

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验结果报告单的一部分。

讨论

- 为什么血液的生化指标能反映机体的健康状况？
- 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？
- 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？

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。



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。

北京市医疗机构临床检验结果报告单					
检测项目	TLA	标本项目/医嘱项目/检验项目	结果	单位	参考值
姓 名：高艳梅 登记号：100000000000000000		出生日期：2000-11-08		标本日期：流水号：150	
性 别：男 科 别：综合科18		申请医师：王丽		标本种类：血 仪 码：111111111111111111	
年 龄：70岁 床 号：1802床		申请日期：2018-11-23		采样时间：2018-11-22 07:08:41	
医嘱项：生化2		初步诊断：下腔静脉阻塞综合征，胆囊息肉瘤(肿物),1型			
检测项目	英文对照	结果		单位	参考值
1 *丙氨酸氨基转移酶	ALT	11	U/L	9~40	
2 *天冬氨酸氨基转移酶	AST	12	U/L	15~45	
17 *葡萄糖	GLU	10.96	mmol/L	3.9~6.1	
18 糖化血清白蛋白	GA	33.70	%	10.8~17.1	
19 *肌酸激酶	CK	126	U/L	38~174	
20 肌酸激酶同功酶MB	CK-MB	1.9	ng/ml	0.6~6.3	
21 *乳酸脱氢酶	LDH	173	U/L	140~271	
22 *甘油三酯	TG	2.21	mmol/L	0~1.7	
23 *总胆固醇	TCO	5.15	mmol/L	3.1~5.2	
备注：					
接收者：宋丽娟 接收时间：2018-11-22 07:29:27 操作者：宋丽娟 审核者：宋丽娟					
注：1. 本报告仅对送检标本负责，结果供医生参考。 2. 如对检验结果有疑问，请于报告时间后的3日内与相应科室联系。 3. *项目代指北京市三甲医院检验科通用项目。 4. 检测结果★为危急值，†为低参考值，▲为高参考值，△不在参考值范围内。					

血液生化检验结果报告单（部分）

◎ 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？

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														

- 将 25 mL 自来水倒入 50 mL 烧杯中。
- 用 pH 计或 pH 试纸测试起始的 pH，并作记录。
- 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。

- 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。



- 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。

- 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。

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。

- 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

- 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？
- 缓冲液的 pH 变化为什么与自来水的不同？
- 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？
- 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℃。尽管气温波动范围较大，但健康人的体温始终接近37℃。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。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

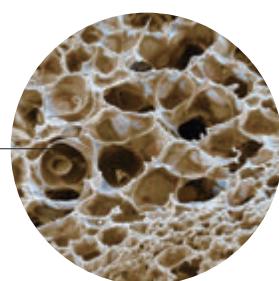
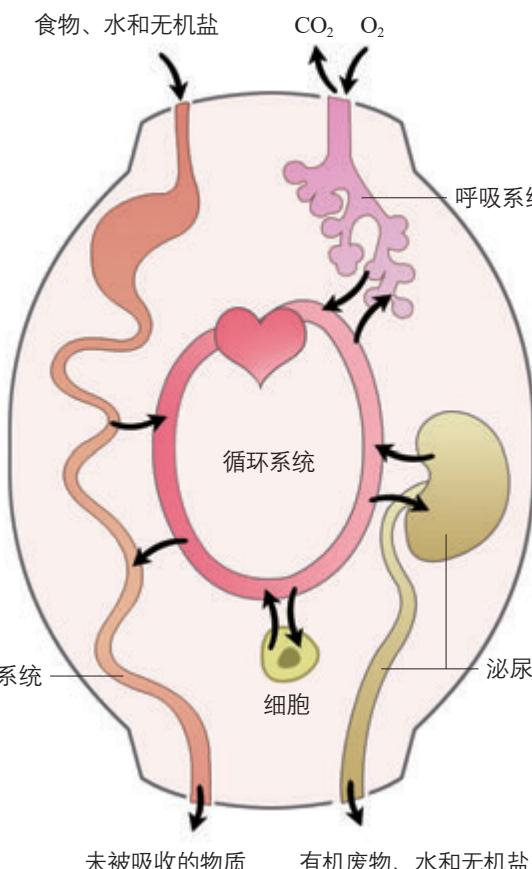
人体各器官、系统协调一致地正常运行，是维持内环境稳态的基础（图1-4）。如果某种器官的功能出现障碍，就会引起稳态失调。例如，肾是形成尿液的器官，当发生肾功能衰竭时，病人

知识链接

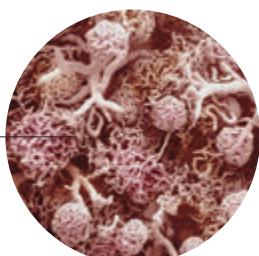
关于体温是如何调节的，参见本书第3章第3节。



小肠绒毛增大了吸收营养物质的表面积



肺泡表面潮湿且伸缩性很大，有利于气体的交换



肾小球是血管球，参与形成原尿

▲ 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？

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

- 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？



- 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？
- 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℃，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。

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。

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 <<<<<<<<<<<<<<<

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。

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) CO₂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

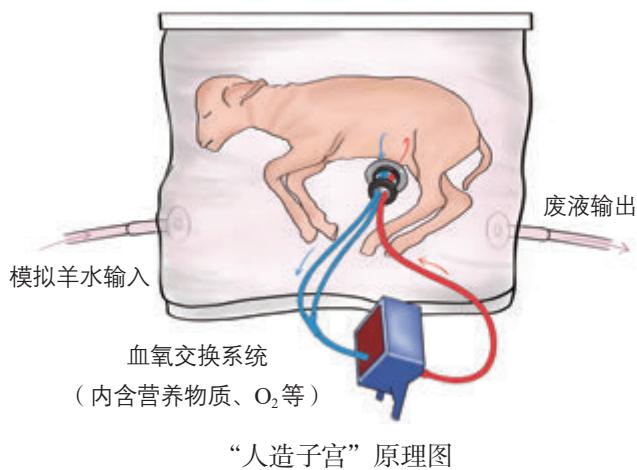
B. 大量出汗会使血浆的pH下降

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（模拟羊水）的大塑料袋，并用它来抚养早产的羊羔，塑料袋外接一个模拟胎盘的血氧交换系统。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？



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

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

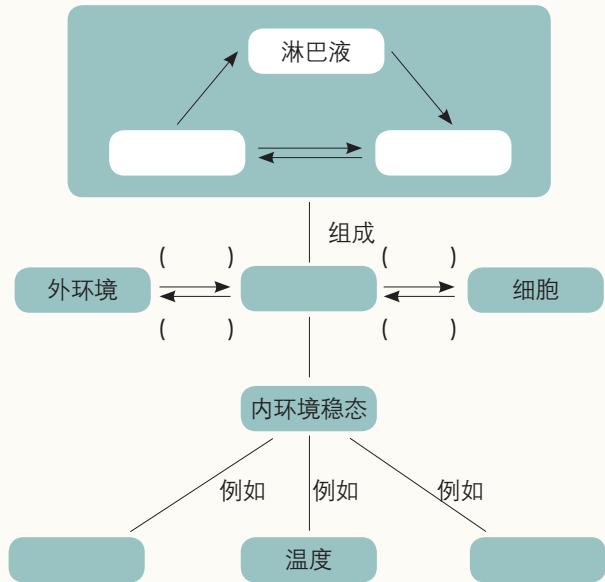
B. 大量消耗葡萄糖，血浆中葡萄糖的浓度会大幅降低

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. “酸碱体质理论”曾在国外甚嚣尘上。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) 如果有生产厂家在售卖饮用水时，宣称碱性水为“健康水”，请你判断：此说法是否可信？你会给周围的人什么建议？

3. 2022年11月，执行我国神舟十五号航天任务的航天员顺利进驻中国空间站，与神舟十四号上的航天员首次实现“太空会师”。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工程项目。

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。

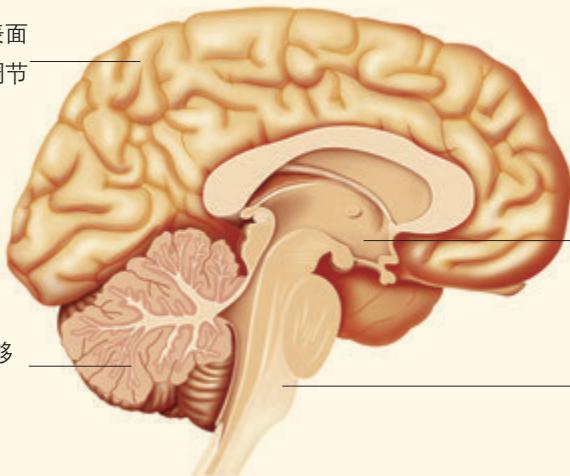
神经系统的基本结构

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。

| 大脑 |

包括左右两个大脑半球，表面是大脑皮层；大脑皮层是调节机体活动的最高级中枢。

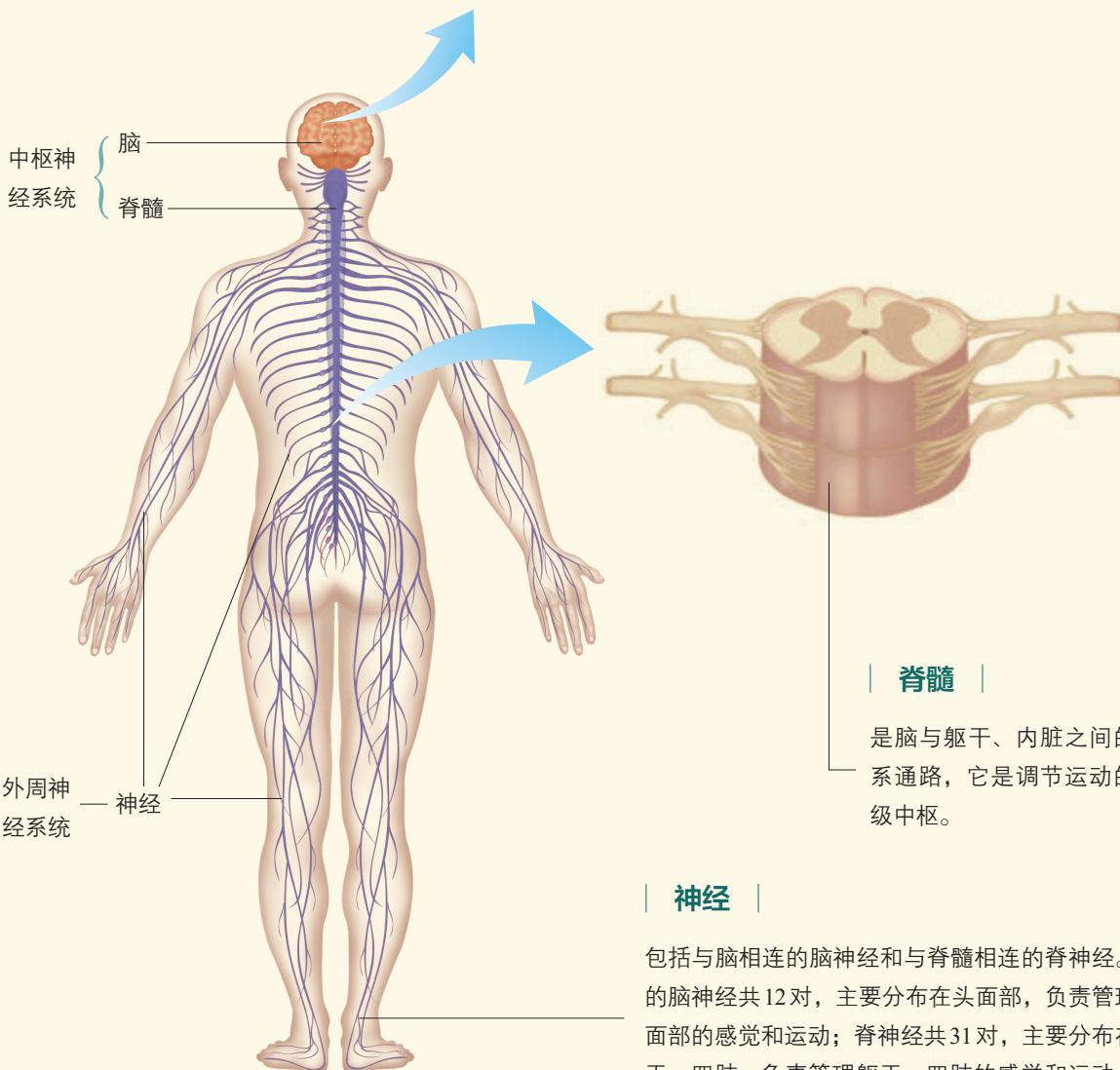


| 下丘脑 |

脑的重要组成部分，其中有体温调节中枢、水平衡的调节中枢等，还与生物节律等的控制有关。

| 小脑 |

位于大脑的后下方，它能够协调运动，维持身体平衡。



| 脑干 |

是连接脊髓和脑其他部分的重要通路，有许多维持生命的必要中枢，如调节呼吸、心脏功能的基本活动中枢。

| 脊髓 |

是脑与躯干、内脏之间的联系通路，它是调节运动的低级中枢。

| 神经 |

包括与脑相连的脑神经和与脊髓相连的脊神经。人的脑神经共12对，主要分布在头面部，负责管理头面部的感觉和运动；脊神经共31对，主要分布在躯干、四肢，负责管理躯干、四肢的感觉和运动。此外，脑神经和脊神经中都有支配内脏器官的神经。

▲ 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）。传入神经将接收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，但如果我们要控制胃肠的蠕动，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。

啊！有蛇！

安全了……



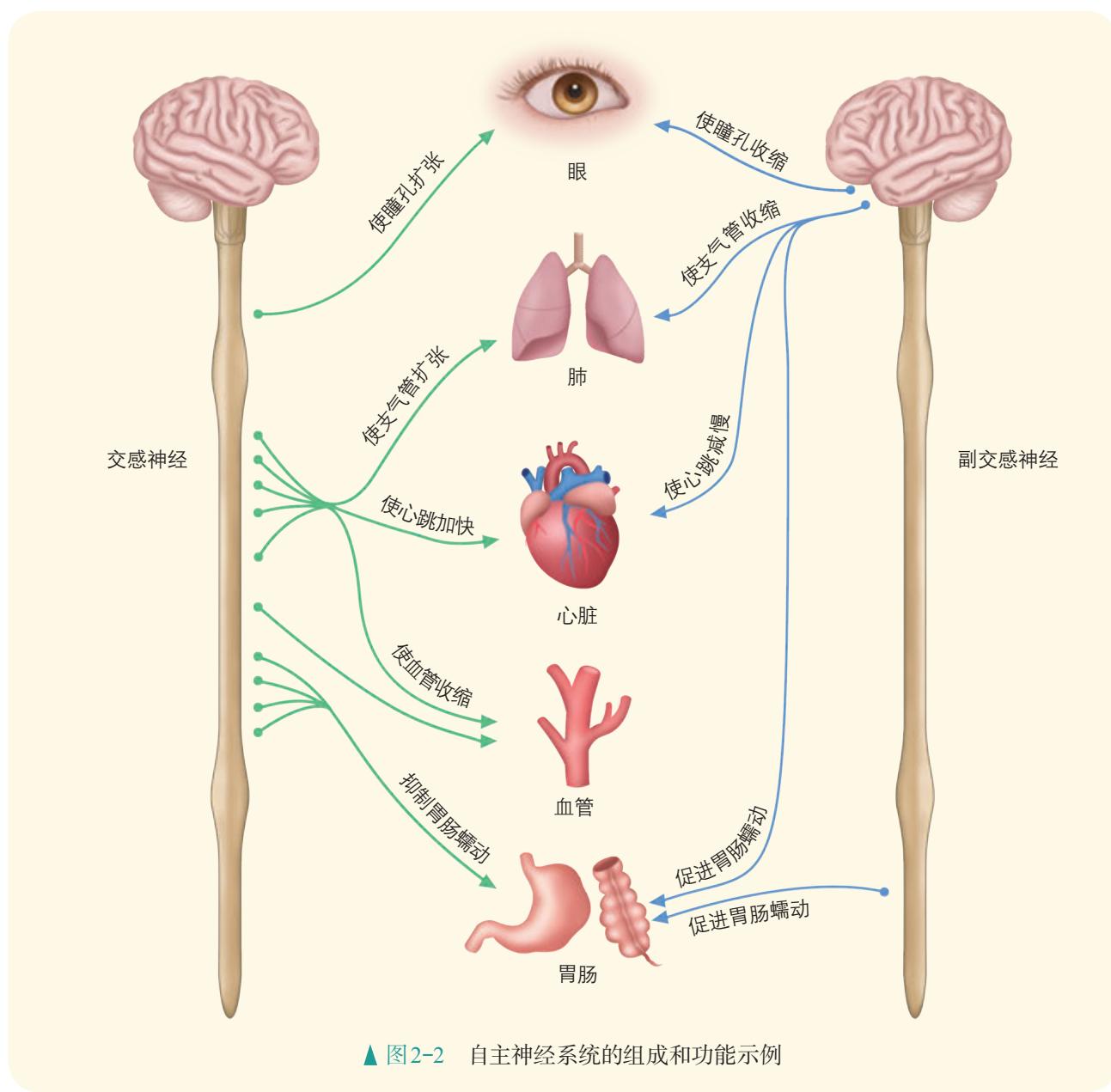
讨论

- 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？
- 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？
- 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）。

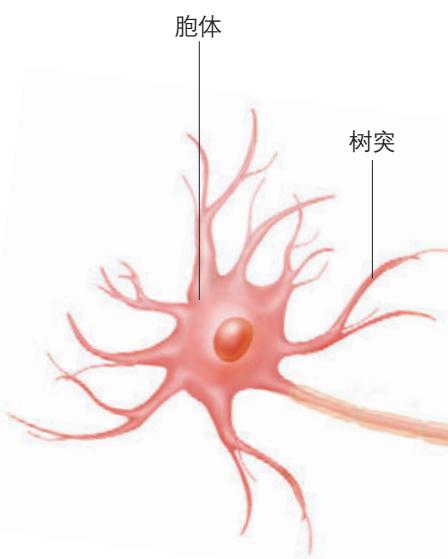
自主神经系统由交感神经 (sympathetic nerve) 和副交感神经 (parasympathetic nerve) 两部分组成，它们的作用通常是相反的（图 2-2）。当人体处于兴奋状态时，交感神经活动占据优势，心跳加快，支气管扩张，但胃肠的蠕动和消化腺的分泌活动减弱；而当人处于安静状态时，副交感神经活动则占据优势，此时，心跳减慢，但胃肠的蠕动和消化液的分泌会加强，有利于食物的消化和营养物质的吸收。交感神经和副交感神经对同一器官的作用，犹如汽车的油门和刹车，可以使机体对外界刺激作出更精确的反应，使机体更好地适应环境的变化。



▲ 图 2-2 自主神经系统的组成和功能示例

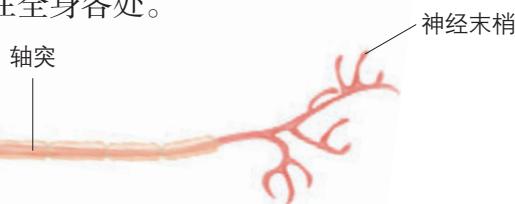
相关信息

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（neuroglial cell）两大类。

神经元是神经系统结构与功能的基本单位，它由胞体、树突和轴突等部分构成（图2-3）。胞体是神经元的膨大部分，里面含有细胞核。树突是胞体向外伸出的树枝状的突起，通常短而粗，用来接收信息并将其传导到胞体。轴突是神经元的长而较细的突起，它将信息从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）中新生神经元的数量；丰富

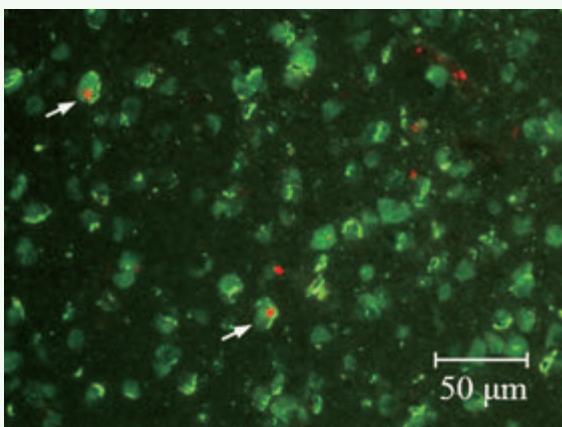
的气味接触可增加嗅球（一个与嗅觉感知相关的脑区）中的新生神经元数量，从而影响气味记忆功能。但应激（如环境温度剧烈变化、缺氧、创伤和精神紧张、焦虑不安）可抑制神经发生。有实验表明，胎儿出生前母体的紧张情绪会影响胎儿出生后海马区的神经发生。

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生神经元的数量



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

- 这一过程是如何发生的？分别涉及了神经系统的哪些结构？
- 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。

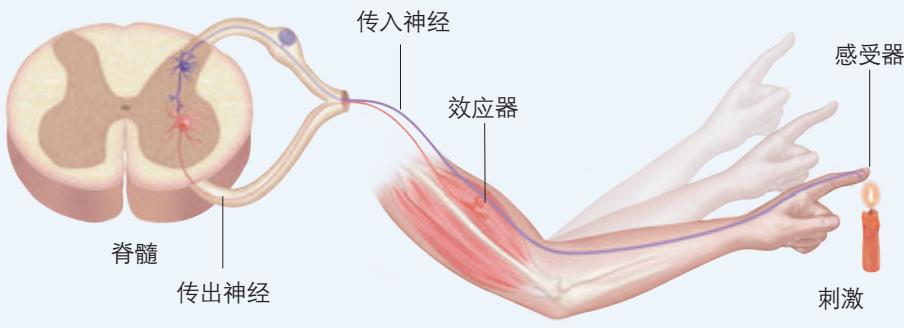
反射与反射弧

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。

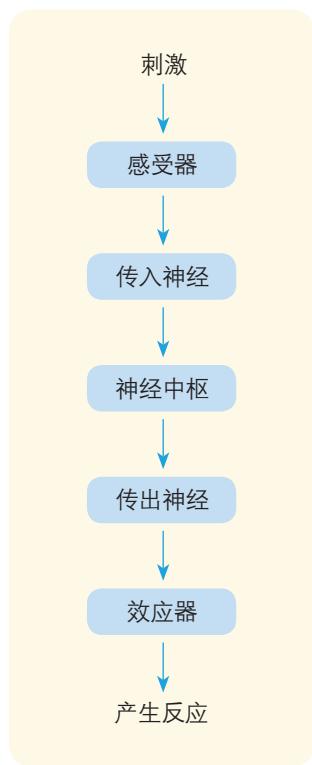


缩手反射示意图

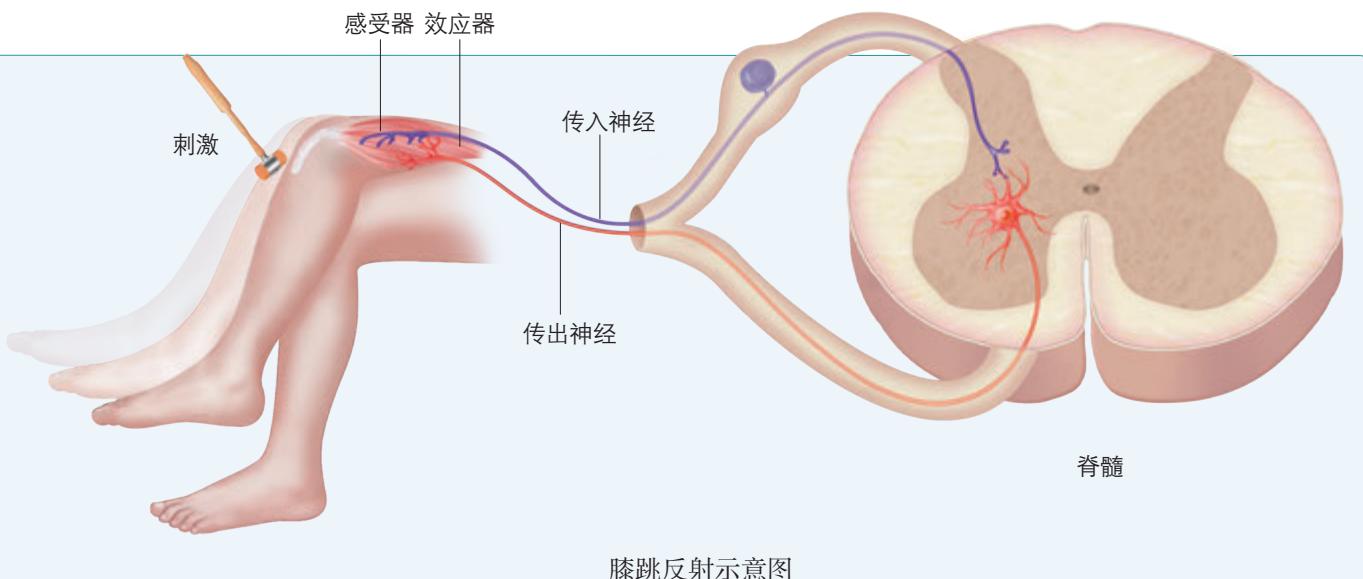
反射弧通常是由感受器、传入神经、神经中枢、传出神经和效应器（传出神经末梢和它所支配的肌肉或腺体等）组成的。反射活动需要经过完整的反射弧来实现，如果反射弧中任何环节在结构、功能上受损，反射就不能完成。体检时医生敲击膝盖下方，如果你小腿正常抬起，不仅说明你下肢参与该反射的功能正常，也说明脊髓中相应中枢是完好的。

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予非条件刺激，条件反射就会逐渐减弱，以至最终完全不出现，这是条件反射的消退。例如，铃声与食物多次结合，

使狗建立了条件反射；如果之后铃声反复单独出现而没有食物，则铃声引起的唾液分泌量会逐渐减少，最后完全没有。条件反射的消退不是条件反射的简单丧失，而是中枢把原先引起兴奋性效应的信号转变为产生抑制性效应的信号，铃声的出现不再预示着食物的到来。因此，条件反射的消退使得动物获得了两个刺激间新的联系，是一个新的学习过程，需要大脑皮层的参与。

在个体的生活过程中，非条件反射的数量是有限的，条件反射的数量则几乎是无限的。条件反射的建立，是动物生存必不可少的。机体不能只依靠食到嘴边才产生进食动作，更不能只在身体遭受伤害时才启动防御反应。条件反射扩展了机体对外界复杂环境的适应范围，使机体能够识别刺激物的性质，预先作出不同的反应。因此，条件反射使机体具有更强的预见性、灵活性和适应性，大大提高了动物应对复杂环境变化的能力。

知识链接 <<<<<<<<<<<<<<<<<<

关于条件反射与学习、记忆的关系，参见本章第5节。

练习与应用

一、概念检测

1. 反射弧是反射的结构基础。判断下列相关表述是否正确。

(1) 反射弧是由神经元组成的。 ()

(2) 所有生物都可以对刺激作出反应，因此都具有反射活动。 ()

(3) 只要反射弧结构完整，给予适当刺激，即可出现反射活动。 ()

2. 如果支配左腿的传入神经及神经中枢完整，而传出神经受损，那么该左腿 ()

A. 能运动，针刺有感觉

B. 能运动，针刺无感觉

C. 不能运动，针刺有感觉

D. 不能运动，针刺无感觉

3. 反射有非条件反射和条件反射之分，下列有关它们的叙述，错误的是 ()

A. 两者都有助于动物适应环境

B. 条件反射是建立在非条件反射基础上的

C. 条件反射是可以消退的，非条件反射一般是永久的

D. 条件反射和非条件反射的形成都需要大脑皮层的参与

二、拓展应用

1. 科研人员用去除脑但保留脊髓的蛙（称为脊蛙）为材料进行反射活动实验，请回答与此有关的问题。

(1) 轻轻刺激脊蛙左后肢的趾部，可观察到该后肢出现屈腿反射。该反射的反射弧组成是_____。

(2) 用针破坏脊髓后，刺激脊蛙左后肢的趾部，该后肢_____发生屈腿反射；如果刺激的是传出神经，该后肢_____发生屈腿反射（填“能”或“不能”）。

(3) 从该实验你可以得出的结论是_____。

(4) 从以上实验结果_____得出“蛙后肢的屈腿反射不受大脑控制”的结论（填“能”或“不能”）。

2. 如果你家里养了猫或狗，要让它在固定的地点大小便，你该怎样训练它呢？



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）。

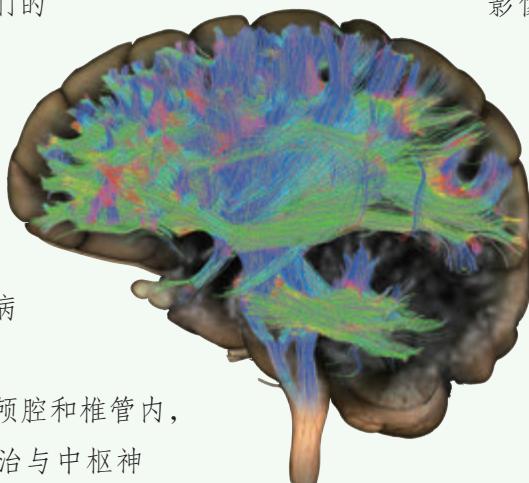
你可能还听说过“B超”和“核磁共振”等名词，虽然它们的成像原理有所不同，对不同系统和部位的诊断价值也不一样，但都是通过所获取的影像来显示人体内部组织器官的形态和生理、病理功能状况的。

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

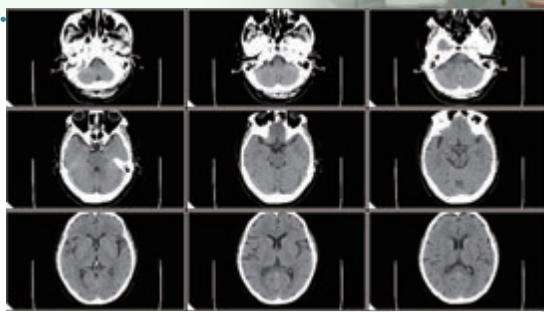
高，对很多疾病可以定性诊断。其实，自从1895年德国物理学家伦琴发现X射线后，X射线就用于对人体进行检查从而帮助医生对疾病进行诊断。随着医学影像学的发展，社会上也出现了一个职业——影像技师。

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

- 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？
- 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

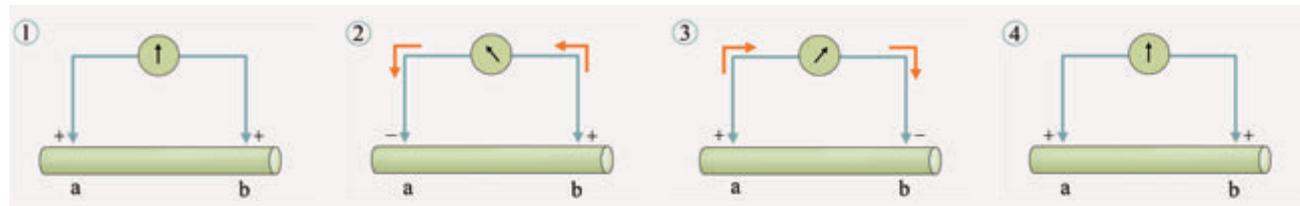
运动员从听到枪响到作出起跑的反应，完成了一系列反射活动。运动员听到信号后神经产生兴奋，兴奋的传导经过了一系列的结构。那么，兴奋在反射弧中是以什么形式传导的？它又是怎样传导的呢？

兴奋在神经纤维上的传导

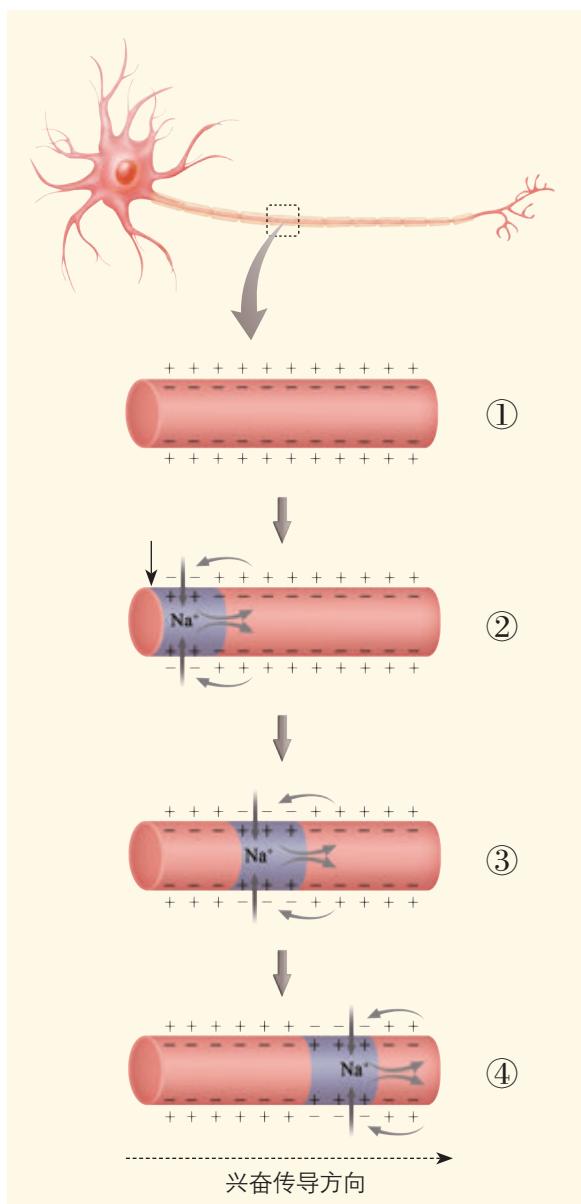
有人做过如下实验：在蛙的坐骨神经上放置两个微电极，并将它们连接到一个电表上。静息时，电表没有测出电位变化（图2-6，①），说明神经表面各处电位相等。当在图示神经的左侧一端给予刺激时，靠近刺激端的电极处（a处）先变为负电位，接着恢复正常电位（图2-6，②、③）；然后，另一电极处（b处）变为负电位，接着又恢复正常电位（图2-6，③、④）。这说明在神经系统中，兴奋是以电信号的形式沿着神经纤维传导的，这种电信号也叫神经冲动（neural impulse）。

◎ 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2-6 神经表面电位差的实验示意图



▲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？

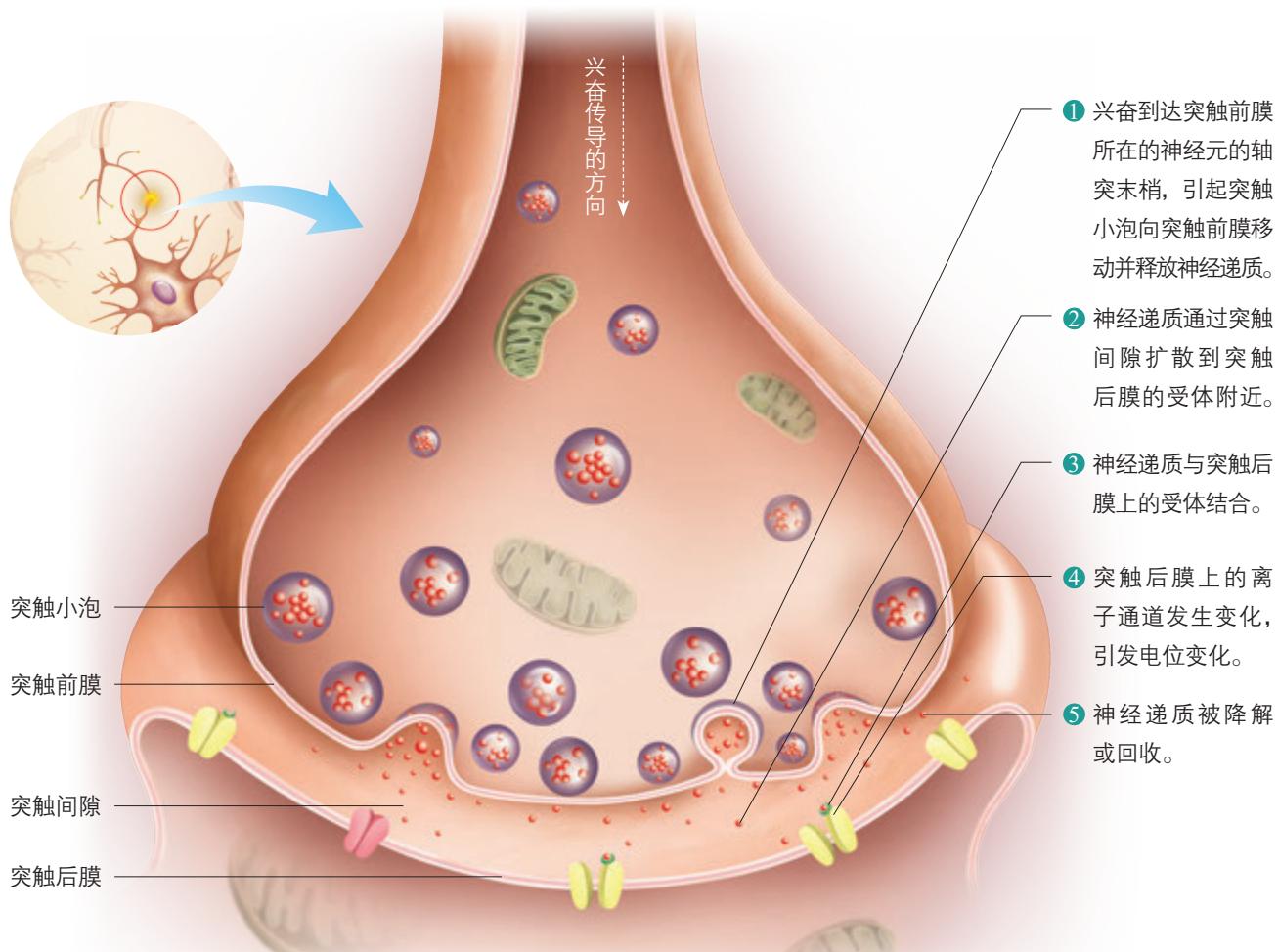
神经元的轴突末梢经过多次分枝，最后每个小枝末端膨大，呈杯状或球状，叫作突触小体。突触小体可以与其他神经元的胞体或树突等相接近，共同形成突触（synapse）。

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中的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，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，为了维护比赛的公平，保护参赛者的身心健康，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，长期吸食易产生触幻觉与嗅幻觉，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、疲惫、失眠、厌食等症状。

讨论

- 服用可卡因为什么会使上瘾？
- 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？
- 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。

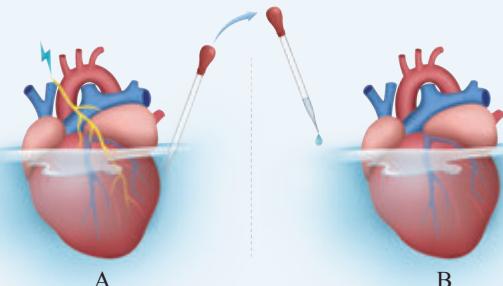
思维训练

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元持续处于静息状态
- 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?



生物科学史话

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来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

- 为什么眼前有东西飞来时，眼睛会不受控制地眨一下？
- 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？

相关信息

眼外伤是单眼失明、视力损害的主要原因，因此，要注意预防。例如，放置、管理好锋利的用具，不玩危险玩具（如弹弓），在体育运动或娱乐活动中避免伤及眼部等。

 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。

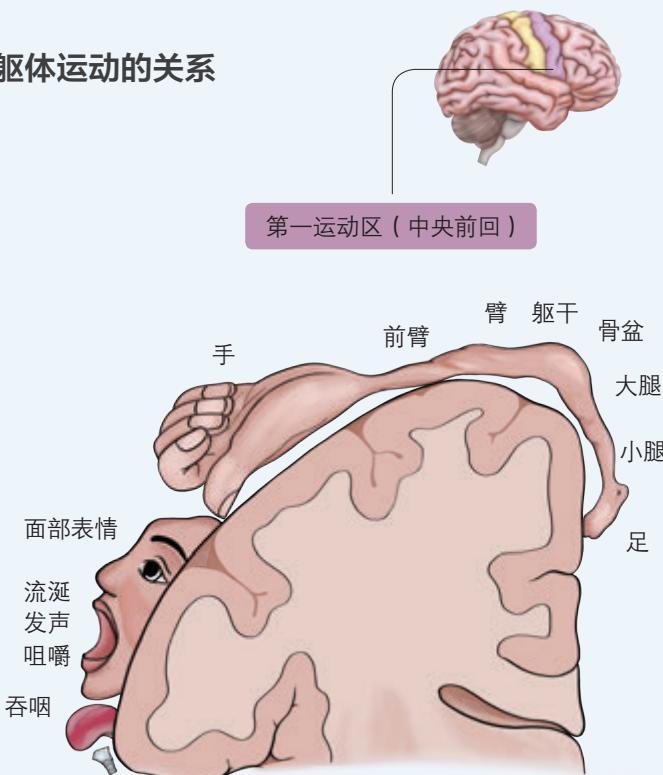
资料2 右图是大脑皮层第一运动区与躯体各部分关系示意图。

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？

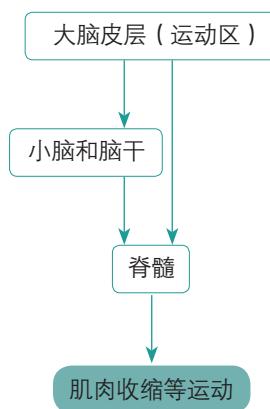
2. 躯体各部分的运动调控在大脑皮层有没有对应的区域？如果有，它们的位置关系有什么特点？

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。



▲ 图2-10 躯体运动分级调节示意图

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。

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，偶尔也可能会“憋尿”。上课的时候如果你略有尿意但不是很急，你可以等到下课再去上厕所；观看演出前，即使你没有明显尿意，但为了避免中途去厕所，你可能会选择进场前去排一次尿。

资料3 婴儿常尿床。有些成人由于外伤

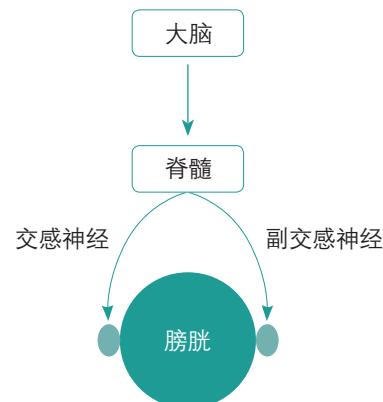
等会出现像婴儿那样尿床的情况。

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。



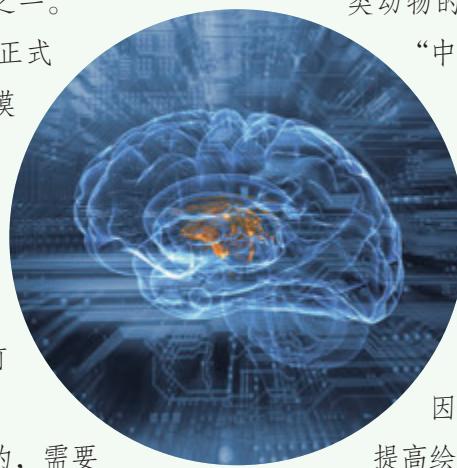
生物科技进展

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活动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。