

神经电信号

第一节 神经系统和神经调控

第二节 神经电信号的产生与传递

第一节 神经系统和神经调控

- 一、 中枢神经系统
- 二、 周围神经系统
- 三、 自主神经系统

- 中枢神经系统
  - 脑
  - 脊髓
- 周围神经系统
  - 脑神经(12对)
  - 脊神经(31对)
- 自主神经系统

一、 中枢神经系统

(一) 脑的结构与基本职能

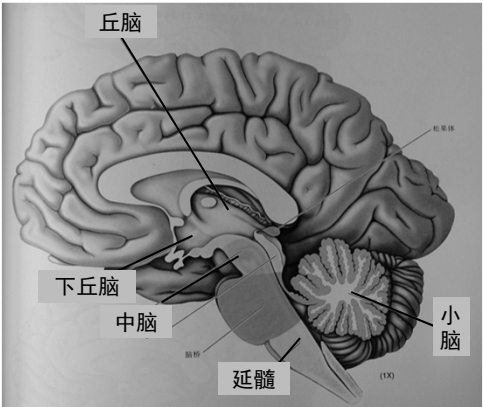
脑悬浮在脑积液中，  
受到脑脊膜的保护。

通过颅骨上的小孔插到侧  
脑室的导管

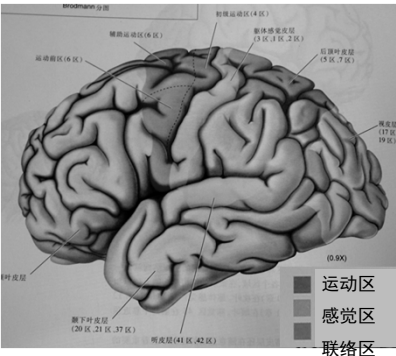
导液管，通常插到腹膜腔中



大脑  
中脑  
小脑  
间脑  
脑桥  
延髓



大脑：为神经系统的主宰，人类的大脑为一切意识，思想，语言和行为等的策划中枢。



**中脑：**整合和传送感觉信息，如整合视觉和听觉信息。

**小脑：**管理肢体肌肉平衡和协调各部分肌肉运动。

**延髓：**是脏腑器官的反射中枢，含有多种“活命中枢”。是维持内稳态的重要器官。许多维持生命的必要反射都通过延髓来实现。呼吸、心搏、吞咽、咳嗽、喷嚏、呕吐。

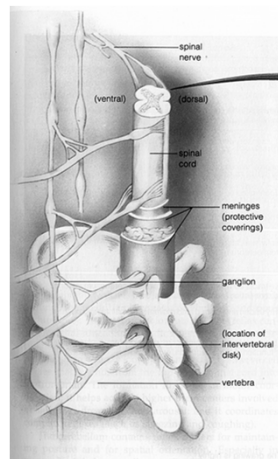
**丘脑：**哺乳类以上，大脑取代了部分丘脑的功能，但来自脊髓和脑后部的感觉冲动要通过丘脑。

**下丘脑：**控制脑垂体和激素的分泌。

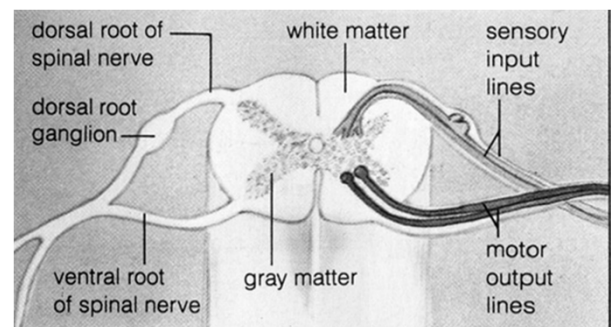
## (二) 脊髓的结构与功能

### 1、脊髓的结构

**脊髓(spinal cord)**是脊椎动物中枢神经系统的低级部位。为一条灰白色的长管。脊髓分灰质和白质。灰质在内，白质在外。



灰质是神经元的细胞体和无鞘神经，白质是主要是有鞘神经集中处。



### 2、脊髓的功能

#### (1) 传导

由周围神经(脊神经)传来的冲动经脊髓上行入脑，脑的信息也经脊髓、脊神经而到达身体各部。把躯体组织器官同脑的活动联系起来。

#### (2) 反射中心

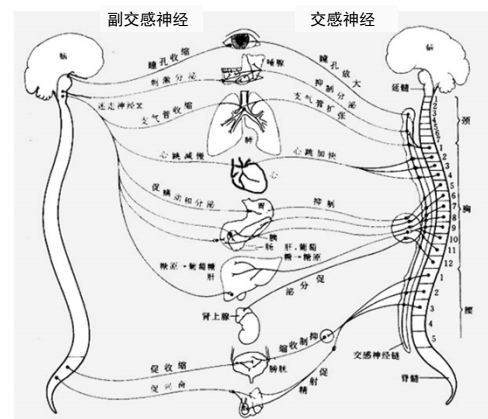
完成某些基本的反射活动。  
如：泄殖系统的反射等。

## 二、周围神经系统

把中枢神经系统与身体各部位联系起来的神经称为周围神经系统。

#### (一) 脑神经

#### (二) 脊神经



## 第二节 神经电信号的产生与传递

- 一、静息膜电位
- 二、局部电位
- 三、动作电位
- 四、化学突触传递
- 五、神经电信号的传递

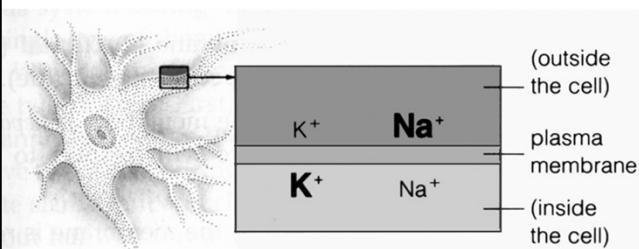
### 一、静息膜电位

#### (一) 静息膜电位：

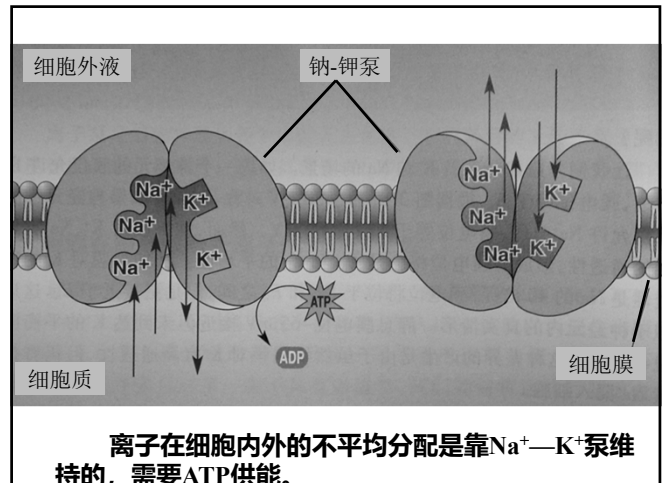
细胞处于安静状态下的膜电位。是正常神经元功能的表现。

静息状态下，神经元细胞膜处于外正内负的极化状态，有一定的电位差。

#### 静息膜电位



这种电位差是由膜两侧离子浓度决定的，很重要的一点是 $K^+$ 浓度膜内高于膜外， $Na^+$ 浓度膜外高于膜内。



离子在细胞内外的不均匀分配是靠 $Na^+-K^+$ 泵维持的，需要ATP供能。

#### 静息膜电位的形成：

膜对 $Na^+$ 、 $K^+$ 的透性不同， $Na^+$ 很难通过， $K^+$ 易于通过，因而泵出的 $Na^+$ 很难重新过膜进入神经，而泵入的 $K^+$ 却可以从膜漏出。

细胞内 $K^+$ 从膜内向膜外扩散，而带负电荷的大分子有机物不随通透而外出。结果使膜内电位下降为负而膜外电位上升为正，形成外正内负的极化(polarization)状态。

### 二. 局部电位

局部电位是给予神经元膜去极化电刺激引起的电紧张电位及少量 $Na^+$ 通道开放少量 $Na^+$ 内流引起的阈电位以下的去极化反应，代表了神经元膜的局部兴奋性变化。广义上，各种原因引起的膜电位偏离静息电位而未达到阈电位水平的变化，既代表了细胞功能的改变又局限于局部电位。

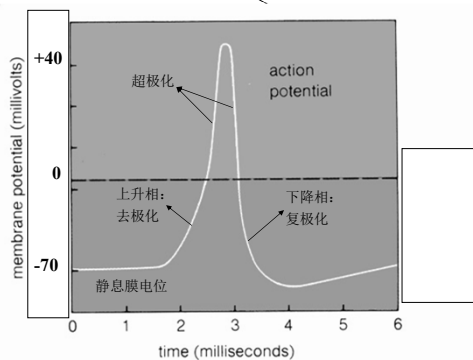
### 局部电位的特性

- 1.等级性，存在于由刺激引起的局部电位中，也称刺激强度依赖性。是指局部电位的反应程度随着刺激强度的改变而改变，呈现分级的特点。是局部电位最基本的特性。
- 2.电紧张性扩布，是指局部电位只能像电紧张电位一样进行被动扩布，随着扩布距离的延长，迅速衰减，其扩布距离非常有限，不能进行长距离传导。
- 3.总和性，即局部电位具有的可相加性，同一方向相加，不同方向相减。

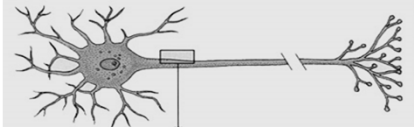
### 三. 动作电位 (AP)

- 动作电位是神经元在静息电位基础上，受到刺激后膜电位所发生的快速翻转和复原的过程，是一种可传导的神经电信号。
- 动作电位是神经元兴奋和活动的标志，是神经信息编码的基本单位，在复杂的神经网络中，是信息赖以生产、编码、传输、加工和整合的载体。

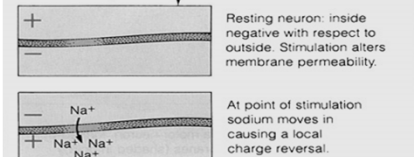
### 动作电位



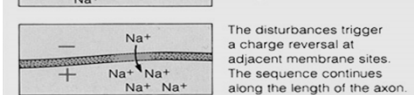
#### 静息膜电位



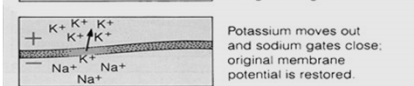
#### 去极化



#### 超极化



#### 复极化

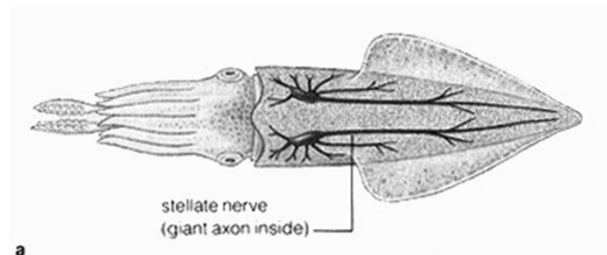


### 动作电位产生机制

当膜受到超过阈值的刺激时，膜自动发生的去极化、超极化和复极化的过程。

一个阈上刺激使膜的通透性改变，膜外的 $\text{Na}^+$ 迅速向膜内流，使膜内的正电荷上升，构成动作电位上升相，称为去极化。在上升相中，膜内电位变正，膜外电位变负的部分，称为超极化。膜的通透性很快恢复， $\text{K}^+$ 向膜外流，电位很快恢复到静息状态，构成动作电位下降相，称为复极化。

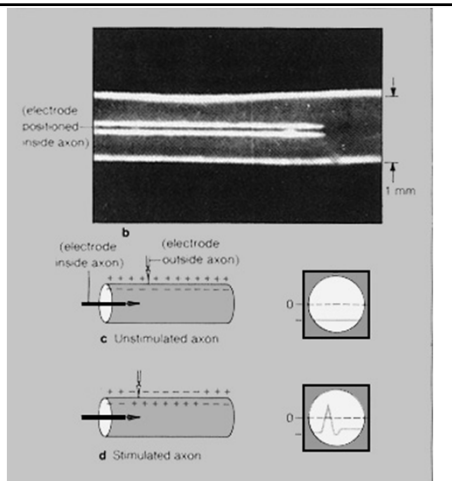
### 动作电位 - 机制研究



具巨大神经轴突的章鱼

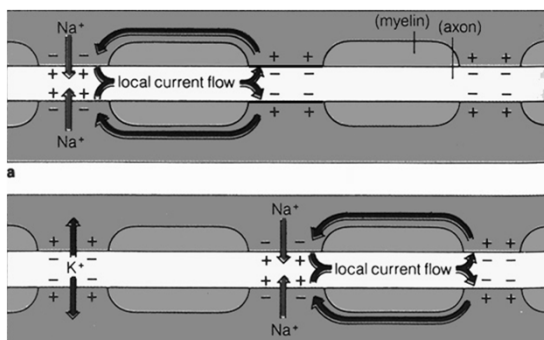
传导速度可达30m/s

## 动作电位 - 机制研究



## 动作电位的传导

### 动作电位的传导



兴奋的神段和它相邻的未兴奋的神段之间的电位恰好相反，由于电位差的存在因而有电荷移动，形成局部电流。这种局部电流犹如外加电刺激的作用，足以使峰形电位前沿的静息膜发生去极化、超极化和复极化。刺激信号就向前传递。

如何保障动作电位向同一方向传递？

动作电位发生后，神经纤维不能立刻发生新的动作电位，也就是说，神经冲动传到过去之后，神经有一个很短的不应期。在不应期中，Na<sup>+</sup>管道关闭，动作电位不能发生。

两节髓鞘相接的地方，即郎飞节是没有髓鞘的，有鞘神经的动作电位正是在没有髓鞘的郎飞节处发生的。

在郎飞节上发生的神经冲动是跳跃式的传导，即一个郎飞节出现的动作电位引起相邻郎飞节出现动作电位。这种跳跃式传导：加速传导的速度，并能节约能量。

有髓鞘神经传导所需的能不过是同样大小的无髓鞘神经传导所需能的1/5000!

## 动作电位特征

### 1. “全或无”现象

同一细胞AP不随刺激强度改变的性质。刺激弱，不能产生AP（无），增强刺激，产生固定形态大小的AP（全），更强的刺激不能产生更大的AP，这是与局部电位完全不同的特征，称为非等级性或非刺激强度依赖性。

一个神经元产生的AP的形态大小，是神经元内在的特性，不仅与刺激强度无关，与刺激的性质也无关，刺激是产生AP的诱发因素

## 动作电位特征

### 2. 全幅式传导

除了被动扩布外，可以在同一神经元上进行距离全幅式主动性的传导，即不衰减传导。

### 3. 不可叠加性

在产生AP期间，神经元兴奋性会发生改变，特别是不应期存在，故不可能在发生AP的同时又出现另一个AP。

## 四、化学突触传递

突触前神经元产生的兴奋性电信号（动作电位）诱发突触前膜释放神经递质，跨过突触间隙而作用于突触后膜，进而改变突触后神经元的电活动。

由此可见，在化学突触传递过程中，突触前神经元首先通过释放神经递质，将神经电信号转变为化学信号，然后携带信息的神经递质作用于突触后膜，并将化学信号再转变为电信号，所以又称为电—化学—电传递。

## 突触传递的过程

突触前神经元兴奋→突触前膜去极化→前膜的电压门控式 $\text{Ca}^{2+}$ 通道打开→胞外 $\text{Ca}^{2+}$ 进入突触前膜→神经递质释放→递质在突触间隙内扩散→与后膜上的特异受体结合→后膜上某些离子通道开放→某些离子进入胞内→突触后膜去极化或超极化。

## 突触后电位

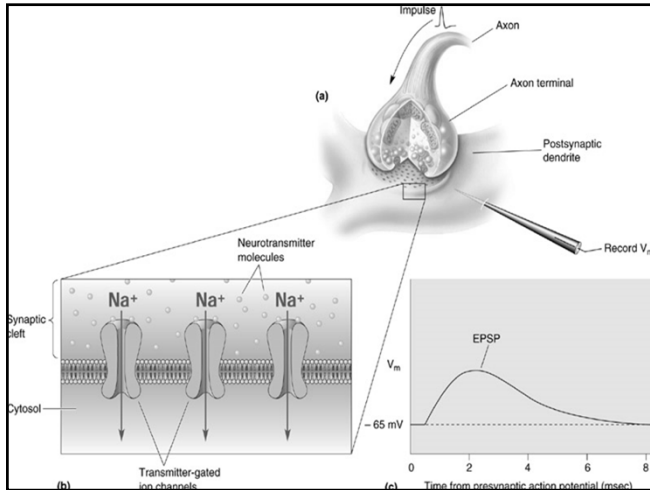
指突触后膜上的电位变化

### 1. 兴奋性突触后电位

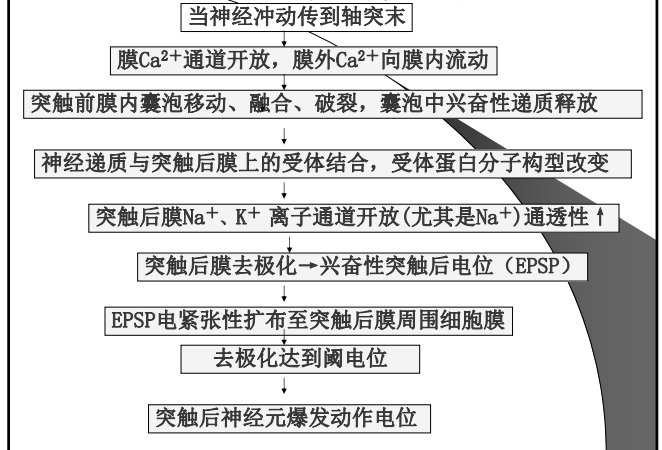
\*概念：在递质作用下，突触后膜的膜电位发生去极化改变，使突触后神经元的兴奋性升高，这种电位变化称为EPSP。

\*实验证据：

\*形成EPSP的机制：兴奋性递质作用于突触后膜上受体——增大后膜对 $\text{Na}^+$ 和 $\text{K}^+$ 的通透性，特别是 $\text{Na}^+$ 的通透性——局部膜的去极化。



### 化学性突触处的兴奋性信息传递过程



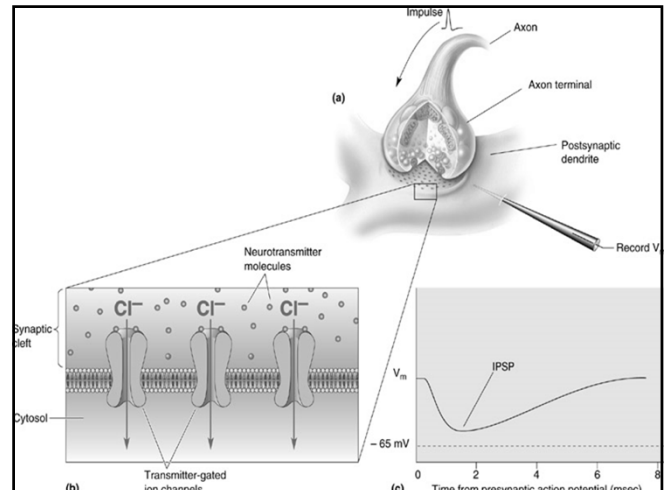
## 2. 抑制性突触后电位

**\*概念：**在递质作用下，突触后膜的膜电位产生超极化改变，使突触后神经元兴奋性下降，这种后电位变化称为IPSP。

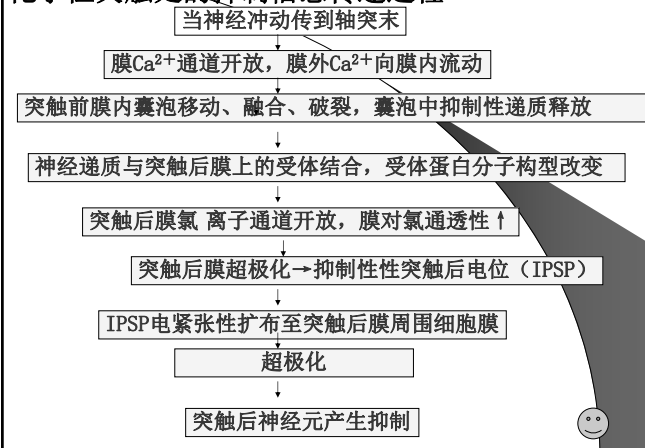
**\*实验证据：**刺激伸肌肌梭的传入神经纤维，屈肌运动神经元记录。

**\*产生IPSP的机制：**

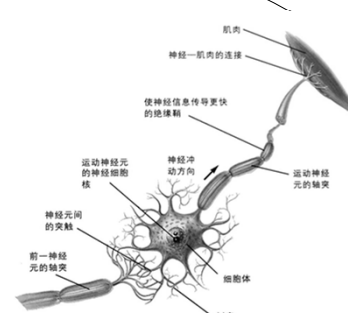
抑制性递质作用突触后膜，使后膜上的 $\text{Cl}^-$ 通道开放 →  $\text{Cl}^-$ 内流 ↑ → 膜电位发生超极化。



### 化学性突触处的抑制信息传递过程



## 五. 神经电信号的传递



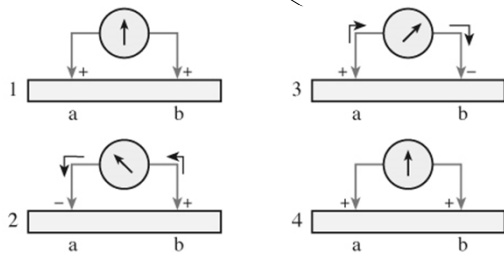
神经兴奋的传导包括：

- ①神经纤维上的传导
- ②细胞间的传导

树突→细胞体→轴突→另一神经元的树突或细胞体→.....



### 神经表面电位差的实验



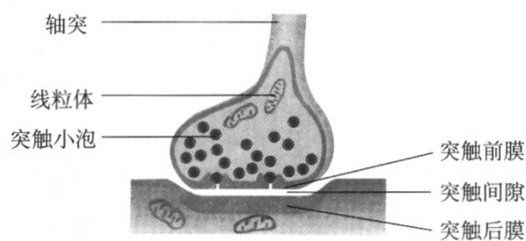
说明：兴奋是以电信号的形式沿着神经纤维传导的，这种电信号也叫神经冲动。

### 兴奋在神经纤维上的传导

#### 特点：

- ①**双向传导性**：刺激神经纤维的任何一点，产生的冲动可沿神经纤维向两侧同时传导。
- ②**生理完整性**：要求神经纤维在结构和生理上是完整的。
- ③**绝缘性**：一条神经中的许多神经纤维可以同时传导而不互相干扰，保证了神经调节的准确性。
- ④**相对不疲劳性**（与肌肉组织相比）

### 突触的结构



兴奋→突触小体→突触间隙→突触后膜→兴奋或抑制

### 神经递质参与的突触神经冲动的传导

#### 特点：

- ①**单向传递**：递质只能由突触前膜释放，作用于突触后膜，因此，神经元之间兴奋的传递是单方向的，即只能从一个神经元的轴突传递给另一个神经元的细胞体或树突。
- ②**生理完整性**：要求突触在结构和生理上是完整的。
- ③**对内外环境变化的敏感性**：缺氧、 $\text{CO}_2$ 增加、酸碱度的改变，或某些药物的作用等，都可以改变突触部位的传递活动。
- ④**一次性**：递质发生效应后，就被酶破坏而失活，或被移走而迅速停止作用。因此，一次神经冲动只能引起一次递质释放，产生一次突触后膜电位变化。
- ⑤**突触延搁**：兴奋在突触处的传递比在神经纤维上的传导慢。

### 兴奋传导的比较

|      | 神经纤维上的传导   | 细胞间的传递   |
|------|------------|----------|
| 信号形式 | 电信号        | 化学信号     |
| 传导速度 | 快          | 慢        |
| 传导方向 | 双向         | 单向       |
| 实质   | 膜电位变化→局部电流 | 突触小泡释放递质 |

### 神经电信号传递过程

神经冲动→  
突触前膜释放化学物质→  
突触间隙→  
化学介质于突触后膜受体的化学反应→  
突触后膜离子通透性变化→  
去极化→  
复极化→  
兴奋传递

