



“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

生理学基础

总主编 黄惟清
主 编 王春芳

北京出版集团公司
北京出版社

生理学基础

SHENGLIXUE JICHU

总主编 黄惟清
主 编 王春芳

北京出版集团公司
北 京 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

生理学基础 / 王春芳主编. — 北京: 北京出版社,
2015.3 (2022 重印)

“十二五” 职业教育国家规划教材

ISBN 978-7-200-11375-4

I. ①生… II. ①王… III. ①生理学—中等专业学校
—教材 IV. ① Q4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 117797 号

生理学基础

SHENGLIXUE JICHU

主 编: 王春芳

出 版: 北京出版集团公司

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: 北京出版集团公司

经 销: 新华书店

印 刷: 定州市新华印刷有限公司

版 次: 2015 年 3 月第 1 版 2022 年 3 月修订 2022 年 3 月第 6 次印刷

开 本: 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张: 11.5

字 数: 222 千字

书 号: ISBN 978-7-200-11375-4

定 价: 29.00 元

质量监督电话: 010-82685218 010-58572162 010-58572393

目 录

第一章 绪论	1
第一节 概述	1
第二节 生命的基本特征	2
第三节 机体与环境	4
第四节 机体生理功能的调节	5
自我检测	8
第二章 细胞的基本功能	10
第一节 细胞膜的基本功能	10
第二节 细胞的生物电现象	14
第三节 肌细胞的收缩功能	18
自我检测	20
第三章 血液	22
第一节 血液的组成和理化特性	22
第二节 血浆	23
第三节 血细胞	25
第四节 血液凝固与纤维蛋白溶解	28
第五节 血量、血型与输血	32
自我检测	35
第四章 血液循环	36
第一节 心脏生理	36
第二节 血管生理	46
第三节 心血管活动的调节	54
自我检测	58
第五章 呼吸	61
第一节 肺通气	62
第二节 气体的交换和运输	67

第三节 呼吸运动的调节	70
自我检测	72
第六章 消化与吸收	74
第一节 消化管各段的消化功能	74
第二节 吸收	81
第三节 消化器官活动的调节	82
自我检测	84
第七章 能量代谢和体温	86
第一节 能量代谢	86
第二节 体温	88
自我检测	92
第八章 肾的排泄	94
第一节 尿生成的过程	95
第二节 影响尿生成的因素	100
第三节 尿液及其排放	104
自我检测	106
第九章 感觉器官的功能	108
第一节 概述	108
第二节 眼的视觉功能	109
第三节 耳的听觉、位置觉功能	116
自我检测	119
第十章 神经系统的功能	121
第一节 神经系统功能活动的一般规律	121
第二节 神经系统的感觉功能	125
第三节 神经系统对躯体运动的调节	128
第四节 神经系统对内脏活动的调节	133
第五节 脑的高级功能与脑电活动	137
自我检测	139
第十一章 内分泌	142
第一节 概述	142

第二节	下丘脑与垂体	145
第三节	甲状腺和甲状旁腺	147
第四节	胰岛	150
第五节	肾上腺	152
	自我检测	154
第十二章 生殖		156
第一节	男性生殖	156
第二节	女性生殖	157
	自我检测	160
实验		162
实验一	蛙类反射弧分析	162
实验二	ABO 血型鉴定	163
实验三	动脉血压测量	164
实验四	瞳孔反射	165
实验五	视敏度测定	165
实验六	色盲检查	166
实验七	腱反射检查	166
参考答案		168
参考文献		171



第一章 绪论

学习目标

1. 掌握生命活动的基本特征。
2. 掌握内环境及其稳态的概念和生理意义。
3. 掌握神经调节与体液调节的概念和特点。
4. 熟悉正反馈与负反馈的概念及其生理意义。
5. 了解生理学的任务和研究方法。

生命活动是世界上最为复杂、神秘的物质运动形式。多姿多彩的生命活动，使地球充满了无限生机。凡是有生命活动的个体就是生物体，生理学是关于生物体生命活动的科学。

第一节 概述

一、生理学的任务

生理学是生物科学的一个分支，是研究生物体生命活动规律的科学。生物体是一切有生命个体的统称。生命活动即生命现象，如新陈代谢、生长发育、神经活动、腺体分泌、躯体运动、血液循环、呼吸、消化、排泄以及生殖等。由于机体的每项生命活动都起着一定的作用，即实现一定的功能。所以，生理学的任务就是研究正常状态下机体及其各器官系统的功能，包括生命活动的现象、过程、机制、影响因素以及在整体活动中的意义，从而阐明各种生理活动发展、变化的规律。

生理学的产生和发展与医学有着十分密切的联系。医学中许多问题的研究都以生理学的理论和方法为基础，同时，医学实践与发展也检验了生理学理论的正确性，并为生理学提出新的课题，进一步推动了生理学的研究与发展。因此，生理学是一门重要的医学基础课程。对于医学生来说，只有学好生理学，掌握正常人体的生命活动规律，才能认识疾病的发生、发展规律，掌握防治疾病、促进康复的理论和技能。

二、生理学的研究方法

生理学是一门实验性科学。它的所有知识都来自临床实践和实验研究。早在 17 世纪开始,英国医生哈维(Harvey)就首创了动物活体解剖实验法,发现了血液循环,并出版专著《心与血的运动》,使生理学成为一门独立的科学。

(一) 生理学的实验方法

1. 动物实验

通常分为在体实验和离体实验两类。在体实验是直接 在动物身上进行观察,又可分为急性实验和慢性实验两种。急性实验是在动物麻醉状态下,通过手术暴露出要观察的组织器官并进行实验;慢性实验是在动物清醒状态下,为了特定的实验目的,事先对动物进行预处理,待其康复后进行实验,周期较长,可反复进行。离体实验是将器官、组织或细胞从动物体内取出,在人工条件下进行研究。

2. 人体实验

由于受到伦理学的限制,目前主要是进行人群资料调查,如人体血压、心率、肺通气量、肾小球滤过率等的正常值就是通过对大批人群采样,再进行数据的统计学分析而获得的。

(二) 生理学研究的水平

人体的结构和功能极其复杂,对生命活动的研究需要从整体、器官和系统、细胞和分子三个不同的水平上进行。整体水平主要研究完整机体内各器官和系统之间的相互联系、相互协调、以及环境对生理功能的影响。如各器官的神经、体液调节等。其意义在于揭示整体活动规律。器官和系统水平主要研究各器官和系统的活动规律、调节机制及其影响因素等。如心脏的射血、肺的呼吸、小肠的消化、肾的排泄等。其意义在于揭示各器官和系统的特殊规律。细胞和分子水平主要研究细胞及其所含生物大分子的活动规律。如细胞膜的物质转运、突触的信息传递等。其意义在于揭示生命现象最为本质的基本规律。

(三) 生理学的学习方法

学习生理学要以辩证唯物主义思想为指导,用整体的、动态的、对立统一的观点去看待机体的一切功能活动。从生物的、心理的、社会的角度来综合观察和理解机体的生命活动。

学习中还应坚持理论联系实际的原则,一方面要重视基本理论知识的学习,另一方面又要重视实验技能,通过实验加深对理论知识的理解,培养创新思维和动手能力。

第二节 生命的基本特征

生命活动多种多样,生物学家通过对各种生物体的研究,发现生命活动至少有三种特征,即新陈代谢、兴奋性和生殖。

一、新陈代谢

机体与周围环境之间不断地进行物质交换和能量交换，以实现自我更新的过程，称为新陈代谢。包括合成代谢（同化作用）和分解代谢（异化作用）两个方面。合成代谢是指机体不断从外界摄取营养物质来合成自身成分，并贮存能量的过程；分解代谢是指机体不断分解自身成分，释放能量供生命活动的需要，并将废物排出体外的过程。可见，新陈代谢又包含着物质代谢和能量代谢两个密不可分的过程。

重点提示

新陈代谢是生命活动的最基本特征，机体的一切生命活动都是在新陈代谢的基础上实现的，新陈代谢一旦停止，生命也随之终结。

二、兴奋性

机体或组织对刺激发生反应的能力或特性，称为兴奋性。

（一）刺激

当环境发生变化时，机体的机能活动会随之发生一系列改变，这种能被机体或组织感受到的环境变化被称为刺激。刺激按性质不同可分为：①物理性刺激：如光、电、声、机械、温度等。②化学性刺激：如酸、碱、盐及各种化学物质等。③生物性刺激：如细菌、病毒等。④社会心理性刺激：如情绪波动、社会变革等。

（二）反应

机体或组织接受刺激后所发生的一切变化，称为反应。如寒冷刺激可使机体分解代谢增强，产热量增多；皮肤血管收缩，散热减少，甚至肌肉颤抖等。这就是机体对寒冷刺激的反应。

各种组织对刺激发生反应的形式有不同，表现为兴奋和抑制。①兴奋是指机体或组织接受刺激后，由相对静止变为活动状态或活动由弱变强。如人在遇到紧急情况时，心跳加快，呼吸急促，动作迅速等，就是一种兴奋反应。②抑制是指机体或组织接受刺激后，由活动变为相对静止状态或活动由强变弱。如吸入过多的 CO_2 可致呼吸暂停等，就是一种抑制反应。可见，正常机体的各种功能活动既有兴奋，也有抑制，两者既对抗又协调，还可互相转化。因此，兴奋和抑制是机体对立统一的生理过程。

（三）兴奋性的指标

任何刺激要引起机体或组织发生反应必须具备三个条件，即足够的刺激强度、足够的刺激作用时间和一定的强度—时间变化率。但由于不同组织的兴奋性有所不同，即使是同一组织，当处于不同的机能状态时，其兴奋性高低也不相同。因此，通常用刺激强度作为判断组织兴奋性高低的客观指标。

如果保持刺激作用时间和强度—时间变化率不变，把引起组织发生反应的最小刺激

强度称为阈强度，简称阈值。强度等于阈值的刺激，称为阈刺激；强度小于阈值的刺激，称为阈下刺激；强度大于阈值的刺激，称为阈上刺激。阈值的大小与兴奋性呈反比关系，阈值越小，组织的兴奋性越高。所以，阈值是衡量组织兴奋性高低的指标。

重点提示

阈值可反映组织兴奋性高低，它与兴奋性呈反比关系。

在机体组织中，神经、肌肉和腺体组织的兴奋性较高。它们反应迅速，易于观察，并可有电位变化作为客观标志。因此，通常将这些组织称为“可兴奋组织”。

链接

护士在给患者进行肌肉注射时，常遵循“两快一慢”的原则，即进、出针要快，推药要慢。就是因为“两快”缩短了刺激作用的时间，“一慢”降低了刺激的变化率，二者均可减弱刺激作用，从而减轻注射时带来的疼痛。

三、生殖

生物体生长发育到一定阶段时，能够产生与自己相似的子代个体，这种功能称为生殖。生殖是生物体得以繁衍后代、延续种系的基本生命特征（见第十二章）。

第三节 机体与环境

环境是机体赖以生存和发展的必要条件。机体所面临的环境包括外环境和内环境。

一、外环境与适应

外环境是整个机体生存的环境，对人类而言，包括自然环境和社会环境。自然环境是指自然界中气温、气压、湿度、光照等各种因素的总和。社会环境包括政治、经济、文化、心理变化等。机体的生命活动不仅受自然环境的影响，还受到社会心理因素的影响。当今，由于社会心理因素而导致疾病的情况明显增多，所以要特别关注人的社会性问题。

外环境无时无刻不在发生着变化，这些变化都会对机体产生不同的刺激，机体也不断地做出反应，以适应外环境的变化，保证生命活动的正常进行。机体这种随环境变化调整自身生理机能的过程，称为适应。如气温降低时，皮肤血管收缩，以减少散热量，甚至通过骨骼肌紧张性增强，出现寒战，增加产热量，以维持体温的相对稳定，这就是机体做出的适应性反应。

人类不但有被动适应环境的能力，而且还有客观地认识环境和能动地改造环境的能

力。随着科学技术、社会经济的发展,在极大地改善人们的物质文化生活的同时,也带来了如环境污染、生态失衡等诸多问题。因此,机体作为生态系统的组成部分,一方面要依赖环境、适应环境;另一方面又要不断地影响环境、改善环境,以保持人与自然的和谐统一。

二、内环境与稳态

(一) 内环境

内环境是指体内各种组织细胞赖以生存的环境。体内绝大部分细胞并不与外环境直接接触,而是生活在体液环境之中。体液是机体内液体的总称,约占体重的60%,其中,约2/3存在于细胞内,称为细胞内液;约1/3存在于细胞外,称为细胞外液。包括血浆、组织液、淋巴液、脑脊液和房水等。细胞外液就是体内绝大部分细胞直接生活的体液环境,它为细胞代谢提供营养物质,并接纳细胞代谢的产物,是细胞直接进行新陈代谢的场所。所以,通常把细胞外液称为机体的内环境。内环境为细胞的生存提供了适宜的理化条件,使细胞的各种生化反应和生理功能得以正常进行,对细胞的生存以及维持细胞的生理功能起着十分重要的作用。

(二) 稳态

内环境与外环境的明显不同,在于内环境的各种理化性质必须保持相对恒定,即细胞外液中的水分、离子浓度、酸碱度、渗透压和温度等因素只能在很小的范围内波动。如血浆pH在7.35~7.45之间波动;人的正常体温在37℃上下波动,但波动幅度不超过1℃。这种内环境的理化性质保持相对恒定的状态,称为内环境稳态,简称稳态。它是机体维持正常生命活动的必要条件。

在机体的生存过程中,内环境稳态总是受到双重因素的影响。一方面细胞的代谢活动不断使稳态受到破坏;另一方面机体又通过各种调节机制和血液循环不断恢复稳态,以维持内环境的相对恒定。所以,内环境稳态是一种复杂的动态平衡,机体的正常活动就是在稳态的不断破坏和不断恢复过程中得以维持和进行的。一旦稳态不能维持,就会引起细胞新陈代谢的紊乱,导致疾病的发生,甚至危及生命。

重点提示

机体的内环境是指细胞外液,是细胞直接进行新陈代谢的场所。内环境稳态是机体维持正常生命活动的必要条件。

第四节 机体生理功能的调节

人体各系统的功能活动能协调一致,保持其自身的稳态和对内外环境的适应,是因为机体具有比较完备的调节机制,它能对各种生理功能进行调节。其调节的方式包括:神经调节、体液调节和自身调节。

一、生理功能调节的方式

（一）神经调节

1. 基本方式

神经调节是通过反射来影响生理功能的一种调节方式。反射是指在中枢神经系统的参与下，机体对刺激产生的规律性反应。反射活动的结构基础是反射弧，它由感受器、传入神经、中枢、传出神经和效应器五个部分组成（图 1-1）。

感受器能感受内外环境变化的刺激，并将刺激信息转变成电信号（即神经冲动），通过传入神经传至相应的反射中枢，反射中枢对传入信号进行分析综合，并作出反应，再经过传出神经将反应信号传至效应器，效应器完成反射活动。如肢体触及火焰时，皮肤感受器可感受到热的伤害性刺激，并将痛和热的刺激转换为神经冲动，沿传入神经传至中枢，中枢经过分析综合后发出指令，通过传出神经传至相应的肌肉（效应器），引起肌群收缩，肢体撤离火焰。

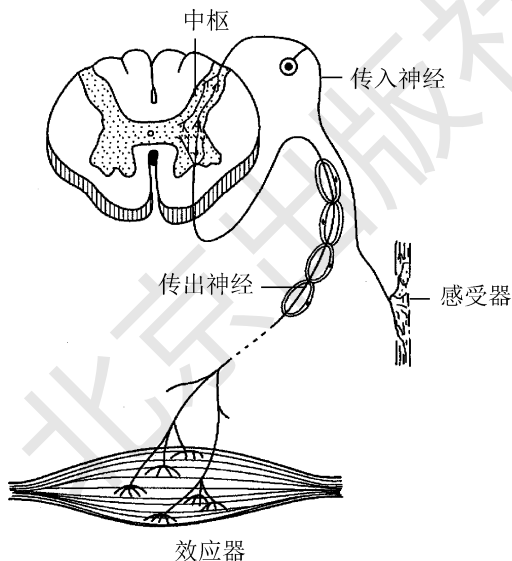


图 1-1 反射弧模式图

重点提示

每一种反射的完成都有赖于反射弧结构和功能的完整。反射弧的五个组成部分中，任何一个部分被破坏或出现功能障碍都将导致这一反射的消失。

2. 反射类型

（1）非条件反射：为先天遗传，且数量有限；是反射弧和反应方式都比较固定的反射；是一种原始的、初级的神经活动。如新生儿的吸吮反射、进食的吞咽反射、异物刺眼的角膜反射等。

（2）条件反射：为后天获得，且数量无限；是在非条件反射的基础上经过后天学习

训练建立起来的反射；是一种高级神经活动。如“望梅止渴”“谈虎色变”等。

3. 调节特点

神经调节反应迅速、准确、作用时间短暂，并具有高度的协调和整合功能。所以，神经调节是机体最主要的调节方式。

(二) 体液调节

1. 基本方式

体液调节是指体液中的化学物质通过体液途径对机体功能进行的调节。其化学物质主要是内分泌腺和内分泌细胞分泌的激素。体液调节可分为全身性和局部性两种方式。

(1) 全身性体液调节：通过血液循环运送激素（如甲状腺素、胰岛素等）到达组织器官，对机体的新陈代谢、生长发育、生殖等功能发挥调节作用。它是体液调节的主要方式。

(2) 局部性体液调节：某些细胞分泌的生物活性物质（如组胺、激肽等）和组织产生代谢产物（如 H^+ 、 CO_2 等）通过组织液扩散，调节邻近细胞的功能活动。它是体液调节的辅助方式。

2. 调节特点

体液调节作用缓慢、范围广泛、持续时间较长。

因为机体的内分泌腺大多数是受神经系统支配的，所以体液调节实际上是神经调节的一部分，是反射弧传出途径的一个中间环节。这种以神经调节为主导，有体液物质参与的复合调节方式称为神经-体液调节（图 1-2）。机体内的机能调节大多数都是这种复合调节。

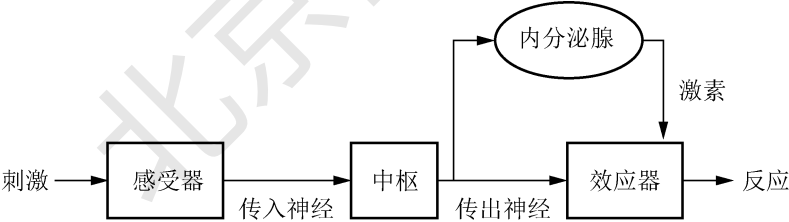


图 1-2 神经-体液调节示意图

(三) 自身调节

自身调节是指某些组织细胞不依赖于神经和体液调节，由自身对刺激产生的适应性反应。如肾血流量在一定范围内可不随动脉血压的变化而改变等。自身调节的特点是调节范围局限，幅度较小，灵敏度较低，但对维持某些生理功能的调节具有一定意义。

二、生理功能调节的反馈控制

机体各种生理功能的调节实际上是一个自动控制系统。在自动控制系统中，控制部分与受控部分交互作用，通过“闭合”环路而完成。控制部分相当于反射中枢、内分泌腺；受控部分相当于效应器、靶细胞。在这种闭合环路的调节过程中，由受控部分发出信息反过来影响控制部分活动的过程，叫做反馈。反馈是机体自动控制系统的关键环节，

贯穿于机体各种活动的调节过程。

根据反馈信息的性质和作用不同，反馈分为负反馈和正反馈两类（图 1-3）。

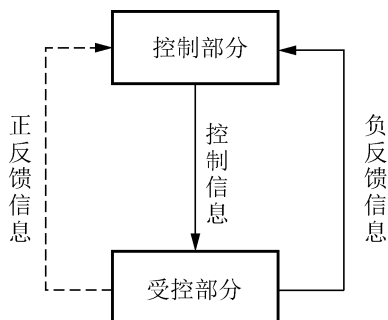


图 1-3 反馈控制示意图

（一）负反馈

负反馈是指反馈信息与控制信息作用相反的反馈。也就是说，当某种生理活动过强时，通过这种反馈控制可使该生理活动减弱；而当某种生理活动过弱时，又可反过来引起该生理活动增强。如正常人动脉血压相对稳定就是负反馈控制实现的。当某种因素引起心血管活动增强而使动脉血压升高时，通过动脉的压力感受器将信息经传入神经反馈到心血管中枢，使心血管中枢的活动发生改变，导致心脏活动减弱，外周血管扩张，使动脉血压恢复到正常水平。反之，当动脉血压降低时，则通过负反馈机制使血压回升至正常范围。因此，负反馈的意义在于使机体的某种生理功能不致发生过大波动，而在一定水平上保持相对稳定。负反馈在机体功能调节中最为多见。

重点提示

内环境的稳态主要是通过负反馈调节实现的。

（二）正反馈

正反馈是指反馈信息与控制信息作用一致的反馈。反馈信息对控制部分有促进和加强作用，从而使受控部分的作用再加强。如排尿反射就是一种正反馈调节。在排尿过程中，排尿中枢发出控制信息，使膀胱逼尿肌收缩，将尿液排出，尿液进入后尿道时，又可刺激尿道感受器，反馈信息加强排尿中枢的活动，导致膀胱逼尿肌进一步收缩，如此反复，直到排尿过程终结。因此，正反馈的意义在于使某种生理活动逐步加强并迅速完成。正反馈在体内为数不多，除排尿反射外，还有排便、分娩、血液凝固、射精等过程。

自我检测

一、名词解释

1. 新陈代谢
2. 兴奋性
3. 反射

二、A 型选择题

1. 把引起组织发生反应的最小刺激强度称
A. 阈刺激 B. 有效刺激
C. 阈上刺激 D. 阈下刺激
E. 阈强度
2. 下列哪项属于条件反射的特点
A. 生来就有 B. 数量无限
C. 比较固定 D. 初级神经活动
E. 具有反射中枢
3. 维持人体内环境稳态主要依赖于
A. 神经调节 B. 体液调节
C. 自身调节 D. 负反馈
E. 正反馈
4. 具有反应迅速、短暂、精确特点的调节方式是
A. 自身调节 B. 神经调节
C. 体液调节 D. 正反馈
E. 负反馈
5. 神经调节的基本方式是
A. 反射 B. 反应
C. 神经冲动 D. 正反馈
E. 负反馈
6. 破坏动物中枢神经系统后，下列现象将会消失的是
A. 反应 B. 兴奋
C. 抑制 D. 反射
E. 兴奋性
7. 下列生理过程中，属于负反馈调节的是
A. 排尿反射 B. 减压反射
C. 分娩 D. 血液凝固
E. 排便反射



第二章

细胞的基本功能

学习目标

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；骨骼肌的收缩原理、收缩形式。

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。本章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。

第一节 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了屏障作用，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，从而保持了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）。

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：

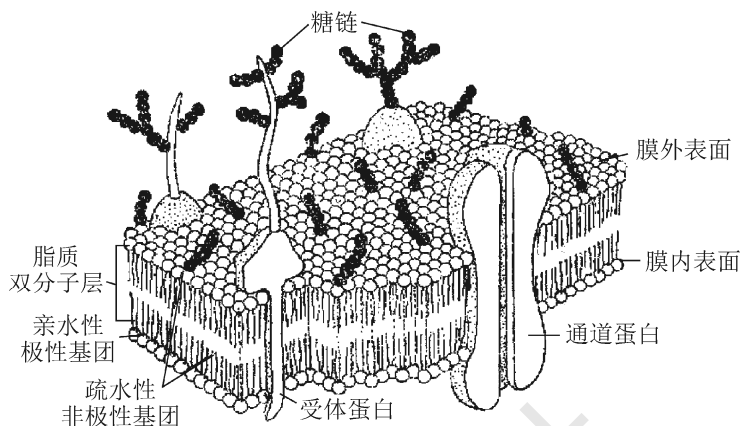


图 2-1 细胞膜液态镶嵌模型

(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，则难以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。

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”。

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。

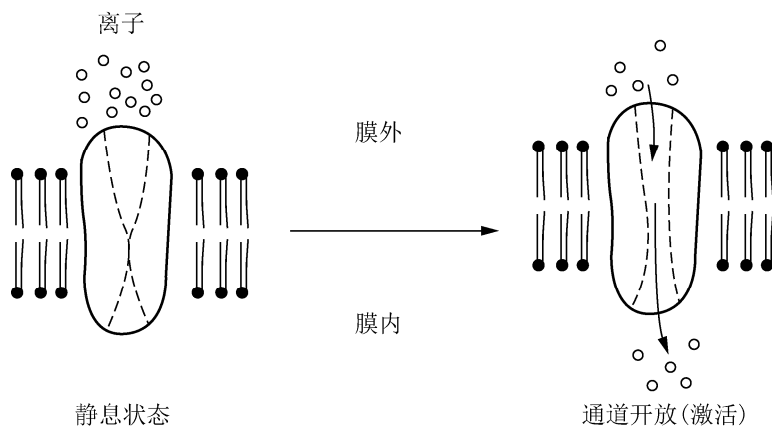


图 2-2 由通道介导的易化扩散示意图

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。

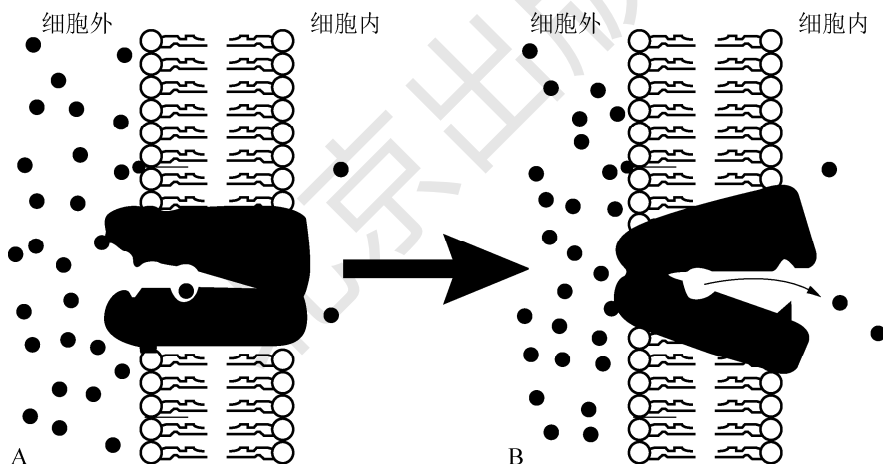


图 2-3 由载体介导的易化扩散模式图

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限度时，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。

（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。

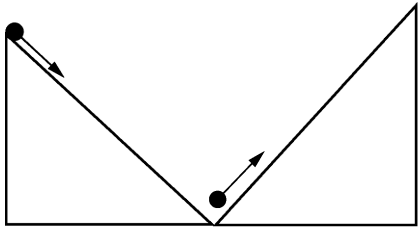


图 2-4 物质的被动转运和主动转运原理示意图

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 $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ 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。

重点提示

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）。

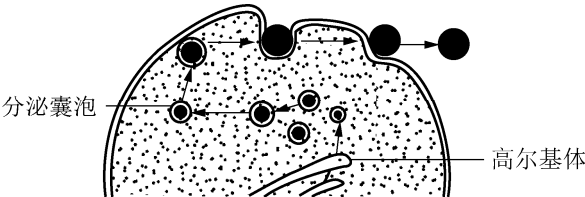


图 2-5 出胞作用模式图

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）。

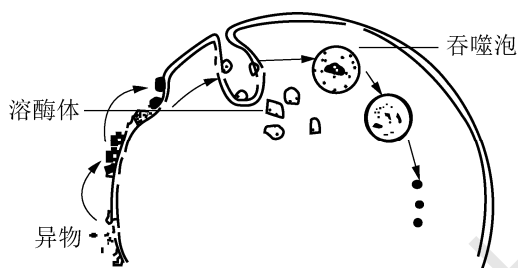


图 2-6 入胞作用模式图

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。

（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。

第二节 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。

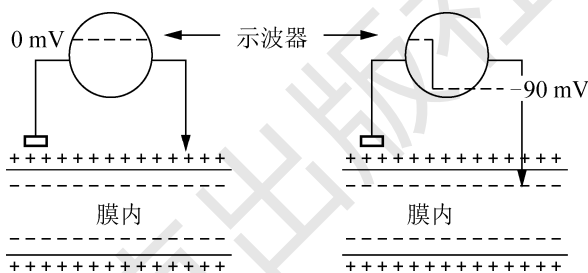


图 2-7 静息电位示意图

(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二：①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 $0.5\sim 2.0\text{ ms}$ 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）。

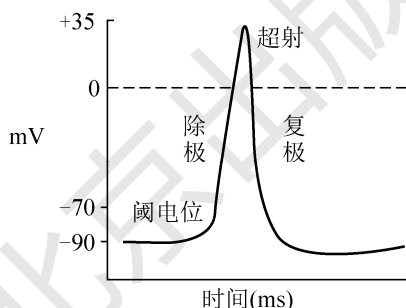


图 2-8 动作电位示意图

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 10~20 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。

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。

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。

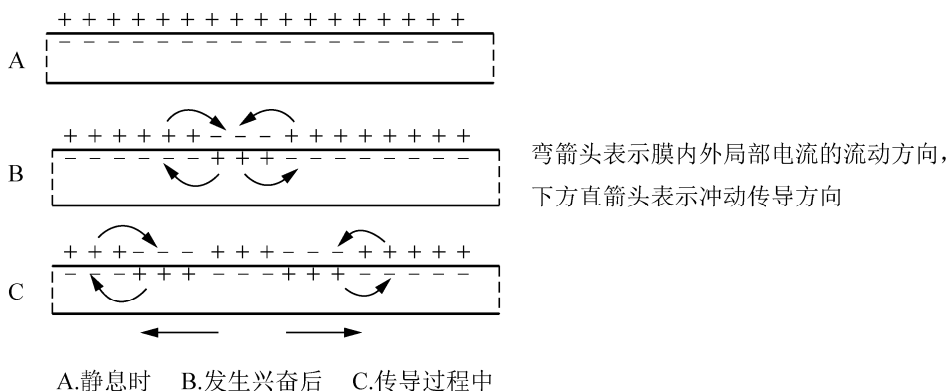


图 2-9 动作电位在神经纤维上的传导模式图

第三节 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。本节以骨骼肌为例，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。

重点提示

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：

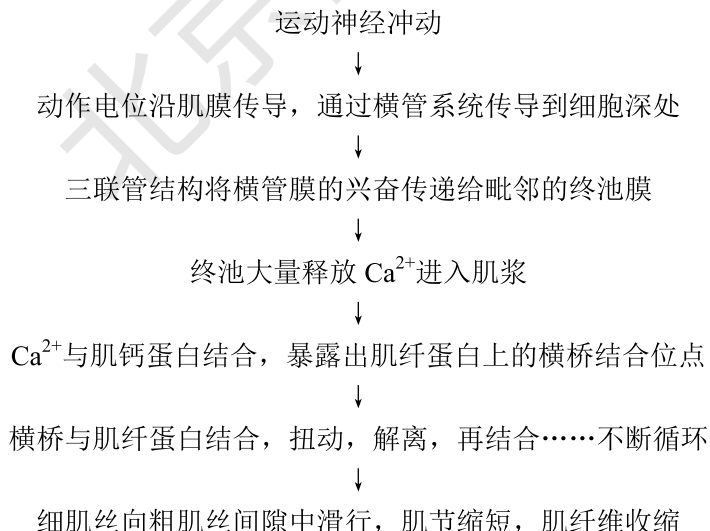
人体的骨骼肌是受运动神经支配的。神经冲动传至肌纤维，使肌膜产生动作电位，动作电位沿凹入细胞内部的横管膜传导，直至深入到三联管结构，引起终池 Ca^{2+} 被大量释放到肌浆中， Ca^{2+} 与细肌丝上的肌钙蛋白结合，引发肌丝滑行过程。

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。

重点提示

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。

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。

（三）肌肉收缩能力

肌肉收缩能力是指肌肉内部机能状态，是独立于前、后负荷以外的肌肉本身固有的能力。肌肉本身机能状态可随环境因素的改变而改变。例如，缺氧、酸中毒、肌肉中 ATP 缺乏、蛋白质和横桥功能特性的改变，都能降低肌肉收缩的效果；钙离子、咖啡因、肾上腺素等可提高肌肉收缩效果。

自我检测

一、名词解释

1. 单纯扩散
2. 易化扩散

3. 主动转运

4. 受体

二、A 型选择题

1. 细胞膜对 O_2 和 CO_2 的转运方式是

A. 单纯扩散 B. 易化扩散

C. 主动转运 D. 入胞

E. 出胞

2. 物质在细胞膜上蛋白质的帮助下逆浓度梯度转运属于

A. 被动转运 B. 载体扩散

C. 通道转运 D. 主动转运

E. 吞噬作用

3. 细胞膜内外 K^+ 、 Na^+ 分布不均衡的维持是依赖

A. 细胞膜上载体的作用

B. 细胞膜上钠-钾泵的作用

C. K^+ 、 Na^+ 易化扩散的结果

D. 兴奋时细胞膜对 Na^+ 的通透性大

E. 安静时, 细胞膜对 K^+ 的通过性大

4. 神经细胞动作电位下降支的产生主要是 () 的结果

A. K^+ 内流

B. K^+ 外流

C. Na^+ 内流

D. Na^+ 外流

E. Cl^- 内流

5. 引起动作电位的刺激必须是

A. 物理刺激

B. 化学刺激

C. 电刺激

D. 阈下刺激

E. 阈刺激或阈上刺激

6. 细胞兴奋的标志是

A. 收缩

B. 分泌

C. 动作电位

D. 静息电位

E. 局部电位

7. 将骨骼肌兴奋与机械收缩耦联起来的重要离子是

A. Ca^{2+}

B. Na^+

C. K^+

D. Cl^-

E. Mg^{2+}