h后才有症状。许多过敏反应还有明显的遗传倾向和个体差异。



▲图4-9 过敏反应发生机理示意图

由于过敏反应是机体接触过敏原才发生的，因此找出过敏原并且尽量避免再次接触该过敏原，是预防过敏反应发生的主要措施。如果自己不能找出过敏原，可由医生通过医学方法来检测。出现过敏症状的人，应当及时去医院诊断治疗。

人体的免疫系统对外来的“非己”物质会产生免疫反应，对自身的物质会不会也有“敌我不分”的情形呢？

自身免疫病

人体的免疫系统具有分辨“自己”和“非己”成分的能力，一般不会对自身成分发生免疫反应。但是，在某些特殊情况下，免疫系统也会对自身成分发生反应。如果自身免疫反应对组织和器官造成损伤并出现了症状，就称为自身免疫病。例如，某种链球菌的表面有一种抗原分子，与心脏瓣膜上一种物质的结构十分相似，当人体感染这种病菌后，免疫系统不仅向病菌发起进攻，而且也向心脏瓣膜发起进攻。结果，在消灭病菌的同时，心脏也受到损伤。这就是风湿性心脏病。常见的自身免疫病还有类风湿关节炎（图4-10）、系统性红斑狼疮等。



▲图4-10 类风湿关节炎患者（示手部关节，左：正常，右：畸形）

系统性红斑狼疮是一种累及多个器官的疾病，病程可有缓解和发作交替进行，其主要症状有发热、关节痛、红斑、大量脱发、白细胞减少等。本病大多见于年轻女性，我国的发病率约为0.75‰。系统性红斑狼疮的病因至今尚未完全研究清楚，与遗传、免疫失调、内分泌异常以及环境等多因素有关，病因不明给该病的治疗带来了困难。但是，临床观察表明，早发现、早治疗对于缓解病情是非常重要的。

相关信息

自身免疫病的发病率较高，其中许多类型都缺乏有效的根治手段。对病情严重的自身免疫病患者进行自体造血干细胞移植是一种目前很有前景的治疗方法。

人体的免疫功能是否会出现低下甚至丧失的情形呢？

免疫缺陷病

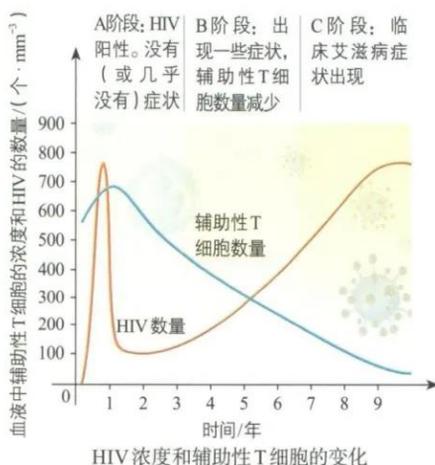
免疫缺陷病是指由机体免疫功能不足或缺乏而引起的疾病。该病分为两类，一类是由于遗传而生来就有免疫缺陷的，叫作先天性免疫缺陷病，如重症联合免疫缺陷病。该病是由与淋巴细胞发育有关的基因突变或缺陷引起的，患者多为新生儿和婴幼儿，他们存在严重的体液免疫和细胞免疫缺陷，任何一种病原体感染，对他们都是致命的。另一类是由疾病和其他因素引起的，叫作获得性免疫缺陷病，如艾滋病。大多数免疫缺陷病都属于获得性免疫缺陷病。

思考·讨论

HIV的感染与艾滋病的治疗

资料1 人类免疫缺陷病毒（human immunodeficiency virus，简称HIV）能够攻击人体的免疫系统，主要侵染辅助性T细胞。HIV侵入人体后通常可以潜伏2~10年甚至更长时间。期间，HIV会经历迅速增殖，刺激机体产生免疫反应，免疫系统分泌抗HIV的抗体，这也是目前HIV检测的重要依据。直到艾滋病病发时，机体仍会继续分泌该抗体。但是，随着病毒的复制，T细胞的数量持续下降，免疫系统的功能减退，感染者出现淋巴结肿大、发热、体重下降等临床症状（见右图）。最终患者死于由免疫功

能丧失引起的严重感染或恶性肿瘤等疾病。



资料2 艾滋病的治疗问题是人类面临的巨大挑战。目前科学家仍然没有找到根治HIV感染的有效方法，大多数的治疗方法是控制和降低感染者体内HIV的数量，如用多种抗病毒药物组合进行治疗。

资料3 目前，我国对所有的HIV感染者或艾滋病患者实行“发现就治疗，而且免费”，并遵循自愿的原则。

讨论

1. HIV攻击的主要是辅助性T细胞，为什么最终患者会死于严重感染或恶性肿瘤？
2. “发现就治疗，而且免费”的目的是什么？这样做有什么意义？
3. 由于治疗艾滋病非常困难，人群对HIV普遍易感，所以预防就显得格外重要。请谈谈应该如何预防艾滋病。

艾滋病的传播途径主要有性接触传播、血液传播和母婴传播。下面这些做法可以预防艾滋病的传播：(1) 采取安全的性行为，如使用避孕套；(2) 避免注射吸毒；(3) 接受检测并积极治疗HIV等性传播感染；(4) 不与他人共用牙刷和剃须刀；(5) 不用未经消毒的器械文眉、穿耳等。与HIV感染者的一般接触，如握手、拥抱等，不会使人感染HIV；在日常生活中，对待艾滋病病人应该少一份歧视，多一份关爱。

练习与应用

一、概念检测

1. 一些人对猫过敏。目前研究发现，在猫体内存在的过敏原约有10种，其中最主要的是猫唾液中的蛋白质Fel d1(简称F蛋白)。请判断下列推理是否合理。

(1) 对F蛋白有过敏史的人若接触猫，可能会产生强烈的免疫反应。()

(2) 猫的舔毛行为会增加人接触过敏原F蛋白的概率。()

(3) 若有家庭成员对猫过敏，则应尽量避免在家中养猫。()

2. 自身免疫性肝炎是由免疫系统攻击肝细胞引起的。下列与该病相关的描述，正确的是()

- A. 肝细胞表面的某种结构相当于抗原
- B. 细胞因子和抗体没有参与攻击肝细胞
- C. 在该疾病中所发生的肝损伤是由过敏反应引起的

D. 在该免疫反应的发生过程中，只有体液免疫发挥作用

二、拓展应用

2020年春，我国采取一系列有效措施抗击由新型冠状病毒引起的疫情。在医护人员的帮助下，绝大多数新型冠状病毒肺炎患者得以康复。请结合所学知识，并查阅相关资料，回答以下问题。

(1) 人体感染新型冠状病毒后，自身的免疫系统是怎样同这种病毒作战的？其中T细胞和B细胞分别起什么作用？

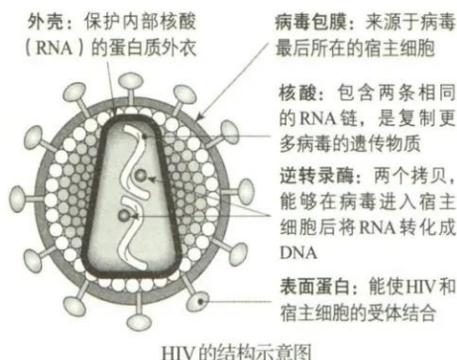
(2) 为什么有的患者体内会出现“细胞因子风暴”？

(3) 为了让类似的疫情不再重演，我们应该如何参与公共卫生治理？如何改进个人卫生和其他生活习惯？

HIV与艾滋病

艾滋病（AIDS）是由人类免疫缺陷病毒（HIV）引起的。HIV主要侵入并破坏人体的辅助性T细胞，逐渐使免疫系统瘫痪、功能瓦解，最终使人无法抵抗其他病毒、病菌的入侵，或发生恶性肿瘤而死亡。

HIV是逆转录病毒（其结构见下图），由两类猿猴的病毒重组产生：当人们为了获取“丛林肉”而猎杀这些灵长类动物时，可能由于开放性伤口与含病毒的动物尸体接触，导致病毒传播至人类。这样的跨物种传播经常发生。



研究表明，在某些国家，艾滋病已成为导致15~49岁的人死亡的首要原因。2016年，全球约有3670万HIV感染者，有100万人死于HIV相关病症，当年有180万新感染

者。虽然目前针对HIV尚缺乏有效的疫苗，但如果HIV停止繁殖，就能够延长人体免疫细胞的寿命并保护人体不受感染。抗逆转录病毒联合疗法可阻止HIV在人体内的繁殖。

各国于2015年签署了可持续发展目标：到2030年实现全民健康覆盖，终结艾滋病。要实现这一目标，需要扩大治疗，特别是对儿童和青少年HIV感染者——到2016年年底，他们中只有43%的人接受抗逆转录病毒药物治疗；还需要加快HIV检测和药物（包括疫苗）研制的步伐。2018年7月，据《柳叶刀》杂志报道，一种疫苗在对猴子的测试中表现出极佳的效果。这给人们带来了新的希望。

2017年，为落实《“健康中国2030”规划纲要》精神，我国制定了《中国遏制与防治艾滋病“十三五”行动计划》，目标是：最大程度发现感染者和病人，有效控制性传播，持续减少注射吸毒传播、输血传播和母婴传播，进一步降低病死率，逐步提高感染者和病人生活质量，不断减少社会歧视，将我国艾滋病疫情继续控制在低流行水平。

愿全世界无HIV新发感染、无HIV相关死亡，HIV感染者不受歧视、能够健康长寿。每一个人都重要！



第4节 免疫学的应用

问题探讨

某同学在流感开始大规模流行前接种了流感疫苗，可是没过一两个月，她患流感了；而她听说接种过一次麻疹疫苗，终生就不会得麻疹了。她对此很困惑：这到底是什么原因呢？

讨论

为什么注射的流感疫苗没起到预防作用呢？



本节聚焦

- 疫苗的作用是什么？为什么它能够发挥这样的作用？
- 器官移植面临哪些问题？该如何解决这些问题？

在人类的历史上，传染病夺去了无数人的生命，而免疫学正是在人类与传染病斗争的过程中发展起来的。现在，随着人类对免疫系统认识的深入，免疫学得到了越来越广泛的应用。疫苗的发明和应用，就是典型的例证。

疫苗

我国是世界上最早用免疫的方法预防传染病的国家，而法国科学家巴斯德有关疫苗的研制，开创了科学地进行免疫接种的新时期。之后，许多研究者针对不同感染性疾病的特异性病原体进行研究，研制出许多疫苗。

疫苗 (vaccine) 通常是用灭活的或减毒的病原体制成的生物制品。接种疫苗后，人体内可产生相应的抗体，从而对特定传染病具有抵抗力。疫苗是现代医学最伟大的成就之一，挽救了无数人的生命。例如，在历史上，天花曾经导致许多人死亡。天花疫苗的发明和使用，则根除了这种传染病。目前，人类已经研制出卡介苗、脊髓灰质炎疫苗和麻疹疫苗等多种疫苗 (图4-11)。2006年，人乳头瘤病毒 (HPV) 疫苗获得美国的批准。该疫苗可以预防由HPV引起的几种子宫宫颈癌，是世界上第一个预防癌症的疫苗，在人类研发癌症疫苗的道路上具有里程碑式的意义。2018年5月，我国首个人和动物的DNA疫苗获得新药证书，用于预防某个亚型的禽流感。这是新型的基因工程疫苗，未来将有广阔的前景。



▲图4-11 多种疫苗产品

 思考·讨论

接种疫苗时遇到的问题

结合自己的疫苗接种经历，讨论以下问题。

1. 以某种你熟悉的疫苗为例，和同学们交流它的作用。

2. 某同学接种了流感疫苗，大夫提醒他说：“这一两天要留意，可能会有轻微发

热或其他症状。”为什么接种疫苗可能会有轻微的反应？

3. 有人认为，接种多种疫苗很麻烦，应该设计一种用来预防多种疾病的疫苗。这种想法可行吗？请谈谈你的理由。

当给机体输入外源抗原时，免疫系统能够产生反应，而且这种反应具有特异性。除此之外，免疫系统还具有记忆性，免疫力能维持较长的时间。疫苗的应用是人们根据免疫反应的规律来设计的，这样可以促进对机体有利的免疫反应，从而维护人体健康。到目前为止，疫苗仍是人类发明的对抗传染病的一件有效的武器，而且对某些疾病来讲，注射疫苗可能是唯一有效的预防措施。随着免疫学、生物化学的发展以及生物技术的不断改进，疫苗的研制和应用已扩展到许多非传染病领域，而且已经出现了治疗性制剂。

器官移植

医学上把用正常的器官置换丧失功能的器官，以重建其生理功能的技术叫作器官移植（organ transplantation）。随着器官保存技术和外科手术方法等的不断改进，以及高效免疫抑制剂的陆续问世，器官移植已经成为治疗多种重要疾病的有效手段。但是，器官移植依旧面临很多问题，这些问题的解决，也涉及免疫学的应用。



疫苗必须包含一个完整的病原体吗？为什么？

批判性思维

患免疫缺陷病的儿童，能否接种疫苗，尤其是减毒活疫苗？为什么？

 思考·讨论

器官移植所面临的问题及希望

资料1 人类很早就尝试做器官移植以挽救一些病人。1901年，法国医生卡雷尔在给一位朋友的信中写道：“肾移植这种手术，在同种异体之间从来还没有成功过。”1952年，法国另一位医生为一位16岁的患者移植了患者母亲的一个肾，然而这个凝结着伟

大母爱的肾只存活了22天。

资料2 据媒体报道，瑞金市3岁男孩张某身患白血病。幸运的是，张某的骨髓与父亲的骨髓配型成功了。而身在千里之外的白血病患者李某却没有那么幸运，与其亲属的骨髓配型均没有成功。

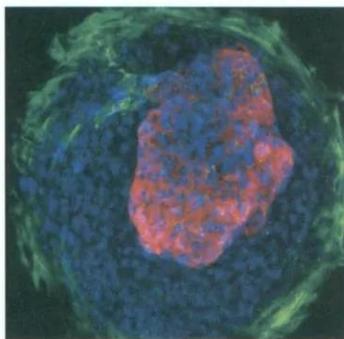
资料3 据世界卫生组织于2013年的调研结果显示，全球一年实施了12万例器官移植手术，而这只能满足不到10%移植需求者的需求。另有数据表明，2015年，我国实施器官移植手术突破1万例（其中肝移植2 000多例、肾移植5 000多例），位居世界第2位，但2015年肝移植需求者新增4 000多人，肾移植需求者新增了1万多人。

资料4 据媒体报道，2015年，研究人员利用干细胞培养出具有单个腔室结构的迷你跳动心脏（相当于成人心脏尺寸的千分之一）；2017年，研究人员又利用干细胞成功培养出了人类胚胎期的结肠组织，培养成熟

讨论

1. 最初进行的器官移植，为什么总是不成功呢？
2. 在进行器官移植或骨髓移植时，为什么都要先进行配型，即检查供体和受体之间的组织相容性呢？

后，它与人体的肠组织具有很高的相似性。你还可以搜集到更多的科学家利用干细胞培养组织、器官的研究进展的报道。



科研人员培育出的人工心脏（红色为心肌细胞，绿色环是一类结缔组织）

3. 利用由自体干细胞培养出的组织、器官进行移植，有何优点？
4. 在进行器官移植时，运用免疫抑制剂可以提高成活率。但这些药物会使淋巴细胞减少，因而患者容易患感染性疾病。这一问题该如何解决？

进行器官移植手术后，免疫系统会把来自其他人的器官当作“非己”成分进行攻击，这就是器官移植容易失败的原因。每个人的细胞表面都带有一组与别人不同的蛋白质——组织相容性抗原，也叫人类白细胞抗原，简称HLA。它们是标明细胞身份的标签物质，每个人的白细胞都认识这些物质，因此正常情况下不会攻击自身的细胞。如果将别人的器官或组织移植过来，白细胞就能识别出HLA不同而发起攻击。因此，器官移植的成败，主要取决于供者与受者的HLA是否一致或相近。事实上，除了同卵双胞胎，要想在世界上找到两个HLA完全一致的人几乎是不可能的。研究表明，只要供者与受者的主要HLA有一半以上相同，就可以进行器官移植。免疫抑制剂的应用，大大提高了器官移植的成活率，给需要进行器官移植的患者带来了希望。然而，除了存在免疫排斥的问题，供体器官短缺也是世界各国在器官移植方面普遍存在的问题。人们

寄希望于利用干细胞培养相应的组织、器官，同时，也寄希望于唤醒潜藏于人们心灵深处的爱心，有更多的人加入到自愿捐献器官的行列中来。

2013年，中国人体器官分配与共享计算机系统正式启用。根据《人体捐献器官获取与分配管理规定（试行）》，捐献器官必须通过器官分配系统进行分配。该系统以技术手段最大程度地排除人为干预，以患者病情紧急度和供受者匹配程度等国际公认的客观医学指标对患者进行排序，由计算机自动分配器官。

免疫学在临床实践上的应用，除了免疫预防，还包括免疫诊断和免疫治疗。由于抗原和抗体反应的高度特异性，免疫学技术和制剂在临床诊断中得到了广泛的应用，如检测病原体和肿瘤标志物等。免疫治疗已成为与传统的手术、化学疗法、放射疗法并列的重要治疗方法，对于免疫功能低下者使用免疫增强疗法，对于有些疾病则使用免疫抑制疗法。例如，治疗类风湿关节炎、系统性红斑狼疮等常使用免疫抑制剂。



中国人体器官分配与共享计算机系统首页

练习与应用

一、概念检测

被称为“糖丸爷爷”的顾方舟“一生只做一件事”，即研制“糖丸”——脊髓灰质炎活疫苗，为我国消灭脊髓灰质炎（俗称小儿麻痹症）作出了重要贡献。判断下列相关表述是否正确。

- (1) 该“糖丸”是用灭活的病毒制成的。()
- (2) 该疫苗可以识别组织相容性抗原。()
- (3) 当接种该疫苗后，机体会产生一定的免疫反应。()

二、拓展应用

1. 巴斯德将感染了狂犬病的兔的神经组织制成匀浆，每天取样给家兔注射。开始几天被注射的家兔都会发病，但随着匀浆放置时间的延长，家兔发病的反应越来越弱；放置10~14天的匀浆失去使家兔患病的作用。这时，如果再给这些没有发病的、被注射了“过期病兔神经组织匀浆”的家兔注射新鲜病兔的神经组织匀浆，家兔也不会发病了。1885年，巴斯德将匀浆注射给一个9

岁的被疯狗咬伤的小男孩，连续注射十几天后，小男孩活了下来。这位小男孩就是世界上第一位狂犬病疫苗的注射者。后来，巴斯德制成了狂犬病疫苗，即过期病兔的神经组织匀浆。

(1) 据上述资料推测，巴斯德所制作的狂犬病疫苗的本质是什么？

(2) 为什么要对小男孩连续注射十几天呢？

(3) 现在用的狂犬病疫苗与巴斯德制作的疫苗有区别吗？是怎么制作出来的？有兴趣的同学，请查阅资料并与同学分享。

2. 有人提议，应该开发一个“器官保险”项目：参与者将承诺在自己死后捐献器官，作为回报，他们在需要移植时，可以优先得到器官。为了避免太多“高风险”的人们申请这种保险，需要进行医学评估，只有器官需求风险正常的人才能买这种保险。你认为，这种策略与当前的自愿捐献器官策略比，哪个更好？理由是什么？你能想到其他更有效地提高器官捐献数量的策略吗？

 与生物学有关的职业

疫苗制品工

从小到大，你打了多少次疫苗？估计你已经不记得了。你一出生，医生就给你接种了卡介苗和乙肝疫苗。满月以后，父母会到户口所在地（或居住地）指定的社区医院保健科为你办理接种登记，领取预防接种证，以后会按日期带你去接种疫苗。



两种疫苗产品

你想过没有，这些疫苗都是谁制造出来的？现在，给大家介绍一个非常重要的职业——疫苗制品工。

根据《中华人民共和国职业分类大典》，疫苗制品工是从事细菌性疫苗、病毒性疫苗、类毒素等生产的人员。他们从事的工作主要包括以下几个方面。

(1) 使用专用容器、设备制备各类特殊的原始辅料（包括用离子交换或蒸馏方法制备生产用水），配制化学药品，制备疫苗培养基等——这里涉及的技术你在生物课、化学课上学过一些，在以后的学习中还将进一步了解。

(2) 对培养基、压缩空气或其他材料、设备、器皿等进行消毒、灭菌，并去除杂质——你在学习微生物及发酵这部分内容时，将接触一些最基本的消毒、灭菌方法。

(3) 使用发酵罐、生物反应器、摇床等，对微生物或其他细胞进行原代或传代培养，制备生产菌、收集病毒液，灭活或杀菌，收集培养液——当你学习细胞工程时，会学习一些细胞培养的知识。

工作人员在制备流感疫苗

(4) 使用离心、过滤、纯化等设备对培养液进行分离，并提取有效成分——你已经接触到一些过滤、纯化的技术了吧。

(5) 配制稀释液、保护剂、吸附剂等，还要对制品进行除菌过滤或冷冻干燥、使用标记物标记，最后分装、包装——这些技术比较专业，需要进一步学习。

瞧瞧，制作疫苗可不是一件简单的工作，

必须要经过专业学习和培训才能上岗！就拿制备流感疫苗来说，还得掌握相关的鸡胚孵化知识，因为在1937年，



用鸡胚培养流感病毒获得成功，到目前为止，鸡胚仍然是流感疫苗等多种疫苗制备的主要“工厂”。

疫苗制品关系千百万人的健康，每一个制备环节都需要认真、谨慎，更需要具备强烈的社会责任感。



本章小结

理解概念

● 免疫系统能够抵御病原体的侵袭，识别并清除体内衰老、死亡或异常的细胞，具有免疫防御、免疫自稳和免疫监视等三大功能。免疫器官、免疫细胞和免疫活性物质等是免疫调节的结构与物质基础。

● 人体的免疫包括非特异性免疫和特异性免疫。特异性免疫是通过体液免疫和细胞免疫两种方式，针对特定的病原体发生的免疫反应，它的分子基础是抗体与抗原、免疫细胞表面的受体与抗原的特异性结合。

● 体液免疫主要靠体液中的抗体来作战，细胞免疫主要靠T细胞直接杀伤靶细胞。体液免疫和细胞免疫相互配合，共同完成对机体稳态的调节。

● 当免疫机能受损或异常，机体正常的功能会发生紊乱，如过敏反应、自身免疫病、免疫缺陷病等。

● 免疫调节在维持机体稳态的过程中具有重要的作用，并与神经调节和体液调节构成完整的调节网络。

● 疫苗的发明和应用，是免疫学在生产生活中应用的例证；器官移植所面临问题的解决，也涉及免疫学的应用。

发展素养

通过本章的学习，应在以下几方面得到发展。

● 基于对免疫系统各组成成分之间相互作用、相互配合，共同完成免疫功能的认识，从系统与相互作用及信息的视角阐释生命本质。

● 能够向家人及他人宣传预防流感等传染病的知识，并结合自身情况选择接种流感疫苗及其他疫苗。

● 能够向他人宣传预防艾滋病的知识，不歧视艾滋病病人。

● 认识到仅靠目前的医疗技术和科技发展水平，并不能解决供体器官的短缺问题，认同器官捐献。

复习与提高

一、选择题

1. B细胞、辅助性T细胞和细胞毒性T细胞的共同点不包括 ()

- A. 它们都具有特异性
- B. 受刺激后，都可以经历活化、增殖过程
- C. 它们都来自骨髓的造血干细胞，并在骨髓里成熟
- D. 它们的细胞表面都含有受体，可以识别相应的抗原

2. 在制备抗蛇毒毒素血清时，需将减毒的蛇毒注入家兔体内以引起免疫反应，这一免疫反应和所用的蛇毒分别是 ()

- A. 特异性免疫，抗体
- B. 特异性免疫，抗原
- C. 非特异性免疫，抗体
- D. 非特异性免疫，抗原

3. 环孢素A是霉菌的一种代谢产物，它能选择性地抑制辅助性T细胞的增殖。那么，环孢素A可用于 ()

- A. 预防和治疗艾滋病
- B. 降低恶性肿瘤的发病率
- C. 降低移植器官被排斥的概率
- D. 清除宿主细胞内的结核分枝杆菌

二、非选择题

1. 1700年，英国皇家学会会员、著名医生马丁·李斯特收到一封英国商人从中国寄去的信，信中描述了商人在中国看到的人痘接种过程：“打开天花患者的小脓包，用棉花吸沾一点脓液，并使之干燥……然后放入可能患天花人的鼻子里。”被接种者会轻度感染天花，然后痊愈。

为什么被接种者会轻度感染天花并痊愈？在这个过程中，免疫系统发生了哪些变化？

2. 人类基因D编码红细胞表面的RhD蛋白，其等位基因d不编码蛋白质。基因型为DD或Dd的被称为Rh阳性（Rh⁺），基因型为dd被称为Rh阴性（Rh⁻）。人的血清中不存在抗RhD的天然抗体，只有当Rh⁻的人接受Rh⁺人的血液后，才会通过免疫反应产生该抗体。RhD抗体可以透过胎盘。

当Rh⁻的母亲怀有Rh⁺的胎儿时，胎儿的少量红细胞或RhD蛋白可以在妊娠末期或分娩时进入母体，使母体产生抗体。如果此抗体进入胎儿的循环系统，会使胎儿的红细胞发生溶血，造成新生儿溶血，严重时可导致死亡。

(1) 填写下表，预测结果：母亲和胎儿的RhD是否相容？

母亲		胎儿		结果
基因型	Rh表型	基因型	Rh表型	
Dd		Dd		
dd		Dd		

(2) 当母亲和胎儿的RhD不相容时，一般情况下，第一胎生产不会发生临床的症状。但当母亲第二次生育时，就可能发生新生儿溶血。请解释这是为什么。

(3) 一位Rh⁻的母亲第一胎生了个Rh⁺的孩子，她还想生二胎。请你为她提出一个预防二胎新生儿溶血的方案并解释原因。

3. 人乳头瘤病毒（HPV）可导致宫颈癌。请回答下列有关HPV疫苗与预防子宫颈癌的相关问题。

(1) 当个体接种HPV疫苗后，该疫苗作为_____可诱导B淋巴细胞增殖、分化成_____和记忆细胞，记忆细胞在机体被HPV感染时能够迅速作出反应，因而能够起到降低患宫颈癌风险的作用。

(2) 研究表明，受HPV侵染的细胞表面的HLA分子表达水平往往下降，这与患宫颈癌有什么关系？

(3) HPV的衣壳蛋白主要由L1和L2构成，且主要成分是L1。根据这一信息，请你提出一个设计HPV疫苗的思路，并上网查找资料，看你设计的思路与已经上市的HPV疫苗的设计思路是否相同。

4. 我国对艾滋病病人实行“四免一关怀”政策，请查阅资料，了解这项政策的具体内容，谈一谈这样做的原因和必要性。

第5章

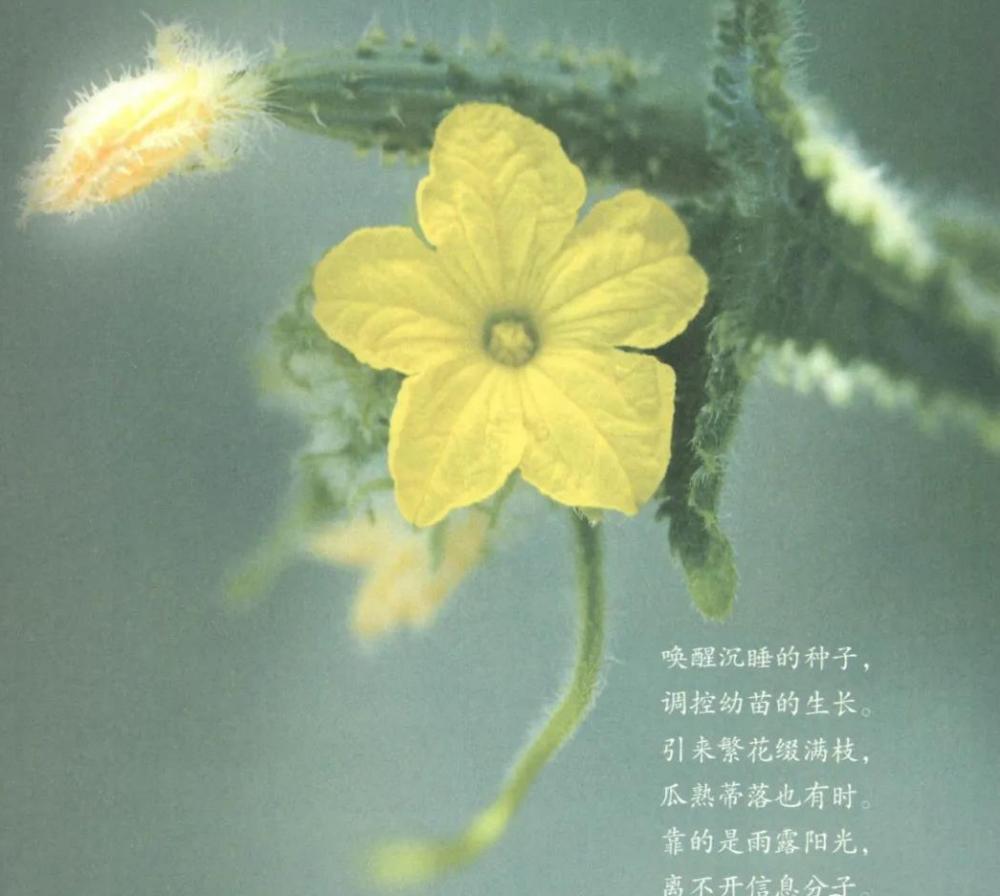
植物生命活动的调节

你知道吗？黄瓜的花有雌花和雄花之分，雄花不结果实。为了让黄瓜植株多结果实，就得使它们少开雄花，多开雌花。为此，农业技术人员在黄瓜的雌花和雄花分化时期施用适当浓度的乙烯利（能释放乙烯），这样可以显著地提高雌花比例。

乙烯是一种植物激素，它还有哪些作用呢？

除乙烯外，植物体内还能产生哪些激素？这些激素有什么作用？它们有哪些共同的特点？

植物的生长发育过程仅仅受植物激素的调节吗？



唤醒沉睡的种子，
调控幼苗的生长。
引来繁花缀满枝，
瓜熟蒂落也有时。
靠的是雨露阳光，
离不开信息分子。

第1节

植物生长素

问题探讨

图中是一株放在窗台上久不移动的盆栽植物。

讨论

1. 图中植株的生长方向有什么特点？
2. 可能是哪种环境因素刺激引发了这株植物的形态改变？植株对这种刺激的反应有什么适应意义？
3. 这种生长方向的改变，是发生在植物的幼嫩部分还是成熟部分？



向着光源生长的植物

本节聚焦

- 植物向光性的原因是什么？
- 生长素具有什么作用？
- 生长素的发现过程给你什么启示？
- 什么是植物激素？

在单侧光的照射下，植物朝向光源方向生长的现象叫作向光性（phototropism）。许多人可能对这种现象熟视无睹，然而，正是对向光性的研究，引导着人们揭示植物生命活动调节的奥秘。

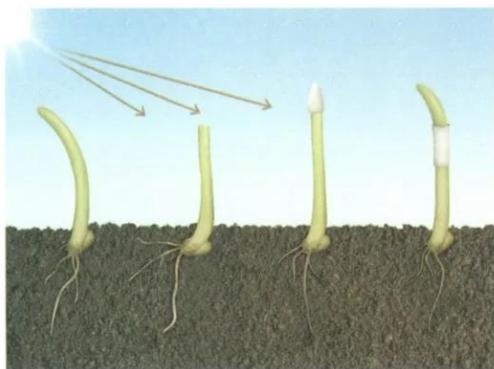
生长素的发现过程

19世纪末，达尔文（C. R. Darwin，1809—1882）和他的儿子，设计了实验来探讨植物向光性的原因（图5-1）。

实验发现，在受到单侧光照射时，金丝雀藨（音 yì）草（一种禾本科植物）胚芽鞘会向光弯曲生长；如果去掉胚

相关信息

单子叶植物，特别是禾本科植物胚芽外的锥形套状物叫作胚芽鞘，它能保护生长中的胚芽。种子萌发时，胚芽鞘首先钻出地面，出土后还能进行光合作用。



▲ 图5-1 达尔文的实验示意图

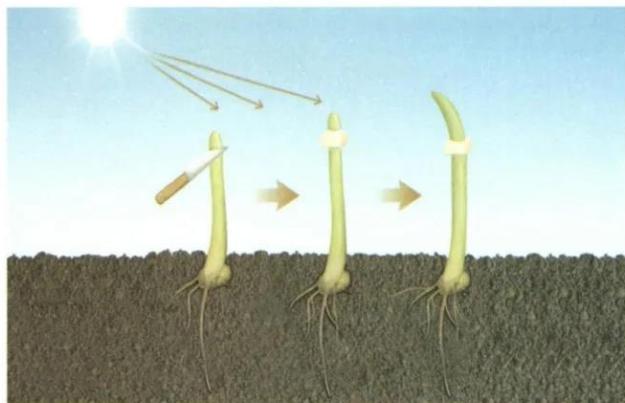
芽鞘的尖端，或者用锡箔罩子把尖端罩上，则不发生弯曲；如果罩上的是尖端下面的一段，胚芽鞘仍会弯向光源生长。

达尔文根据实验提出，胚芽鞘的尖端受单侧光刺激后，向下面的伸长区传递了某种“影响”，造成伸长区背光面比向光面生长快，因而使胚芽鞘出现向光性弯曲。

科学重视实证。达尔文注意到人们熟视无睹的现象，并且设计了简单而又富有创造性的实验来研究，而不是凭主观臆测来解释。

这种“影响”究竟是什么呢？在达尔文之后，先后有多位科学家通过进一步的实验继续探索。

1913年，鲍森·詹森（P. Boysen-Jensen）的实验证明，胚芽鞘尖端产生的“影响”可以透过琼脂片传递给下部（图5-2）。



▲ 图5-2 鲍森·詹森的实验示意图

1918年，拜尔（A. Paal）的实验证明，胚芽鞘的弯曲生长，是因为尖端产生的影响在其下部分布不均匀造成的（图5-3）。

这些实验初步证明尖端产生的影响可能是一种化学物质，这种化学物质在胚芽鞘尖端以下部位的分布不均匀造成了胚芽鞘的弯曲生长。

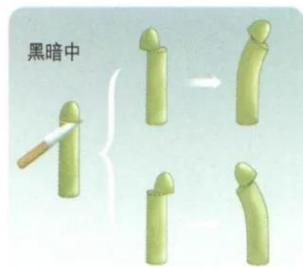
1926年，荷兰科学家温特（F.W. Went）做了以下实验：把切下的燕麦胚芽鞘尖端放在琼脂块上，几小时后，移去尖端，将琼脂切成小块；再将经处理过的琼脂块放在切去尖端的燕麦胚芽鞘一侧，结果胚芽鞘会朝对侧弯曲生长



遮盖胚芽鞘尖端和它下面一段的目的是什么？胚芽鞘弯曲生长的是哪一部分？感受单侧光刺激的又是哪一部分？你怎样解释这一结果？



顶端产生的“影响”能传到下部，那么它为什么能使得伸长区两侧生长不均匀呢？



▲ 图5-3 拜尔的实验示意图

(图5-4)。如果放上的是没有接触过胚芽鞘尖端的琼脂块，胚芽鞘则既不生长也不弯曲。

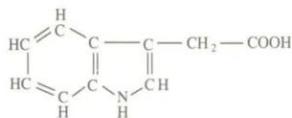
温特的实验进一步证明胚芽鞘的弯曲生长确实是由一种化学物质引起的。温特认为这可能是一种和动物激素类似的物质，并把这种物质命名为生长素 (auxin)。



▲ 图5-4 温特的实验示意图



温特提出植物体内存在生长素时，有没有提取出这种物质？他是怎样作出这一推测的？



▲ 图5-5 吲哚乙酸化学结构式

生长素究竟是什么物质呢？1934年，科学家首先从人尿中分离出与生长素作用相同的化学物质——吲哚乙酸 (IAA, 图5-5)。但是，由于生长素在植物体内含量极少，直到1946年人们才从高等植物中将其分离出来，并确认它也是IAA。进一步研究发现，植物体内具与IAA相同效应的物质还有苯乙酸 (PPA)、吲哚丁酸 (IBA) 等，它们都属于生长素。

生长素的发现使人们认识到，植物的向光性是由生长素分布不均匀造成的：单侧光照射后，胚芽鞘背光一侧的生长素含量多于向光一侧，因而引起两侧的生长不均匀，从而造成向光弯曲。

在发现生长素之后，人们又陆续发现了赤霉素、细胞分裂素、脱落酸和乙烯等物质。人们把这类由植物体内产生，能从产生部位运送到作用部位，对植物的生长发育有显著影响的微量有机物，叫作植物激素 (phytohormone)。植物激素作为信息分子，几乎参与调节植物生长、发育过程中的所有生命活动。

人类的许多科学发现，就是像这样经过一代又一代人的探索，才一步一步地接近事实的真相。每一位科学家所取得的进展可能只是一小步，众多的一小步终将汇合成科学前进的一大步。

相关信息

关于植物向光性生长的原因，目前还有争议。有学者根据一些实验结果提出，植物向光性生长，是由单侧光照射引起某些抑制生长的物质分布不均匀造成的。

 思考·讨论

植物激素与动物激素的异同

1. 植物激素与动物激素都称作“激素”，二者有哪些相似之处？
2. 植物体内没有分泌激素的腺体，这说

明植物激素在合成部位上与动物激素有明显不同。植物激素与动物激素还有哪些明显的区别？

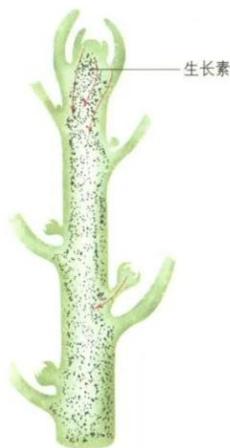
生长素的合成、运输与分布

生长素主要的合成部位是芽、幼嫩的叶和发育中的种子。在这些部位，色氨酸经过一系列反应可转变成生长素。

生长素是如何从合成部位运输到植物体全身的呢？研究表明，在胚芽鞘、芽、幼叶和幼根中，生长素只能从形态学上端运输到形态学下端，而不能反过来运输，也就是只能单向地运输，称为极性运输（polar transport，图5-6）。极性运输是一种主动运输。

在成熟组织中，生长素可以通过输导组织进行非极性运输。生长素的非极性运输和其他有机物的运输没有区别。

生长素在植物体各器官中都有分布，但相对集中分布在生长旺盛的部分，如胚芽鞘、芽和根尖的分生组织、形成层、发育中的种子和果实等处。



▲图5-6 生长素极性运输示意图

生长素的生理作用

生长素在植物体内起作用的方式和动物体内激素起作用的方式基本相似，它不像酶那样催化细胞代谢，也不为细胞提供能量，而是给细胞传达信息，起着调节细胞生命活动的作用。

在植物体内，生长素在细胞水平上起着促进细胞伸长生长、诱导细胞分化等作用；在器官水平上则影响器官的生长、发育，如促进侧根和不定根发生，影响花、叶和果实发育等。

生长素首先与细胞内某种蛋白质——生长素受体特异性结合，引发细胞内发生一系列信号转导过程，进而诱导特定基因的表达，从而产生效应。

生长素的作用似乎就是“促进”。真的是这样吗？



生长素在细胞水平起的作用，与在器官水平上发挥的作用有什么关系呢？

思考·讨论

植物生长素的作用特点

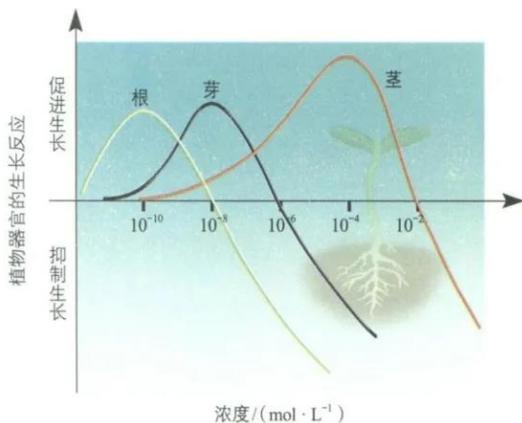
下图所示是科学家研究不同浓度生长素对植物不同器官的作用得到的结果。

讨论

1. “促进”或“抑制”的作用效果是与哪一组别对比得到的？

2. 对于同一器官来说，生长素的作用与浓度有什么关系？

3. 对于不同的器官来说，生长素促进生长的最适浓度相同吗？



生长素浓度与植物不同器官生长反应的关系示意图



▲ 图5-7 顶端优势(左)及其解除(右)

研究发现，生长素所发挥的作用，因浓度、植物细胞的成熟情况和器官的种类不同而有较大的差异。一般情况下，生长素在浓度较低时促进生长，在浓度过高时则会抑制生长。例如，顶芽产生的生长素逐渐向下运输，枝条上部的侧芽处生长素浓度较高。由于侧芽对生长素浓度比较敏感，因此它的发育受到抑制，植株因而表现出顶端优势。去掉顶芽后，侧芽处的生长素浓度降低，于是侧芽萌动、加快生长（图5-7）。幼嫩的细胞对生长素敏感，衰老细胞则比较迟钝；不同器官对生长素的敏感程度也不一样。

/// 与社会的联系 顶端优势原理在农业生产和园艺上得到广泛利用。例如，农民会适时摘除棉花的顶芽以促进侧芽的发育，从而使它多开花、多结果。又如，园艺师会适时修剪景观树木，让树木发出更多的侧枝，使树型圆润、丰满。

思维训练

评价实验设计和结论

为了检测生长素的运输方向，某人做了如下实验。取一段玉米胚芽鞘，切去顶端 2 mm，使胚芽鞘不再产生生长素。在上端放一块含有生长素的琼脂，下端放一块不含生长素的琼脂（胚芽鞘形态学上端朝上）。过一段时间检测，发现下端的琼脂块逐渐有了生长素。



根据实验设计及结果，此人得出

以下结论：（1）下端琼脂块上的生长素来自上端的琼脂块；（2）生长素在胚芽鞘内只能由形态学的上端运输到形态学的下端。

讨论

1. 这个实验的设计是否严密？为什么？
2. 从实验结果到结论之间的逻辑推理是否严谨？为什么？
3. 如果要验证上述结论，应该如何改进实验方案？

练习与应用

一、概念检测

1. 基于对生长素的合成、分布、运输及生理作用的理解，判断下列表述是否正确。

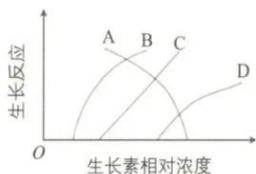
- （1）单侧光会刺激胚芽鞘尖端产生生长素，并引起生长素的分布不均匀。 ()
- （2）生长素在从形态学上端向形态学下端的极性运输过程中会消耗能量。 ()
- （3）生长素对植物的根、芽、茎只有促进作用，没有抑制作用。 ()

2. 用不透水的云母片以不同方式分别插入三株燕麦幼苗的胚芽鞘尖端部分，并分别从不同的方向给以光照（如图所示）。培养一段时间后，胚芽鞘的生长情况是 ()



- A. a不弯曲、b不弯曲、c向右弯曲
- B. a向右弯曲、b不弯曲、c向右弯曲
- C. a向右弯曲、b不弯曲、c向左弯曲
- D. a向左弯曲、b不弯曲、c向左弯曲

3. 下图中曲线C表示某植物茎的生长反应与生长素浓度的关系，如果将同样浓度的生长素施用于侧芽，能反映侧芽生长状况的曲线是 ()



二、拓展应用

1. 在居室内养花，花盆往往要放在窗口附近有阳光处，有的书上建议每星期将花盆旋转 1/4 圈。这个建议有什么科学道理？

2. 我国宋代著作《种艺必用》中，记载了一种促进空中压条生根的方法：“凡嫁接矮果及花，用好黄泥晒干，筛过，以小便浸之。又晒干，筛过，再浸之。又晒又浸，凡十余次。以泥封树枝……则根生。”请你运用已学过的知识，分析其中的科学道理。

3. 根据本节所学过的有关原理，设计一个塑造盆景独特造型的方案。如果有条件，可以依照设计的方案进行操作，并将盆景展示给老师和同学。

第2节 其他植物激素

问题探讨

在我国宋元时期某著作中写道：“红柿摘下未熟，每篮用木瓜两三枚放入，得气即发，并无涩味。”这种“气”究竟是什么呢？人们一直不明白。到20世纪60年代，气相层析技术的应用使人们终于弄清楚，是成熟果实释放出的乙烯促进了其他果实的成熟。

讨论

1. 乙烯在植物体内能发挥什么作用？
2. 在发挥作用时，乙烯的作用方式和生长素的有什么相似之处？



“木瓜”催熟柿子

本节聚焦

- 除生长素外，植物体内还有哪些植物激素？
- 各种植物激素是怎样相互作用的？

成熟的果实中富含乙烯，它可以对邻近的果实产生影响。乙烯也是一种植物激素。除生长素和乙烯外，植物体内还存在赤霉素、细胞分裂素、脱落酸等植物激素。

其他植物激素的种类和作用

1926年，科学家观察到，当水稻感染了赤霉菌后，会出现植株疯长的现象，病株往往比正常植株高50%以上，并且结实率大大降低，因而称为恶苗病（图5-8）。研究者将赤霉菌培养基的滤液喷施到水稻幼苗上，发现这些幼苗虽然没有感染赤霉菌，但也出现恶苗病的症状。1935年，科学家从培养基滤液中分离出致使水稻患恶苗病的物质，称之为赤霉素（简称GA）。到20世纪50年代，科学家发现被子植物体内存在赤霉素。此后，科学家进一步研究，不但发现赤霉素在植物中普遍存在，而且知道了植物体内的赤霉素包括许多种。后来，科学家发现了植物体内还有细胞分裂素、脱落酸、乙烯等植物激素，并逐渐弄清楚了这些植物激素的生理作用。



▲ 图5-8 水稻恶苗病植株（左）与正常植株（右）

赤霉素、细胞分裂素、脱落酸、乙烯等植物激素的合成部位和主要生理作用如图5-9所示。

| 赤霉素 | ▶

合成部位：幼芽、幼根和未成熟的种子。

主要作用：促进细胞伸长，从而引起植株增高；促进细胞分裂与分化；促进种子萌发、开花和果实发育。



▼ | 细胞分裂素 |

合成部位：主要是根尖。

主要作用：促进细胞分裂；促进芽的分化、侧枝发育、叶绿素合成。

喷施赤霉素植株(A)
与对照(B)



其他植物激素



| 乙烯 | ▲

合成部位：植物体各个部位。

主要作用：促进果实成熟；促进开花；促进叶、花、果实脱落。



◀ | 脱落酸 |

合成部位：根冠、萎蔫的叶片等。

主要作用：抑制细胞分裂；促进气孔关闭；促进叶和果实的衰老和脱落；维持种子休眠。

▲图5-9 其他植物激素的合成部位和主要作用

科学家发现，除了上述五类植物激素，植物体内还有一些天然物质也起到调节生长发育的作用。其中，油菜素内酯已经被正式认定为第六类植物激素。油菜素内酯能促进茎、叶细胞的扩展和分裂，促进花粉管生长、种子萌发等。

植物激素在植物内的含量虽然微小，但是在调节植物生长发育上的作用却非常重要。一般来说，植物激素对植物生长发育的调控，是通过调控细胞分裂、细胞伸长、细胞分化和细胞死亡等方式实现的。

相关信息

在菜豆未成熟的种子中，赤霉素含量较高，但也不到种子质量的亿分之一。1 kg 向日葵新鲜叶片中，只含有几微克细胞分裂素。

植物激素间的相互作用

思考·讨论

不同植物激素作用的相关性

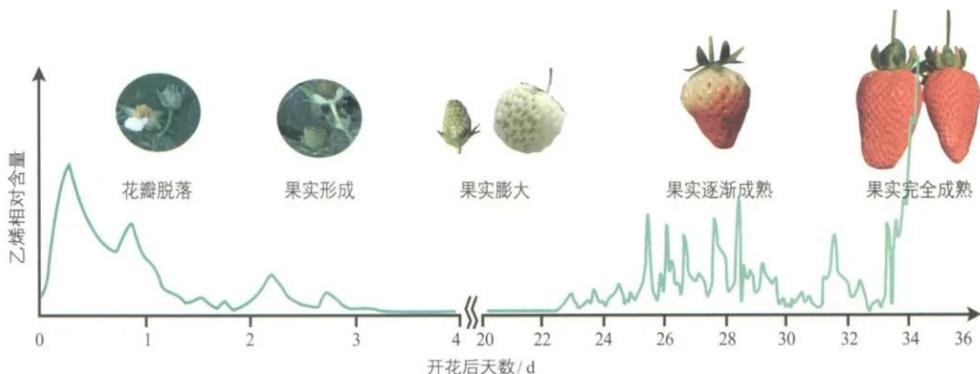
根据图5-9提供的信息，分析、讨论以下问题。

1. 赤霉素与生长素的主要生理作用有什么相似之处？又有哪些不同？

2. 脱落酸与生长素、赤霉素、细胞分裂素的生理作用有什么不同？

3. 赤霉素和乙烯的生理作用可能存在什么关系？

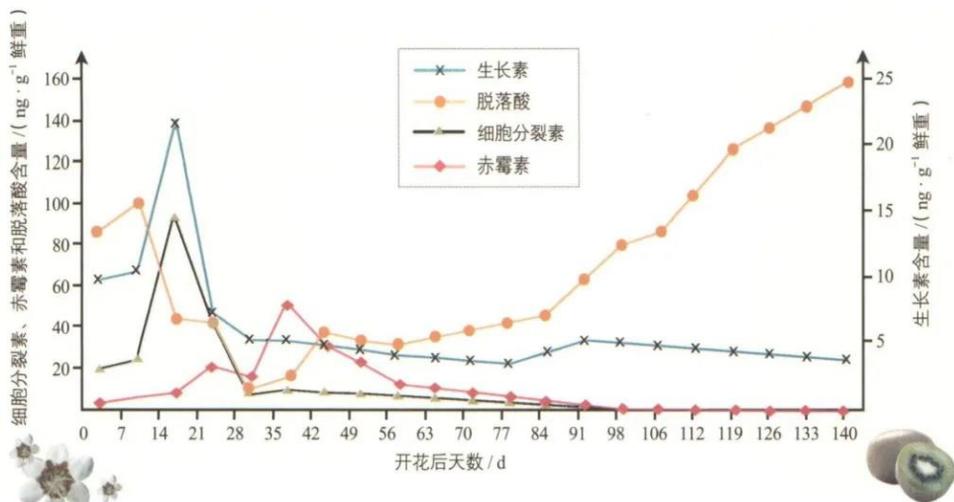
在植物的生长发育和适应环境变化的过程中，某种激素的含量会发生变化（图5-10）；同时，各种植物激素并不是孤立地起作用，而是多种激素共同调控植物的生长发育和对环境的适应。例如，生长素主要促进细胞核的分裂，而细胞分裂素主要促进细胞质的分裂，二者协调促进细胞分裂的完成，表现出协同作用。又如，在调节种子萌发的过程中，赤霉素促进萌发，脱落酸抑制萌发，二者作用效果相反。此外，不同激素在代谢上还存在着相互作用，例如，当生长素浓度升高到一定值时，就会促进乙烯的合成；乙烯含量的升高，反过来会抑制生长素的作用。



▲ 图5-10 草莓果实发育和成熟过程中乙烯含量的动态变化

在植物各器官中同时存在着多种植物激素，决定器官生长、发育的，往往不是某种激素的绝对含量，而是不同激素的相对含量。例如，黄瓜茎端的脱落酸与赤霉素的比值较高，有利于分化形成雌花，比值较低则有利于分化形成雄花。

在植物生长发育过程中，不同种激素的调节还往往表现出一定的顺序性。例如，在猕猴桃果实的发育过程中，细胞分裂素、生长素、赤霉素、脱落酸等激素的含量会像接力一样按照次序出现高峰，调节着果实的发育和成熟（图5-11）。



▲图5-11 猕猴桃果实发育和成熟过程中激素的动态变化

总之，植物的生长、发育，是由多种激素相互作用形成的调节网络调控的。

练习与应用

一、概念检测

1. 运用植物激素的相关知识，判断下列说法是否正确。

- (1) 赤霉素决定细胞的分化。 ()
- (2) 脱落酸促进果实和叶脱落。 ()
- (3) 细胞分裂素促进细胞伸长。 ()

2. 生长素和乙烯都在植物生命活动调节中起重要作用。以下相关叙述，正确的是 ()

- A. 植物体内生长素含量会影响乙烯的合成
- B. 生长素促进植物生长，乙烯促进果实发育
- C. 生长素是植物自身合成的，乙烯是植物从环境中吸收的

D. 生长素在植物体内广泛分布，乙烯只分布在成熟果实中

二、拓展应用

1. 在自然界存在这样一种现象：小麦、玉米在即将成熟时，如果经历持续一段时间的干热之后又遇大雨，种子就容易在穗上发芽。请尝试对此现象进行解释（提示：研究表明，脱落酸在高温条件下容易降解）。

2. 人们常说，一个烂苹果会糟蹋一筐好苹果；社会上也有“坏苹果法则”“坏苹果理论”。请你结合本章所学，谈谈对这些话的理解。

第3节

植物生长调节剂的应用

问题探讨

在玫瑰葡萄种植过程中，合理施用人工合成的赤霉素、细胞分裂素类物质，可以提高葡萄结果率和单果质量，提高果实无核化程度。但如果施用不合理，可能会造成果实空心等问题。

讨论

葡萄植株里有自身合成的植物激素，为什么还要施用人工合成的植物激素类物质呢？



玫瑰葡萄

本节聚焦

- 植物生长调节剂在生产上有哪些应用？
- 怎样正确使用植物生长调节剂？

植物体内的激素含量非常少，提取困难。人们在多年的研究和实践中，发现一些人工合成的化学物质，具有与植物激素相似的化学性质。这些由人工合成的，对植物的生长、发育有调节作用的化学物质，称为植物生长调节剂。植物生长调节剂具有原料广泛、容易合成、效果稳定等优点，在农林园艺生产上得到广泛的应用。“问题探讨”里提到的葡萄种植过程中施用的物质，就是植物生长调节剂。

植物生长调节剂的类型和作用

植物生长调节剂种类很多，我国目前正在使用的就有几十种。不过，从分子结构来看，主要有两大类：一类分子结构和生理效应与植物激素类似，如吲哚丁酸；另一类分子结构与植物激素完全不同，但具有与植物激素类似的生理效应，如 α -萘乙酸（NAA）、矮壮素等。正如“问题探讨”里你已经探讨过的，在种植葡萄的过程中施用植物生长调节剂，并不必然会增产、增收。你可能还从媒体了解到更多的关于施用植物生长调节剂的讨论。可见，在具体的农业生产过程中，是否施用、如何施用植物生长调节剂，需要理性评估。

相关信息

在我国，植物生长调节剂属于农药管理范围，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，才能生产、经营和使用。

思考·讨论

评述植物生长调节剂在生产中的应用

以下是植物生长调节剂应用的一些事例。

事例1 在用传统方法生产啤酒时，大麦芽是不可缺少的原材料。利用大麦芽，实质是利用其中的 α -淀粉酶。有人用赤霉素处理大麦，可以使大麦种子无须发芽就能产生 α -淀粉酶。



发芽的大麦

事例2 对西瓜、草莓、葡萄等使用一定浓度的膨大剂（也叫膨大素），会使水果长势加快、个头变大，加快水果成熟，使其提前上市。但使用膨大剂的水果与正常水果相比，口感较差，汁水较少，甜味不足，而且不宜长时间储存。

事例3 在蔬菜、水果上残留的一些植物生长调节剂会损害人体健康。例如，可以延长马铃薯、大蒜、洋葱储藏期的青鲜素（抑制发芽）可能有副作用。

请你进一步查找以下三方面的资料。

1. 新的植物生长调节剂不断被发现和使用；植物生长调节剂的应用范围更加广泛，在生产中发挥着越来越重要的作用。你可以搜集



油菜素内酯类植物生长调节剂

一些植物生长调节剂的使用说明书，以了解有关信息。

【性能特点】
具有刺激细胞分裂和细胞伸长的作用，促进植物各种器官的生长、发育、提早成熟；防止落花落果，提高结实率；打破多种植物种子、块茎等多种功能。适用范围广，无任何毒害，可减少空壳率，增加千粒重，促进抽穗、提高座果率，促进果实增大增重，产量大幅度提高。
【使用方法】
叶面喷施：每株兑水15~20kg均匀喷施在作物叶片正反两面。（二次稀释效果更好）
【适用对象】蔬菜、瓜果、果树、花卉、烟草、中药材、种子、园林、粮食作物等。
【注意事项】
1. 可以与杀虫剂、调节剂、叶面肥混用增效，尽量避免与强碱性物质混用。
2. 产品略有结块或沉淀现象，属正常现象，不影响使用效果。
3. 应避开烈日高温，早晚使用效果更佳。
4. 保质期5年 生产日期：见盒内或盒内合格证

某种植物生长调节剂说明书（部分）

2. 由于植物生长调节剂的使用效果与浓度、使用时期、使用方法等都有密切关系，如果使用不当，不仅达不到预期目的，反而会造成损失。试举一两个事例。

3. 试列出几项我国法规禁止使用的植物生长调节剂及其危害，或者举一两个因植物生长调节剂指标不合格而引起的农产品贸易纠纷。



目前禁用的两种植物生长调节剂产品

讨论

1. 你还知道哪些植物生长调节剂在农产品和园艺生产上应用的例子？

2. 在生产过程中施用植物生长调节剂要注意哪些事项？

3. 我国禁止销售、使用未经国家有关部门批准的植物生长调节剂。这是为什么？

相关信息

植物生长调节剂不是营养物质，也不是万灵药，只有配合浇水、施肥等措施，适时施用，才能发挥效果。

植物生长调节剂应用领域广，对于提高作物产量、改善产品品质等，都起到很好的作用。例如，它能延长或终止种子、芽及块茎的休眠，调节花的雌雄比例，促进或阻止开花，诱导或控制果实脱落，控制植株高度、形状等。施用植物生长调节剂还能减轻人工劳动，如减少园林植物的修剪次数。但是，植物生长调节剂使用不当，则可能影响作物产量和产品品质；过量使用植物生长调节剂，还可能对人体健康和环境带来不利影响。因此，植物生长调节剂的应用，需要关注可能存在的负面影响。

我国对于植物生长调节剂的生产、销售和使用都有明确的规定。例如，植物生长调节剂必须经国家指定单位检验并进行正规田间试验，充分证明其效益，无毒、无害方可批准登记；在销售中禁止夸大植物生长调节剂的功能；禁止在肥料中添加植物生长调节剂，等等。

△△ 与社会的联系 我国早在1989年就颁布过《中华人民共和国农业部关于肥料、土壤调理剂及植物生长调节剂检验登记的暂行规定》，1997年又颁布了该规定的修订版，对植物生长调节剂的生产销售进行规范管理。2011年，农业部发布通知，进一步加强对植物生长调节剂的管理。

植物生长调节剂的施用

植物生长调节剂种类繁多，在生产上首先需要根据实际情况，选择恰当的植物生长调节剂；还要综合考虑施用目的、效果和毒性，调节剂残留、价格和施用是否方便等因素。对于某种植物生长调节剂来说，施用浓度、时间、部位以及施用时植物的生理状态和气候条件等，都会影响施用效果，施用不当甚至会影响生产。

假如我们现在要解决的生产问题是促进扦插枝条的生根，我们可以选用生长素类植物生长调节剂；假如我们要对果实催熟，可以选择乙烯利。可是，怎样使用这些植物生长调节剂才能达到最佳效果呢？

科学方法

预实验

在进行科学研究时，有时需要在正式实验前先做一个预实验。这样可以为进一步的实验摸索条件，也可以检验实验设计的科学性和可行性，例如，在探索生长素类调节剂促进插条

生根的最适浓度时，通过预实验确定有效浓度的大致范围，可为确定最适浓度打下基础。预实验也必须像正式实验一样认真进行才有意义。

探究·实践

探索植物生长调节剂的应用

植物生长调节剂（以下简称调节剂）在农业生产上有广泛的应用，你也可以尝试探索如何在农业生产上合理使用调节剂。

一、探索生长素类调节剂促进插条生根的最适浓度

生长素类调节剂的生理作用与其浓度具有很大的关系。例如，适当浓度的2, 4-二氯苯氧乙酸（简称2, 4-D）可以促进插条生根，浓度过高时会抑制生根，高浓度的2, 4-D甚至会杀死双子叶植物。在农业生产上应用这些调节剂时，寻找最佳的浓度范围就非常有意义。

提出问题

所选定的生长素类调节剂促进某种植物插条生根的最适浓度是多少呢？

材料用具

当地主要绿化树种或花卉（也可以选择本地区的市花、市树）生长旺盛的一年生枝条，或者你们小组想要研究的其他植物的枝条；蒸馏水；花盆；细沙；常用的生长素类调节剂：NAA、2, 4-D、吲哚丙酸、IBA，可选其中的一种；所用药品包装说明上所列举的其他材料。



某同学水培的用NAA溶液处理的某种植物

设计实验

提示

1. 用生长素类调节剂处理插条的方法很多，以下两类方法比较简便。浸泡法：把

插条的基部浸泡在配制好的溶液中，深约3 cm，处理几小时至一天。处理完毕就可以扦插了。这种处理方法要求溶液的浓度较小，并且最好是在遮阴和空气湿度较高的地方进行处理。沾蘸法：把插条基部在浓度较高的药液中沾蘸一下（约5 s），深约1.5 cm即可。

2. 可以参考植物体内天然生长素含量，或查找有关资料，确定应设计什么样的浓度梯度。如果对要研究的植物有关情况所知不多，可以先设计一组梯度比较大的预实验进行摸索，再在预实验的基础上设计更合理的浓度梯度进行实验。

3. 注意控制无关变量。例如，如果要研究的是不同浓度药物的影响，处理的时间长短应该一致；同一组实验中所用到的植物材料，也应该尽可能保持条件相同。

4. 思考哪些观察结果可以作为因变量的检测指标。

进行实验

按照小组设计的实验方案进行实验，并设计表格，记录探究结果。

分析结果

根据小组实验获得的数据，以生长素类调节剂的浓度为横坐标，以根的数目为纵坐标，绘制曲线图。联系已学过的数学知识，小组内讨论如何根据实验数据和曲线图确定最适浓度范围。

结论和应用

1. 你们小组的结论是：对于_____（植物）来说，促进插条生根的生长素类调节剂的最适浓度是_____。

2. 结合此探究，你们小组认为在施用生长素类调节剂促进插条生根时，要考虑的因素有哪些？

表达和交流

1. 根据本小组的实验结果，写出实验报告。

2. 与其他小组交流你们的结果和结论，分享你们小组的实验体会，并认真听取其他小组的汇报。不妨尝试引用其他小组的结果和结论，将本小组的研究报告补充得更全面。

3. 根据你们的研究结果，尝试对当地农林业生产中使用情况提出一些建议。

二、尝试利用

乙烯利催熟水果

水果从果园到消费者手中需要经过一定的时间。如果等



市售的乙烯利

水果完全成熟后再采摘，经过储存、运输和销售过程，不少水果可能就腐烂了。因此，很多水果在接近成熟时就得采摘，这也是我们在市场上看到一些水果在销售时还未完全成熟的原因。

乙烯利是一种植物生长调节剂，工业品为液体。当溶液 $\text{pH} < 3.5$ 时，它比较稳定；但随着溶液 pH 升高，它会分解释放出乙烯。乙烯对水果有催熟作用，还可以进一步诱导水果自身产生乙烯，加速水果成熟。

小组讨论确定用哪种水果作为实验材料，如何设计实验方案。确定方案后，实施探究方案并完成探究报告。

提示：乙烯利对皮肤、黏膜有一定的刺激性，操作时需要做好防护措施，并在通风良好的环境进行。乙烯利遇到明火可燃烧，需要注意防火。

练习与应用

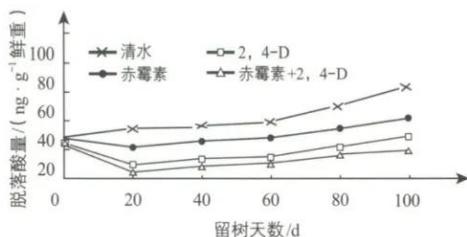
一、概念检测

1. 种植葡萄时，在扦插繁殖、控制枝条生长、提高果实品质等方面都可以使用植物生长调节剂。判断下列有关表述是否正确。

(1) 施用的植物生长调节剂就是植物激素。()

(2) 施用植物生长调节剂就一定能提高葡萄的产量和品质。()

2. 研究人员为探究定期喷施一定浓度的赤霉素和(或)2, 4-D对即将成熟的柑橘体内脱落酸含量的影响，进行了一项科学实验，实验结果如下图所示。下列说法错误的是 ()



A. 喷施赤霉素和2, 4-D能延缓柑橘果实的成熟和脱落

B. 赤霉素比2, 4-D更能抑制柑橘内源脱落酸的合成

C. 赤霉素和2, 4-D都能抑制柑橘内源脱落酸的合成

D. 赤霉素、2, 4-D与脱落酸对柑橘脱落的作用相反

二、拓展应用

1. 如果你是水果销售员，面对半青不熟的水果，你认为应该使用乙烯利催熟吗？作为一个消费者，你又怎么看？

2. 现有一种用于麦田除草的除草剂刚研制出来，作为技术人员，你的任务是研究这种除草剂在使用时的浓度要求。请列出你的研究思路；假如让你来设计这个产品的说明书，你认为除了浓度参考范围，还应该在这个说明书中补充哪些内容。

第4节

环境因素参与调节植物的生命活动

问题探讨

种子萌发后，根向地生长、茎背地生长。如果将幼苗横过来，茎会弯曲向上生长，根则弯曲向下生长。

讨论

1. 茎和根的生长是受哪种因素调节的？
2. 如果将该幼苗横放在太空中的“天宫二号”内，它的根、茎可能会怎样生长？为什么？



茎向上生长

“问题探讨”中的实例说明，高等植物的生长发育是受环境因素调节的。光、温度、重力对植物生长发育的调节作用尤为重要。

光对植物生长发育的调节

光是植物进行光合作用的能量来源。

对于植物来说，光只是起提供能量的作用吗？

本节聚焦

- 光是怎样调节植物生长发育的？
- 温度、重力等环境因素是怎样参与调节植物生长发育的？
- 植物接受环境因素的调节有什么适应意义？

思考·讨论

光在植物生长发育中的调节作用

资料1 少数植物（如烟草和莴苣）的种子需要在有光的条件下才能萌发，有些植物（如早熟禾、毛蕊花）的种子在有光条件下萌发得好一些，还有一些植物（如洋葱、番茄）的种子萌发，则受光的抑制。研究发现，萌发需要光的种子一般较小，储藏的营养物质也很少。

资料2 豆芽是在黑暗的环境中培育的，它的细胞中不含叶绿素，茎（实际上很大一部分是下胚轴）比在光下要长很多。豆芽一旦见光，就会发生形态变化并长成豆苗。

资料3 很多植物的开花与昼夜长短有关。例如，菠菜只有白天长度超过13小时才开

花；菊、水稻则要在白天短于一定的时长才开花。当然，也有不少植物的开花与昼夜长短没有关系，如黄瓜、棉花、向日葵等。

讨论

1. 那些需要光才能萌发的种子是需要光照给种子萌发提供能量吗？
2. 从豆芽到豆苗，光对植物的颜色和形态有什么影响？
3. 有些植物根据昼夜长短“决定”是否开花，是哪一种环境因素在起作用？这与植物激素的分泌有关系吗？
4. 种子发芽，植株生长、开花接受光的调控，是如何体现植物对环境的适应的？

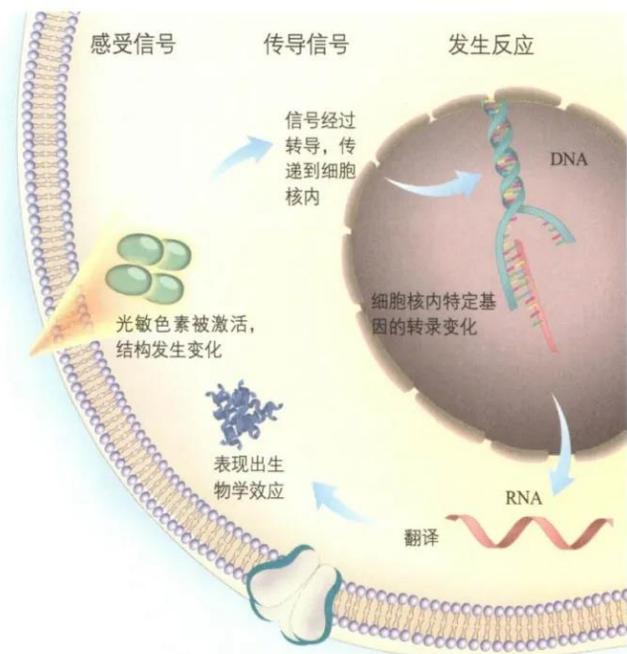
在自然界中，种子萌发，植株生长、开花、衰老，等等，都会受到光的调控。植物的向光性生长，实际上也是植物对光刺激的反应。光作为一种信号，影响、调控植物生长、发育的全过程。

植物能够对光作出反应，表明植物可以感知光信号，并据此调整生长发育。那么，植物是怎样感受到光照的呢？科学家研究发现，植物具有能接受光信号的分子，光敏色素是其中的一种。

光敏色素是一类蛋白质（色素—蛋白复合体），分布在植物的各个部位，其中在分生组织的细胞内比较丰富。在受到光照射时，光敏色素的结构会发生变化，这一变化的信息会经过信息传递系统传导到细胞核内，影响特定基因的表达，从而表现出生物学效应（图5-12）。

相关信息

光敏色素主要吸收红光和远红光。植物体内除了光敏色素，还有感受蓝光的受体。可以认为，环境中的红光、蓝光，对于植物的生长发育来说，是非常关键的。



▲ 图5-12 光调控植物生长发育的反应机制示意图

参与调节植物生命活动的其他环境因素

除了光，温度、重力等环境因素也会参与调节植物的生长发育。

温度和重力因素是如何参与植物生命活动的调节的呢？

 思考·讨论

温度参与植物生长发育的调节

资料1 温带地区，树木年复一年地加粗，构成一圈圈的年轮，表现出季节周期性变化。年轮形成的原因是：在春夏季细胞分裂快、细胞体积大，在树干上形成颜色较浅的带；在秋冬季细胞分裂慢、细胞体积较小，树干上形成颜色较深的带。



年轮

资料2 有些植物在生长期需要经历一段时期的低温之后才能开花。这种经历低温诱

导促使植物开花的作用，称为春化作用。冬小麦、冬大麦、蕙兰等就是这样。



冬小麦要经历春化作用才能开花

讨论

1. 树木的年轮与季节的温度变化有什么直接关系？
2. 有的植物需要经过春化作用才能开花，这对于它们适应所生存的环境有什么意义？
3. 关于温度参与调节植物生长发育的实例，你还能举出一些吗？

温度 随着季节轮回、气温周期性变化，植物发芽、开花、落叶、休眠，生命活动的节奏追随着季节的步伐。随着昼夜交替，气温午高夜低，植物的代谢也会有旺盛和缓慢之分。

植物的所有生理活动都是在一定的温度范围内进行，温度可以通过影响种子萌发、植株生长、开花结果和叶的衰老、脱落等生命活动，从而参与调节植物的生长发育。此外，植物分布的地域性很大程度上就是由温度决定的。

重力 重力是调节植物生长发育和形态建成的重要环境因素。本节“问题探讨”里所提到的植物根向地、茎背地生长，就是在重力的调节下形成的。那么，植物是如何对“上下”作出反应的呢？原来，植物的根、茎中具有感受重力的物质和细胞，可以将重力信号转换成运输生长素的信号，造成生长素分布的不均衡，从而调节植物的生长方向。



根的向地生长和茎的背地生长有什么意义呢？

“淀粉—平衡石假说”是被普遍承认的一种解释重力对植物生长调节的机制。这种假说认为，植物对重力的感受是通过体内一类富含“淀粉体”的细胞，即平衡石细胞来实现的。当重力方向发生改变时，平衡石细胞中的“淀粉体”就会沿着重力方向沉降，引起植物体内一系列信号分子的改变，如通过影响生长素的运输导致生长素沿着重力刺激的方向不对称分布，从而造成重力对植物生长的影响。



根尖中的平衡石细胞示意图

植物生长发育的整体调控

高等植物是由很多细胞组成的高度复杂的有机体，它的正常生长发育需要各个器官、组织、细胞之间的协调和配合。植物生长发育的调控，是由基因表达调控、激素调节和环境因素调节共同完成的。

植物细胞里储存着全套基因，但是某个细胞的基因如何表达则会根据需要作调整。植物的生长、发育、繁殖、休眠，都处在基因适时选择性表达的调控之下。

对于多细胞植物体来说，细胞与细胞之间、器官与器官之间的协调，需要通过激素传递信息。激素作为信息分子，会影响细胞的基因表达，从而起到调节作用。同时，激素的产生和分布是基因表达调控的结果，也受到环境因素的影响。

在个体层次，植物生长、发育、繁殖、休眠，实际上，是植物响应环境变化，调控基因表达以及激素产生、分布，最终表现在器官和个体水平上的变化。

课外实践

设计实验，验证植物根向地性的感受部位在根冠

已有的研究表明，植物的根是靠根冠中的细胞感受重力，从而引起根的向地生长。真的是这样吗？我们也可以设计实验来进行验证。

提示：实验可以用刚刚萌发的玉米粒（实际上是颖果，农业上称为种子）为材料。为便于观察，可在培养皿中铺上湿棉花，将刚萌发的玉米粒放在其中培养。为验证到底是否是根冠感受重力，引起根的向地生长，

应该怎样设计实验组、对照组？

与同学讨论，小组合作设计并完成实验。



发芽的玉米粒

练习与应用

一、概念检测

1. 一颗小小的望天树种子可以生长发育成参天大树。判断下列相关表述是否正确。

- (1) 它的生长发育完全由植物激素控制。 ()
- (2) 调控它生长发育的环境因素有光照、温度、重力等。 ()
- (3) 它的生长发育受基因表达的调控。 ()

2. 请用恰当的方式表示调节植物生长发育的环境因素、植物激素和基因表达的关系。

二、拓展应用

1. 科学家用红光和红外光依次照射的方法，对一批莴苣种子进行处理，然后置于暗处。一段时间后，这些莴苣种子的发芽情况如下表所示。

组别	光照射处理方式	发芽情况
对照组	无光照	不发芽
组1	红光	发芽
组2	红光→红外光	不发芽
组3	红光→红外光→红光	发芽
组4	红光→红外光→红光→红外光	不发芽

(1) 由上述实验结果可以得出什么结论？

(2) 莴苣种子对红光的反应远比红外光敏感，如果经过红光和红外光处理后，将莴苣种子置于自然光下而不是黑暗条件下，莴苣种子的发芽情况会如何？

2. 昙花一般夜间开花，受昼夜交替节律的影响。如果要让昙花白天开花，可尝试采取哪些措施？

STS 科学·技术·社会

调控花期创造美好生活

花开花落、花季易逝，而再待花开有时需要静候一年。落花的无奈，会引发诗人莫名的伤感；守望花开，也成为世人美好的期待。那么，能不能人工调节花期，使得植物按照人的意愿来开花呢？

菊花本在秋天开放，但现在一年四季，你都可以看到色彩斑斓的菊花了，这就是花期调控技术的应用。人工控制花期，可以使植物提前或延后开花，可以让花卉赶上节日开放。这样，既可以满足人们节日期间对花卉的巨大需求，也可以为培育花卉的企业带来可观的收益。

月季花大而艳丽，是很好的园林花卉，但是夏季的高温会影响月季的花芽分化，因此，月季在夏季开的花就比较少。在2008年北京奥运会期间，虽然正值夏季，园林技术

人员却有办法让北京城区月季在奥运会期间连续盛开，为北京奥运增色不少。

改变植物的花期，除给人们带来视觉的享受之外，还可让一些水果提前或延后上市，错峰生产，延长人们享受新鲜水果的时间。例如，对火龙果植株进行夜间补充光照，可促使其提前开花。

人工控制花期主要的途径有温度处理、光照处理、生长调节剂处理及栽培措施处理等四种。利用温度调控促进花芽发育或抑制花芽发育等措施，可以起到提早或延迟花期的作用。利用控制光照时间长短、施用植物生长调节剂等措施，也可以达到同样的效果。通过调节花卉的种植期，采用适当的修剪、摘心、水肥控制等措施，也可有效地调控花期。



本章小结

理解概念

● 植物激素是由植物产生，能从产生部位运送到作用部位，在植物细胞之间传递信息并能调节细胞生命活动的有机物。微量的植物激素就能对植物的生长发育和繁殖有显著作用。

● 植物激素主要有生长素、赤霉素、细胞分裂素、乙烯和脱落酸等，它们对植物生命活动起着不同的调节作用。

● 生长素随浓度不同、植物细胞的老幼和器官的种类不同，在发挥作用时会表现出差异。一般情况下，生长素在浓度较低时促进生长，在浓度过高时则会抑制生长。

● 植物体内多种激素之间具有复杂的相互关系。植物的生长发育往往取决于激素之间的比例关系，而不是某种激素的绝对含量。

● 植物的生长发育过程始终在环境因素的影响、调节下完成。光在植物生长、发育的全过程中都起调节作用。温度、重力等其他环境因素也参与调节植物的生长发育。

● 植物生命活动的调节有基因控制、激素调节和环境因素影响三个方面，它们是相互作用、协调配合的。

发展素养

通过本章的学习，应在以下几方面得到发展。

● 通过概述生长素的发现过程，认同科学探究需要进行大胆的猜测、严谨的实验、认真的观察和严密的逻辑分析，科学的进步需要一代又一代科学家的努力。

● 说明生长素的作用特点，阐释生物学中的适度与平衡观念，并运用这一观念分析和解决现实中的问题。

● 举例说明植物激素之间存在复杂的相互关系，认同生物界的因果关系具有复杂性，并能将这一认识用于分析生命现象。

● 基于光照、温度和重力等环境因素对植物生长发育影响的认识，分析和解决生产和生活中的一些实际问题。

● 基于对植物生长调节剂应用的利与弊的分析，探讨科学、技术、社会与环境之间的复杂关系。

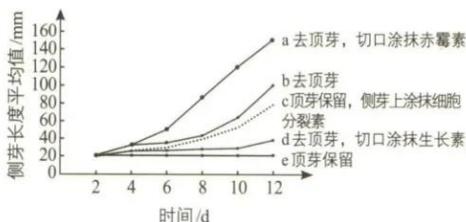
复习与提高

一、选择题

- 园林工人为了使灌木围成的绿篱长得茂密、整齐，需要对绿篱定期修剪，其目的是 ()
 - 抑制侧芽生长
 - 抑制顶端优势
 - 抑制向光性生长
 - 抑制其开花结果
- 用适宜浓度的生长素处理未受粉的番茄雌蕊柱头，可得到无子番茄，这种果实细胞中的染色体数目为 ()
 - 与卵细胞染色体数目一样
 - 是受精卵染色体数目一半
 - 与体细胞中染色体数目一样
 - 比受精卵染色体数目多一倍
- 以下关于植物激素的说法，错误的是 ()
 - 植物激素能促进植物生长
 - 植物激素是一类化学物质
 - 植物激素在植物体内含量很少
 - 植物激素不直接参与细胞内的代谢活动
- 果实的生长发育和成熟，受多种激素调节。下列叙述正确的是 ()
 - 赤霉素促进果实发育
 - 乙烯抑制果实的生长和成熟
 - 脱落酸促进细胞分裂和果实脱落
 - 生长素对果实的发育和成熟没有影响

二、非选择题

1. 研究人员进行了多种植物激素对豌豆植株侧芽生长影响的实验，结果如图所示。



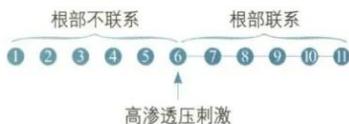
(1) 比较曲线 a、b、c 与 d 可知_____对侧芽的生长有抑制作用，其中起作用的主要激素是_____，而且_____（激素）能解除这种激素的抑制作用。在保留顶芽的情况下，除了 c 所采用的措施，还可通过喷施_____的化

合物促进侧芽生长。

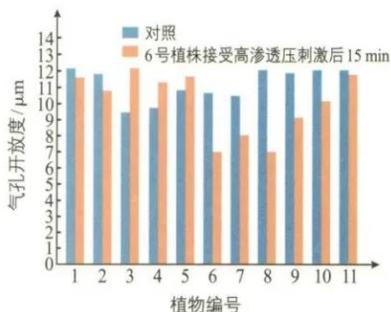
(2) 比较曲线 a 与 b 可知，赤霉素能明显促进_____。推测：在完整豌豆植株的顶芽中，赤霉素产生于_____组织。

(3) 据图中信息，推测侧芽生长速度不同的原因是侧芽内_____浓度或比例的改变。

2. 当干旱发生时，植物之间是否会交流信息呢？如果有信息交流，是通过地上信号还是地下信号呢？为了探究这些问题，有研究者设计了如下实验。将 11 株盆栽豌豆等距排列，6~11 号植株在根部有管子相通，这样在不动土壤的情况下，化学信息可以通过管子进行交流；1~6 号的根部不联系（如下图）。



用高浓度的甘露醇浇灌（高渗透压，模拟干旱）来刺激 6 号植株，15 min 后，测定所有植株的气孔开放度。对照组是用水浇灌 6 号植株。结果如下图所示。



(1) 对照组的实验结果说明了什么？

(2) 在干旱条件下，6~8 号植株与 9~11 号植株相比，气孔的开放度有什么不一样？

(3) 这些数据支持“当干旱发生时，植物之间会交流信息”这一观点吗？如果会，是通过地上部分还是地下部分交流信息的？

(4) 在对 6 号植株进行干旱诱导后 1 h，再次测定所有植株的气孔开放度，发现 6~11 号植株的气孔大多数都关闭了。这是为什么？

后 记

本册教科书是人民教育出版社课程教材研究所生物课程教材研究开发中心依据教育部《普通高中生物学课程标准（2017年版）》编写的，经国家教材委员会2019年审查通过。

本册教科书的编写，集中反映了我国十余年来普通高中课程改革的成果，吸取了2004年版《普通高中课程标准实验教科书 生物》的编写经验，凝聚了参与课改实验的教育专家、学科专家、教材编写专家、教研人员和一线教师，以及教材设计装帧专家的集体智慧。

我们感谢参加2004年版《普通高中课程标准实验教科书 生物》编写工作的张志文。感谢所有对教科书的编写、出版、试教等提供过帮助与支持的同仁和社会各界朋友。

为本书绘制插图的有松迪科技（北京）有限公司、李筱甜和方璇；设计排版为北京奇文云海文化传播有限责任公司；封面设计为吕旻、王喆。

本册教科书出版之前，我们通过多种渠道与教科书选用作品（包括照片、画作）的作者进行了联系，得到了他们的大力支持。对此，我们表示衷心的感谢！

我们真诚地希望广大教师、学生及家长在使用本册教科书的过程中提出宝贵意见。我们将集思广益，不断修订，使教科书趋于完善。

联系方式

电话：010-58758866

电子邮箱：jcfk@pep.com.cn

人民教育出版社 课程教材研究所
生物课程教材研究开发中心

2019年4月

谨向为本书提供照片的单位和人士致谢

东方IC(封面1张,“科学家访谈”中2张,第9页2张,第11页1张,第17页1张,第22页1张,第26页1张,第P27页1张,第32页1张,第33页1张,第43页1张,第46页1张,第47页1张,第56页3张,第57页1张,第65页1张,第76页1张,第78页1张,第86页1张,第101页1张,第105页1张,第107页2张);

视觉中国(第2页2张,第9页1张,第14页1张,第16页1张,第21页1张,第30页1张,第36页1张,第37页1张,第40页1张,第67页2张,第86页1张,第89页1张,第94页1张);

中国生物技术股份有限公司(第82页4张,第86页2张);

全景视觉(第10页1张,第47页2张);

NTNU(挪威科技大学)自然历史与考古博物馆(第32页1张);

中国新闻图片网(第109页1张);

宗标(第78页2张,第97页3张,第98页6张,第100页1张,第101页2张,第104页1张,第107页1张);

李宇(第7页1张,第26页10张,第55页1张,第78页2张);

朱京(第8页1张,第90页1张,第101页2张,第103页1张);

许智宏(“科学家访谈”中3张);

王家太(第97页1张,第101页1张);

王中军(第1页1张);

包春莹(第21页1张);

霍进城(第50页1张);

Dr. Martina Absinta和Dr. Daniel Reich(第70页1张);

马真(第84页1张);

黄世文(第96页1张);

张锋(第108页1张)。