

**单元1 绪论**

**第一节 人体生理功能的概述** ..... 1

**第二节 人体生命活动的基本特征** ..... 2

    一、新陈代谢 ..... 2

    二、兴奋性 ..... 2

    三、生殖 ..... 3

**第三节 人体与环境** ..... 4

    一、人体对外环境的适应 ..... 4

    二、人体内环境与稳态 ..... 4

**第四节 人体生理功能的调节** ..... 5

    一、人体生理功能调节的方式 ..... 5

    二、人体生理功能调节的反馈控制 ..... 6

**单元2 细胞的基本功能**

**第一节 细胞膜的物质转运功能** ..... 9

    一、小分子物质和离子的跨膜转运 ..... 9

    二、大分子物质或物质团块的跨膜转运  
        ..... 11

**第二节 细胞的生物电现象** ..... 11

    一、静息电位及其产生机制 ..... 12

    二、动作电位及其产生机制 ..... 13

**单元3 血液及循环功能**

**第一节 血液** ..... 17

    一、血液的组成及理化特性 ..... 17

    二、血浆 ..... 19

    三、血细胞 ..... 21

    四、血液凝固与纤维蛋白溶解 ..... 25

    五、血型与输血 ..... 30

**第二节 血液循环** ..... 34

    一、心脏生理功能 ..... 34

    二、血管的生理功能 ..... 44

    三、心血管活动的调节功能 ..... 50

**单元4 呼吸功能**

**第一节 肺通气功能** ..... 56

    一、肺通气的动力 ..... 56

    二、肺通气的阻力 ..... 58

    三、肺通气功能的评价指标 ..... 59

**第二节 气体交换与运输** ..... 61

    一、气体交换 ..... 61

    二、气体在血液中的运输 ..... 63

**第三节 呼吸运动的调节功能** ..... 64

    一、呼吸中枢 ..... 65

    二、呼吸运动的反射性调节 ..... 65

    三、运动时呼吸的变化及调节 ..... 67

**单元5 消化与吸收功能**

**第一节 消化功能** ..... 69

    一、口腔内消化 ..... 70

    二、胃内消化 ..... 70

    三、小肠内消化 ..... 73

    四、大肠的功能 ..... 76

**第二节 吸收功能** ..... 77

    一、各段消化管吸收功能 ..... 78

    二、主要营养物质的吸收 ..... 79

**第三节 消化器官活动的调节功能** ..... 80

    一、神经因素对消化器官活动的调节  
        ..... 80

    二、体液因素对消化器官活动的调节  
        ..... 81

**单元6 泌尿功能**

**第一节 尿的生成过程** ..... 84

一、肾小球的滤过功能 ..... 88

二、肾小管和集合管的重吸收功能 ..... 90

三、肾小管和集合管的分泌与排泄功能  
..... 92

**第二节 尿生成的调节** ..... 94

一、肾小球功能的调节 ..... 94

二、肾小管和集合管功能的调节 ..... 94

**第三节 尿液的排放** ..... 97

一、尿的排放功能 ..... 97

二、正常尿量及尿液的理化性质 ..... 99

**单元7 感觉器官的功能**

**第一节 概述** ..... 102

一、感受器与感觉器官概念 ..... 102

二、感受器的一般生理特性 ..... 103

**第二节 视觉器官** ..... 103

一、眼的折光功能 ..... 104

二、眼的感光功能 ..... 106

三、与视觉有关的生理现象 ..... 107

**第三节 听觉器官** ..... 109

一、外耳和中耳的功能 ..... 109

二、内耳功能 ..... 110

三、前庭器官功能 ..... 111

**单元8 调节功能**

**第一节 神经调节** ..... 113

一、神经元活动的一般规律 ..... 113

二、反射活动的一般规律 ..... 119

三、神经系统的感觉功能 ..... 122

四、神经系统对躯体运动的调节 ..... 126

五、神经系统对内脏活动的调节 ..... 131

六、脑的高级功能 ..... 134

**第二节 体液调节** ..... 139

一、激素的特征及作用机制 ..... 140

二、下丘脑与垂体的内分泌功能 ..... 141

三、甲状腺的内分泌功能 ..... 143

四、肾上腺的内分泌功能 ..... 145

五、胰岛的内分泌功能 ..... 148

六、性腺的内分泌功能 ..... 149

**第三节 体温及其调节** ..... 155

一、体温 ..... 156

二、产热与散热 ..... 157

三、体温调节 ..... 159

**参考文献** ..... 161

**附录1 《人体生理功能》课程标准** ..... 162

**附录2 《人体生理功能》实验指导** ..... 170

# 单元

# 1

# 绪论



## 学习目标

1. 熟悉人体生理功能的基本概念以及与护理的关系。
2. 掌握兴奋性概念;熟悉刺激、刺激阈、反应、兴奋和抑制的概念;熟悉刺激引起反应的条件。
3. 熟悉人体体液的概念及组成;掌握人体内环境的概念及稳态的意义;掌握人体生理功能活动顺应环境变化的机制。
4. 按照实验指导要求进行刺激与反应实验操作,并能对反射弧的组成进行分析;培养学习人体生理功能的兴趣和团队合作精神。

人体生理功能(human Physiological function)是高职护理专业的重要专业基础课程之一。通过本课程的教学,使护生获得基本、必需、够用和实用的人体生理功能的知识、技能及相关能力,为后续课程的学习、护理临床实践以及终生学习奠定基础。

## 第一节

## 人体生理功能的概述

### 你知道正常人体所具备的生理功能吗?

正常人体所具备的一切功能活动为正常人体生命活动,如呼吸、消化与吸收、血液循环以及泌尿等。正常人体生命活动的规律为人体生理功能,包括正常人体生命活动的过程、机制、意义以及人体内外环境对这些活动的影响等。认识和掌握生命活动的规律,为维护和增进人类健康、预防和治疗疾病、康复和保健、延长人类寿命、提高生活质量提供科学的理论依据。



### 相关链接

#### 人体生理功能知识的来源

人体生理功能知识来源于实践,即来源于生活实践、实验研究及临床研究实践。主要的研究方法有动物实验、人体实验和调查研究。动物实验包括急性和慢性实验两大类,是研究采用的主要方法,但由于动物与人类的差别,动物实验的结果不能简单套用于人体。所以,在不影响人体健康的情况下,人体实验是获得人类的生理参数和了解功能调节机制的最有效途径。调查研究主要是对人体生理正常值在大样本人群中进行测量和统计。

人体是一个完整统一的整体,其各种功能活动都是整体活动的一部分,并与环境保持密切的联系。人体的各种功能活动还受语言、文字以及心理和社会因素的影响。因此,在学习人体生理功能时,必须以辩证唯物主义思想为指导,用对立统一的观点去看待人体的一切功能活动,从生物的、社会的、心理的水平来综合观察和理解人体的生命活动。

### 知识拓展



人体是由各种器官和系统组成的,而各器官和系统又由不同的组织和细胞所组成。因此,人体生命活动的基本规律的研究主要是从以下三个水平上进行的。

① 细胞和分子水平的研究。主要是研究细胞及其内部超微结构的功能,包括对组成细胞的各种生物大分子的物理、化学变化过程的研究。如细胞兴奋时膜通道的通透性改变和离子跨膜运动、细胞在不同环境下基因表达的改变等。② 器官和系统水平的研究。主要是研究各器官和系统的活动规律及其调节机制,以及对整体生理功能的影响。如心脏射血、尿的生成和排出等。③ 整体水平的研究。主要是研究完整人体内各器官、系统之间的相互关系,人体与内外环境之间维持相互平衡的过程和机制,以及社会、心理因素对人体生理功能的影响。如运动、创伤、紧张等生理和心理因素,以及地理、气候等环境因素对完整人体生理功能的影响等。要强调的是,以上三个水平的研究,相互之间不是孤立的,而是互相联系、互相补充的。例如,当要阐明某一人体功能活动的规律时,一般需要用多种研究手段在多层次、多水平上进行配合,才能揭示生命活动的某一规律。

## 第二节

## 人体生命活动的基本特征

### 如何区别人体有无生命活动?

从人体生理功能的角度分析和研究,人体生命活动的基本特征有新陈代谢(metabolism)、兴奋性(excitability)和生殖(reproduction)。

#### 一、新陈代谢

新陈代谢是指人体与环境之间进行物质和能量交换,实现自我更新的过程。新陈代谢包括两个相辅相成的过程:① 人体不断地从环境中摄取营养物质合成自身新的物质,并贮存能量的过程称作合成代谢;② 人体不断分解自身旧的物质,释放能量供生命活动的需要,并把分解产物排出体外的过程称为分解代谢。物质的合成和分解称为物质代谢;伴随物质代谢而产生的能量的贮存、释放、转移和利用的过程称为能量代谢。物质代谢和能量代谢是新陈代谢过程中密不可分、同时进行的两个过程。

新陈代谢是生命的最基本特征,也是人体与环境之间最基本的联系。人体在新陈代谢的基础上表现出生长、发育、生殖、运动等一切生命活动。新陈代谢一旦停止,生命活动也就结束。

#### 二、兴奋性

人体所处的环境是经常发生变化的,在环境条件变化时能引起人体功能活动的改变,人体由此不断地主动地适应环境并得以生存。人体对环境条件变化发生功能活动改变的能力或特性称

为兴奋性。这是人体生命活动的基本特征之一。

### (一) 刺激与反应

能引起人体发生功能活动改变的内外环境条件的变化称为刺激(stimulus)。刺激按其性质可分为:① 物理刺激,如声、光、电流、射线、温度等。② 化学刺激,如酸、碱、药物等。③ 生物性刺激,如细菌、病毒等。在人类,社会因素和心理活动构成的刺激对人体的生理功能和疾病的发生、发展具有十分重要的作用。

接受刺激后,人体内部的代谢活动及其外部功能状态发生相应的改变称为反应(response)。例如,寒冷刺激可使人体分解代谢加强,甚至发生肌肉颤抖等,使产热量增多;皮肤血管收缩,散热量减少;这是人体对寒冷刺激的反应。刺激要引起人体或组织产生反应必须具备三个条件:① 刺激强度;② 刺激作用的时间;③ 强度-时间变化率。单位时间内,在刺激强度-时间变化率不变的条件下,能引起组织发生反应的最小刺激强度称为阈强度或阈值(threshold)。强度等于阈值的刺激称为阈刺激;强度大于阈值的刺激称为阈上刺激;强度小于阈值的刺激则称为阈下刺激。阈刺激和阈上刺激都能引起组织发生反应,而单个阈下刺激则不能引起组织的反应。

不同组织或同一组织在不同的功能状态下,会有不同的刺激阈值。阈值的大小和组织兴奋性的高低呈反变关系,引起组织兴奋的阈值愈大说明其兴奋性愈低,相反,阈值愈小说明其兴奋性愈高。因此,阈值可作为衡量组织兴奋性高低的客观指标。神经组织、肌肉组织和腺体组织的兴奋性较高,对刺激的反应迅速而明显,生理学中习惯上将这些组织称为可兴奋组织。

### 互动

临床护理中,给患者进行肌内注射时,为何要求做到“两快一慢”(即快速进针,快速拔针,缓慢推药)?

### (二) 兴奋与抑制

人体或组织对刺激的反应有两种基本表现形式,即兴奋(excitation)和抑制(inhibition)。兴奋是指人体或组织接受刺激后由静息状态变为活动状态,或活动由弱增强。例如,人在遇到紧急情况时,心跳加快,呼吸急促,肌紧张增强,动作迅速,都是发生了兴奋。抑制是指人体或组织接受刺激后由活动状态转为静息状态,或活动由强减弱。例如,人体吸入过多的 $\text{CO}_2$ 可使呼吸运动减弱甚至暂停,这是发生了抑制。人体接受刺激后究竟发生兴奋还是抑制,主要取决于两个方面:① 刺激的质和量。人体处于同样的功能状态时,刺激的强弱不同,反应可不同。例如,疼痛刺激可引起心跳加强、呼吸加快、血压升高等,这是兴奋的表现;而过于剧烈的疼痛则引起心跳减弱、呼吸变慢、血压降低,甚至意识丧失,这是抑制的表现。② 人体的功能状态。同样的刺激在人体的不同功能状态时,引起的反应可不同。例如,饥饿、饱食或不同精神状态的人,对食物的反应是不同的。

## 三、生殖

人体生长发育到一定阶段后,男性和女性发育成熟的生殖细胞相互结合产生子代个体的功能称为生殖。其生物学意义是繁衍后代。人类个体都有从新生到死亡的过程,但他们可以通过生殖来延续种族,所以生殖也是生命活动的基本特征之一。



### 第三节

## 人体与环境

### 人体与环境之间的关系如何?

人体的一切生命活动都是在一定的环境中进行的。人体的环境有内环境和外环境之分。

#### 一、人体对外环境的适应

外环境是指整个人体生存的环境,包括自然环境和社会环境。外环境中的各种条件变化都可构成对人体的刺激而影响生命活动。但人体能够随环境条件的变化,不断地调整自身各部分的功能和相互关系,使人体与环境取得平衡统一,保证生命活动的正常进行。人体能够根据外部情况来调整内部关系的生理特性,称为适应性。

人类作为生态系统的组成部分,一方面要依赖环境、适应环境,另一方面又不断地影响和改变环境。随着科学技术的发展,人类在适应外环境的同时,更能主动地改善环境和保护自然生态,使环境适应人体生命活动的需要。

#### 二、人体内环境与稳态

组成人体的细胞数以亿计,其中绝大多数细胞并不与外环境直接接触,而是浸浴和生存在细胞外液之中。细胞代谢所需要的  $O_2$ 、营养物质的摄取和  $CO_2$ 、其他代谢产物的排出,都必须通过细胞外液进行。所以,细胞外液是细胞直接生活的体内环境,称为人体的内环境(internal environment)。

细胞外液是人体体液(body fluid)的一部分。体液是人体液体的总称。在成人,体液约占体重的60%。体液可分为两大部分:①存在于细胞内的称为细胞内液,约占2/3(约占体重的40%);②存在于细胞外的称为细胞外液,约占1/3(约占体重的20%),包括组织液、血浆、淋巴液和脑脊液等。体液的各部分彼此隔开而又互相沟通。细胞内液与组织液之间通过细胞膜进行物质交换;而血浆与组织液之间则通过毛细血管壁进行水分和某些物质的交换(图1-1)。血浆是体液中最活跃的部分,成为沟通人体内外环境的媒介。

外环境的各种因素经常发生较大的变化,而内环境的各种理化因素(温度、渗透压、酸碱度和各种化学成分的浓度等)总是保持相对的稳定。例如,外环境的温度有季节性的变化,但人体的体温总是维持在  $37^{\circ}C$  左右。内环境的理化特性保持相对稳定的状态称为稳态(homeostasis)。内环境的稳态

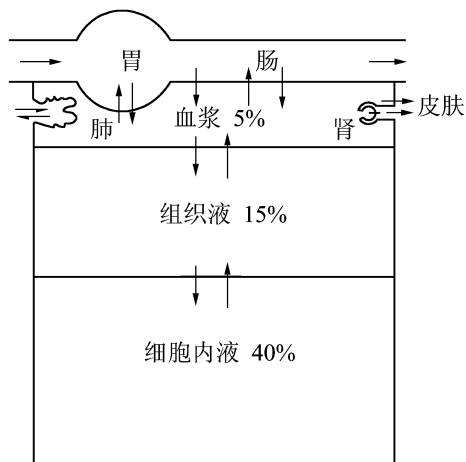


图 1-1 体液的分布与物质交换示意图

#### 互动

试述人体内环境稳态的维持及其意义。

是维持细胞正常生理功能和保证人体生命活动正常进行的必要条件。由于细胞的不断代谢和外环境的影响,内环境的稳态不断地受到扰乱和破坏,正常人体通过调节系统的作用,改变各器官、组织的活动,可以维持内环境中各种理化因素和物质浓度的相对稳定。所以,内环境的稳态是一种动态的相对稳定。人体的一切调节活动的最终的生物学意义在于维持内环境的稳态。一旦调节系统或器官、组织的活动发生紊乱,稳态就不能维持,细胞的新陈代谢和人体各种功能活动将不能正常进行,即产生疾病,甚至危及生命。

## 第四节

## 人体生理功能的调节

### 人体是如何顺应环境变化的?

人体生理功能的调节是指人体对内外环境条件变化做出适应性反应的过程。通过人体各部分功能活动的相互协调和配合,使人体能够保持内环境的稳态和对外环境的适应,以维持人体生命活动的正常进行,这些都需要通过人体生理功能调节来完成。

### 一、人体生理功能调节的方式

人体生理功能的调节方式主要有神经调节(nervous regulation)、体液调节(humoral regulation)和自身调节(autoregulation)。

#### (一) 神经调节

神经调节是指通过神经系统的活动对人体生理功能的调节。神经调节是通过反射(reflex)活动来实现的。反射是指在中枢神经系统的参与下,人体对刺激发生的规律性反应。反射活动的结构基础是反射弧,它由感受器、传入神经、神经中枢、传出神经和效应器五个部分组成(图1-2)。如火焰(刺激)接近肢体时,局部皮肤(感受器)感受刺激并将其转变成体内可传导的电信号,通过传入神经纤维传至相应的神经中枢,中枢对传入信号进行分析、处理或整合后,发出指令,通过传出神经纤维到达所支配的肢体肌肉(效应器),引起收缩(反射效应),产生逃避火焰(刺激源)的躯体运动。反射活动的完成有赖于反射弧的结构完整和功能的正常,其中任何一部分结构被破坏或功能障碍,都会使相应的反射活动消失。

反射可分为非条件反射和条件反射两大类。非条件反射是先天遗传的、人类和动物共有的一种初级的神经活动,反射中枢在大脑皮层以下,其反射弧和反射活动较为固定,数量有限,是人类维持生命的本能活动,对个体生存及种族繁衍具有重要意义。例如,食物刺激口腔引起唾液的分泌就属非条件反射。条件反射是后天获得的,是在非条件反射的基础上结合个体的生活实践而建立起来的一种高级的神经活动,反射中枢在大脑皮层,反射弧不固定,反射活动灵活可变,数量无限,并具有预见性,可使人体对环境的适应更加机动灵活。“望梅止渴”就是一个典型例子。因此,条件反射极大地提高了人

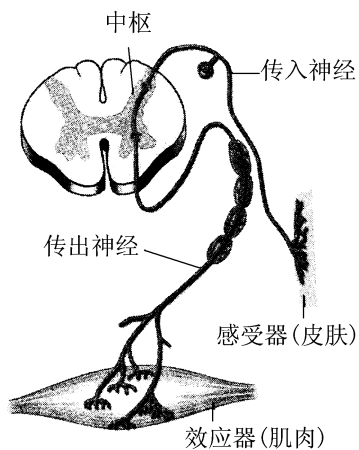


图1-2 反射弧模式图

体的生存与适应能力。

神经调节的特点是迅速、短暂而精确,具有高度的协调和整合功能,所以是人体生理功能调节中最主要的调节方式。

### (二) 体液调节

体液调节是指人体的一些细胞(如内分泌细胞)生成的某些化学物质(激素、代谢产物及其他化学物质)通过体液运输到达全身或局部,调节各器官、组织或细胞的生理活动。上述的化学物质(如激素)随血液循环到达全身各处,调节人体的代谢、生长发育等活动,称为全身性体液调节。激素由内分泌细胞分泌,被激素作用的器官、细胞分别称为靶器官、靶细胞。上述的化学物质(如代谢产物)通过在局部组织液内扩散,调节邻近组织、细胞的活动,称为局部性体液调节。体液调节的特点是缓慢、持久而广泛。

在完整的人体内,神经调节和体液调节是密切联系的。大多数内分泌腺或内分泌细胞直接或间接地受神经系统的控制。如肾上腺髓质受交感神经支配,当交感神经兴奋时,不仅通过传出神经直接作用于心脏、血管、胃肠等,还促使肾上腺髓质分泌肾上腺素和去甲肾上腺素,经过血液运输作用于心脏、血管、胃肠等。所以,体液调节常成为反射弧传出途径中的一个中间环节或辅助部分来发挥作用,形成神经-体液调节(图 1-3)。

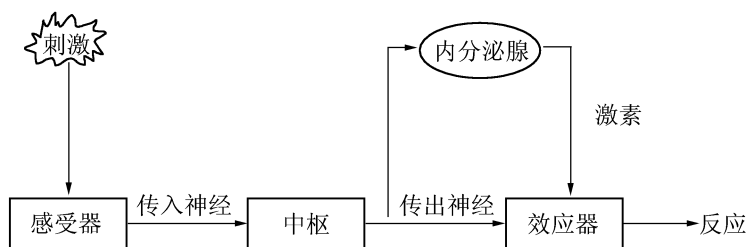


图 1-3 神经-体液调节示意图

### (三) 自身调节

自身调节是指组织、细胞在不依赖于神经或体液调节的情况下,对刺激产生的一种适应性反应。例如,当动脉血压在一定范围内波动时,脑血管可通过自身的舒缩活动来改变血流阻力,使脑血流量经常保持相对恒定。

一般说来,自身调节是一种原始简单、局限、调节幅度较小,也不十分灵敏的调节方式,但对于人体某些生理功能的调节仍有一定意义。

## 二、人体生理功能调节的反馈控制

人体生理功能的调节与工程技术的自动控制具有共同的规律。控制系统是一闭合回路,在控制部分和受控部分之间,存在着往返的双向信息联系。在人体内,控制部分相当于反射中枢或内分泌腺;受控部分相当于效应器或靶器官、靶细胞。控制部分通过控制信息(神经冲动、激素)来影响受控

### 互动

正常人体运动时心跳加快加强等变化的调节方式是什么?



部分的活动,同时,受控部分在其功能发生变化时,又可将变化的信息(反馈信息)传送至控制部分,改变其活动的强度。这种由受控部分发出的信息,对控制部分的活动状态加以影响,称为反馈(feedback)(图1-4)。根据反馈信息的作用不同,将反馈分为负反馈和正反馈两类。

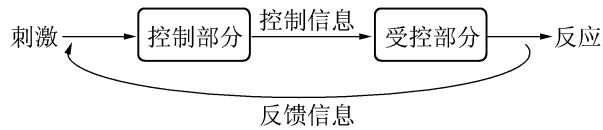


图1-4 人体生理功能调节的反馈控制示意图

### (一) 负反馈

负反馈是指反馈信息与控制信息的作用相反的反馈。负反馈是可逆的,在人体生理功能调节中最为常见,其意义在于维持人体生理功能的相对稳定。如维持人体内环境的稳态、人体动脉血压的相对稳定、人体体温的相对恒定等均属于负反馈范畴。

### (二) 正反馈

正反馈是指反馈信息与控制信息的作用一致的反馈。正反馈是不可逆的,在人体生理功能调节中远不如负反馈多见,其意义在于使某些生理功能一旦发动就迅速加强,直至完成。如排尿、分娩、血液凝固等。

反馈作用反映了人体功能活动调节的自动化。通过反馈作用,使人体对刺激的反应能够足量、及时、适度地达到某种生理需要的状态,从而使人体对内外环境的适应更为完美。

## 小结

正常人体生命活动的规律为人体生理功能。人体生命活动的基本特征有新陈代谢、兴奋性和生殖。新陈代谢包括物质代谢和能量代谢两个过程,是生命的最基本特征。兴奋性是指人体对环境条件变化发生功能活动改变的能力或特性。能引起人体发生功能活动改变的内外环境条件的变化称为刺激。人体接受刺激后,其内部的代谢活动以及外部功能状态发生相应的改变称为反应。单位时间内,在刺激强度-时间变化率不变的条件下,能引起组织发生反应的最小刺激强度称为阈值,其可作为衡量组织兴奋性高低的客观指标,两者呈反变关系。人体对刺激的反应有两种基本表现形式,即兴奋和抑制。

细胞外液是细胞直接生活的体内环境,称为人体的内环境,其各种理化因素(温度、渗透压、酸碱度和各种化学成分的浓度等)总是保持相对的稳定的状态称为内环境的稳态,它是维持细胞正常生理功能和保证人体生命活动正常进行的必要条件。

人体通过神经调节、体液调节和自身调节以保持内环境的稳态和对外环境的适应,维持人体生命活动的正常进行。神经调节是指通过神经系统的活动对人体生理功能的调节,是通过反射活动来实现的,其特点是迅速、短暂而精确,具有高度的协调和整合功能,是人体生理功能调节中最主要的调节方式。体液调节是指人体的一些细胞(如内分泌细胞)生成的某些化学物质(激素、代谢产物及其他化学物质)通过体液运输到达全身或局部,调节各器官、组织或细胞的生理活动,其特点是缓慢、持久而广泛。自身调节是指组织、细胞在不依赖于神经或体液调节的情况下,对刺激产生的一种适应性反应。

其特点是原始简单、局限。人体生理功能调节的反馈作用,使人体对刺激的反应能够足量、及时、适度地达到某种生理需要的状态,从而使人体对内外环境的适应更为完美。反馈分为负反馈和正反馈两类,负反馈是指反馈信息与控制信息的作用相反的反馈,具有可逆性,在人体生理功能调节中最为常见,其意义在于维持人体生理功能的相对稳定。



### 练习与实践

何谓内环境稳态? 人体如何保持内环境稳态?

(淮阴卫生高等职业技术学校 季宁东)

# 单元

## 2

# 细胞的基本功能



### 学习目标

1. 掌握细胞膜的物质转运功能的形式和特点。
2. 熟悉静息电位和动作电位及其产生机制。
3. 了解细胞的跨膜信号转导、细胞膜的受体功能。
4. 能解释某些气体、液体、固体及离子穿越细胞膜的现象。
5. 能举例说明生物电现象在医学及相关领域中的应用。
6. 激发培养学生学习的兴趣,培养学生的团队合作精神。

人体的各种功能活动均是在细胞基础上进行的,细胞是人体结构和功能的基本单位。因此,研究细胞的功能活动,有助于揭示生命活动的本质,理解生命的基本活动规律。细胞的功能涉及较广,本单元主要讨论细胞膜的物质转运功能及细胞的生物电现象。

## 第一节

## 细胞膜的物质转运功能

细胞在代谢过程中所需要的氧( $O_2$ )、葡萄糖、氨基酸等营养物质及所产生的二氧化碳( $CO_2$ )、氨( $NH_3$ )等物质,都必须通过细胞膜进行转运,它们是如何转运的呢(图 2-1)?

### 一、小分子物质和离子的跨膜转运

根据物质跨膜转运的方向和能量消耗的情况,将小分子物质和离子的跨膜转运分为被动转运(passive transport)和主动转运(active transport)两大类(图 2-2)。

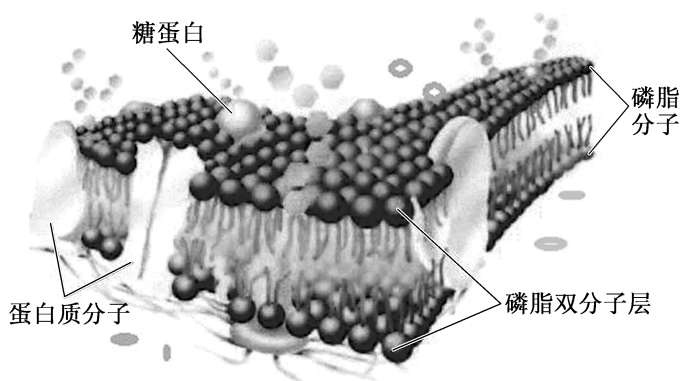


图 2-1 细胞膜的“液态镶嵌模型”

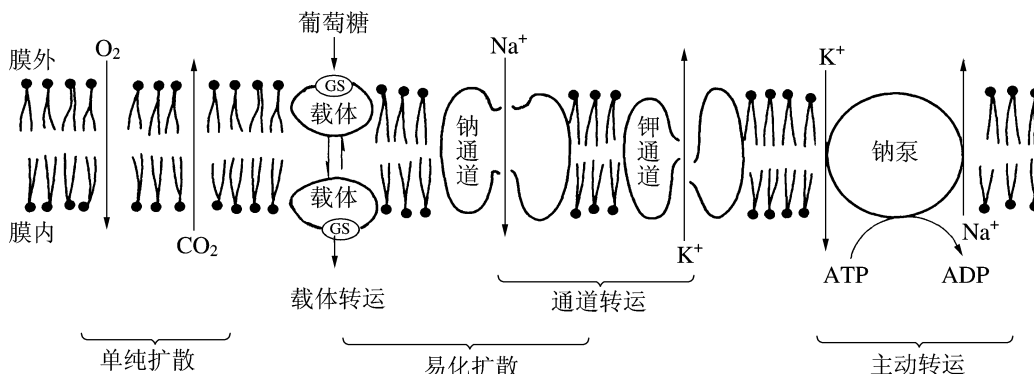


图 2-2 细胞膜对物质转运的几种形式示意图

### (一) 被动转运

被动转运是物质顺浓度差和电位差跨膜转运的方式。转运过程中不需要消耗能量,根据是否需要细胞膜上特殊蛋白质的帮助可分为单纯扩散 (simple diffusion) 和易化扩散 (facilitated diffusion)。

#### 1. 单纯扩散

单纯扩散是指脂溶性小分子物质顺浓度差和电位差跨膜转运的方式。由于细胞膜的基架是脂质双分子层,因而只有脂溶性物质能以单纯扩散方式通过细胞膜,通常情况下,体内以这种方式转运的物质主要有  $\text{CO}_2$  和  $\text{O}_2$ 。单纯扩散的方向和速度取决于物质在膜两侧的浓度差和膜对该物质的通透性。

#### 2. 易化扩散

易化扩散是指脂溶性很低或非脂溶性的小分子物质或离子借助特殊膜蛋白质的帮助,顺浓度差和电位差的跨膜转运方式。根据参加易化扩散的膜蛋白质的不同,将其分为载体易化扩散和通道易化扩散两种类型。

(1) 载体易化扩散:通过细胞膜中的载体蛋白构型变化,将物质顺浓度差和电位差转运的方式称为载体易化扩散。载体转运的特点有:① 特异性高。一种载体只能转运某种特定结构的物质。② 饱和现象。由于膜上载体和载体结合位点的数目都是有限的,因此,当被转运物质全部占据载体结合位点时,转运速率将达到饱和而不再继续增加。③ 竞争性抑制。如果一个载体可以同时转运 A、B 两种物质,而且物质通过细胞膜的总量又是一定的,那么当 A 物质转运增加时,B 物质的转运就会减少。

(2) 通道易化扩散:借细胞膜中通道蛋白的帮助,物质顺浓度差和电位差跨膜转运的方式称为通道易化扩散。细胞膜上的通道蛋白像贯通细胞膜的一条管道,在一定条件下迅速开放或关闭。开放时,物质顺浓度差和电位差移动;关闭时,虽然膜两侧存在浓度差和电位差,但物质不能通过细胞膜。

### (二) 主动转运

主动转运是指细胞借助膜上特殊蛋白(泵蛋白)的作用,通过耗能过程,将小分子物质或离子逆浓度差和电位差的跨膜转运过程。主动转运分为原发性主动转运和继发性主动转运。

### 1. 原发性主动转运

原发性主动转运是指细胞直接利用代谢产生的能量将物质(通常是带电离子)逆浓度差或电位差进行跨膜转运的过程。介导这一过程的膜蛋白称为离子泵。离子泵可将细胞内的ATP水解为ADP,并利用高能磷酸键贮存的能量完成离子的跨膜转运。离子泵由于具有水解ATP的能力,所以也称为ATP酶(ATPase)。

人体的细胞膜上普遍存在的离子泵主要是钠-钾泵(sodium-potassium pump),简称钠泵,也称 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 酶(图2-2)。钠泵每分解1分子ATP,可将3个 $\text{Na}^+$ 移出胞外,同时将2个 $\text{K}^+$ 移入胞内。由于钠泵的活动,使细胞内 $\text{K}^+$ 的浓度为细胞外液中的30倍左右,而细胞外液中 $\text{Na}^+$ 浓度为细胞质中的10倍左右。当细胞内 $\text{Na}^+$ 浓度升高或细胞外 $\text{K}^+$ 浓度升高时,都可激活钠泵。

### 2. 继发性主动转运

有些物质虽然也是逆浓度梯度主动转运,但不是直接依靠ATP分解能量,而是依靠 $\text{Na}^+$ (或其他物质)在膜两侧的浓度差,即依靠存储在离子浓度梯度中的能量来完成转运的,如小肠黏膜对葡萄糖、氨基酸的重吸收就是通过这种转运形式完成的。

## 二、大分子物质或物质团块的跨膜转运

细胞摄入或排出大分子物质是通过细胞膜的变形运动来完成的,即入胞作用(endocytosis)和出胞作用(exocytosis)。

### (一) 入胞作用

大分子物质或物质团块从细胞外进入细胞内的过程称入胞作用。若进入的物质为固体则称为吞噬,如白细胞或巨噬细胞将异物或细菌吞噬到细胞内部的过程。若所进入的物质为液体则称为吞饮,如小肠上皮细胞对营养物质的吸收过程。

互动

$\text{CO}_2$ 、葡萄糖、 $\text{Na}^+$ 及异物是怎样穿越细胞膜的?

### (二) 出胞作用

大分子物质或物质团块由细胞内排出到细胞外的过程,称出胞作用。如消化腺分泌消化液、内分泌腺分泌激素、神经末梢释放神经递质等,都是通过出胞作用完成的。

入胞作用和出胞作用都伴随着膜的变形运动,都需要消耗能量,属于主动转运。

## 第二节

## 细胞的生物电现象

图2-3是人的脑电图波形记录,表明人的脑细胞有电活动存在,那么人体的其他细胞是否也有电活动存在?安静时和活动时有什么不同?

细胞在生命活动过程中伴有的电现象,称为生物电(bioelectricity)现象,包括细胞在安静和活动状态时存在的电现象。它与细胞兴奋的产生和传导有着密切的关系。现以神经细胞为例来讨论细胞的生物电现象。



## 一、静息电位及其产生机制

### (一) 静息电位的概念

静息电位 (resting potential, RP) 是指细胞在静息状态下, 存在于细胞膜内外两侧的电位差。可用示波器进行观察测量。将示波器的两个测量电极放置在神经细胞外表面任意两点或均插入细胞膜内时, 示波器上的光点在零位线上做横向扫描, 表明细胞膜外表面或内表面任意两点间不存在电位差。若将其中一个电极置于细胞膜外表面, 另一个电极插入细胞膜内, 则示波器光点立即从零电位向下移动, 并以此水平做横向扫描, 说明细胞膜内外存在着电位差, 而且膜内电位较膜外低。若以膜外电位为零, 则膜内电位为负值, 一般以细胞内的电位值表示静息电位(图 2-4)。

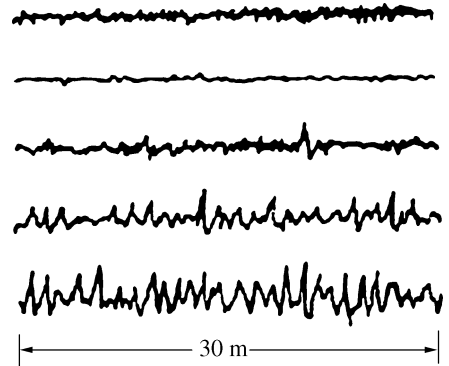


图 2-3 人的脑电图波形记录

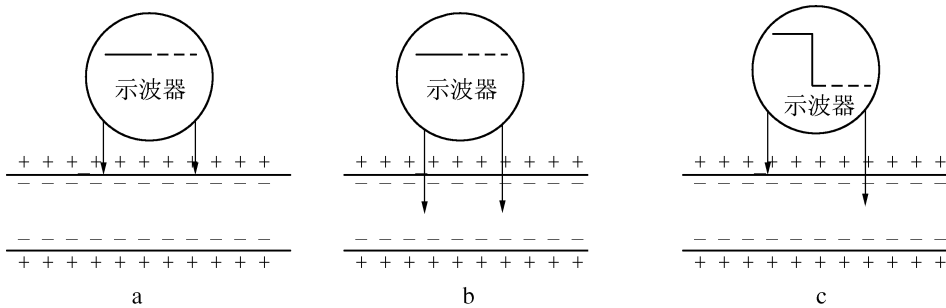


图 2-4 测定静息电位示意图

不同组织细胞的静息电位是不同的, 如神经细胞约为  $-70\text{ mV}$ , 骨骼肌细胞约为  $-90\text{ mV}$ , 平滑肌细胞约为  $-55\text{ mV}$  等。细胞在静息时膜两侧保持内负外正的状态, 称为极化。极化和静息电位都是细胞处于静息状态的标志。以静息电位为准, 若膜内电位向负值增大方向变化, 称为超极化; 膜内电位向负值减小方向变化, 称为去极化; 细胞发生去极化后, 向原先的极化方向恢复, 称为复极化。从生物电来看, 细胞的兴奋和抑制都以极化为基础, 细胞去极化时表现为兴奋, 超极化时则表现为抑制。绝大多数细胞的静息电位都是稳定的、分布均匀的负电位。

### (二) 静息电位产生的机制

“离子流学说”认为, 生物电的产生必须具备两个条件: ① 细胞膜内外两侧离子分布和浓度不同。② 细胞膜在不同状态下对离子的通透性不同。据测定, 在静息状态下细胞膜内外主要离子分布及膜对离子的通透性如表 2-1 所示。

在静息状态下, 由于膜内外  $\text{K}^+$  存在浓度差和膜对  $\text{K}^+$  有较大的通透性, 因而一部分  $\text{K}^+$  顺浓度差向膜外扩散, 增加了膜外正电荷。虽然膜内带负电的蛋白质离子 ( $\text{A}^-$ ) 有随  $\text{K}^+$  外流的倾向, 但因膜对  $\text{A}^-$  没有通透性, 被阻隔在膜的内侧。随着  $\text{K}^+$  不断外流, 膜外正电荷逐渐增多, 于是膜外电位上升, 膜内因负电荷增多而电位下降, 这样便使紧靠膜的两侧出现一个外正内负的电位差。这种电位差的存在, 使  $\text{K}^+$  的继续外流受到膜外正电荷的排斥和膜内负电荷的吸引, 以致限制了  $\text{K}^+$  的外流。随着电位差的增大,  $\text{K}^+$  外流的阻力也随之增大。最后, 当促使  $\text{K}^+$  外流的浓度差和阻

止  $K^+$  外流的电位差所构成的两种互相拮抗的力量相等时,  $K^+$  的净外流停止, 此时跨膜电位就是  $K^+$  的平衡电位。  $K^+$  的平衡电位与实际测得的静息电位略有差别, 通常比测定值高(即负值略小), 这是由于在静息状态下膜对  $Na^+$  也有较小的通透性, 有少量  $Na^+$  顺浓度差向膜内扩散的缘故。 简而言之, RP 主要是  $K^+$  外流所形成的电-化学平衡电位。

表 2-1 静息状态下细胞膜内外主要离子分布及膜对离子的通透性

主要离子	膜内离子浓度 / (mmol/L)	膜外离子浓度 / (mmol/L)	膜内与膜外离子比例	膜对离子通透性
$Na^+$	14	142	1 : 10	通透性很小
$K^+$	155	5	31 : 1	通透性很大
$Cl^-$	8	110	1 : 14	通透性次之
$A^-$ (蛋白质)	60	15	4 : 1	无通透性

## 二、动作电位及其产生机制

### (一) 动作电位的概念

细胞膜受到刺激时, 在静息电位的基础上发生一次可扩布的电位变化, 称为动作电位(action potential, AP)。

AP 包括上升相和下降相。上升相表示膜的去极化过程, 此时膜内原有的负电位迅速消失, 并进而变为正电位, 即由  $-70\text{ mV}$  变为  $+35\text{ mV}$ , 出现膜两侧电位倒转(外负内正), 其超出零电位的部分称为超射。下降相代表膜的复极化过程, 是膜内电位从上升相顶端下降到 RP 水平的过程。神经纤维 AP 的主要部分由于幅度大、时程短(不到  $2\text{ ms}$ ), 电位波形呈尖峰形, 称锋电位。在锋电位完全恢复到 RP 水平之前, 膜两侧还有微小的连续缓慢的电位变化, 称为后电位(图 2-5)。

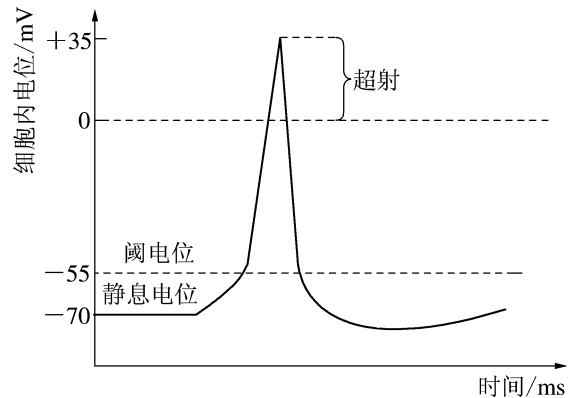


图 2-5 神经纤维动作电位示意图

### (二) 动作电位的产生机制

动作电位的产生由于膜对离子的通透性在受到刺激后发生短暂的、可逆性改变。静息状态时膜对  $Na^+$  的通透性极低, 受到刺激时, 膜对  $Na^+$  的通透性增大。AP 上升相是由于细胞受到有效刺激后, 膜外  $Na^+$  大量内流, 膜内电位迅速升高, 使原来的负电位消失并高出膜外电位, 在膜两侧形成一个内正外负的电位差。这种电位差的存在, 使  $Na^+$  的继续内流受到膜内正电荷的排斥和膜外负电荷的吸引, 因而  $Na^+$  内流量逐渐减少, 当促使  $Na^+$  内流的浓度差与阻止  $Na^+$  内流的电位差所构成的两种互相拮抗的力量相等时,  $Na^+$  的净内流停止。此时膜电位为  $Na^+$  的平衡电位。简而言之, AP 的上升相是  $Na^+$  内流所形成的电-化学平衡电位, 是膜由  $K^+$  平衡电位转为  $Na^+$  平衡电位的过程。

AP 下降相是由于膜电位接近  $Na^+$  平衡电位时, 膜上  $Na^+$  通道已关闭, 对  $Na^+$  的通透性迅速下降。与此同时, 膜上  $K^+$  通道开放, 对  $K^+$  的通透性大增。于是,  $K^+$  顺浓度差和电位差迅速外流,

使膜内外电位又恢复到原来的内负外正的静息水平,形成 AP 的下降相。简而言之,AP 下降相是  $K^+$  外流所形成的,是膜由  $Na^+$  平衡电位转变为  $K^+$  平衡电位的过程。

细胞膜在复极化后,跨膜电位虽然恢复,但膜内  $Na^+$  有所增多,而  $K^+$  有所减少。这时便激活了细胞膜上的钠-钾泵,通过  $Na^+$ 、 $K^+$  的主动转运,重新将它们调整到原来静息时的水平,以维持细胞正常的兴奋性。



生物电现象在医学上有哪些应用呢?



相关链接

### 脑电图波的形成

人体的大脑有 140 亿个脑细胞,其中有 2.5 亿个神经细胞。神经细胞活动时会产生各种生物电信号,脑电图就是利用脑电图机记录人体大脑生物电的信息的。只要将脑电图机的探测仪电极贴在头皮上,仪器就能收到脑电活动整个过程中电位的变化,这时扫描笔便在移动着的图纸上描绘出各种曲线。由于曲线的频率和振幅不同,就构成了不同的波形,形成了脑电图波。

### (三) 动作电位的引起与传导

#### 1. 动作电位的引起

细胞膜受到阈刺激或阈上刺激后,首先是该部位细胞膜上  $Na^+$  通道少量开放,膜对  $Na^+$  的通透性稍有增加,少量  $Na^+$  由膜外流入膜内,使膜内外电位差减小,当达到某一临界值时,受刺激部位的膜上  $Na^+$  通道全部开放,使膜对  $Na^+$  的通透性突然增大,于是膜外  $Na^+$  顺浓度差和电位差迅速大量内流,从而爆发动作电位。能使膜对  $Na^+$  通透性突然增大的临界膜电位数值称为阈电位 (threshold potential)。阈电位比 RP 小 10~20 mV。任何刺激必须使膜内负电位降到阈电位水平,才能爆发 AP。



知识拓展

### 局部电位

一次阈下刺激虽然不能触发 AP 的发生,但可引起局部去极化,这种局部去极化的电位称为局部电位。局部电位具有以下特点:① 等级性。局部电位的大小可以随刺激强度增大而增大。② 电紧张性传播。可向周围传播,其电位变化逐渐减小,最后消失。③ 可总和。几个阈下刺激引起的局部反应可叠加起来,通过总和使细胞内电位达到阈电位,从而触发 AP。

#### 2. 动作电位的传导

其传导机制以“局部电流学说”解释。该学说认为,当细胞某一局部受刺激而兴奋时,其兴奋部位膜电位由原来的内负外正转变为内正外负的去极化状态,于是兴奋部位和邻近的静息部位之间出现了电位差,导致局部的电荷移动,即膜外正电荷由静息部位移向兴奋部位,膜内正电荷由兴奋部位移向静息部位,形成局部电流环路。这种局部电流使静息部位的膜内电位升高和膜外电位

降低,使相邻部位的膜产生局部去极化(局部兴奋)。当这种局部去极化达到阈电位时,该部位就爆发新的 AP。这个新的兴奋部位,又与它相邻的静息部位之间出现局部电流,如此沿膜连续移动就表现为 AP 的传导。有髓神经纤维 AP 的传导是从一个郎飞结传给相邻的郎飞结,呈跳跃式传导,其传导速率比无髓神经纤维快得多(图 2-6)。

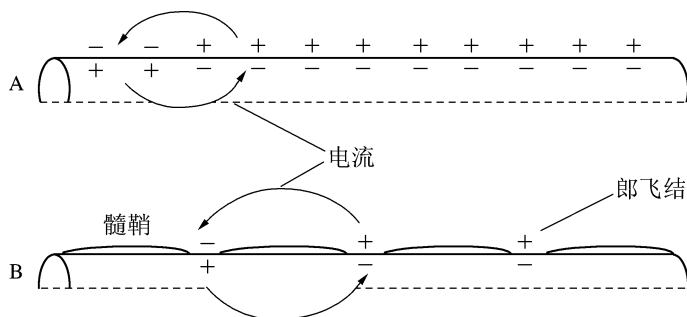


图 2-6 神经纤维动作电位传导示意图

简而言之,AP 的传导是细胞的兴奋部位与静息部位之间产生局部电流导致的结果。AP 在神经纤维上的传导,称为神经冲动(nerve impulse)。

AP 与局部反应相比,其特点是:① 不衰减性传导。动作电位传导时,电位幅度不会因距离增大而减小。② “全或无”现象。动作电位要么不产生(无),一旦产生就是最大值(全);幅度不随刺激的强度增加而增大。③ 双向性传导。如果刺激神经纤维中段,产生的 AP 可沿膜向两端传导。

知识拓展



细胞的跨膜信号转导功能

人体细胞的活动主要接受各种化学物质的调节,如神经递质和激素。大多数调节性化学物质并不进入细胞,而是作用于细胞膜表面的特殊蛋白质结构(受体),通过蛋白质分子构型的改变,将调节信息以新的信息形式传递至膜内,进一步引起细胞相应功能变化,这一过程称为跨膜信号转导。

**受体(receptor)**是指细胞膜或细胞内的一类特殊蛋白质,它们能选择性地与体液中某些化学物质相结合而产生一定的生理效应。受体与化学物质(配体)结合是引起信号传递并发挥调节的初始阶段。目前已被克隆的膜受体有数百种,根据它们的分子结构和信号转导方式,大体可以分为三类:G 蛋白耦联受体,离子通道受体,酶耦联受体。每类受体都通过各自不同的细胞信号分子完成信号转导。

(1) G 蛋白耦联受体介导的信号转导:G 蛋白耦联受体是指配体-受体复合物与靶蛋白的作用要通过与 G 蛋白(鸟苷酸结合蛋白)的耦联,在细胞内产生第二信使,从而将胞外信号跨膜传递到胞内,影响细胞的功能。其信号传递通路主要有 cAMP 信号通路和磷脂酰肌醇信号通路。

(2) 离子通道受体介导的信号转导:离子通道耦联受体既有信号结合位点,又是离子通道。当信号分子与该受体特异性结合后,引起该通道的开放或关闭,完成跨膜信号传递过程。这类通道的典型代表为 N<sub>2</sub> 型 Ach 型门控通道。

(3) 酶耦联受体介导的信号转导:酶耦联受体都是跨膜蛋白,胞外配体与受体结合即激活受体胞内段的酶活性。除受体酪氨酸激酶外,还包括受体丝氨酸/苏氨酸激酶、受体酪氨酸磷酸酯酶、受体鸟苷酸环化酶和酪氨酸蛋白激酶耦联受体等几种类型。受体酪氨酸激酶只有一个跨膜 $\alpha$ -螺旋,当位于膜外侧的较长的肽链部分同特定的化学信号结合后,可以直接引起受体肽链的膜内段激活,使之具有磷酸激酶活性,通过使自身肽链和膜内蛋白质底物中的酪氨酸残基发生磷酸化,而产生细胞内效应。

总之,通过跨膜信号转导系统,使细胞之间能相互联系和沟通,协调不同的组织器官中各个细胞的代谢、分泌、分化和增殖等活动,保持人体整体功能的顺利进行。

### 小结

细胞是人体结构和功能的基本单位。细胞在新陈代谢过程中需要的营养物质及产生的代谢产物,都是跨过细胞膜进行转运的。根据物质跨膜转运的方向和能量消耗的情况,将小分子物质和离子的跨膜转运分为被动转运和主动转运两大类,大分子物质是通过细胞膜的变形运动来完成的,即入胞作用和出胞作用。

一切生物体在生命活动过程中表现的电现象,称为生物电现象,包括细胞在安静和活动状态时伴有的电现象。细胞在未受刺激时(静息状态下)存在于细胞膜内外两侧的电位差称静息电位。其主要是 $K^+$ 外流所形成的电-化学平衡电位。细胞膜受到刺激时,在静息电位的基础上发生一次可扩布的电位变化称动作电位。动作电位的上升相主要是 $Na^+$ 内流所形成的电-化学平衡电位。下降相主要是 $K^+$ 外流所形成。复极化后的 $Na^+$ 、 $K^+$ 的主动转运,重新调整了细胞膜内外的离子浓度。



### 练习与实践

1. 请叙述小分子物质或离子跨膜转动的方式和特点。
2. 临床采血时,针刺手指会引起疼痛,请阐述其动作电位的产生机制、传导及其特点。

(南通卫生高等职业技术学校 周爱华)