



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定



“互联网+教育”新形态一体化教材

生理学基础

(第二版)

主 编 梅建国 彭 渝

生理学基础
(第二版)

主 编 梅建国 彭 渝

北京出版集团
北京出版社



扫描二维码
共享立体资源

北京出版集团
北京出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

生理学基础 / 梅建国, 彭渝主编. — 2 版. — 北京:
北京出版社, 2023.9

ISBN 978-7-200-17344-4

I. ①生… II. ①梅… ②彭… III. ①人体生理学—
中等专业学校—教材 IV. ① R33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2022) 第 131409 号

生理学基础 (第二版)

SHENGLIXUE JICHU (DI-ER BAN)

主 编: 梅建国 彭 渝
出 版: 北京出版集团
北京出版社
地 址: 北京北三环中路 6 号
邮 编: 100120
网 址: www.bph.com.cn
总 发 行: 北京出版集团
经 销: 新华书店
印 刷: 定州启航印刷有限公司
版 印 次: 2023 年 9 月第 2 版 2023 年 9 月第 1 次印刷
成品尺寸: 185 毫米 × 260 毫米
印 张: 15.5
字 数: 246 千字
书 号: ISBN 978-7-200-17344-4
定 价: 42.00 元

教材意见建议接收方式: 010-58572341 邮箱: jiaocai@bphg.com.cn

如有印装质量问题, 由本社负责调换

质量监督电话: 010-82685218 010-58572341 010-58572393

目 录

单元一 绪论 1

- 任务一 概述····· 2
- 任务二 生命的基本特征····· 4
- 任务三 机体与环境····· 6
- 任务四 机体生理功能的调节····· 8

单元二 细胞的基本功能 13

- 任务一 细胞膜的基本功能····· 14
- 任务二 细胞的生物电现象····· 20
- 任务三 肌细胞的收缩功能····· 24

单元三 血液 30

- 任务一 血液的组成和理化特性····· 31
- 任务二 血浆····· 32
- 任务三 血细胞····· 34
- 任务四 血液凝固与纤维蛋白溶解····· 40
- 任务五 血量、血型与输血····· 46

单元四 血液循环 52

- 任务一 心脏生理····· 53
- 任务二 血管生理····· 66
- 任务三 心血管活动的调节····· 78

单元五 呼吸 87

任务一 肺通气	88
任务二 气体的交换和运输	96
任务三 呼吸运动的调节	101

单元六 消化与吸收 106

任务一 消化管各段的消化功能	107
任务二 吸收	117
任务三 消化器官活动的调节	120

单元七 能量代谢和体温 124

任务一 能量代谢	125
任务二 体温	129

单元八 肾的排泄 137

任务一 尿生成的过程	138
任务二 影响尿生成的因素	146
任务三 尿液及其排放	151

单元九 感觉器官的功能 155

任务一 概述	156
任务二 眼的视觉功能	157
任务三 耳的听觉、位置觉功能	166

单元十 神经系统的功能 172

任务一 神经系统功能活动的一般规律	173
任务二 神经系统的感觉功能	179
任务三 神经系统对躯体运动的调节	183



任务四 神经系统对内脏活动的调节·····	191
任务五 脑的高级功能与脑电活动·····	195

单元十一 内分泌 202

任务一 概述·····	203
任务二 下丘脑与垂体·····	206
任务三 甲状腺和甲状旁腺·····	209
任务四 胰岛·····	214
任务五 肾上腺·····	216

单元十二 生殖 222

任务一 男性生殖·····	223
任务二 女性生殖·····	223

实验 229

实验一 蛙类反射弧分析·····	229
实验二 ABO 血型鉴定·····	230
实验三 动脉血压测量·····	231
实验四 瞳孔反射·····	232
实验五 视敏度测定·····	233
实验六 色盲检查·····	234
实验七 腱反射检查·····	235

参考答案 236

参考文献 238



单元二 细胞的基本功能

学习目标

» 理论目标

1. 熟悉细胞膜物质转运的主要方式及特点。
2. 了解静息电位和动作电位的产生机制。
3. 了解骨骼肌的收缩原理、收缩形式。

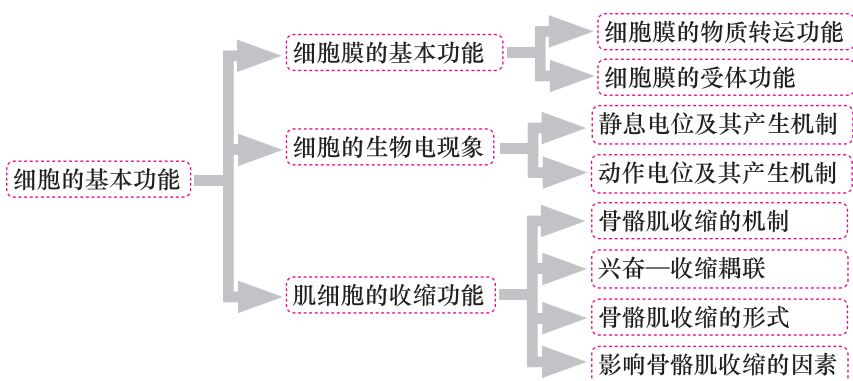
» 能力目标

1. 能够用物质转运和兴奋性的知识点来解释生理现象。
2. 能够应用所学的肌细胞收缩功能的基本知识。
3. 能够归纳骨骼肌纤维收缩的过程。

» 素质目标

通过本单元的学习，能够形成实事求是、科学严谨的作风和创新意识，另外，通过小组成员的相互配合，形成精诚协作的团队精神。

知识导图





细胞是人体最基本的功能单位。机体各种生理活动都是在细胞的基础上进行的。因此，要阐明正常人体生命活动的现象、过程、机制、影响因素等，必须首先从细胞生理开始学习。人体不同部位的细胞执行不同的功能，但许多基本的功能活动是共同的。本单元主要介绍细胞具有的共同的基本功能，包括细胞膜的物质转运功能、生物电现象和肌细胞的收缩功能。

课程思政

“人民”与“国家”

把一个细胞比作人民，机体就是民族和国家，细胞的正常生命活动是机体健康的基础，而细胞生命活动的维持又离不开机体。

习近平总书记在中国共产党第二十次全国代表大会报告中指出：人民健康是民族昌盛和国家强盛的重要标志，要深入贯彻以人民为中心的发展思想，使人民群众获得感、幸福感、安全感更加充实、更有保障、更可持续，共同富裕取得新成效。

任务一 细胞膜的基本功能

一、细胞膜的物质转运功能

细胞膜是具有特殊结构和功能的生物膜，也称为质膜。它把细胞内容物和细胞的周围环境分隔开来，在细胞和它所处的环境之间起到屏障作用，使得细胞的内容物不会流失，其化学组成保持相对稳定。细胞生命活动所需的氧气和营养物质，以及二氧化碳和代谢废物，都必须通过细胞膜进出细胞，这就涉及物质的跨膜转运过程。因此，细胞膜必然是一个半透性膜，它允许某些物质或离子通过，但又能严格地限制其他一些物质的进出，从而保持细胞内成分相对独立和稳定。

电子显微镜下可见到细胞膜分为颜色较深的内外两层和颜色较浅的中间层，这三层称为单位膜。20世纪70年代初期Singer和Nicholson提出的膜结构的液态镶嵌模型，已得到大家的公认。这一模型学说的基本内容是：膜的共同结构特点是以液态的脂质双分子层为基架，其中镶嵌着许多具有不同结构和生理功能的蛋白质（图2-1）。



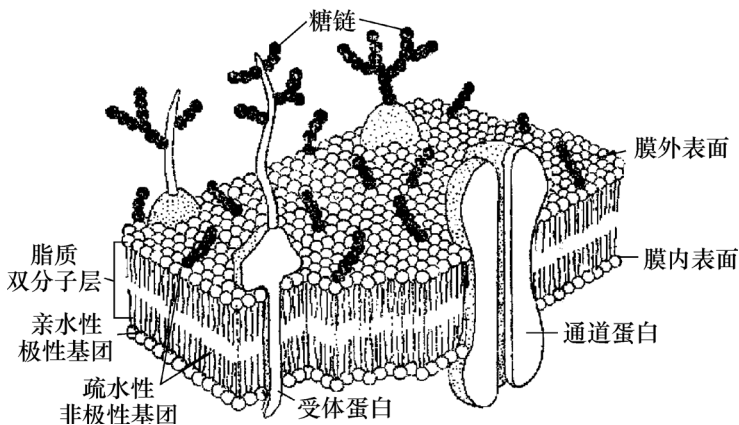


图 2-1 细胞膜液态镶嵌模型

以脂质双分子层为基架的细胞膜，只能允许脂溶性强的物质和少数分子很小的水溶性物质直接通过，大部分水溶性溶质分子和所有离子的跨膜转运需要镶嵌在膜中的蛋白质介导完成。大分子物质或团块物则以复杂的入胞或出胞方式进出细胞。细胞膜的物质转运有以下几种方式。

考点提示

四种转运方式、转运的物质及其特点的比较。

（一）单纯扩散

脂溶性和少数分子很小的水溶性物质，由膜的高浓度一侧向低浓度一侧转运的过程，称为单纯扩散。如体液中的 O_2 、 CO_2 、 N_2 、乙醇、尿素等物质是以此方式进出细胞的。扩散的方向和速度，除了取决于它们在膜两侧的浓度差外，还要看膜对该物质的通透性。通透性取决于物质的脂溶性和分子大小。如 O_2 、 CO_2 、 N_2 等为脂溶性小分子物质，扩散速度很快；乙醇、尿素等为分子很小的水溶性物质，扩散速度略慢。而分子较大的水溶性物质，如葡萄糖，则很难以单纯扩散的方式通过细胞膜。

（二）易化扩散

非脂溶性或脂溶性差的一些小分子物质（如葡萄糖、氨基酸等）和离子物质（ Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 等），在膜结构中一些特殊蛋白质的“协助”下，由膜的高浓度一侧向低浓度一侧转运的过程称为易化扩散。参与易化扩散的膜蛋白质有两种类型，即通道蛋白和载体蛋白。

1. 由通道介导的易化扩散

细胞膜上有结构特异的通道蛋白质，简称通道。它们在一定的条件下结构发生改变，在其内部形成孔道，使被转运的物质能顺电位梯度或顺浓度梯度通过细胞膜。通道关闭时，该物质转运停止。通道具有选择性， Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 等一些离子就是通过各自的通道转运的（图2-2）。这些离子通道可分别称为 Na^+ 通道、 K^+ 通道、 Ca^{2+} 通道、 Cl^- 通道等。

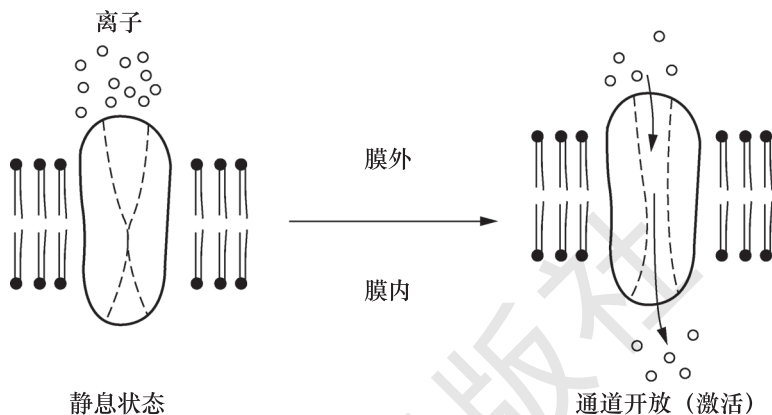


图2-2 由通道介导的易化扩散示意图

通道的开放和关闭受一定的因素控制。由化学因素（如激素、递质）控制的通道，称为“化学门控通道”；依靠膜两侧电压改变（如膜电位）打开的通道称为“电压门控通道”。

知识链接

萨克曼（B. Sakmann），德国科学家，细胞生理学家，与德国细胞生理学家内尔合作应用膜片钳技术，发现了细胞膜存在离子通道，而共同获得1991年诺贝尔生理学或医学奖。

2. 由载体介导的易化扩散

细胞膜结构中有特异的载体蛋白质，简称载体，它们有与某种被转运物质相结合的位点，在物质浓度高一侧与被转运物质特异性地结合，通过本身构型改变，将其移向浓度低的另一侧，再释放出来（图2-3）。如葡萄糖、氨基酸等物质的进出细胞，就是由相应的载体转运的。

以载体为中介的易化扩散具有以下特征：①特异性：一种载体一般只能转运某种特定结构的物质，例如葡萄糖载体只转运葡萄糖，氨基酸载体只



转运氨基酸。②饱和现象：由于某种物质的载体数目和结合位点数目是固定的，所以当被转运物质增加到一定程度时，转运量不随之增加。③竞争性抑制：某一载体同时转运两种或两种以上结构类似的物质时，一种物质浓度增加，另一种物质的转运量将会减少。

在单纯扩散和易化扩散过程中，物质是顺浓度梯度或电位梯度而扩散的，细胞本身不主动消耗能量，故属于被动转运。

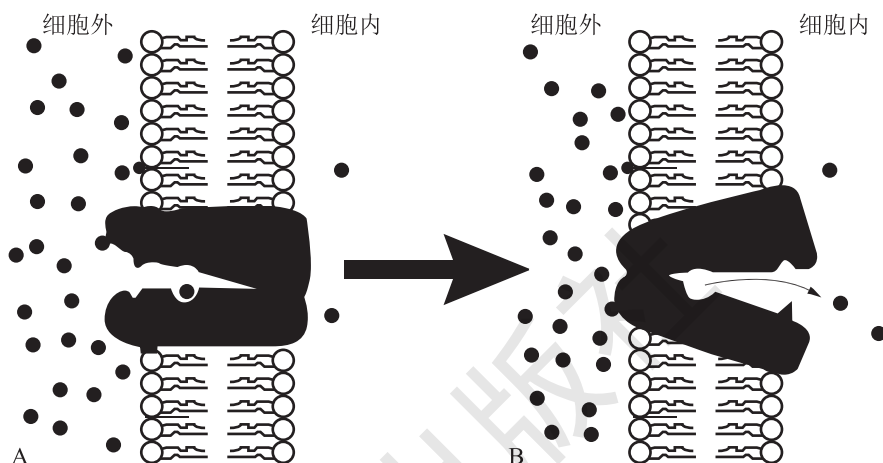


图 2-3 由载体介导的易化扩散模式图

（三）主动转运

在细胞膜上蛋白质的帮助下，通过本身的耗能过程，将某种物质逆浓度梯度和（或）电位梯度进行跨膜转运的过程，称为主动转运（图2-4）。主动转运的结果是被转运物质在高浓度一侧浓度进一步升高，而在低浓度一侧则愈来愈少。膜上的蛋白质又称为“泵蛋白”（简称“泵”）。这种蛋白质具有三磷酸腺苷（ATP）酶的作用，当其被激活时，可以分解ATP，释放能量，使物质逆浓度梯度或电位梯度转运。

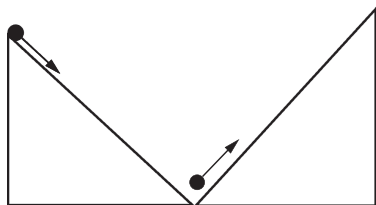


图 2-4 物质的被动转运和主动转运原理示意图

泵蛋白有特异性，按其所转运物质的种类可分为钠泵、钾泵、钙泵和碘泵等。其中比较重要的是钠泵。钠泵又称钠-钾泵，钠-钾泵实际上是一种 Na^+ - K^+ 依赖式ATP酶。当细胞内 Na^+ 浓度增高和（或）细胞外 K^+ 浓度增高

时，钠-钾泵被激活，消耗ATP，将细胞外 K^+ 逆浓度梯度运到细胞内，同时将细胞内 Na^+ 逆浓度梯度转运到细胞外，从而保持了细胞内高 K^+ 和细胞外高 Na^+ 的不均衡离子分布。这种细胞内外 Na^+ 、 K^+ 分布不均衡性是维持细胞兴奋性的重要机制。各种细胞的细胞膜上普遍存在着钠-钾泵。

考点提示

被动转运顺浓度梯度或电位梯度转运物质不消耗能量，主动转运逆浓度梯度或电位梯度转运物质消耗能量。

（四）出胞与入胞

对一些大分子物质或固态、液态的物质团块，可通过出胞和入胞进行转运。

1. 出胞

出胞是指细胞内的大分子或团块物质以分泌囊泡的形式排出细胞的过程。出胞主要见于细胞的分泌活动，如内分泌腺将激素分泌到细胞外液中、消化腺分泌消化酶等。分泌过程中，细胞内的分泌囊泡逐渐向细胞膜内侧移动，在某点接触膜后相互融合，并在融合处出现裂口，将囊泡内容物一次性地全部排空，而囊泡的膜也就变成了细胞膜的组成部分（图2-5）。

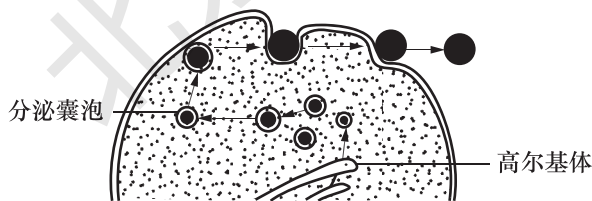


图 2-5 出胞作用模式图

2. 入胞

入胞指细胞外某些大分子物质或物质团块（如侵入体内的细菌、病毒、异物或血浆中脂蛋白颗粒、大分子营养物质等）进入细胞内的过程。入胞进行时，首先是胞外物质与细胞膜接触后，引起该处的质膜发生内陷，将外来物质包围和封存起来，再出现膜结构的断离，最后异物连同包被它的那一部分质膜整个地进入细胞质中，形成吞噬小泡。在细胞质中，溶酶体可将进入的某些物质消化掉。固体物质的入胞称为吞噬，液体物质的入胞称为吞饮（图2-6）。

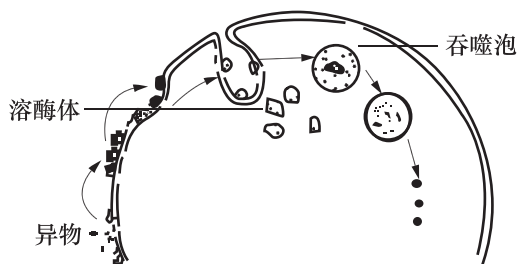


图 2-6 入胞作用模式图

二、细胞膜的受体功能

(一) 受体与配体

受体是细胞膜或细胞内的一类特殊蛋白质，它们能选择性地与激素等化学物质相结合，而产生一定的生理效应。受体按其分布的部位不同，可分为膜受体、胞浆受体、核受体，其中膜受体占绝大多数。配体是能与受体发生特异性结合并产生效应的物质，如激素、神经递质和药物等。受体与配体的结合具有特异性、饱和性和可逆性等特点。



考点提示

受体的概念。

(二) 受体的功能

受体的功能一是能识别和结合体液中配体；二是能转发化学信息。受体与激素等化学物质结合后，激活腺苷酸环化酶，在 Mg^{2+} 的共同催化下，细胞内的ATP被转变为环一磷酸腺苷（cAMP）。cAMP可激活细胞内许多酶系统，产生生理效应。



课程思政

巴甫洛夫是著名的生理学家，提出了条件反射的概念。在生命的最后一刻，他在门上张贴“巴甫洛夫很忙，巴甫洛夫正在死亡，谢绝探访”的便条，密切注视着自己越来越糟糕的身体状况，不断地向坐在身边的助手口授生命衰变的感觉，把死亡过程与事业联系起来，不放弃最后获取科研资料的机会。死亡成了他工作的过程和他科学事业的一部分。作为新时代的青年，要学习大师的工匠精神和奉献精神，培养科学精神和实践创新意识。



任务二 细胞的生物电现象

生物电现象是指生物细胞生命过程中所表现出的电变化，简称生物电。它是普遍存在又十分重要的生命现象，并与细胞兴奋性和传导有着密切关系。

人体的任何一个细微活动，如心脏跳动、大脑思维、肌肉收缩等，都伴随着生物电的产生和变化。临床上用放置于体表一定部位的电极对这种电变化进行引导并将其记录下来，这就成为心电图、脑电图、肌电图等临床诊断用的体表电图，成为发现、诊断和估量疾病进程的重要手段。

现以神经纤维为例介绍细胞的生物电现象。

一、静息电位及其产生机制

（一）静息电位

静息电位指细胞未受刺激时存在于细胞膜内外两侧的电位差。实验测定，将示波器的两个测量电极放在细胞膜表面的任意两点时，示波器的光点在零点做横向扫描，这表明细胞表面各处的电位是相等的。如果将其中的一个微电极刺入细胞内，则光点立刻从零位下降到 -90 mV ，并以此水平作横向扫描（图2-7），这说明细胞膜内外有电位差存在。如果规定膜外电位是 0 mV ，膜内电位则为负值（ -90 mV ），故称内负外正状态。细胞在安静时，保持比较稳定的内负外正的状态，称为极化。静息电位和极化是一个现象的两种表达方式，它们都是细胞处于静息状态的标志。以静息状态为准，膜内电位数值向负值增大的方向变化称为超极化；膜内电位数值向负值减小的方向变化称为去极化；去极化至零电位后如进一步变为正值，则称为反极化或超射；细胞发生去极化后向原先的极化方向恢复，称为复极化。

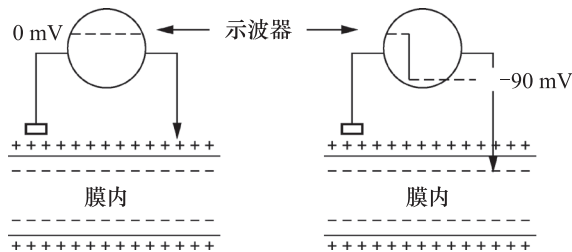


图 2-7 静息电位示意图

**考点提示**

静息电位的概念及产生原理，极化、去极化、超极化、复极化的概念。

（二）静息电位产生的机制

静息电位产生的基本原因是离子的跨膜转运。产生离子扩散的条件有两个：①细胞膜内外离子分布不均衡。膜内大分子有机负离子（ A^- ）、 K^+ 高于膜外，细胞内 K^+ 浓度约为膜外的30倍；膜外 Cl^- 、 Na^+ 浓度高于膜内，细胞外 Na^+ 的浓度约为膜内的10倍。②在不同情况下，细胞膜对各种离子的通透性不同。在静息状态下，膜对 K^+ 的通透性大，对 Na^+ 的通透性很小，对 A^- 则无通透性。

细胞内外 K^+ 的不均衡分布和安静状态下细胞膜主要对 K^+ 有通透性， K^+ 必然会向膜外扩散，膜内带负电荷的大分子 A^- 由于电荷异性相吸的作用，也应随 K^+ 外流，但因细胞膜对 A^- 无通透性则不能移出细胞。于是随着 K^+ 的移出，电位出现膜内变负而膜外变正的状态。

K^+ 的这种外向扩散并不能无限制地进行，这是因为移到膜外的 K^+ 所造成的内负外正的电场力将对 K^+ 的继续外移起阻碍作用，当促使 K^+ 外移的膜两侧浓度差与阻碍 K^+ 外移的电场力相等时，将不会再有 K^+ 的跨膜净移动，而由已移出的 K^+ 形成的膜内外电位差也稳定在某一数值，即为静息电位。

故静息电位主要是 K^+ 外流形成的电-化学平衡电位。

二、动作电位及其产生机制

（一）动作电位

细胞受到有效刺激时，在静息电位的基础上发生一次可传播的电位变化，称为动作电位。动作电位是细胞兴奋的标志。

用图2-7装置进行观察，当神经纤维在安静状况下受到一次短促的阈刺激或阈上刺激时，膜内原来存在的负电位将迅速消失，并且进而变成正电位，即膜内电位在短时间内可由原来的 -90 mV 变到 $+20\sim+40\text{ mV}$ 的水平，由原来的内负外正变为内正外负的反极化状态。但是，由刺激所引起的这种膜内外电位的倒转只是暂时的，很快就出现膜内电位的下降，恢复到原来的极化状态。由此可见，动作电位实际上是膜受到有效刺激后在原有的静息电



位基础上发生的一次膜两侧电位的快速而可逆的倒转和复原过程。

不同组织细胞受刺激后产生的动作电位具有不同的形态，以神经纤维为例，动作电位一般在0.5~2.0 ms的时间内完成，图形上表现为尖峰状，因而又称为锋电位。其动作电位变化曲线包括上升支（又称去极相）和下降支（又称复极相）。在锋电位下降支最后恢复到静息电位水平以前，膜两侧电位还要经历一些微小而较缓慢的波动，称为后电位（图2-8）。

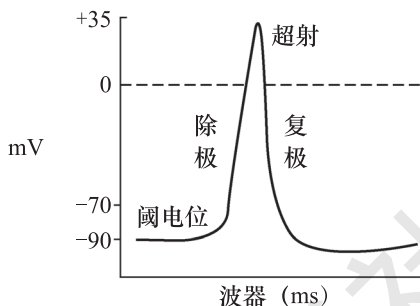


图 2-8 动作电位示意图

知识链接

大量事实表明，各种可兴奋细胞处于兴奋状态时，虽然可能有不同的外部表现，但它们都有一个共同的、最先出现的反应，就是动作电位。既然动作电位是大多数可兴奋细胞受刺激时共有的特征性表现，因此在近代生理学中，兴奋性被理解为细胞在受刺激时产生动作电位的能力，而“兴奋”一词就成为产生动作电位的过程或动作电位的同义语了。只有那些在受刺激时能出现动作电位的组织，才能称为可兴奋组织；只有组织产生了动作电位，才能说组织产生了兴奋。

（二）动作电位产生机制

1. 上升支

前面已经提到，细胞外 Na^+ 的浓度约为膜内的10倍，使 Na^+ 具有由细胞外向细胞内移动的趋势，但在静息状态下，膜对 Na^+ 的通透性很小，故未能实现。当细胞受到一定强度的刺激时，首先是受刺激部位细胞膜上少量 Na^+ 通道被激活而开放， Na^+ 依靠其浓度梯度由细胞外流入细胞内。 Na^+ 的流入使膜内电位负值减小，达到一定数值后，可引起 Na^+ 通道快速大量开放， Na^+ 迅速大量内流，导致膜内电位负值急剧减小，进而出现正电位，形成了内正外负的反极化状态。当内流的 Na^+ 在膜内形成的正电位足以阻止 Na^+ 的净内流时，



Na^+ 净内流停止。因此，可以说动作电位上升支主要是 Na^+ 内流形成的电-化学平衡电位。

2. 下降支

细胞膜的 Na^+ 通道迅速关闭，膜对 K^+ 通透性增大，于是 Na^+ 内流停止，细胞内的 K^+ 顺其浓度梯度快速外流，导致膜内电位负值增大直至恢复到静息时的数值。所以下降支主要是膜对 K^+ 的通透性增加，导致 K^+ 外流引起的。

细胞产生一次动作电位，总有一部分 Na^+ 在去极化时进入细胞内，一部分 K^+ 在复极化时扩散到细胞外，这就激活了钠泵的活动，将去极化时进入膜内的 Na^+ 泵出，同时也将复极化时逸出膜外的 K^+ 泵入，恢复兴奋前原有的离子分布不均衡状态。

（三）动作电位的引起和传导

1. 动作电位的引起

细胞受刺激时，膜电位负值减小，产生去极化，当膜电位去极化达到某一临界值，引起 Na^+ 通道快速大量开放时，才能引发一次动作电位。这一能够引起 Na^+ 通道大量开放，从而引发动作电位的临界膜电位称为阈电位。阈电位比正常静息电位的绝对值小 $10\sim 20\text{ mV}$ 。阈电位表示，要引起组织兴奋，外来刺激必须使膜去极化达到这个临界值。

知识链接

阈电位是用膜本身去极化的临界值来描述动作电位的产生条件。阈强度是作用于标本时能使膜的静息电位去极化到阈电位的外加刺激的强度。

可兴奋细胞受一个阈下刺激，虽不能产生动作电位，但可在受刺激的膜局部产生较小的去极化，称为局部反应或局部兴奋。局部兴奋不能在膜上作远距离传播，但可以互相叠加起来，从而就有可能导致膜去极化达阈电位，爆发动作电位，这就是总和现象。

2. 动作电位的传导

细胞膜因受到有效刺激而出现了动作电位，该处膜两侧电位由静息时的内负外正变为内正外负，但和该处相邻细胞膜仍处于安静时的极化状态，于是相邻的部位间由于电位差的存在而有电荷移动，产生局部电流。结果造成未兴奋段的膜去极化，达到阈电位时，该段出现动作电位。所谓动作电位的



传导，实际是已兴奋的膜部分通过局部电流“刺激”了未兴奋的膜部分，使之出现动作电位。这样的过程在膜表面连续进行下去，就表现为动作电位在整个细胞的传导（图2-9）。

动作电位在神经纤维上的传导，称为神经冲动。

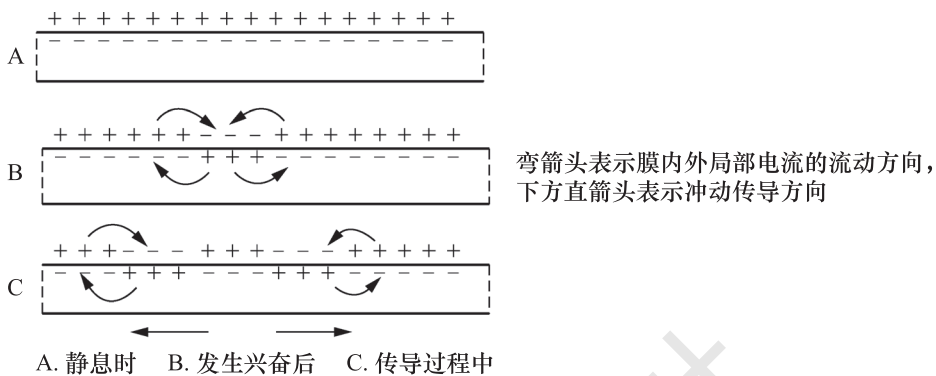


图 2-9 动作电位在神经纤维上的传导模式图

3. 动作电位传导的特点

①不衰减性：动作电位传导时，不会因距离增大而幅度减小。②双向性：动作电位可以从受刺激的部位向相反的两个方向传导。③“全或无”现象：动作电位可能因刺激过弱而不出现，但动作电位一旦发生，就始终保持某种固有的大小和波形，不会随刺激的强度增大而增大幅度。

考点提示

动作电位产生的条件及传导特点。

任务三 肌细胞的收缩功能

人体各种形式的运动主要由各种肌细胞（骨骼肌、心肌、平滑肌）的收缩活动来完成。不同肌组织在功能和结构上各有特点，但其收缩的机制是相似的。本任务以骨骼肌为例，介绍肌细胞的收缩功能。

一、骨骼肌收缩的机制

骨骼肌收缩的机制目前多用“肌丝滑行学说”来解释。其主要内容是：骨骼肌细胞的肌原纤维是由粗、细两组与其走向平行的蛋白丝组成，肌肉的



缩短与伸长均通过粗、细肌丝在肌节内的滑动而发生，它使肌节长度缩短或伸长，肌丝本身的长度并没有变化。

（一）肌丝的分子组成

肌细胞（肌纤维）由许多纵向并列的肌原纤维组成，肌原纤维由粗、细肌丝构成。粗肌丝由肌球蛋白（也称肌凝蛋白）分子构成，其球形的头部伸出粗肌丝表面，形成横桥。横桥具有ATP酶的作用，并有与细肌丝上肌纤蛋白结合的位点。细肌丝由肌纤蛋白、原肌凝蛋白和肌钙蛋白组成。在肌肉舒张时，原肌凝蛋白的位置正好在肌纤蛋白与横桥之间，掩盖了肌纤蛋白上与横桥结合点，阻止横桥与肌纤蛋白结合。

（二）肌丝滑行过程

肌细胞兴奋而使肌浆内 Ca^{2+} 浓度增加， Ca^{2+} 可与细肌丝上的肌钙蛋白结合，使其构型发生变化，从而牵拉原肌凝蛋白移位，将其掩盖的结合位点暴露出来。横桥立即与肌纤蛋白结合，此时横桥的ATP酶获得活性，加速ATP分解释放能量，使横桥发生扭动、解离、再扭动的循环过程，牵拉细肌丝向粗肌丝滑行，肌节缩短，出现肌纤维收缩。

当肌浆中 Ca^{2+} 浓度下降时，肌钙蛋白与 Ca^{2+} 分离，恢复原来构型，原肌凝蛋白回到安静时的位置，又掩盖了肌纤蛋白上与横桥结合的位点。此时，细肌丝滑出，肌节恢复原长度，肌纤维舒张。



考点提示

肌肉的收缩是肌纤维中细肌丝向粗肌丝之间滑行的结果，并非是肌丝本身长度的缩短或卷曲。

二、兴奋-收缩耦联

兴奋-收缩耦联是指连接肌纤维的兴奋和收缩的中介过程。肌浆中 Ca^{2+} 浓度的变化触发肌丝滑行，但怎样引起肌浆中 Ca^{2+} 浓度的变化呢？其原因如下：

人体的骨骼肌是受运动神经支配的。神经冲动传至肌纤维，使肌膜产生动作电位，动作电位沿凹入细胞内部的横管膜传导，直至深入到三联管结构，引起终池 Ca^{2+} 被大量释放到肌浆中， Ca^{2+} 与细肌丝上的肌钙蛋白结合，

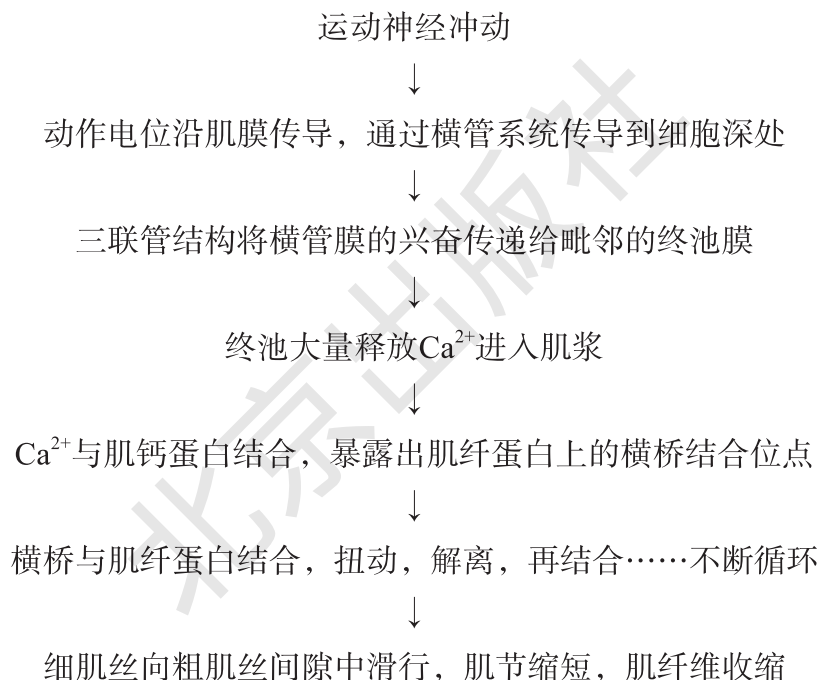
引发肌丝滑行过程。

当神经冲动停止时，随着肌膜和横管膜系统膜电位的恢复，终池膜对 Ca^{2+} 的通透性降低，肌浆内 Ca^{2+} 又被终池膜上钙泵重新运回终池内，使肌浆中 Ca^{2+} 浓度降低，引起肌钙蛋白与 Ca^{2+} 分离，从而出现肌纤维舒张。

考点提示

Ca^{2+} 是连接肌细胞兴奋和机械收缩的重要环节。

归纳骨骼肌纤维收缩的全过程：



三、骨骼肌收缩的形式

骨骼肌的收缩受躯体运动神经支配，其意义在于完成一定的躯体运动。肌肉兴奋后引起的收缩可因不同情况而有不同的收缩形式。

（一）等长收缩和等张收缩

肌肉收缩只增加张力而不能缩短长度的收缩，称为等长收缩。肌肉收缩时只有长度的缩短，而无张力的增加，称为等张收缩。等长收缩的主要作用是维持人体姿势。等张收缩的主要作用是移动物体，完成做功。人体骨骼肌的收缩大多数情况下是混合式的。例如，搬运重物时，相关的骨骼肌先进



行等长收缩，当肌张力增加超过物体重量时，肌肉开始缩短，但张力不再增加，即进行等张收缩。

（二）单收缩和强直收缩

肌肉受到一次短促刺激时，可发生一次动作电位，随后出现一次收缩和舒张。这种形式的收缩称为单收缩。肌肉受到连续刺激时，出现强而持久的收缩，称为强直收缩。如果刺激频率相对较低，将发生不完全强直收缩。

在生理条件下，支配骨骼肌的传出神经总是发出连续的冲动，所以骨骼肌的收缩都是强直收缩。



考点提示

骨骼肌的收缩形式、强直收缩的概念。

四、影响骨骼肌收缩的因素

影响骨骼肌收缩的主要因素有三个，即前负荷、后负荷和肌肉收缩能力。

（一）前负荷

前负荷指肌肉收缩前所遇到的负荷或阻力。在前负荷作用下，肌肉收缩前被拉长到某一长度，即初长度。若其他条件不变，在一定范围内前负荷增加，肌肉初长度增加，肌肉进行收缩产生的肌张力也增加，当初长度增加到一定长度时，肌张力达到最大。此后，如果继续增加初长度，肌张力将趋于缩小。能使肌肉收缩时产生最大张力的初长度，称为最适初长度，而这时的前负荷称为最适前负荷。

（二）后负荷

后负荷指肌肉收缩开始后遇到的负荷或阻力，它阻碍肌肉的缩短。后负荷存在时，肌肉首先通过增加张力以对抗后负荷，这时肌肉不表现缩短而表现为张力增加，只有当张力增加到足以对抗甚至超过后负荷时，肌肉才能开始缩短，且缩短一旦开始，张力就不再增加。固定前负荷，在一定范围内，后负荷越大，产生的张力就越大，且肌肉开始缩短的时间推迟，缩短速度就越慢。



