

3.1 神经系统的细胞构成(*Neuroanatomy of the brain*)

3.2 神经元的信息传递(*cerebral cortex functions*)

3.3 与人工神经网络的对比(*Compared with artificial neural networks*)

3.1 神经系统的细胞构成

神经元的发现

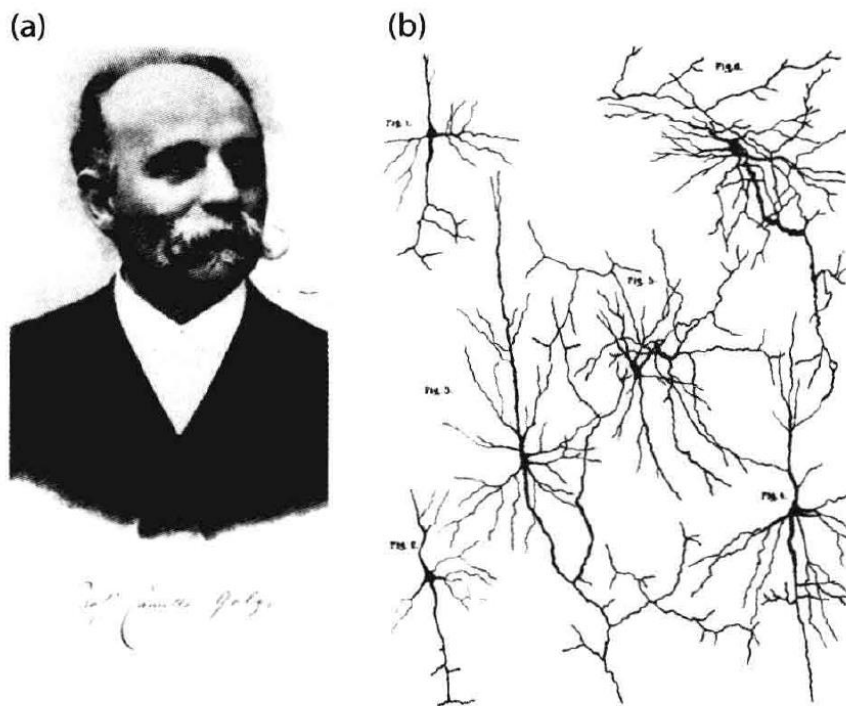


图 1.11 (a) Camillo Golgi (1843—1926), 1906 年诺贝尔奖得主。(b) Golgi 所绘的猫和狗不同类型的神经节细胞。

发明了细胞染色法

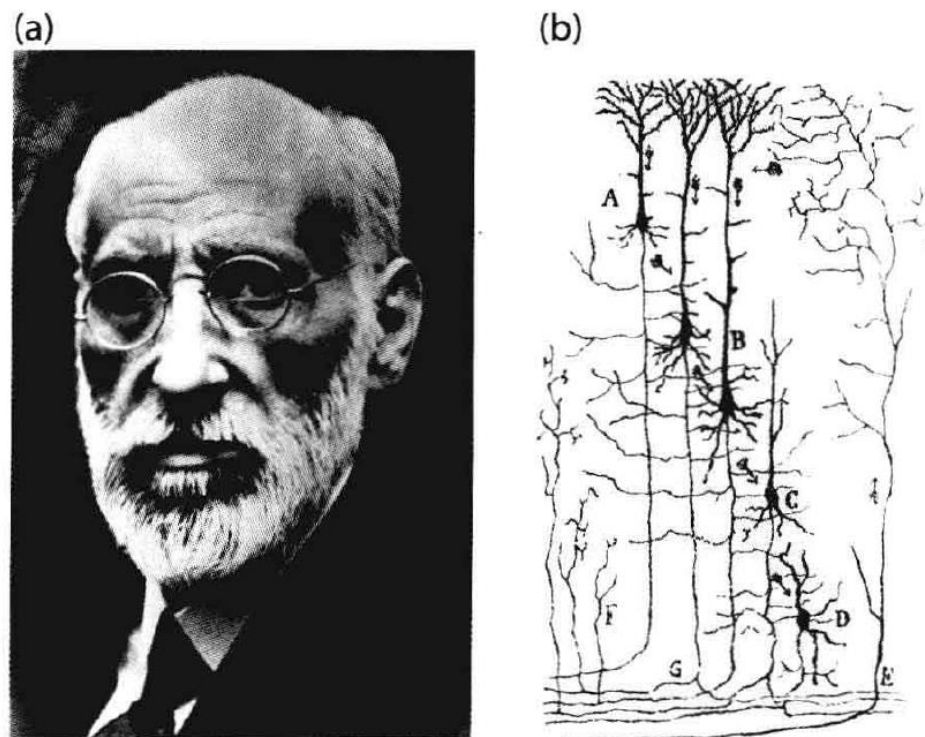
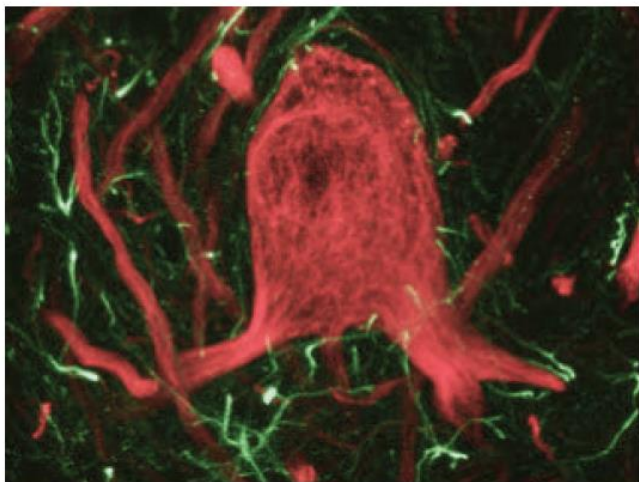


图 1.12 (a) Santiago Ramón y Cajal (1852—1934), 1906 年诺贝尔奖得主。(b) Ramón y Cajal 所绘的哺乳动物皮质的传入神经。

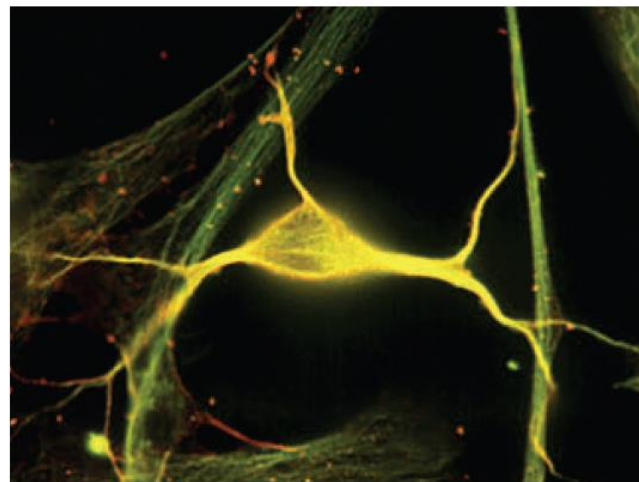
发现了神经元的单一性和电传导的单向性

3.1 神经系统的细胞构成

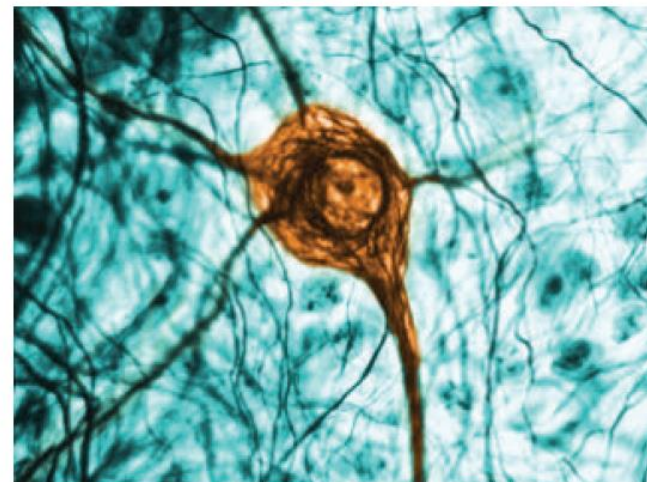
哺乳动物的神经元表现出巨大的解剖多样性



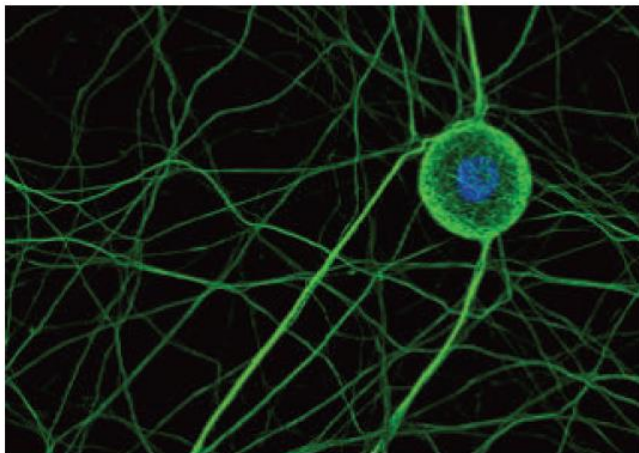
a 大脑前庭区域神经元



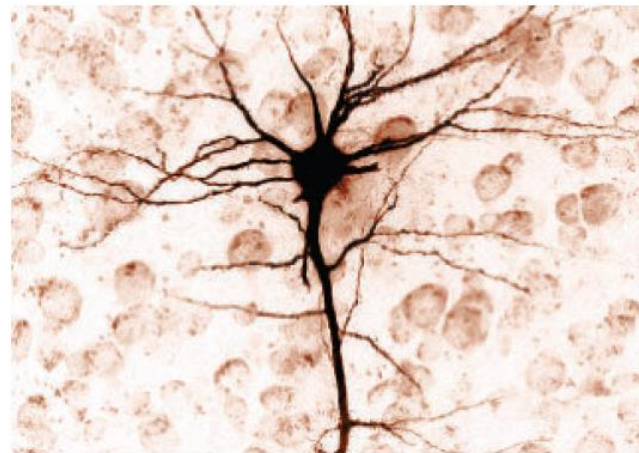
b 海马神经元



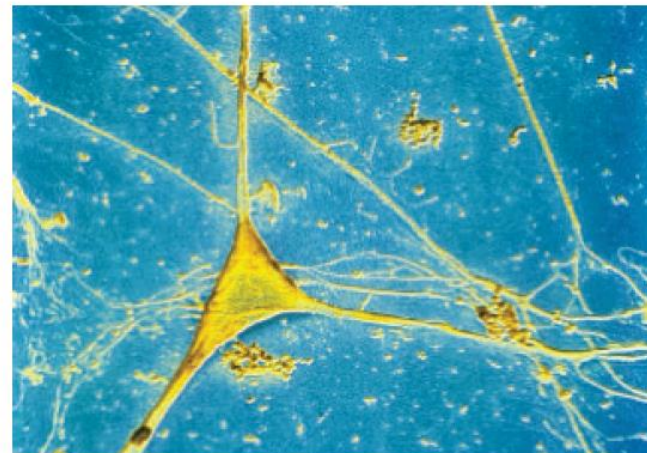
c 小鼠脊髓背根神经节



d 胚胎大鼠背根神经节



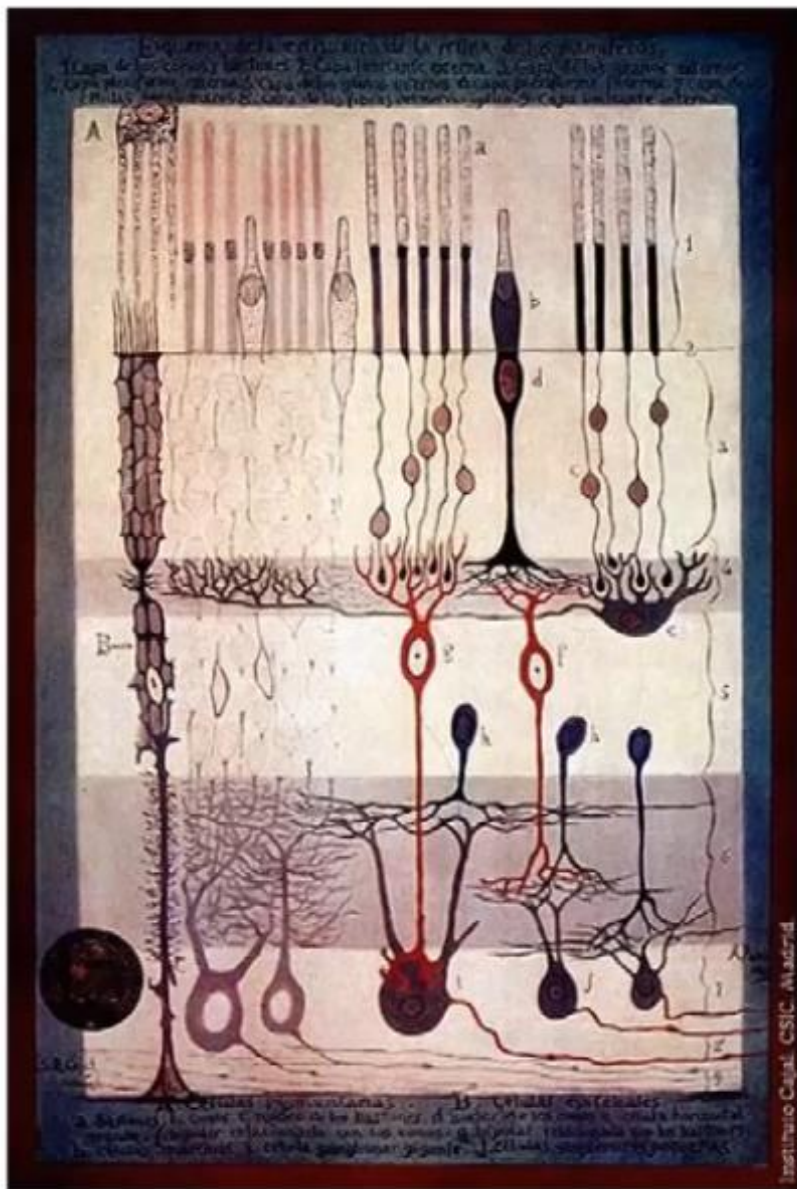
e 大脑的锥体神经元



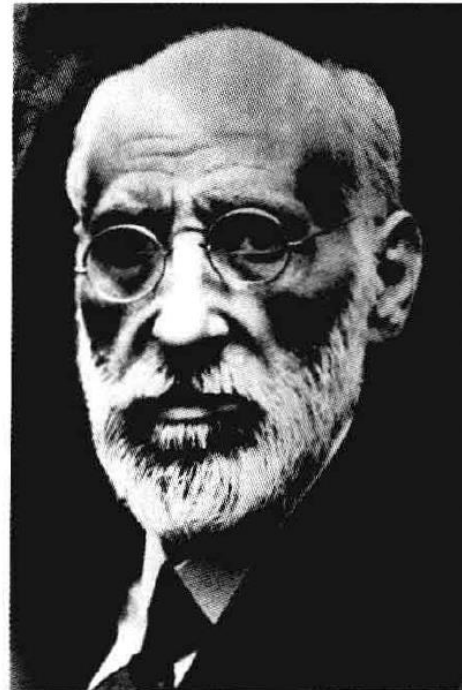
f 人脑皮层多极神经元细胞体

3.1 神经系统的细胞构成

神经



(a)



(b)

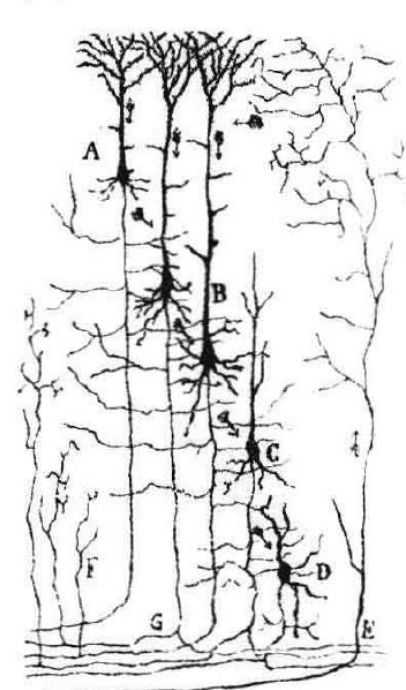


图 1.12 (a) Santiago Ramón y Cajal (1852—1934), 1906 年诺贝尔奖得主。(b) Ramón y Cajal 所绘的哺乳动物皮质的传入神经。

发现了神经元的单一性和电传导的单向性

3.1 神经系统的细胞构成

➤ 神经元(*neuron*)

- 具有独特的形态和生理学特征
- 进行信息传递与加工
- 人脑的神经元个数达到 10^{11} 量级，且不能再生

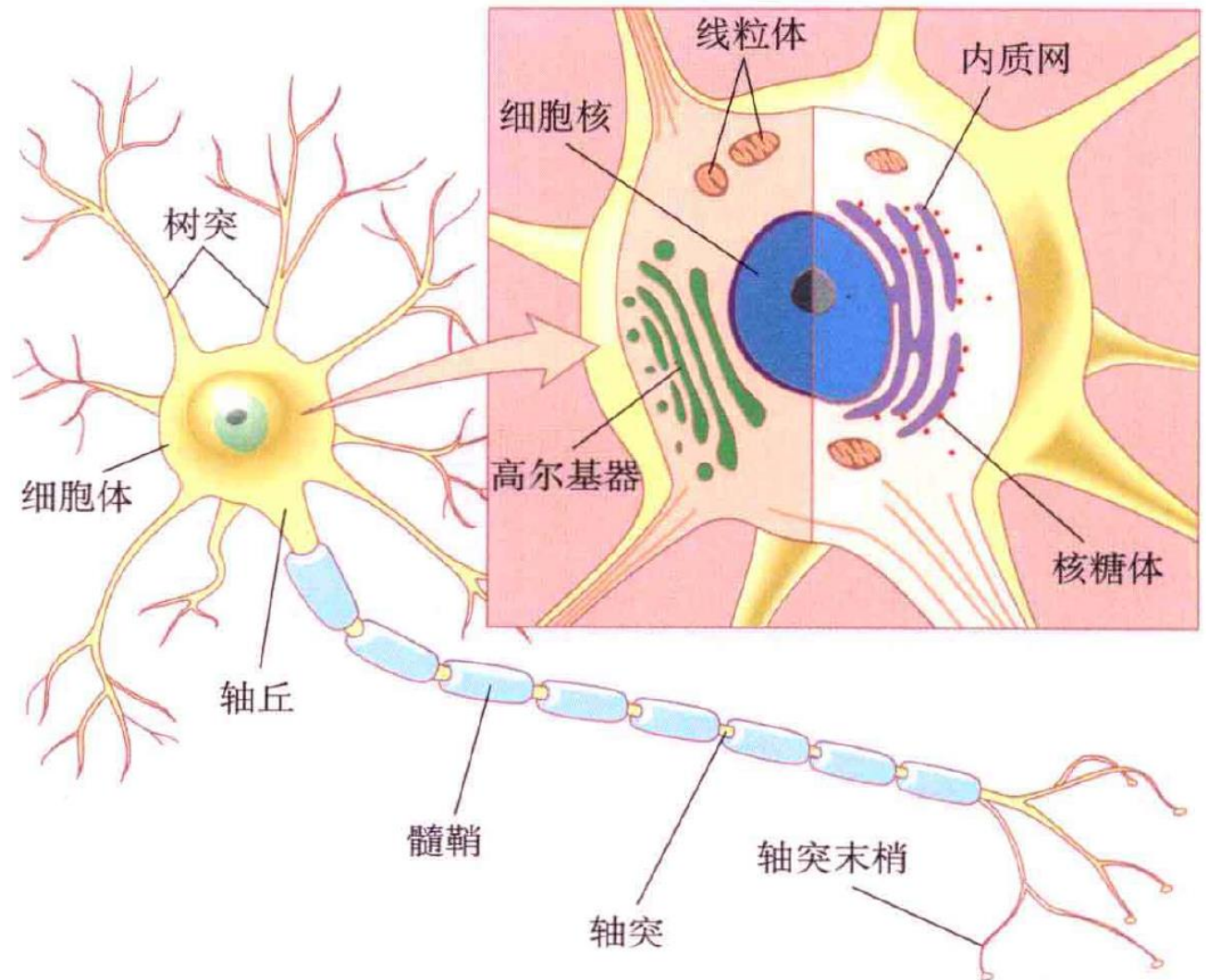
➤ 神经胶质细胞(*neuro glial cell*)

- 非神经元细胞，“神经胶水”，承担多种辅助功能
 - ✓ 对神经元提供结构支持
 - ✓ 自身不传递信息，但保证神经元间的信息传递更为有效
- 几十倍于神经元，占脑容量90%

3.1 神经系统的细胞构成

神经元构成

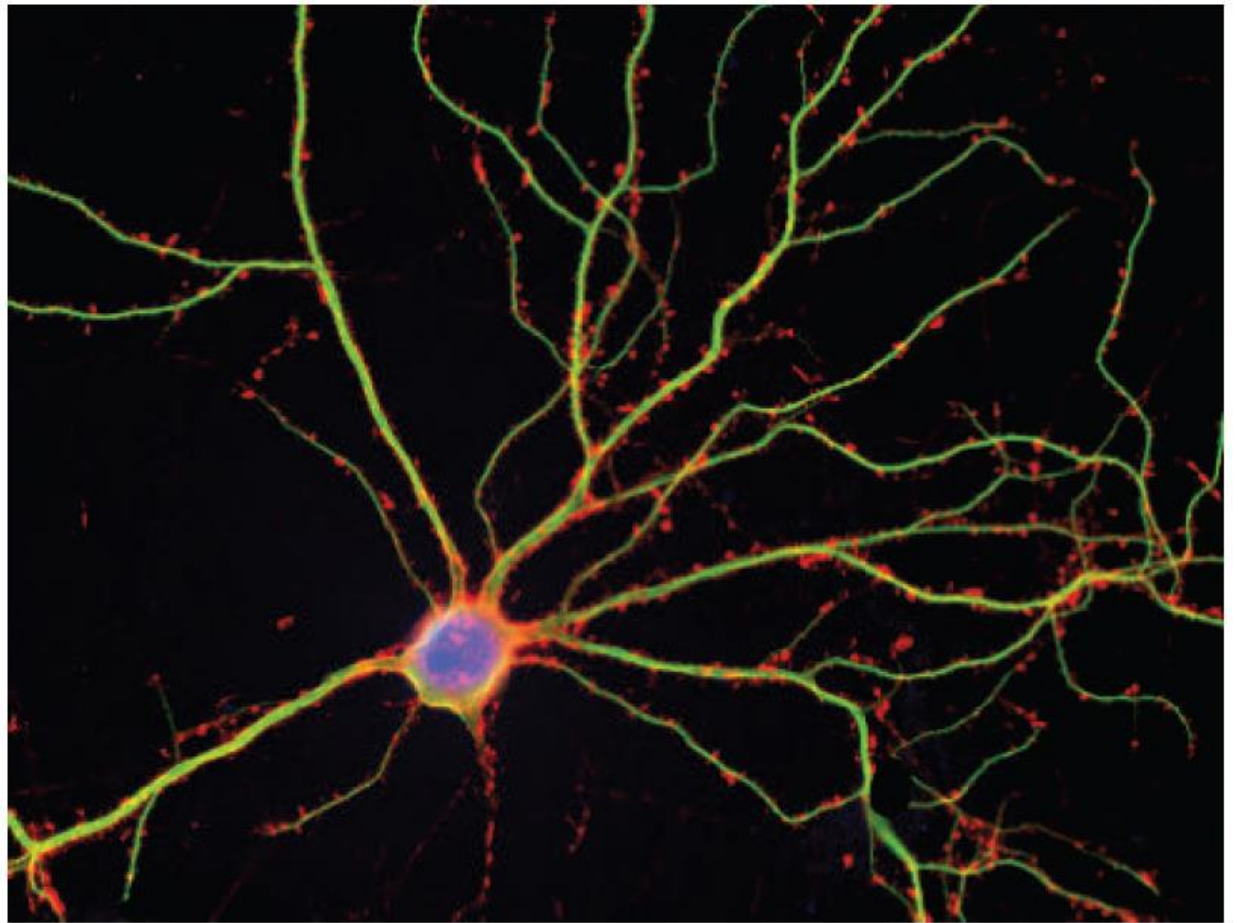
- 细胞体(*cell body*)
 - 进行着维持生命的各种代谢活动
- 树突(*dendrites*)
 - 接收其他神经元的传入信息, 具体接收部位是突触(*synapse*), 树突也称为突触后(*post-synaptic*)



3.1 神经系统的细胞构成

神经元构成

- 细胞体(*cell body*)
 - 进行着维持生命的各种代谢活动
- 树突(*dendrites*)
 - 接收其他神经元的传入信息, 具体接收部位是突触(*synapse*), 树突也称为突触后(*post-synaptic*)



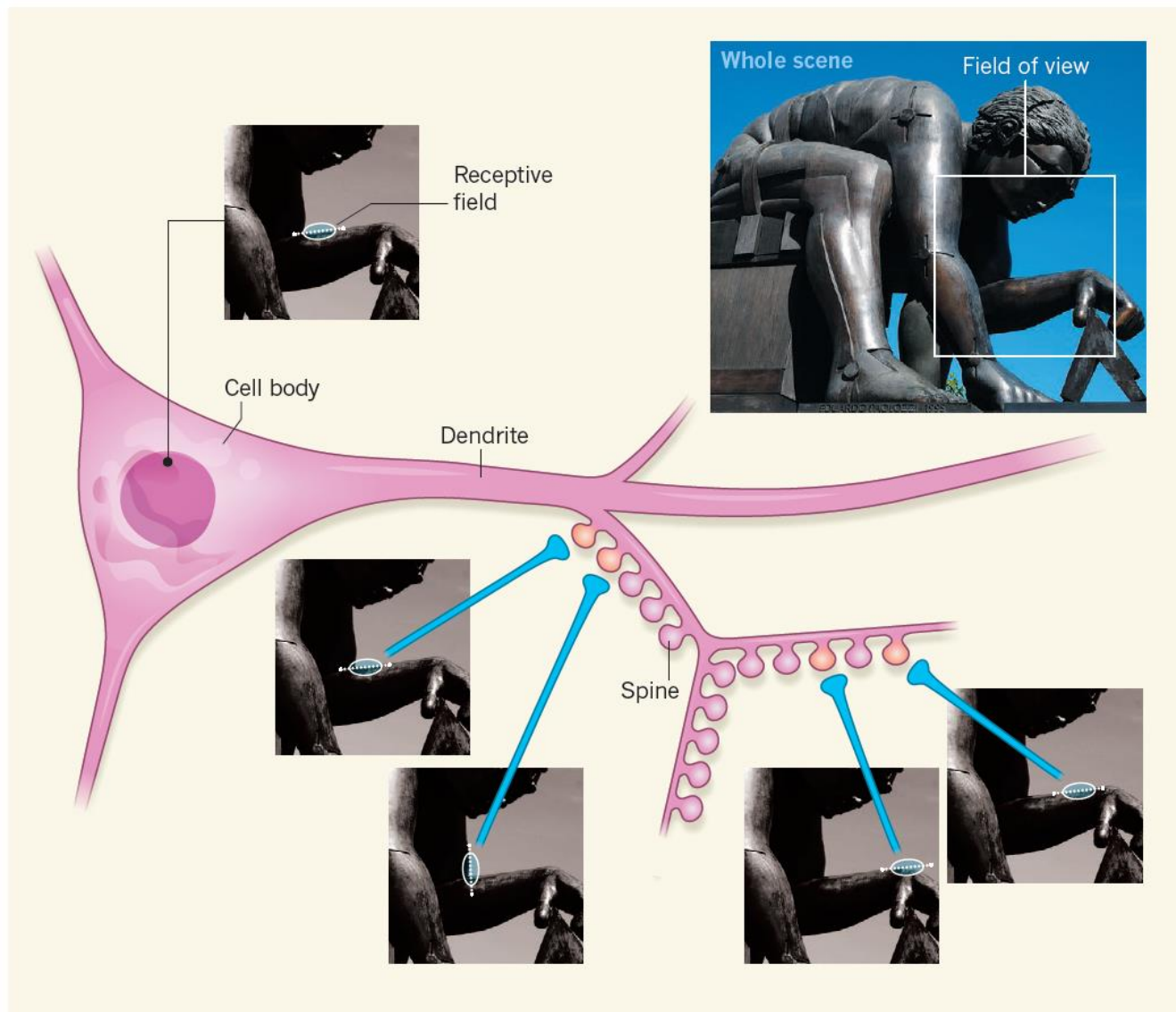
棘(spine): 树突表面的球状突起, 突触通常位于这些棘上, 有时也存在于细胞体等神经元的其他部位

3. 1神经系统的细胞构成

神经元构成

- 细胞体(*cell body*)
 - 进行着维持生命的各种代谢活动
- 树突(*dendrites*)
 - 接收其他神经元的传入信息, 具体接收部位是突触(*synapse*), 树突也称为突触后(*post-synaptic*)

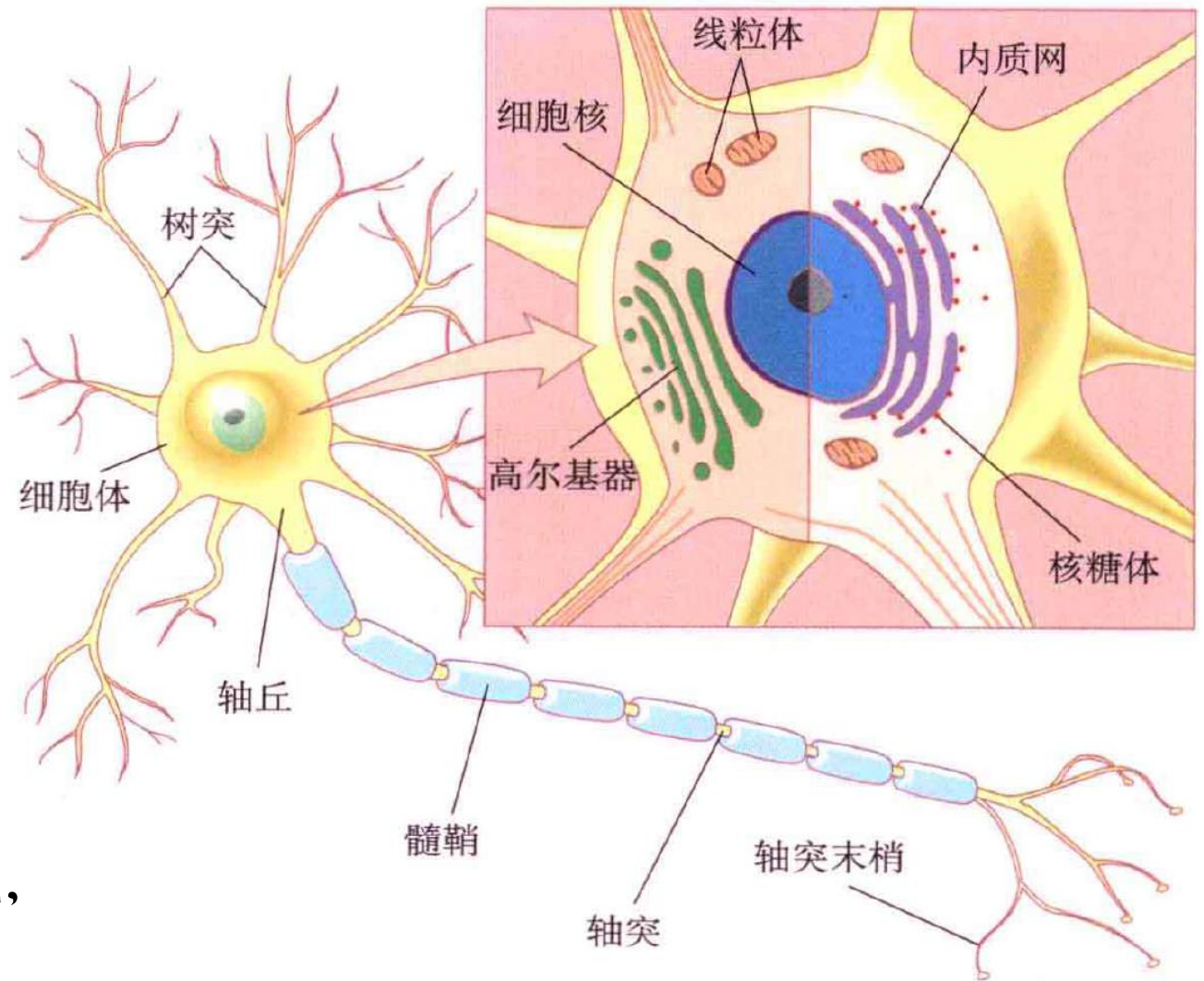
突触负责神经元之间的信息传递, 在树突上的空间分布具有特异性



3.1 神经系统的细胞构成

神经元构成

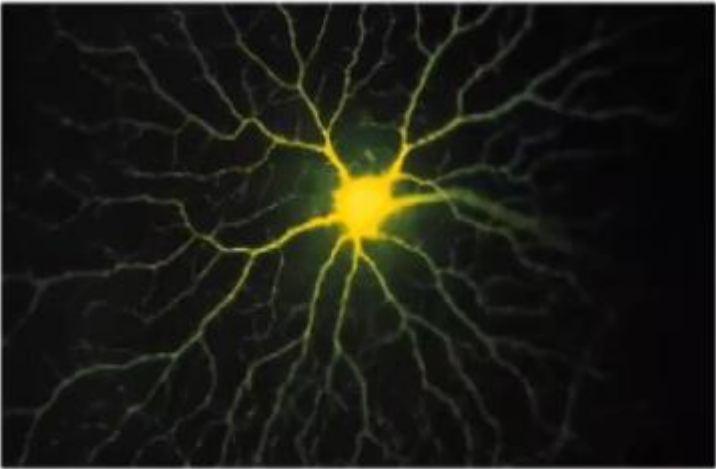
- 细胞体(*cell body*)
 - 进行着维持生命的各种代谢活动
- 树突(*dendrites*)
 - 接收其他神经元的传入信息，具体接收部位是突触(*synapse*)，树突也称为突触后(*post-synaptic*)
- 轴突(*axon*)
 - 远离细胞体，将信息传出神经元，也被称为突触前，(*pre-synaptic*)



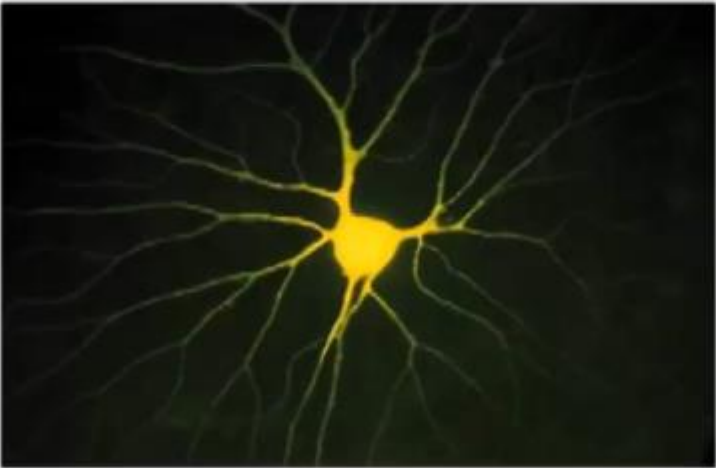
3. 1神经系统的细胞构成

各种形态的神经元

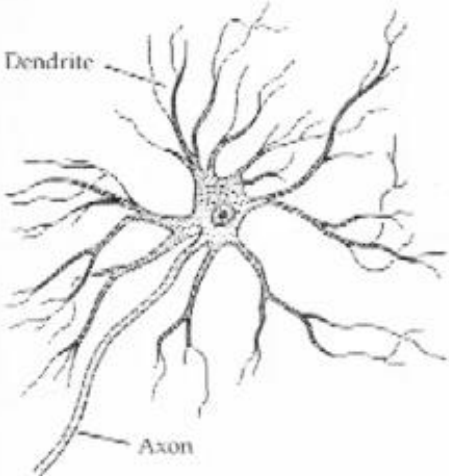
小猫视觉神经元



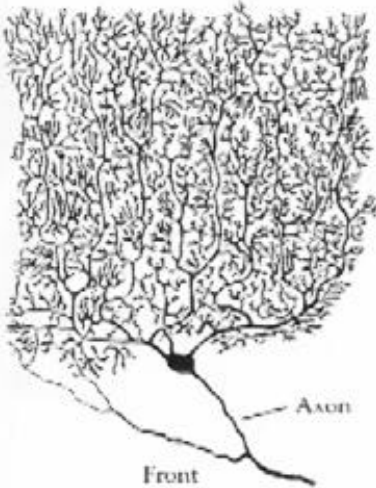
老猫视觉神经元



脊髓运动神经元
Motor neuron from spinal cord

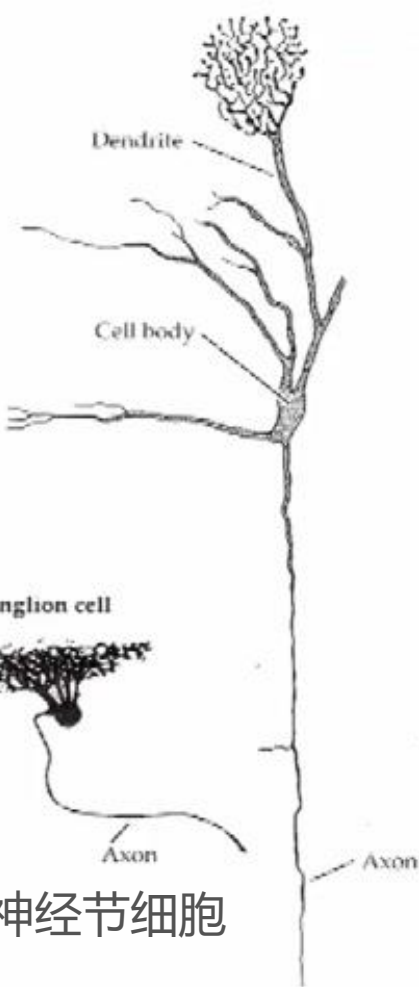


Purkinje cell

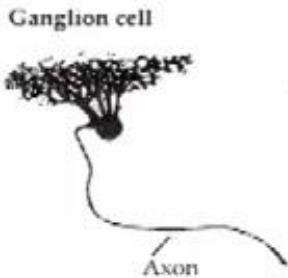


浦肯野细胞

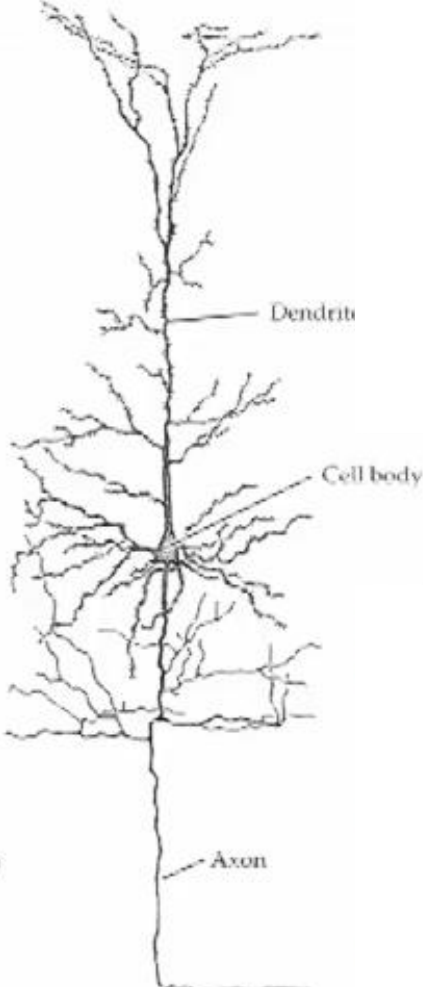
嗅球的二尖瓣细胞
Mitral cell from olfactory bulb



神经节细胞



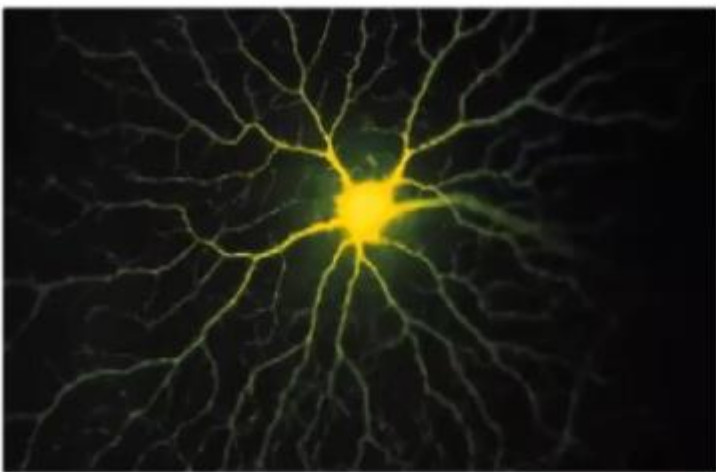
皮质锥体细胞
Pyramidal cell from cortex



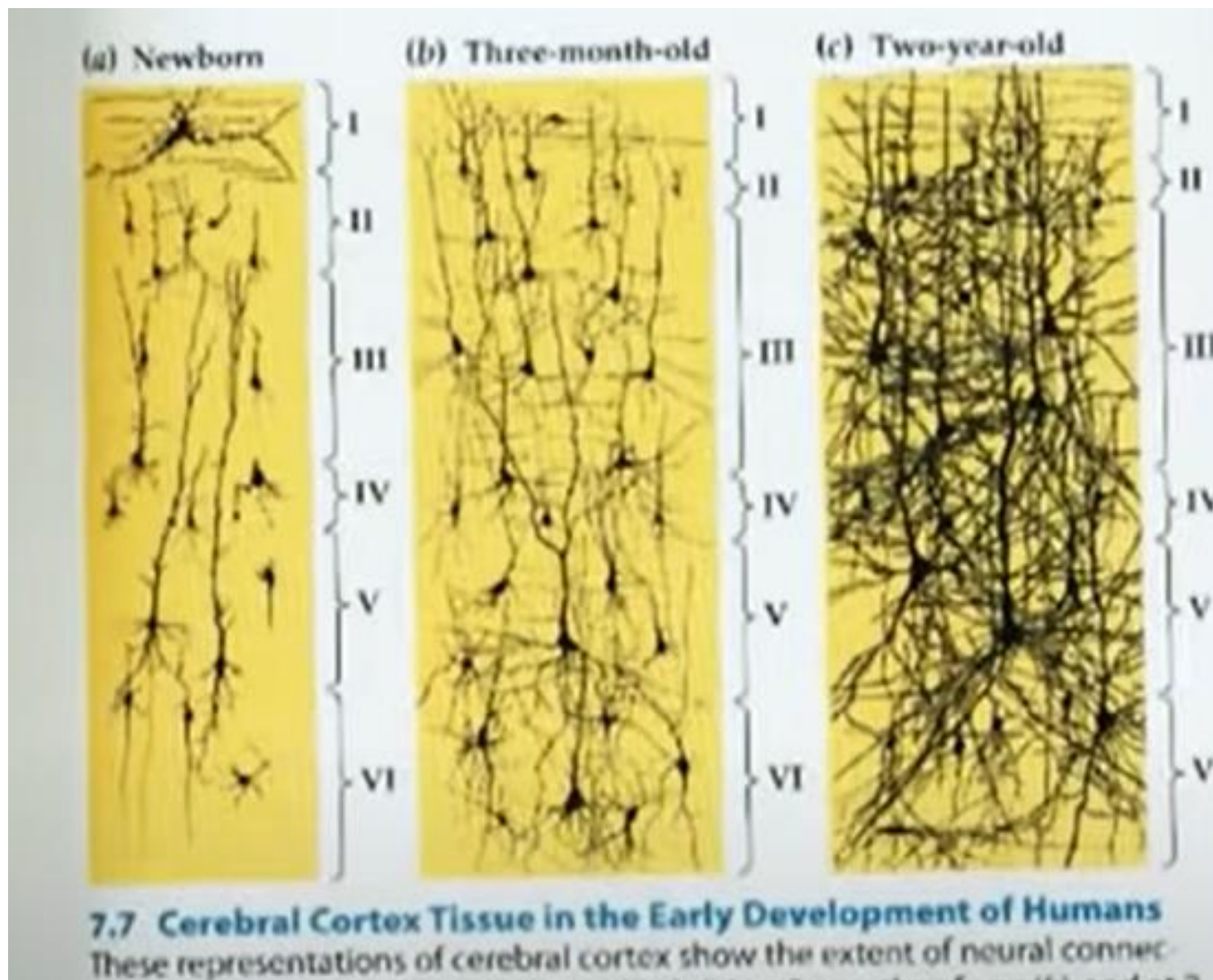
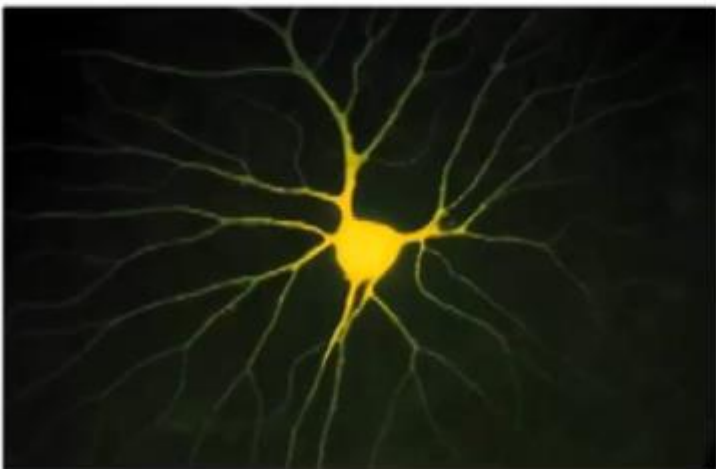
3.1 神经系统的细胞构成

各种形态的神经元

小猫视觉神经元



老猫视觉神经元



3.1 神经系统的细胞构成

神经系统的细胞构成

➤ 神经元(*neuron*)

- 具有独特的形态和生理学特征
- 进行信息传递与加工
- 人脑的神经元个数达到 10^{11} 量级，且不能再生

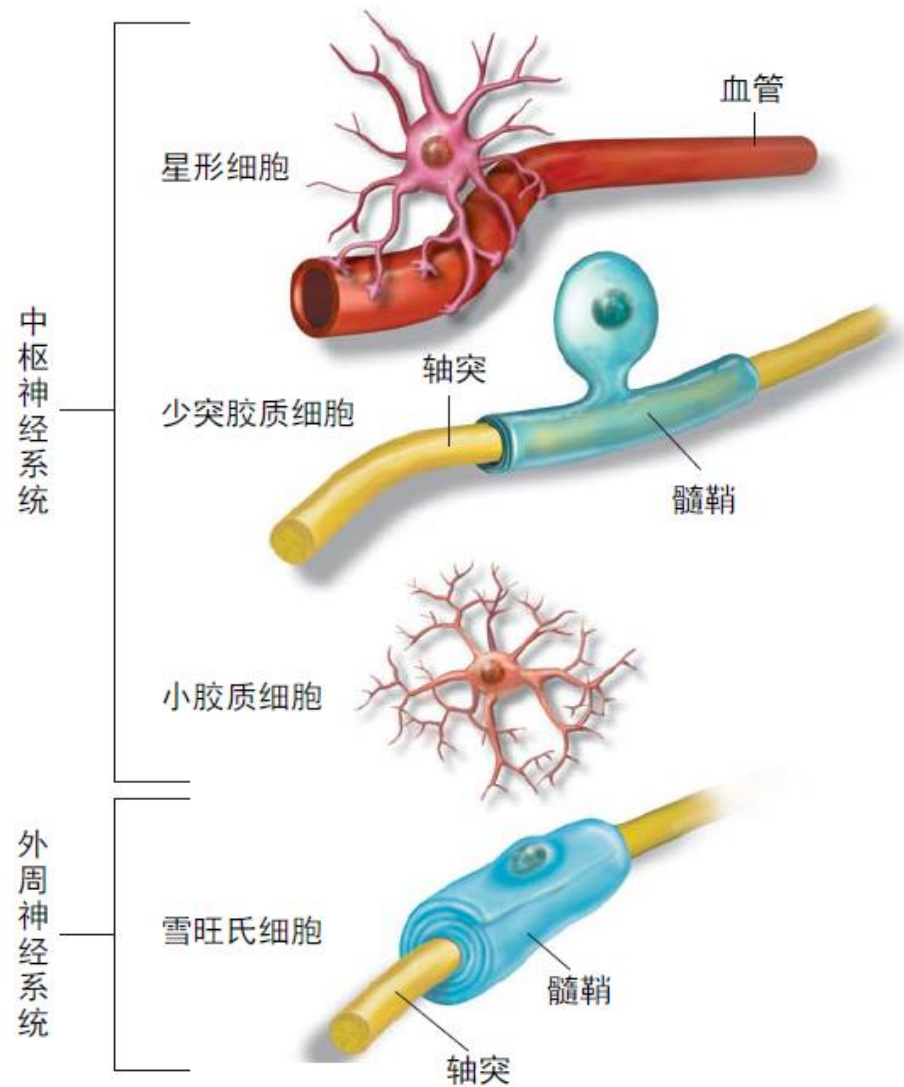
➤ 神经胶质细胞(*neuro glial cell*)

- 非神经元细胞，“神经胶水”，承担多种辅助功能
 - ✓ 对神经元提供结构支持
 - ✓ 自身不传递信息，但保证神经元间的信息传递更为有效
- 几十倍于神经元，占脑容量90%

3.1 神经系统的细胞构成

神经胶质细胞的形态

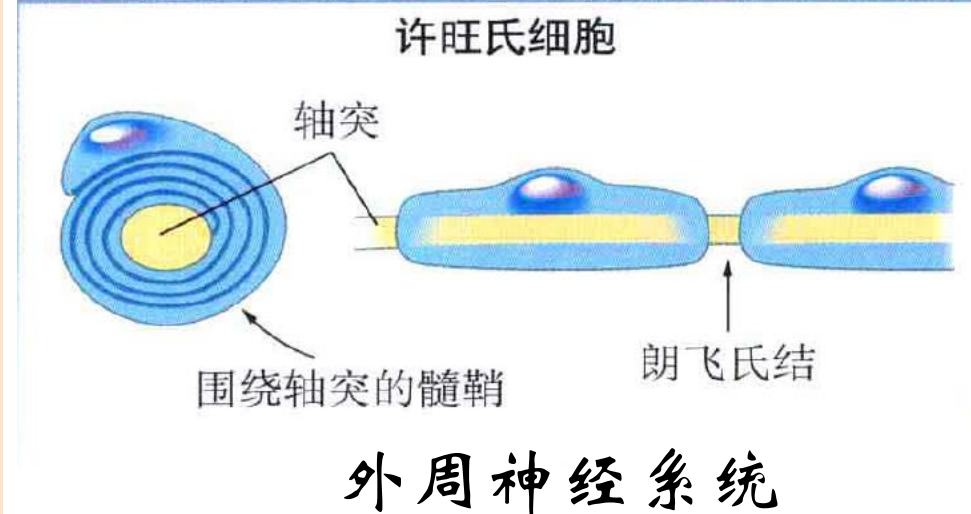
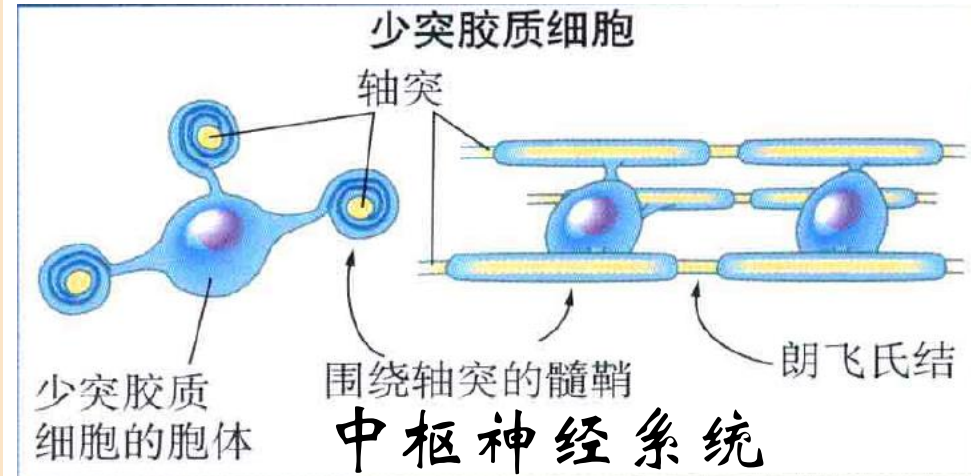
- **星形胶质细胞**：构成血脑屏障，保护中枢神经系统；产生神经营养因子，维持神经元的生长发育和生存
- **小胶质细胞**：可转换成巨噬细胞，在脑组织损伤时发挥作用
- **少突胶质细胞和雪旺氏细胞**：以同心缠绕的方式包绕在轴突周围形成髓鞘(myelin)，从而改变神经元内的信息传递方式，使神经纤维活动互不干扰



3.1 神经系统的细胞构成

神经胶质细胞的形态

- **星形胶质细胞**：构成血脑屏障，保护中枢神经系统；产生神经营养因子，维持神经元的生长发育和生存
- **小胶质细胞**：可转换成巨噬细胞，在脑组织损伤时发挥作用
- **少突胶质细胞和雪旺氏细胞**：以同心缠绕的方式包绕在轴突周围形成髓鞘(myelin)，从而改变神经元内的信息传递方式，使神经纤维活动互不干扰



3.1 神经系统的细胞构成(*Neuroanatomy of the brain*)

3.2 神经元的信息传递(*cerebral cortex functions*)

3.3 与人工神经网络的对比(*Compared with artificial neural networks*)

3.2 神经元的信息传递

神经元是神经系统传递信息的功能单位，通过对信息的接收和加工，并将其传递给其他神经元，构成了局部或长程的神经回路 (*circuit*)



3.2 神经元的信息传递

神经元是神经系统传递信息的功能单位，通过对信息的接收和加工，并将其传递给其他神经元，构成了局部或长程的神经回路 (*circuit*)



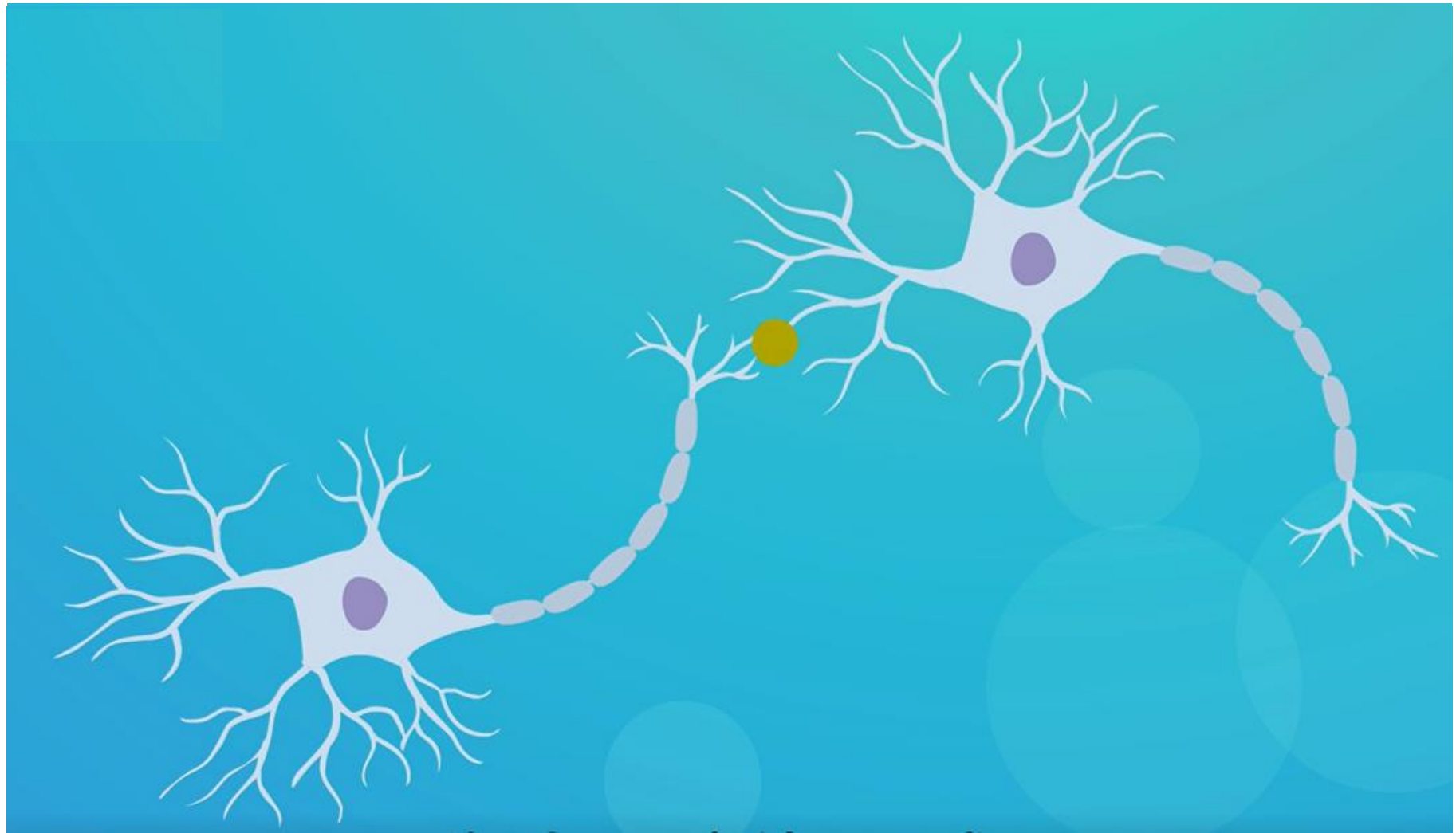
3.2 神经元的信息传递

神经元是神经系统传递信息的功能单位，通过对信息的接收和加工，并将其传递给其他神经元，构成了局部或长程的神经回路 (*circuit*)



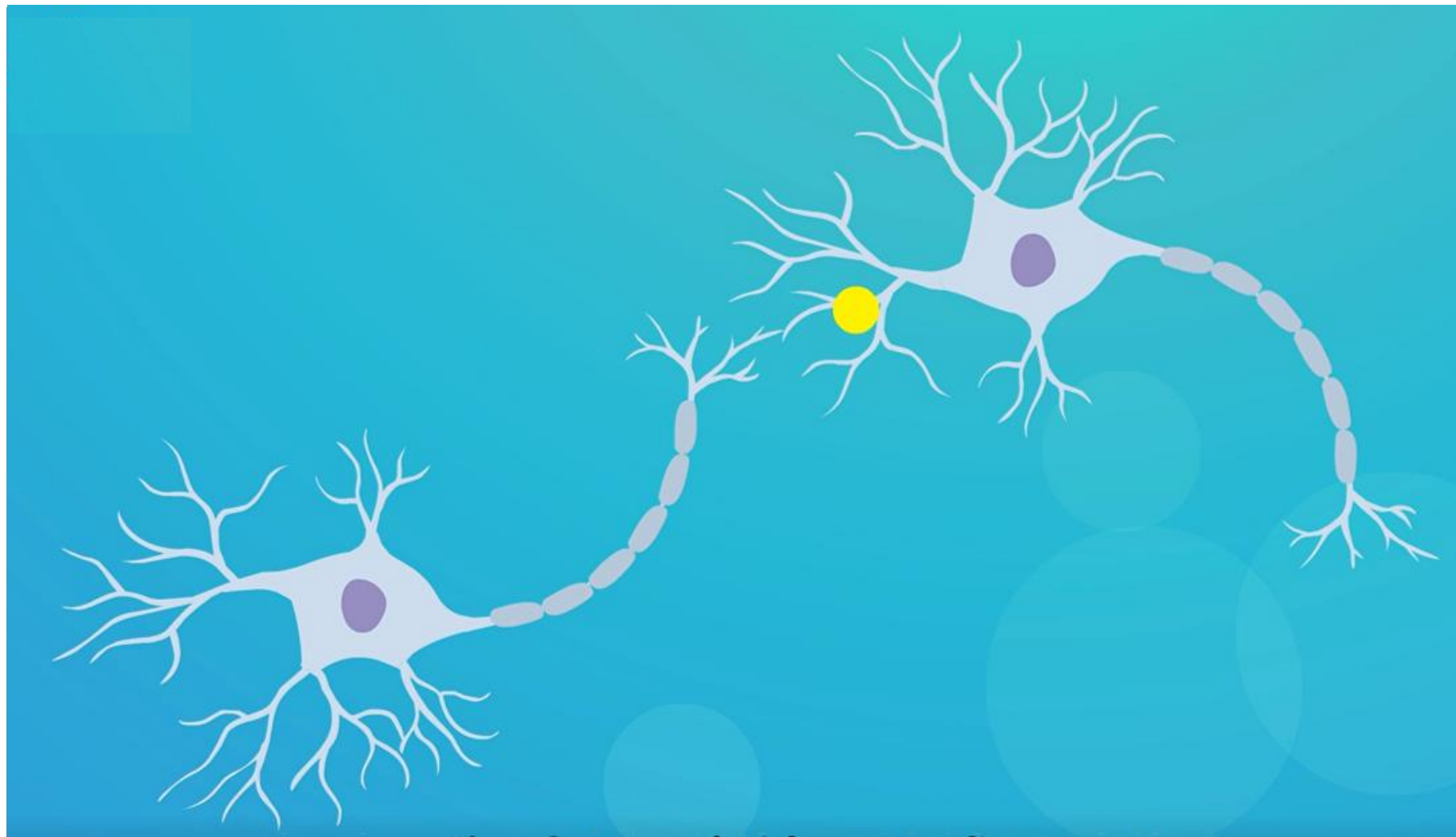
3.2 神经元的信息传递

神经元是神经系统传递信息的功能单位，通过对信息的接收和加工，并将其传递给其他神经元，构成了局部或长程的神经回路 (*circuit*)



3.2 神经元的信息传递

神经元是神经系统传递信息的功能单位，通过对信息的接收和加工，并将其传递给其他神经元，构成了局部或长程的神经回路 (*circuit*)

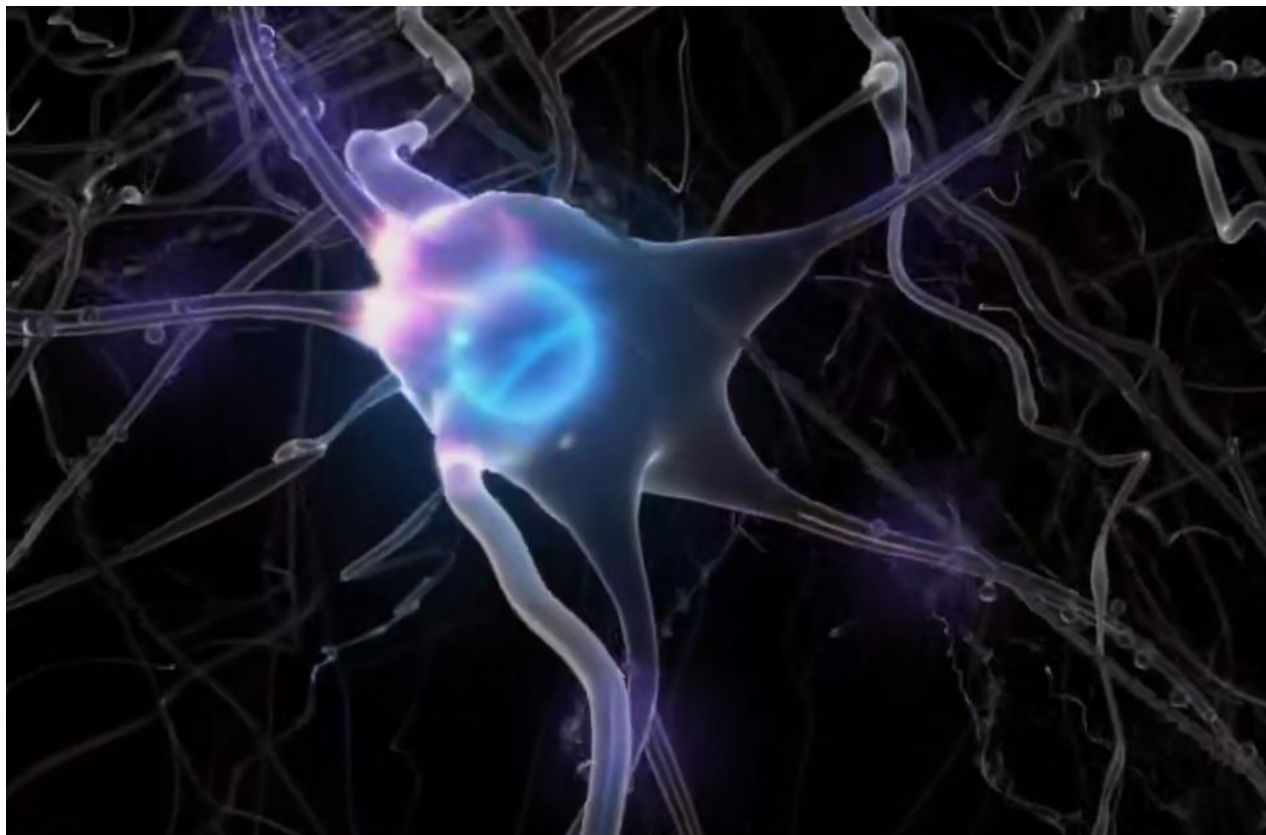


3.2 神经元的信息传递

神经元是神经系统传递信息的功能单位，通过对信息的接收和加工，并将其传递给其他神经元，构成了局部或长程的神经回路 (*circuit*)



3.2 神经元的信息传递



- 所有神经元都处于细胞外液中
- 神经元内部是细胞浆
- 细胞浆和细胞外液均为导电体
- 细胞膜为绝缘体

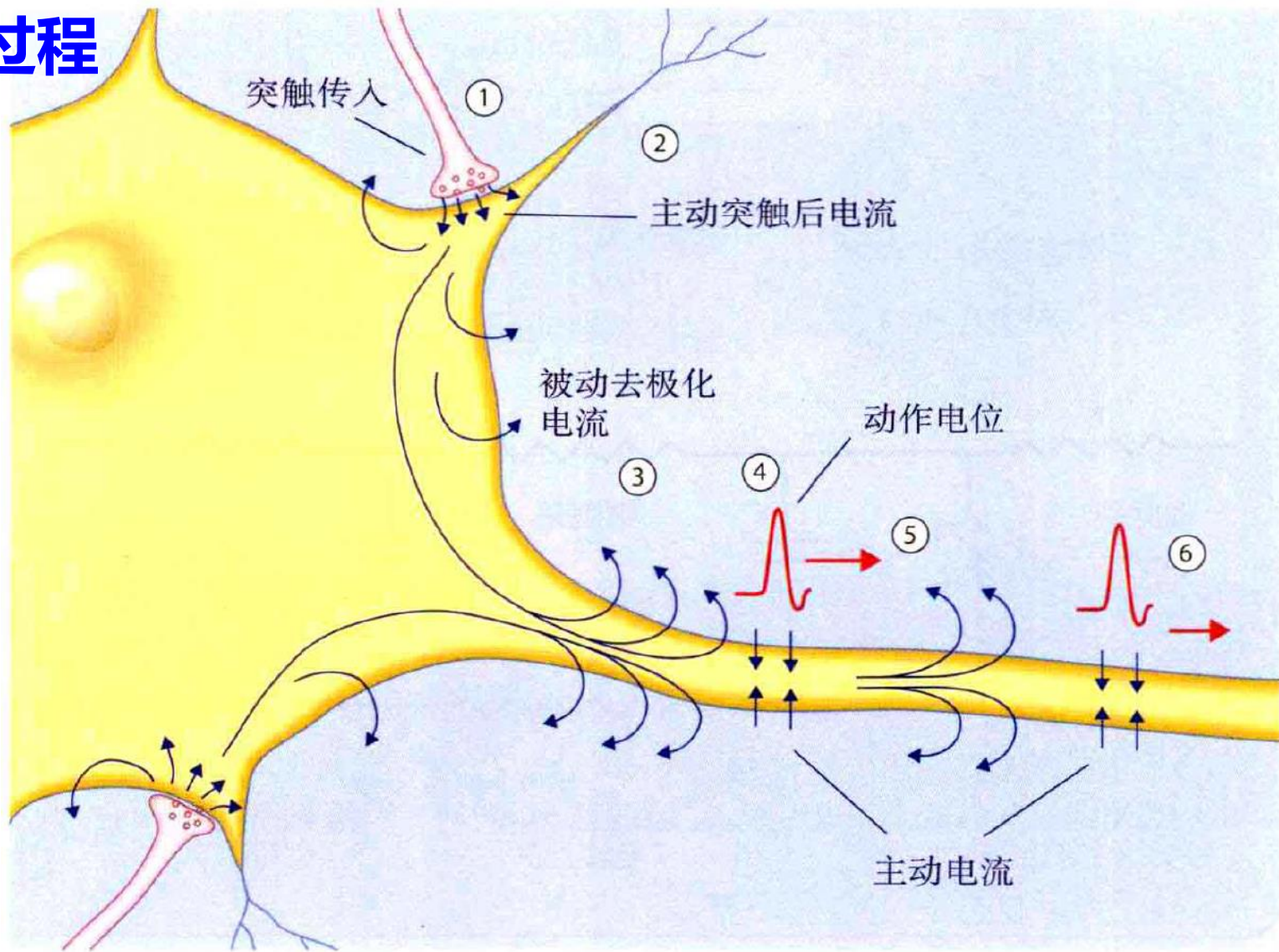
神经元形成为容积导体

3.2 神经元的信息传递

神经元信息传递的主要过程

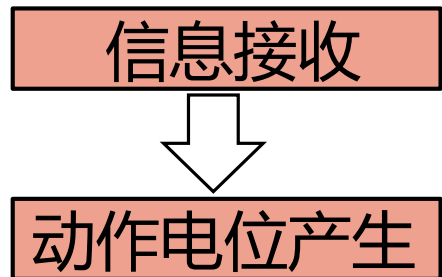
信息接收

- 化学信号：如其他神经元的神经递质（多巴胺、乙酰胆碱等）、气味等环境中的化学成分等
- 物理信号：触觉、视觉信号等

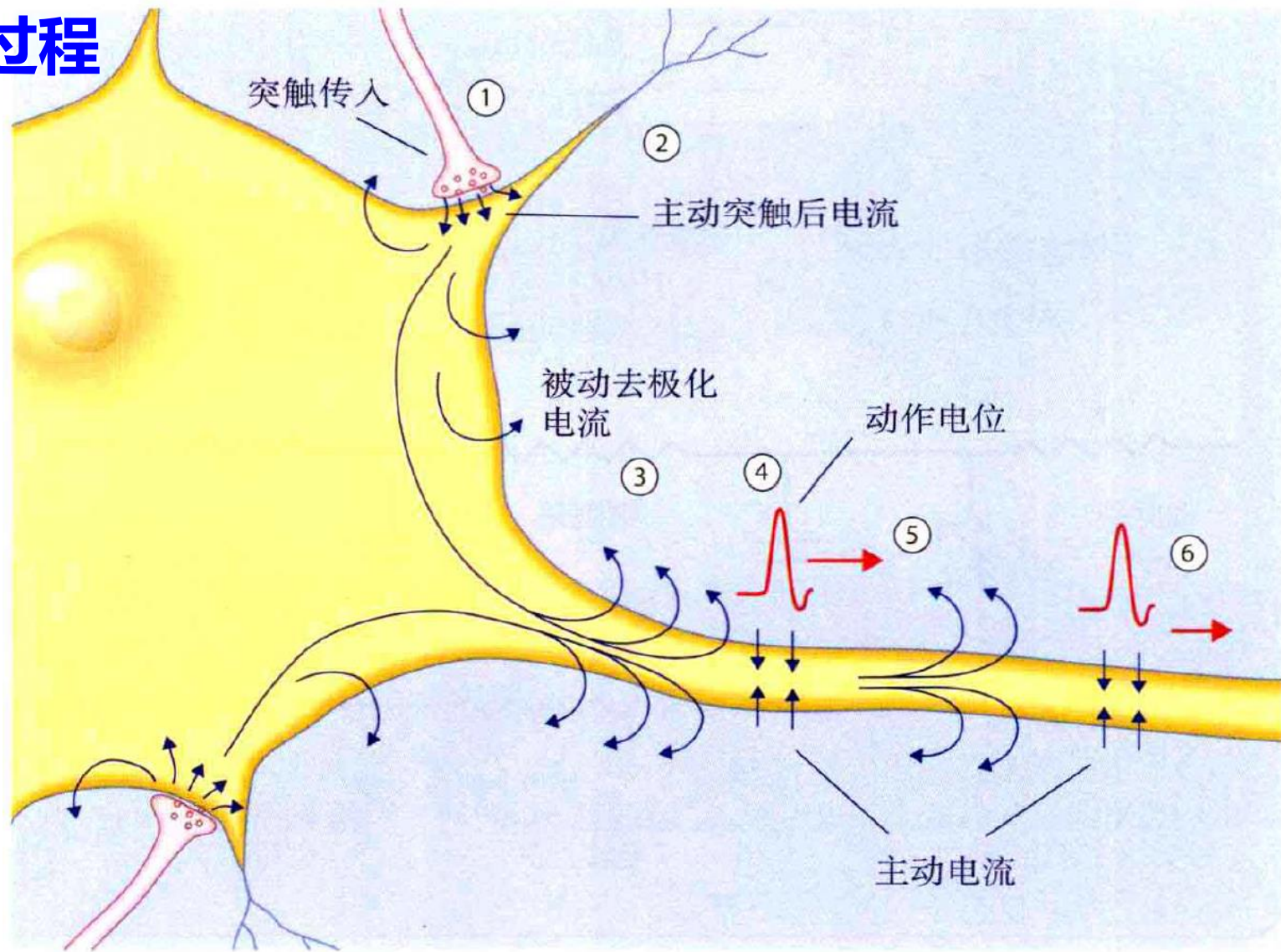


3.2 神经元的信息传递

神经元信息传递的主要过程

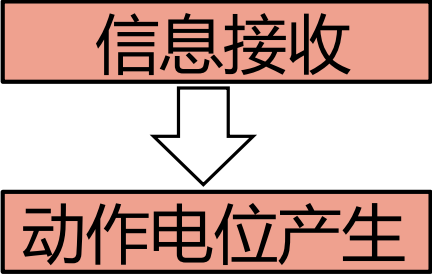


- ① 主动电流
- ② 被动电流

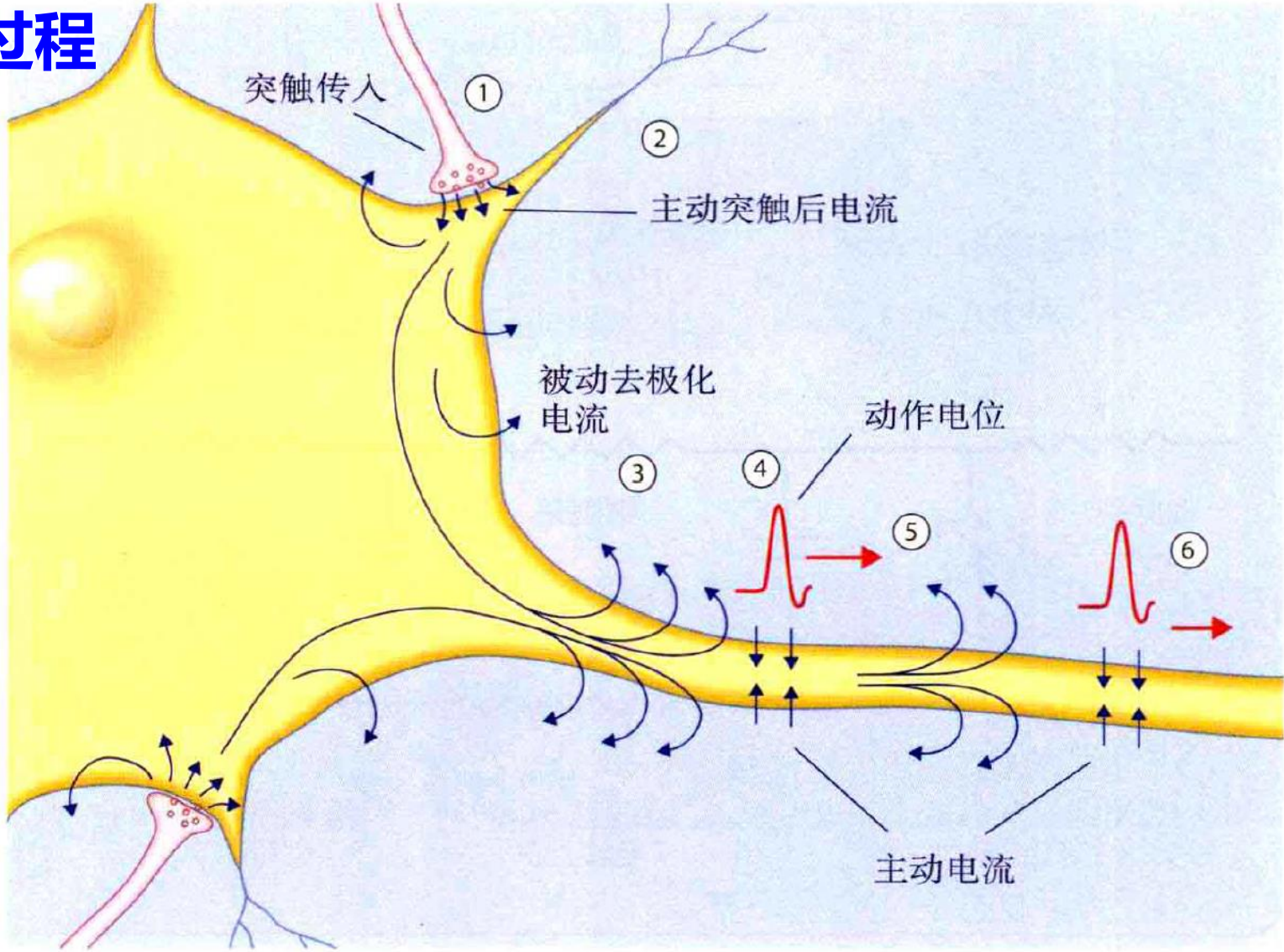


3.2 神经元的信息传递

神经元信息传递的主要过程

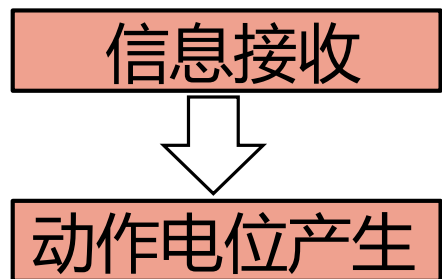


- ① 主动电流
- ② 被动电流

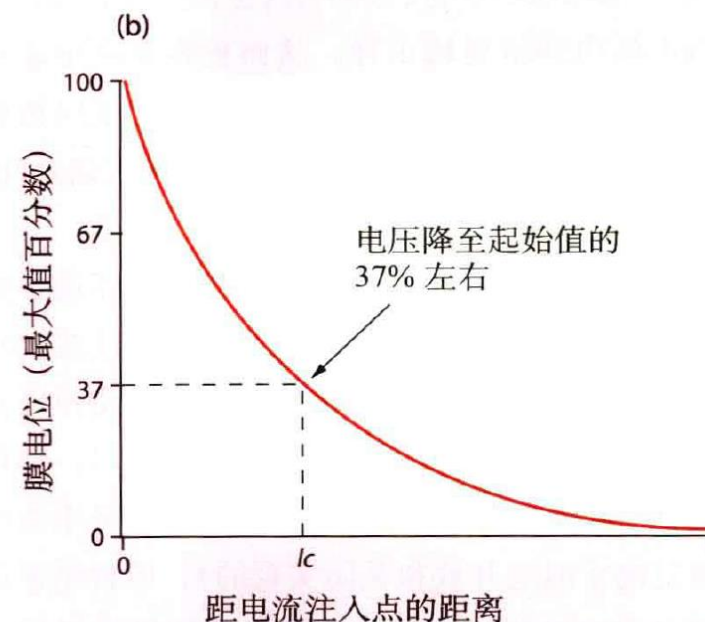
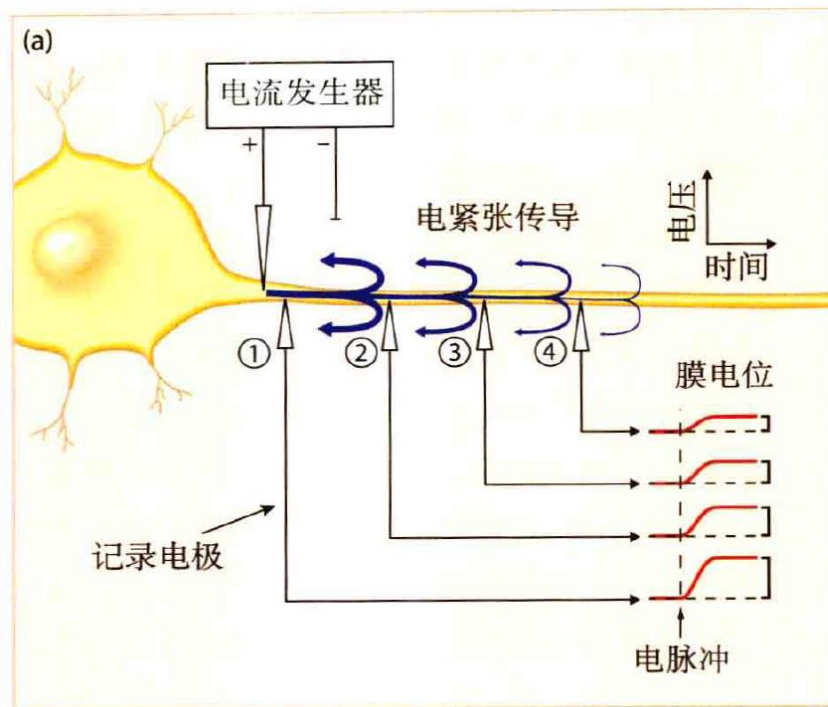


3.2 神经元的信息传递

神经元信息传递的主要过程

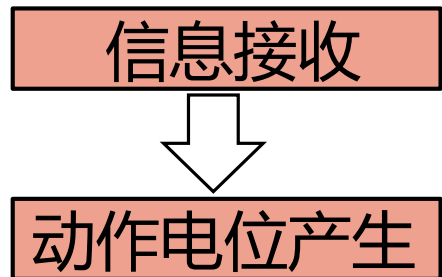


- 神经元作为容积导体，接受电流刺激后，膜电位发生变化，产生被动电流传导
- 被动电流传导距离不长，约为1mm

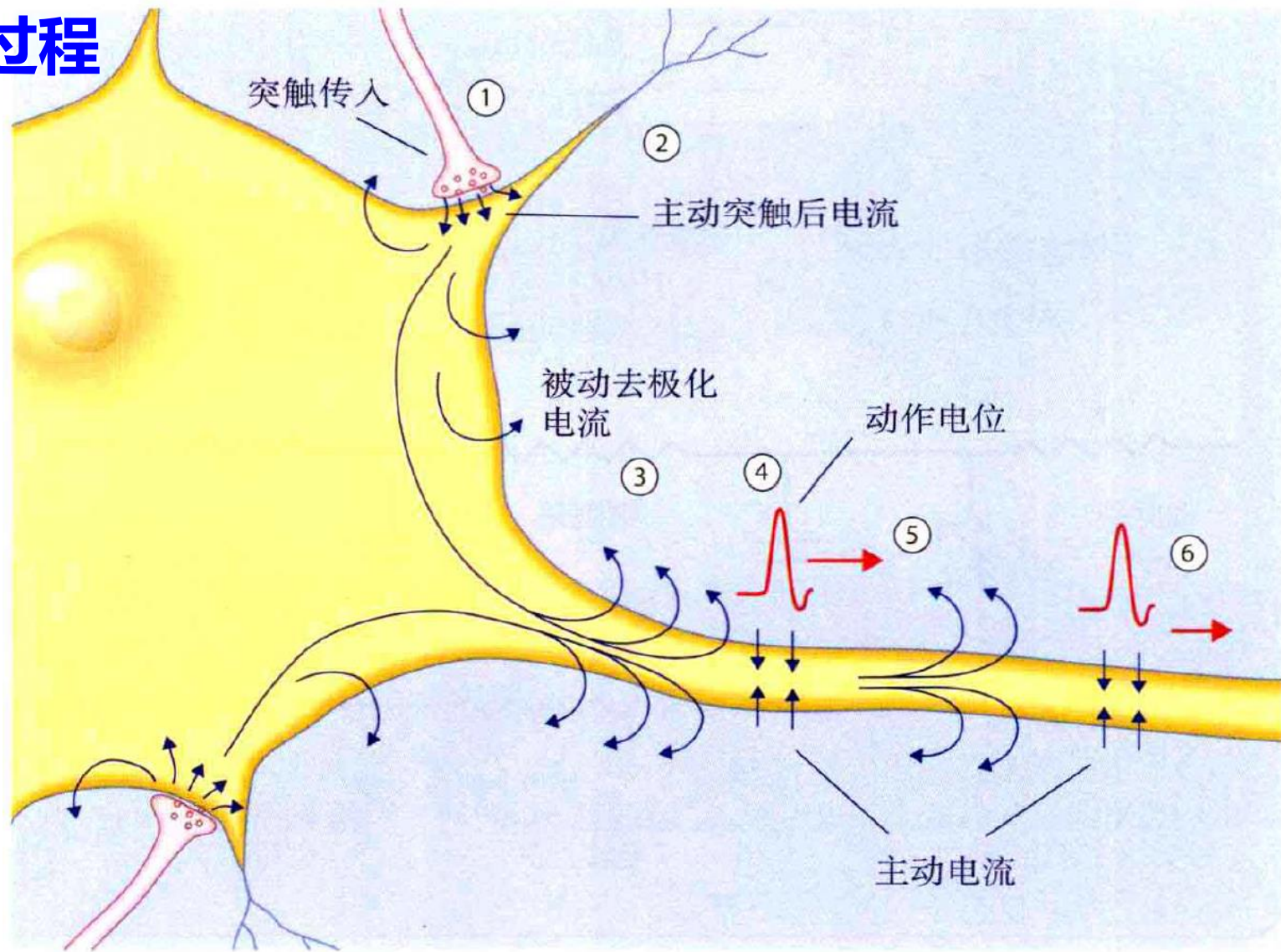


3.2 神经元的信息传递

神经元信息传递的主要过程

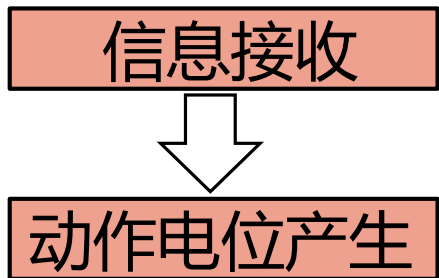


- ① 主动电流
- ② 被动电流

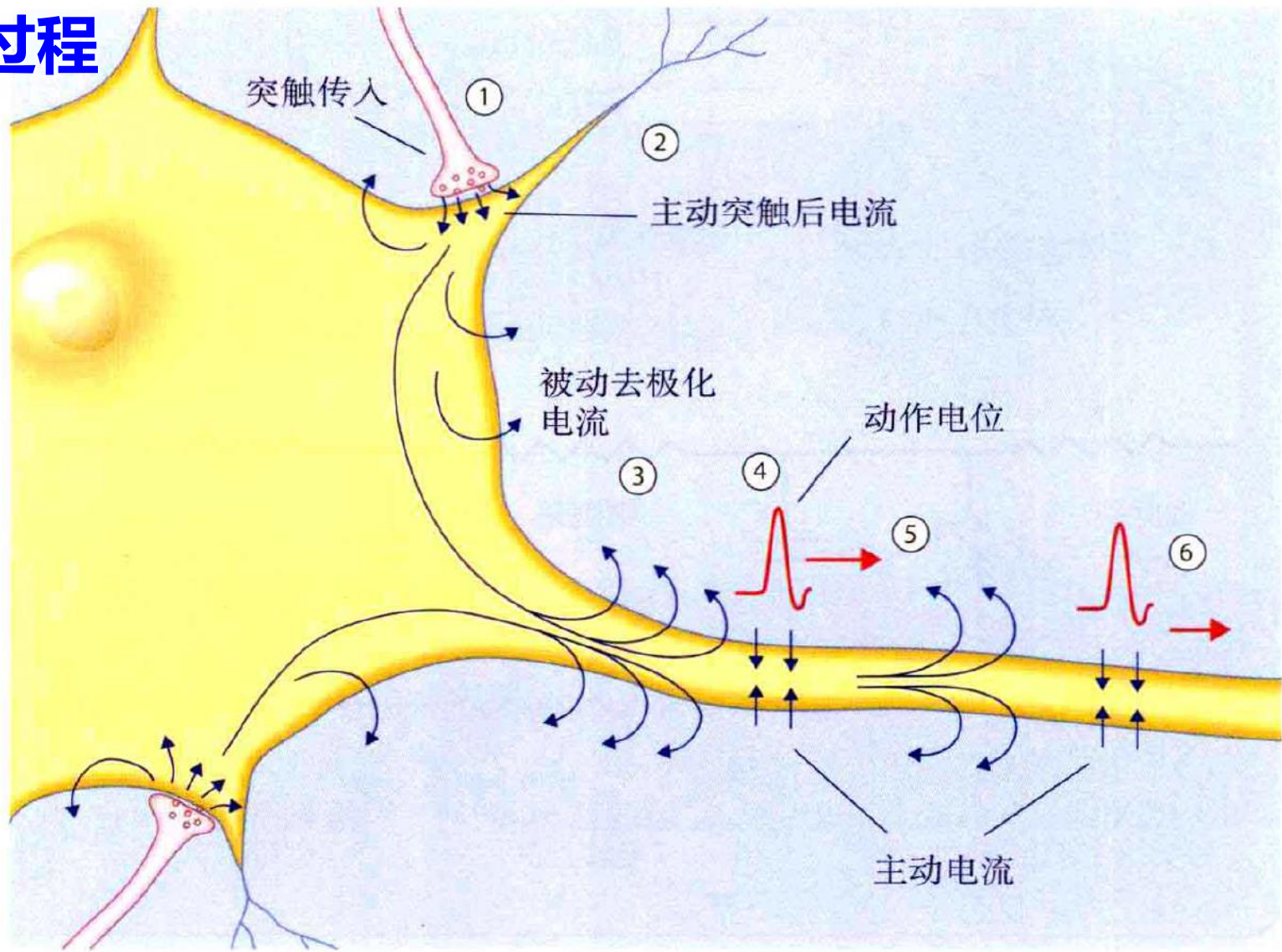


3.2 神经元的信息传递

神经元信息传递的主要过程

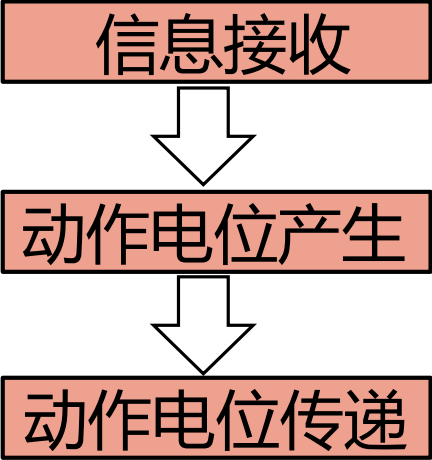


传入信号引起突触后神经元细胞膜的变化，导致去极化电流（溶质中的离子流）产生，从而在轴突起始段产生动作电位

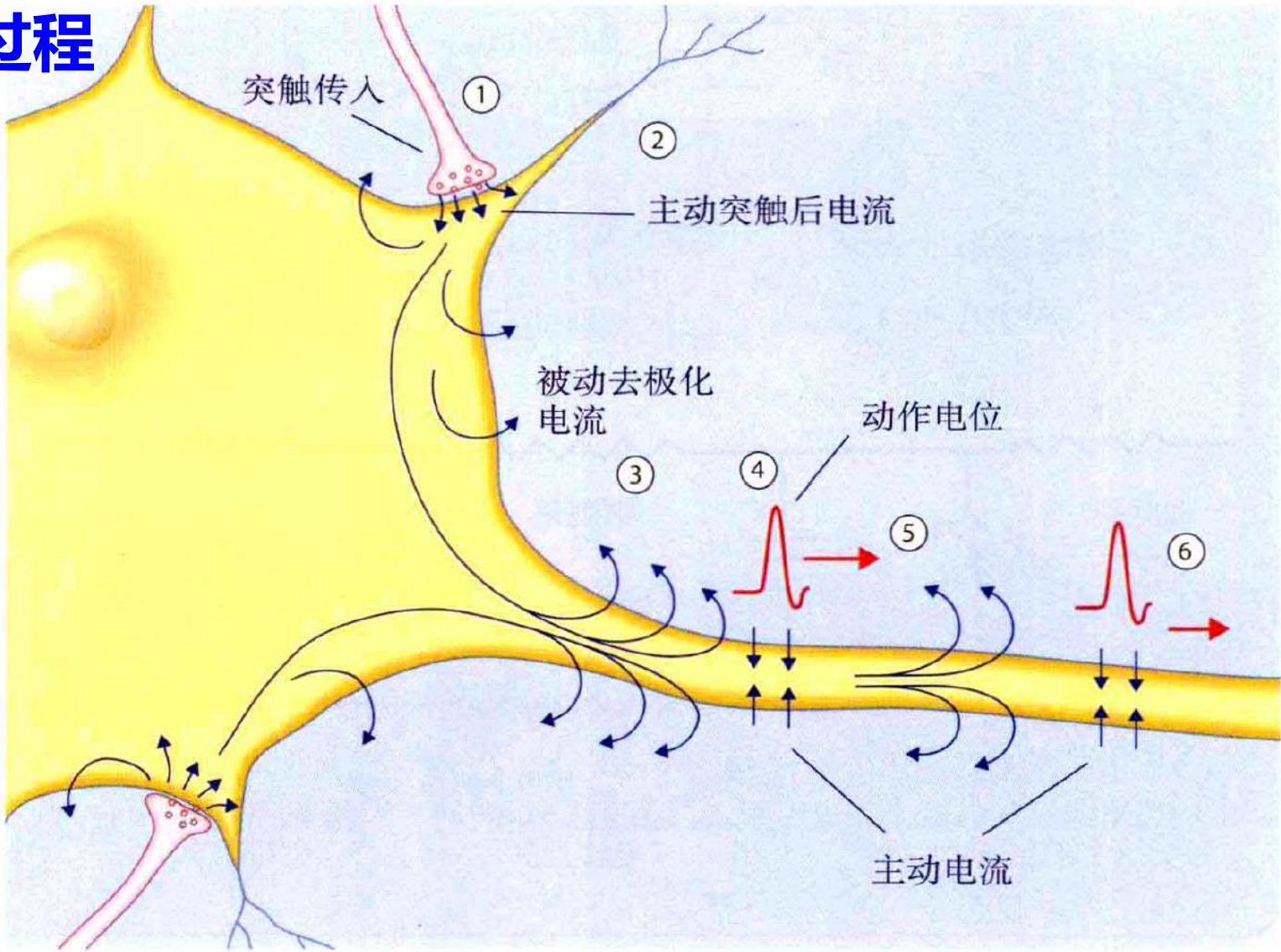


3.2 神经元的信息传递

神经元信息传递的主要过程

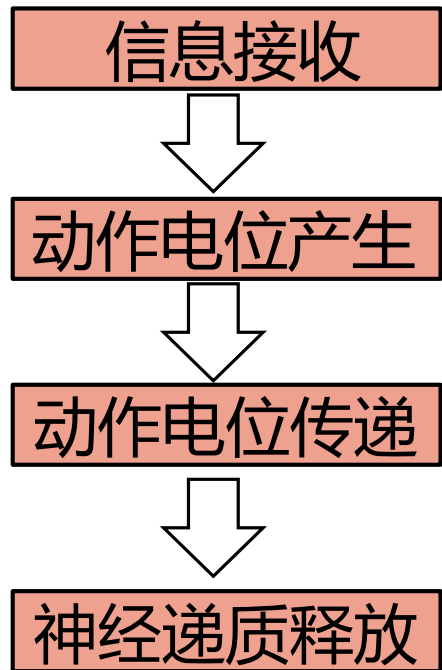


动作电位沿轴突下行
传播到轴突末梢

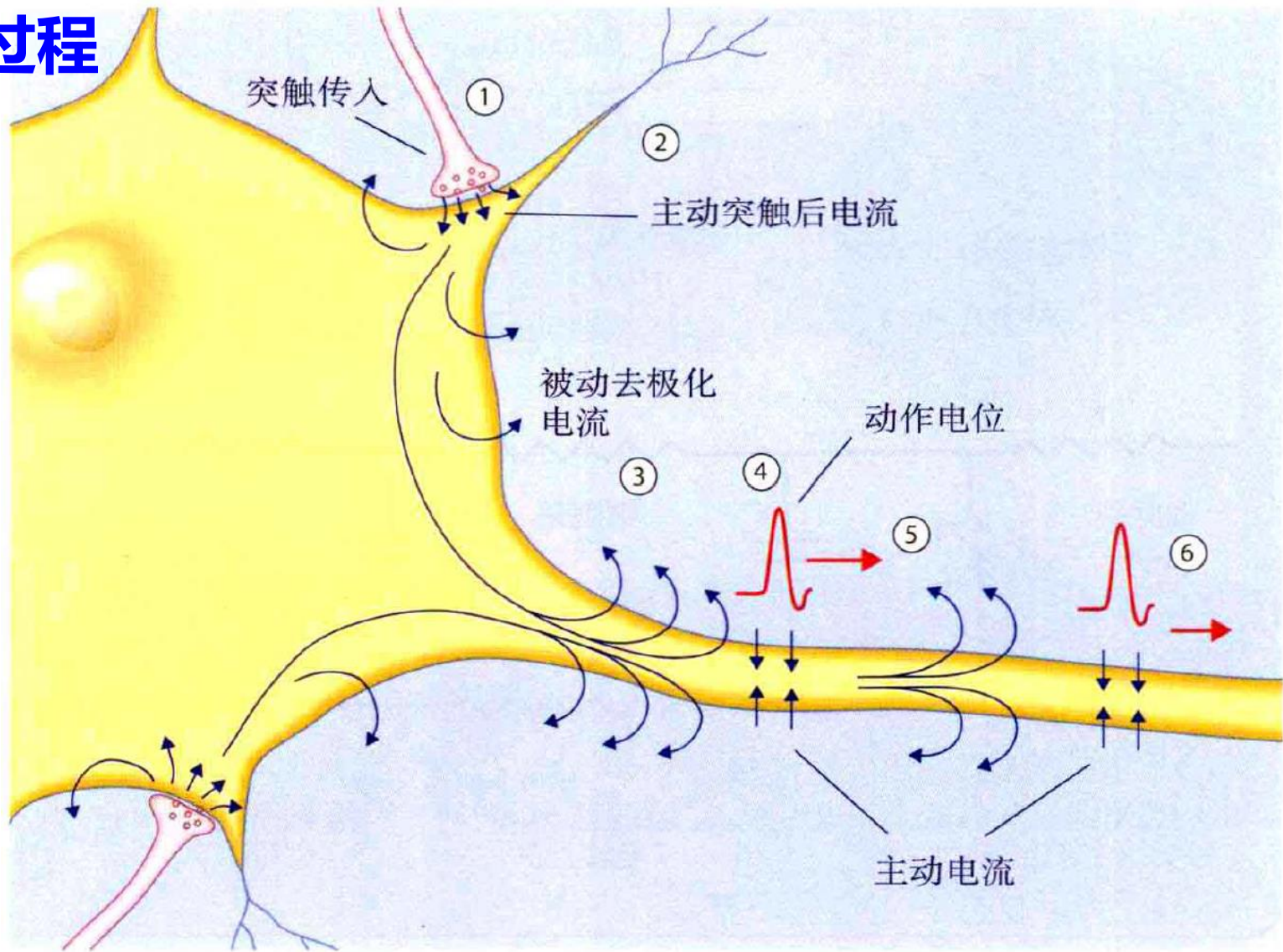


3.2 神经元的信息传递

神经元信息传递的主要过程

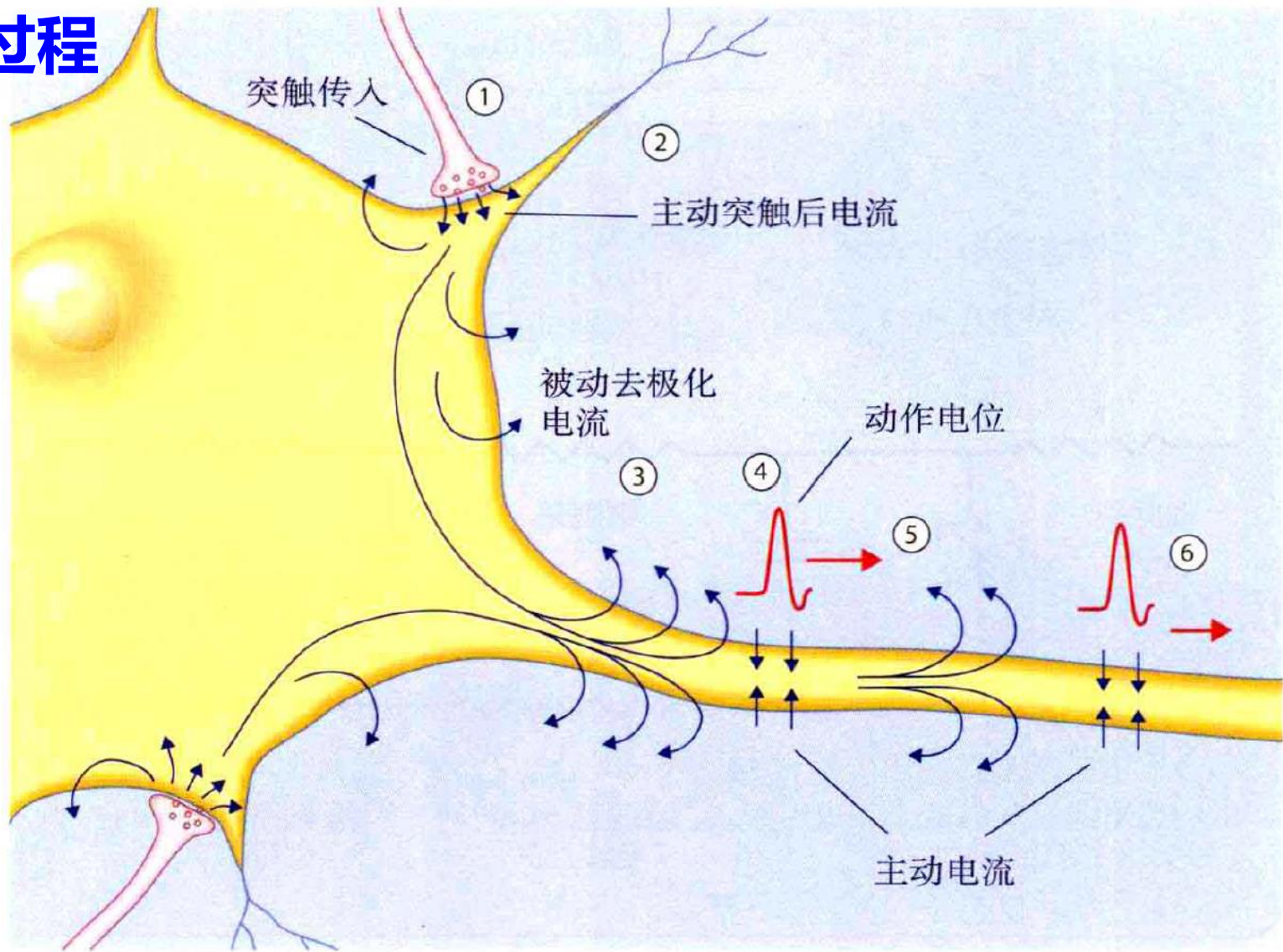
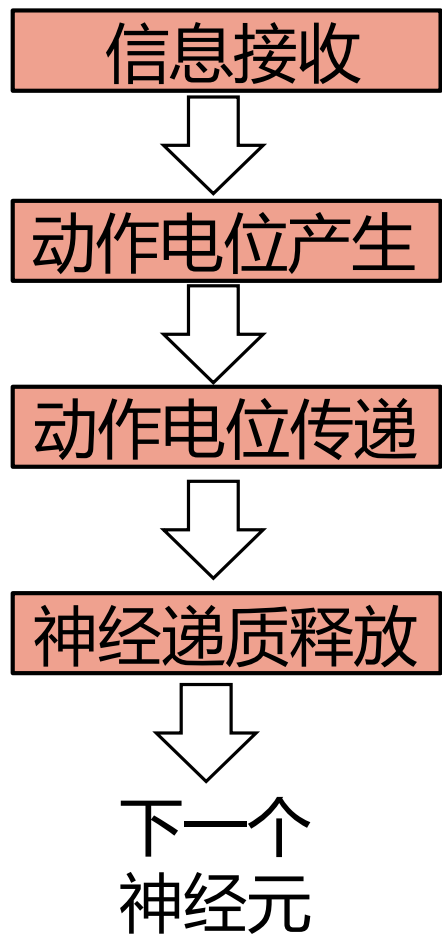


动作电位沿引起突触释放神经递质，从而将信息传到其他神经元



3.2 神经元的信息传递

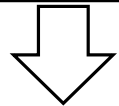
神经元信息传递的主要过程



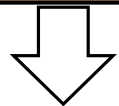
3.2 神经元的信息传递

问题1：神经元为何具有电特性？

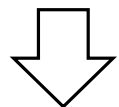
信息接收



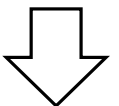
动作电位产生



动作电位传递

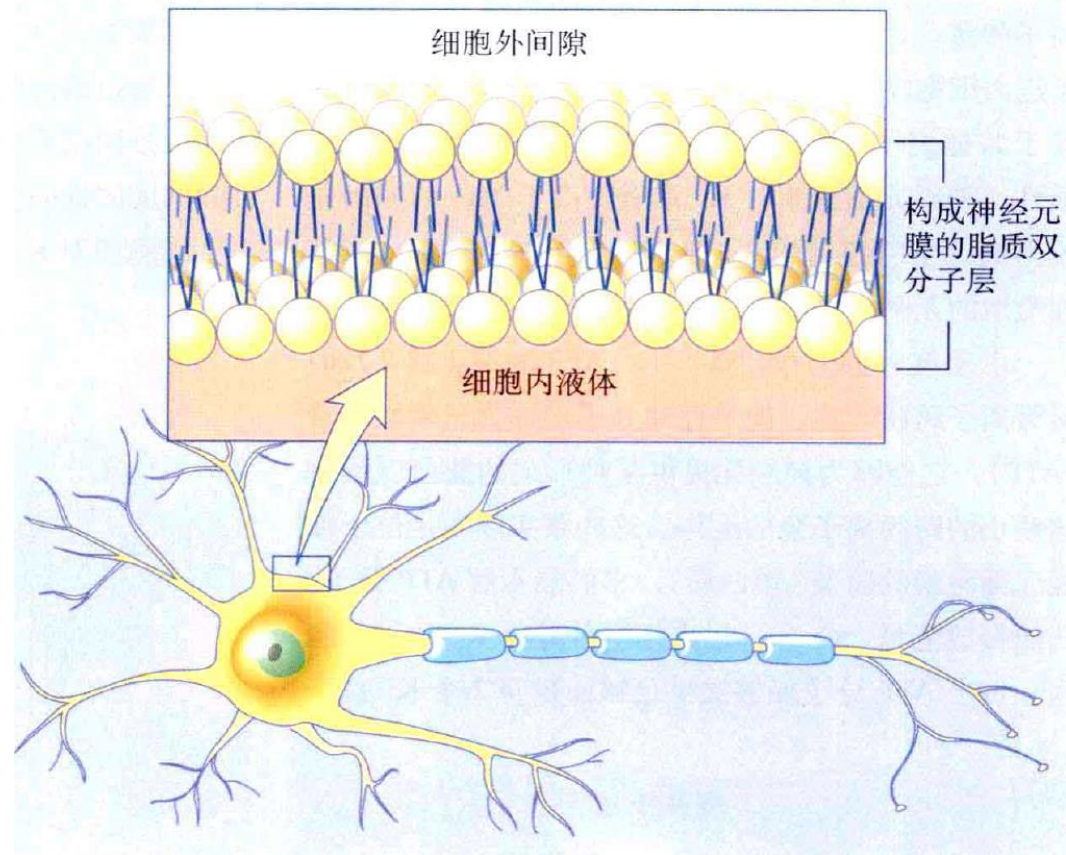


神经递质释放



下一个
神经元

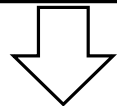
- **结构**：神经元细胞膜由磷脂双分子层和跨膜蛋白质构成
- **功能**：钠离子、钾离子、蛋白质和其他水溶性分子无法直接通过



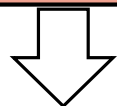
3.2 神经元的信息传递

问题1：神经元为何具有电特性？

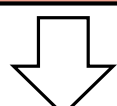
信息接收



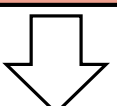
动作电位产生



动作电位传递



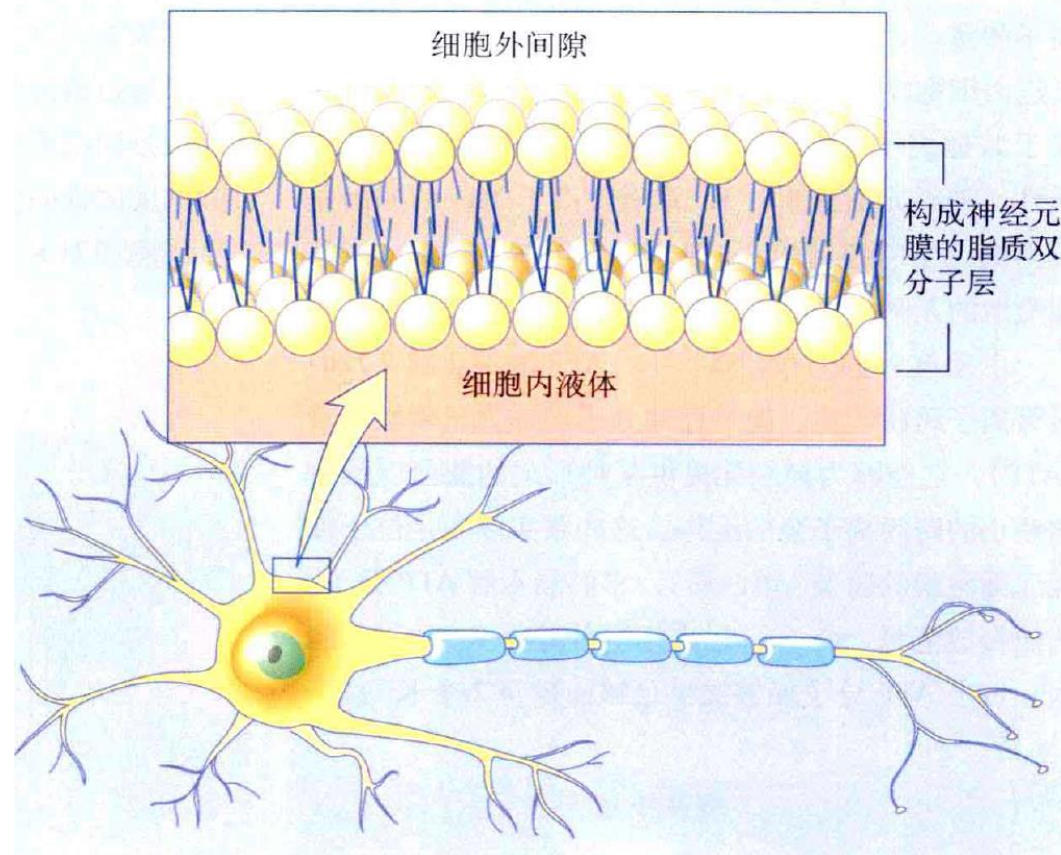
神经递质释放



下一个
神经元

➤ **结构**：神经元细胞膜由磷脂双分子层和跨膜蛋白质构成

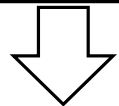
➤ **前者功能**：钠离子、钾离子、蛋白质和其他水溶性分子无法直接通过



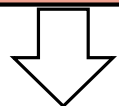
3.2 神经元的信息传递

问题1：神经元为何具有电特性？

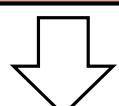
信息接收



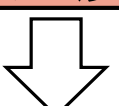
动作电位产生



动作电位传递



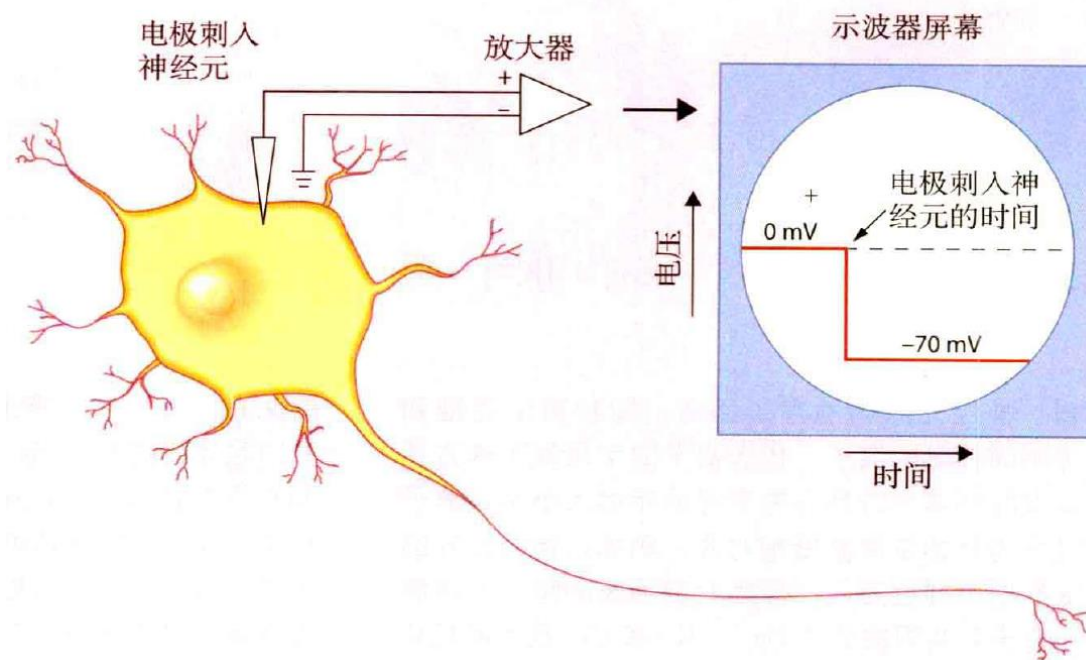
神经递质释放



下一个
神经元

➤ **结构**：神经元细胞膜由磷脂双分子层和跨膜蛋白质构成

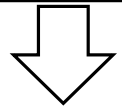
➤ **后者功能**：形成了离子通道、主动转运器或泵结构，产生膜内外电位差，称为**静息膜电位**



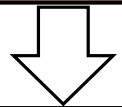
3.2 神经元的信息传递

问题1：神经元为何具有电特性？

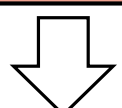
信息接收



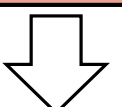
动作电位产生



动作电位传递



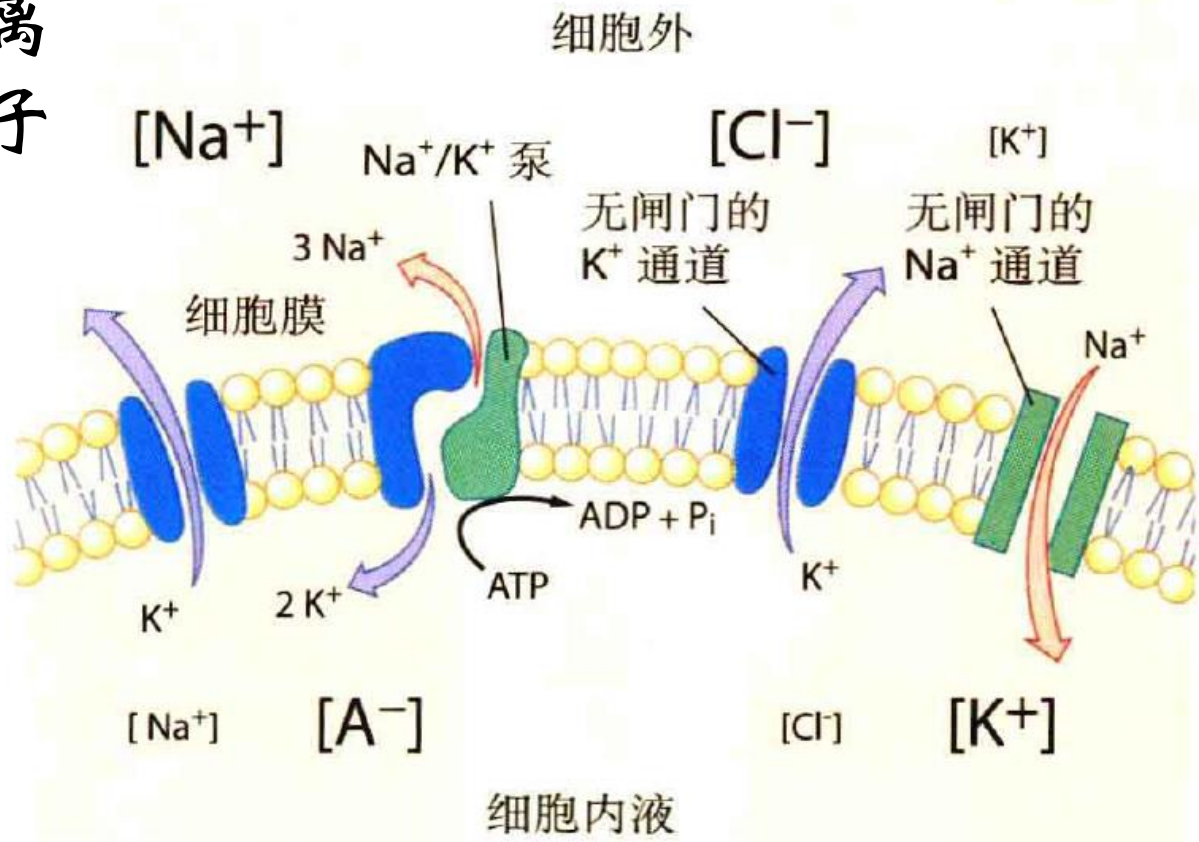
神经递质释放



下一个
神经元

➤ **离子通道**：允许钠离子、钾离子、氯离子等带电离子通过

- **渗透性**：离子通道允许离子穿过细胞膜的程度
- **被动型**：状态不变，只对某些离子开放
- **主动型**：在电、化学或物理刺激下开放或关闭，参与产生动作电位



3.2 神经元的信息传递

问题1：神经元为何具有电特性？

信息接收

↓
动作电位产生

↓
动作电位传递

↓
神经递质释放

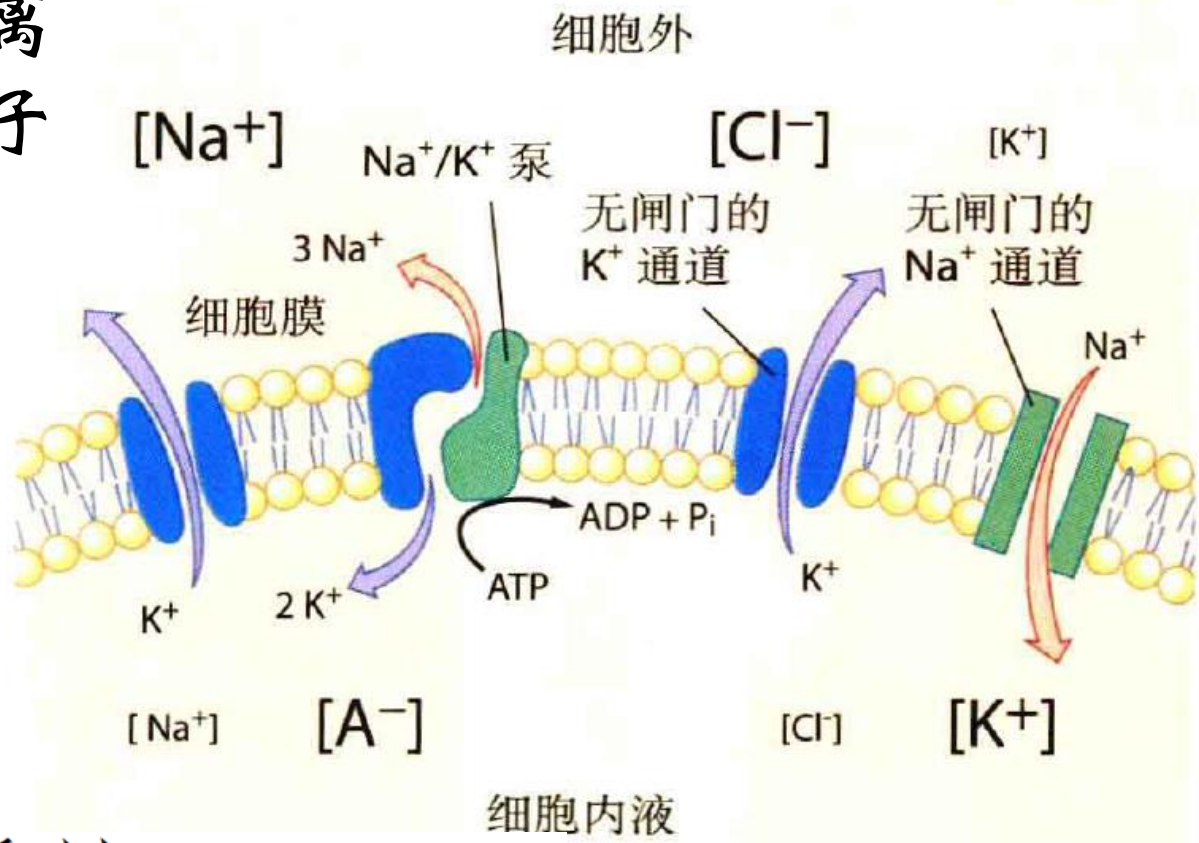
↓
下一个
神经元

➤ **离子通道**：允许钠离子、钾离子、氯离子等带电离子通过

- **渗透性**：离子通道允许离子穿过细胞膜的程度
- **被动型**：状态不变，只对某些离子开放

- **主动型**：在电、化学或物理刺激下开放或关闭，

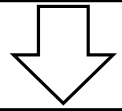
离子通道的渗透性： $K^+ \gg Na^+$



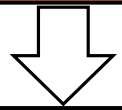
3.2 神经元的信息传递

问题1：神经元为何具有电特性？

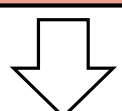
信息接收



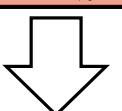
动作电位产生



动作电位传递



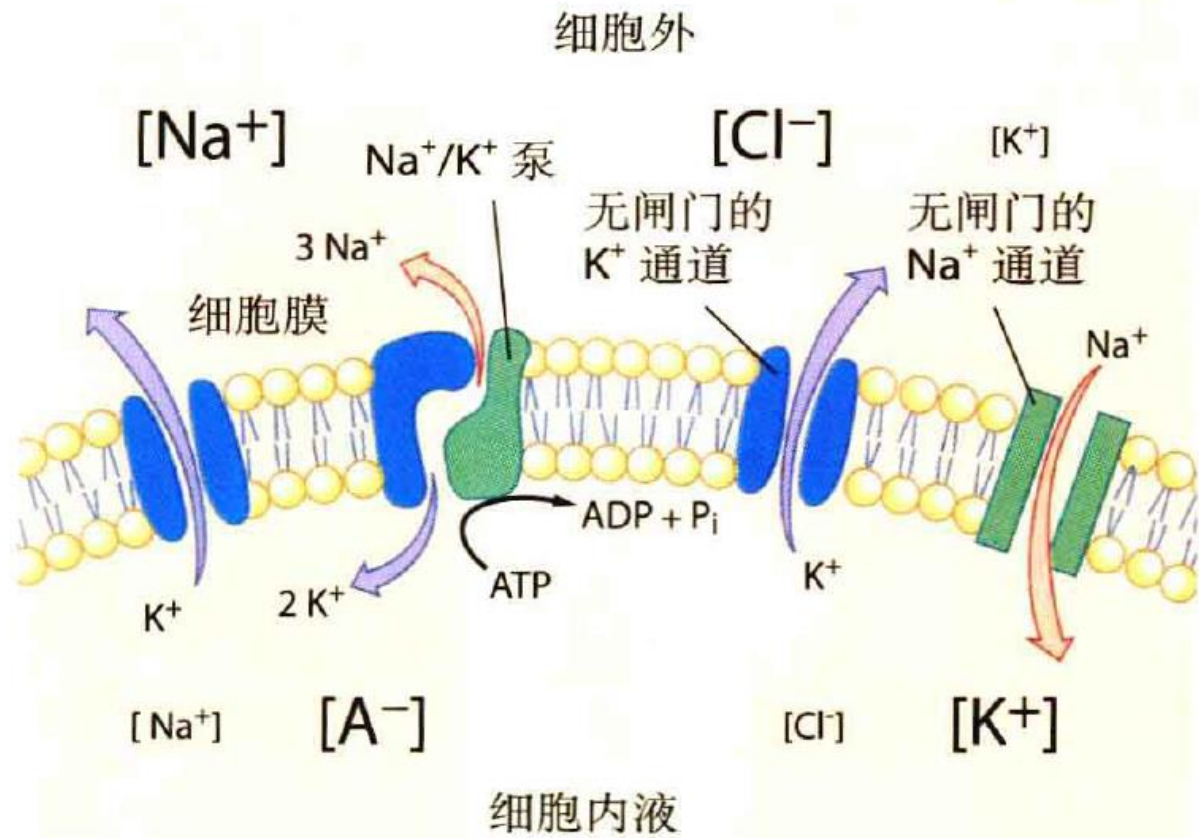
神经递质释放



下一个
神经元

➤ **渗透性**：细胞膜对 K^+ 的选择性渗透高于 Na^+

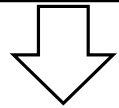
● **产生电荷梯度**： K^+ 离子带正电荷离开细胞，细胞外的环境具有更高的正电性



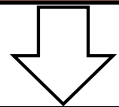
3.2 神经元的信息传递

问题1：神经元为何具有电特性？

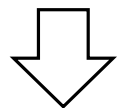
信息接收



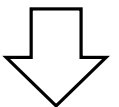
动作电位产生



动作电位传递



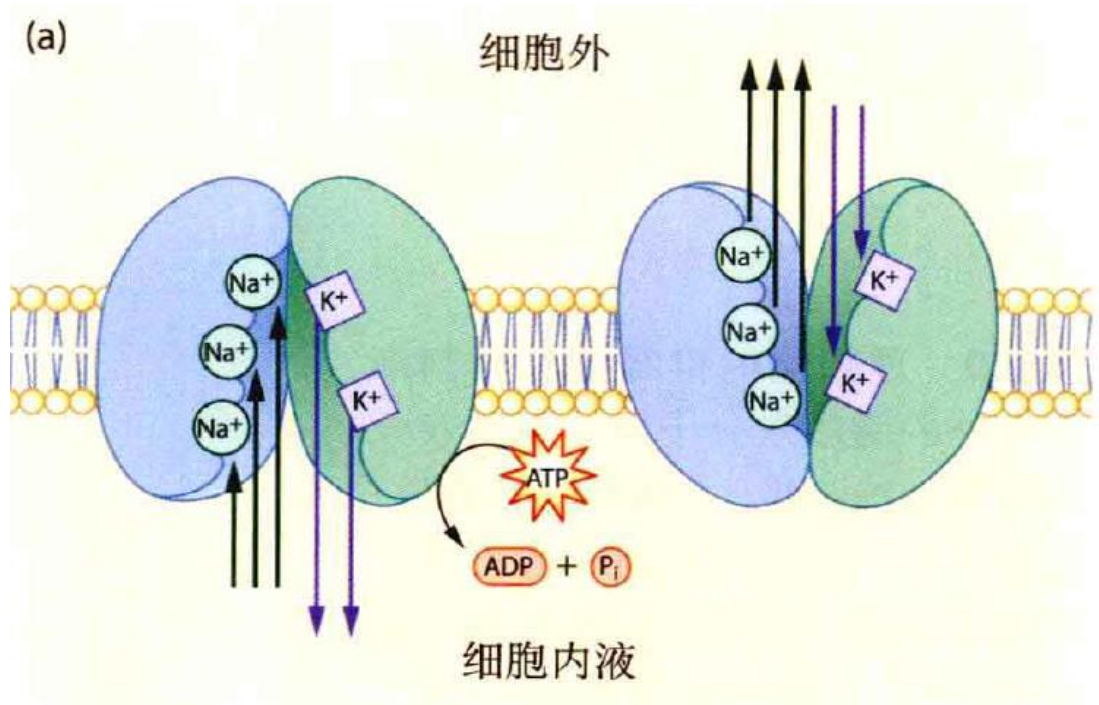
神经递质释放



下一个
神经元

➤ Na^+/K^+ 泵：ATP 分子提供能量将2个 K^+ 泵到细胞内，同时将3个 Na^+ 泵到细胞外

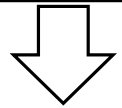
- 产生浓度梯度：细胞外的 Na^+ 离子浓度高，细胞内的 K^+ 离子浓度高



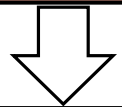
3.2 神经元的信息传递

问题1：神经元为何具有电特性？

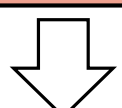
信息接收



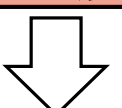
动作电位产生



动作电位传递

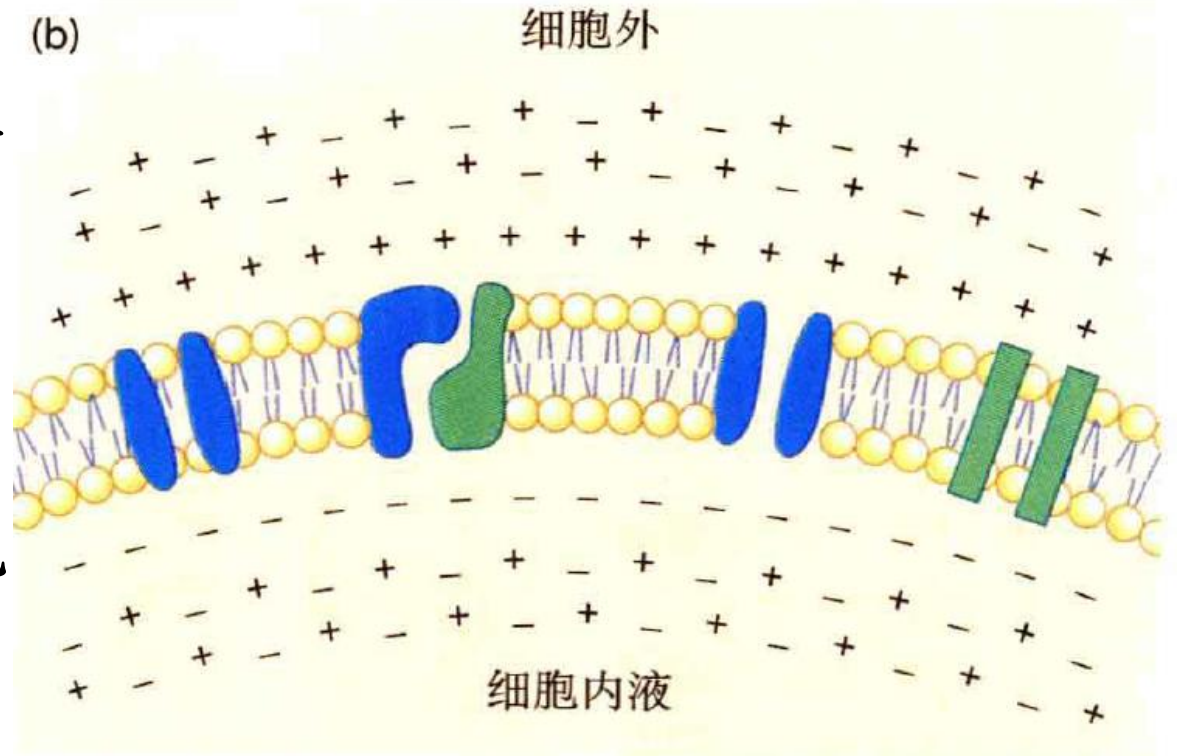


神经递质释放



下一个
神经元

- **浓度梯度**试图将 Na^+ 离子从细胞外的高浓度区推向细胞内的低浓度区，同时将 K^+ 离子从细胞内的高浓度区推向低浓度区
- **电荷梯度**导致的外正内负会阻止离子沿浓度梯度流动

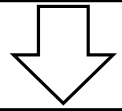


离子在**浓度梯度**和**电荷梯度**的共同作用下达达到动态平衡，从而产生静息电位（-40~-90mV）

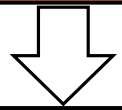
3.2 神经元的信息传递

问题2：神经元如何实现电传导？

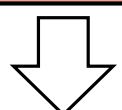
信息接收



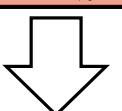
动作电位产生



动作电位传递



神经递质释放



下一个
神经元

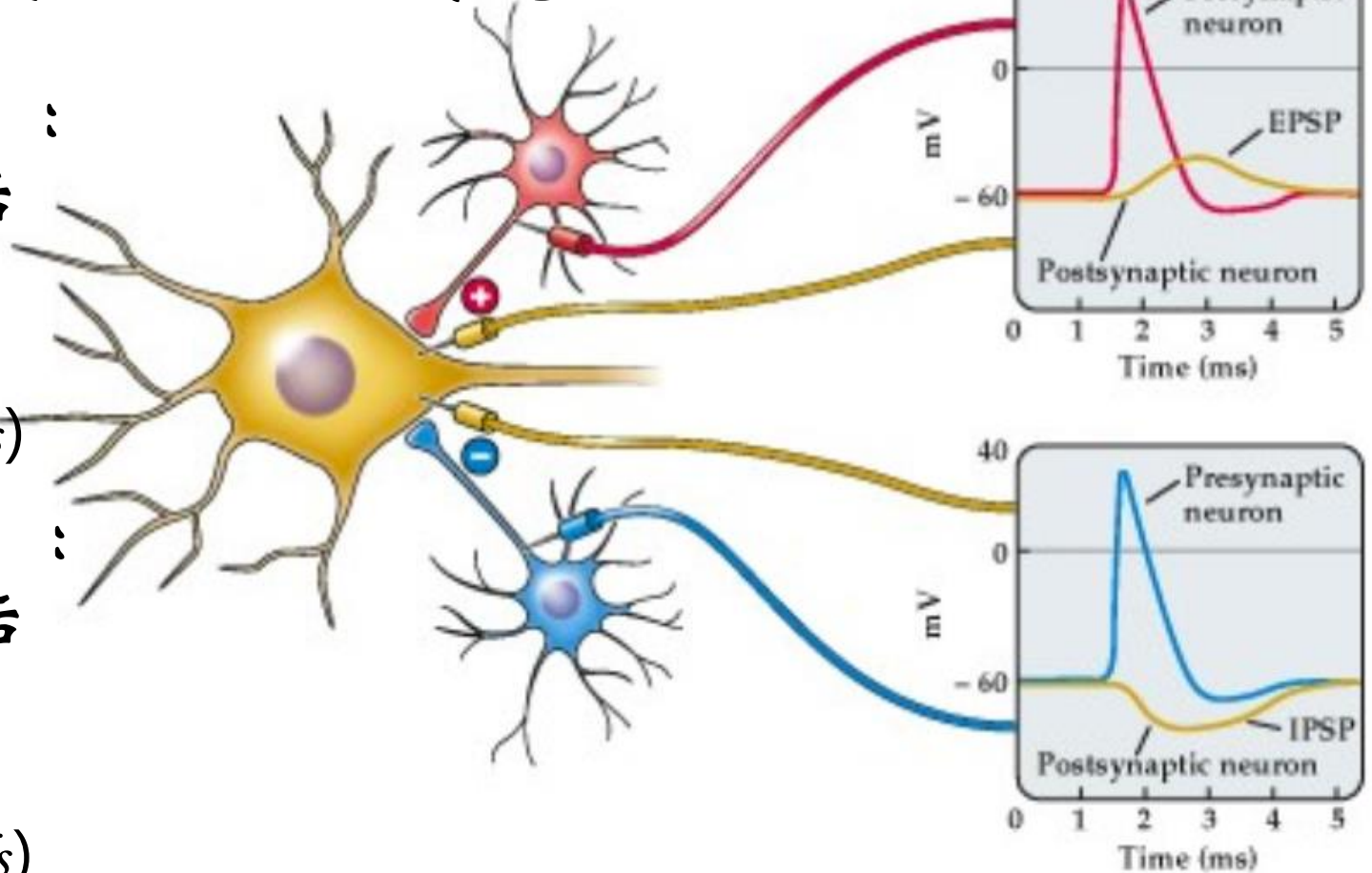
神经元接受信号后，可能引起：

➤ 兴奋性反应：

兴奋性突触后
电位 (*EPSPs*:
Excitatory post-
synaptic potentials)

➤ 抑制性反应：

抑制性突触后
电位 (*IPSPs*:
Inhibitory post-
synaptic potentials)



3.2 神经元的信息传递

问题2：神经元如何实现电传导？

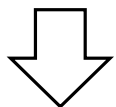
信息接收



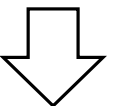
动作电位产生



动作电位传递



神经递质释放



下一个
神经元

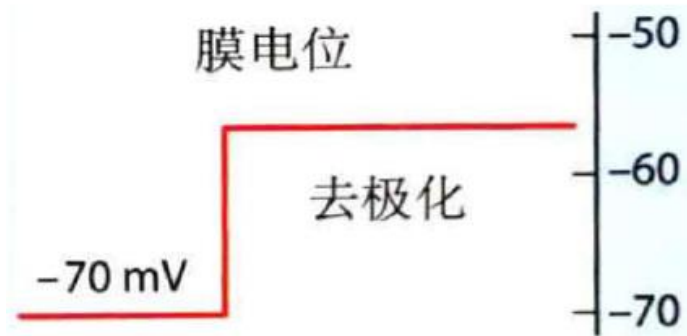
神经元接受信号后，可能引起：

➤ 兴奋性反应 (EPSPs)：

去极化 (depolarization)，使细胞膜内外的电位差减小，从而更容易产生动作电位

➤ 抑制性反应 (IPSPs)：

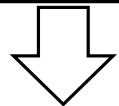
超极化 (hyperpolarization)，使细胞膜内外的电位差增大，从而不容易产生动作电位



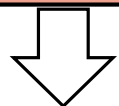
3.2 神经元的信息传递

问题2：神经元如何实现电传导？

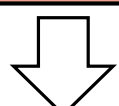
信息接收



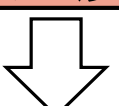
动作电位产生



动作电位传递



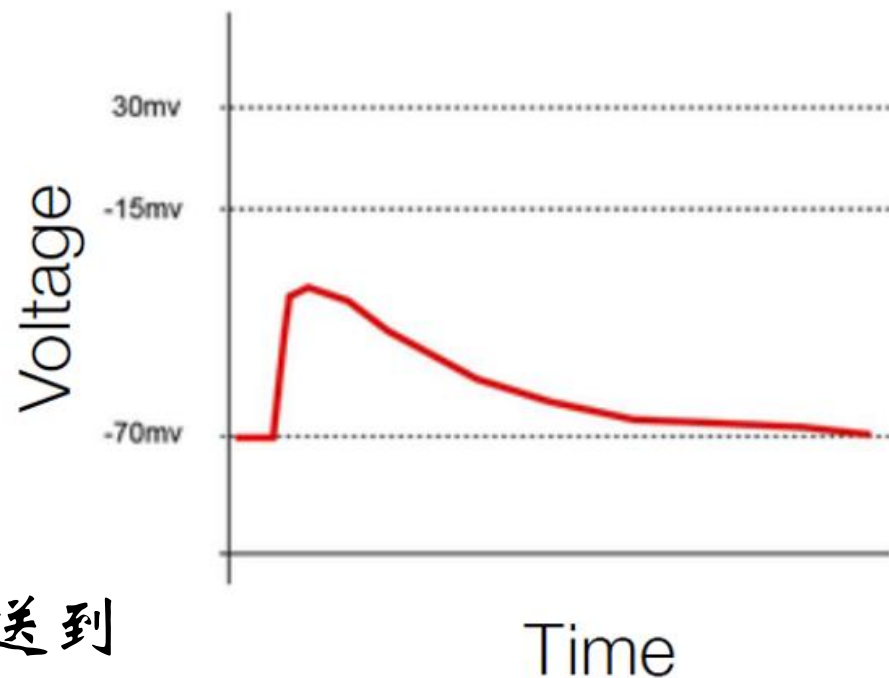
神经递质释放



下一个
神经元

➤ EPSPs导致的电位变化过程：

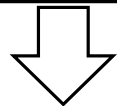
- 神经元接收信息后，离子通道就会打开，钠离子就会进入细胞
- 离子在细胞膜上变得更加平衡，细胞膜上的电压差的大小减小
- 随着时间的推移， Na^+/K^+ 被泵送到膜内外，导致电位恢复到静息状态
- 没有达到激活电压门控离子通道的阈值，不会对突触后神经元产生任何活动



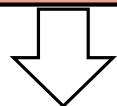
3.2 神经元的信息传递

问题2：神经元如何实现电传导？

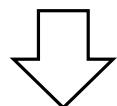
信息接收



动作电位产生



动作电位传递



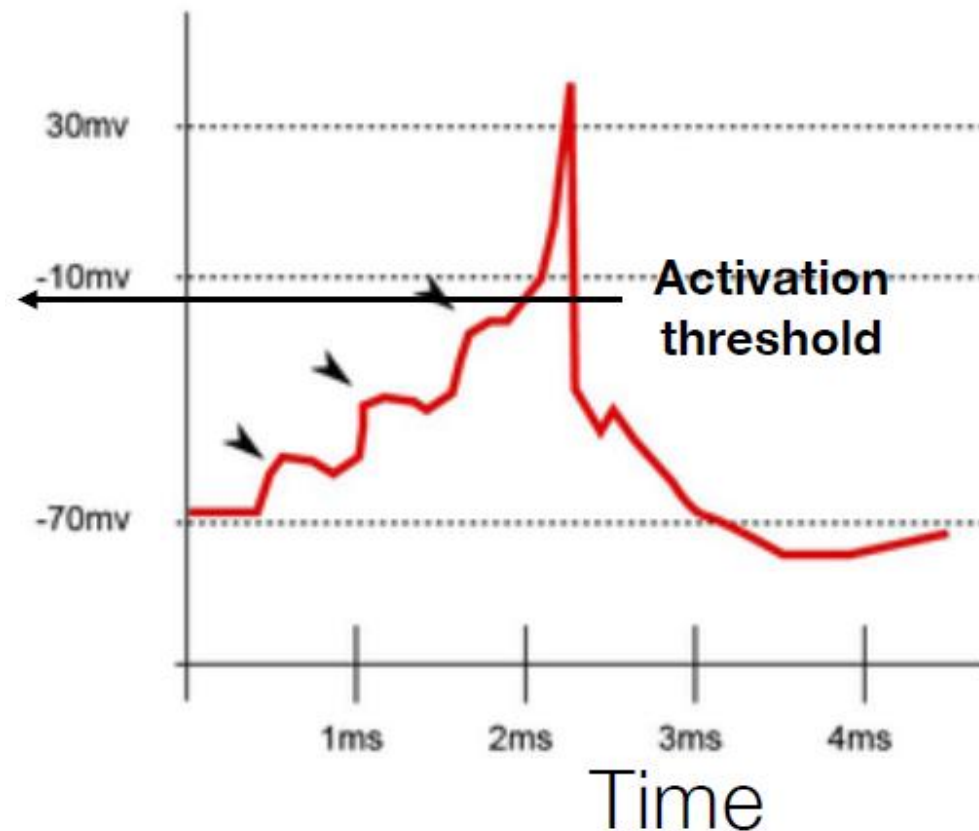
神经递质释放



下一个
神经元

➤ EPSPs导致的电位变化过程：

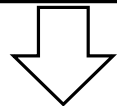
- 几个神经递质分子在短时间内结合，这可以达到电压门控钠通道的阈值电压
- 这会导致更极端的去极化，电压或动作电位的尖峰。这将沿着轴突传递到下一层神经元



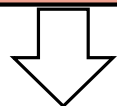
3.2 神经元的信息传递

问题2：神经元如何实现电传导？

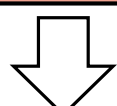
信息接收



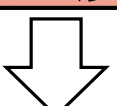
动作电位产生



动作电位传递



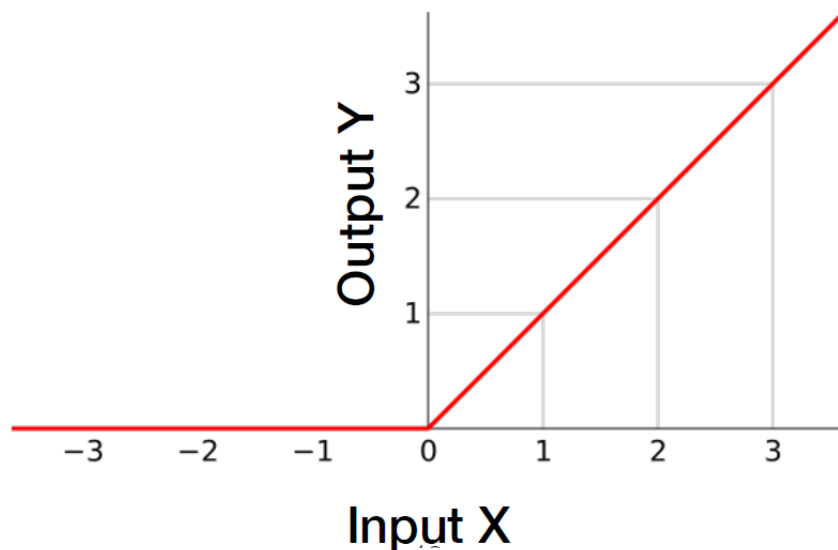
神经递质释放



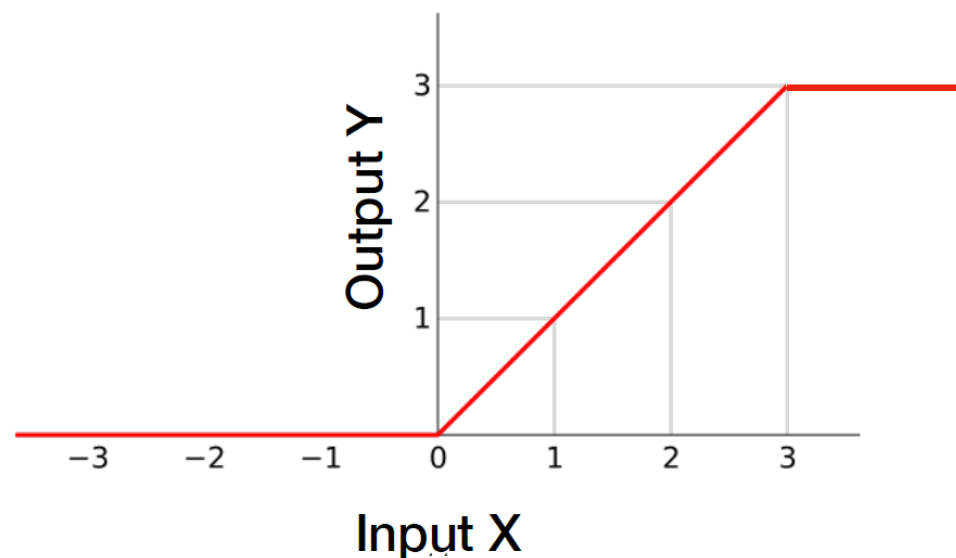
下一个
神经元

➤ *EPSPs*导致的电位变化过程：

$$Y = f(X) = \max(0, X)$$



$$Y = f(X) = \min(\max(0, X), \text{MaxActivation})$$

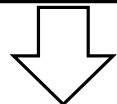


深度学习中的激活函数

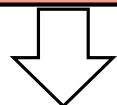
3.2 神经元的信息传递

问题2：神经元如何实现电传导？

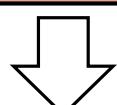
信息接收



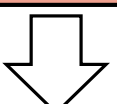
动作电位产生



动作电位传递



神经递质释放

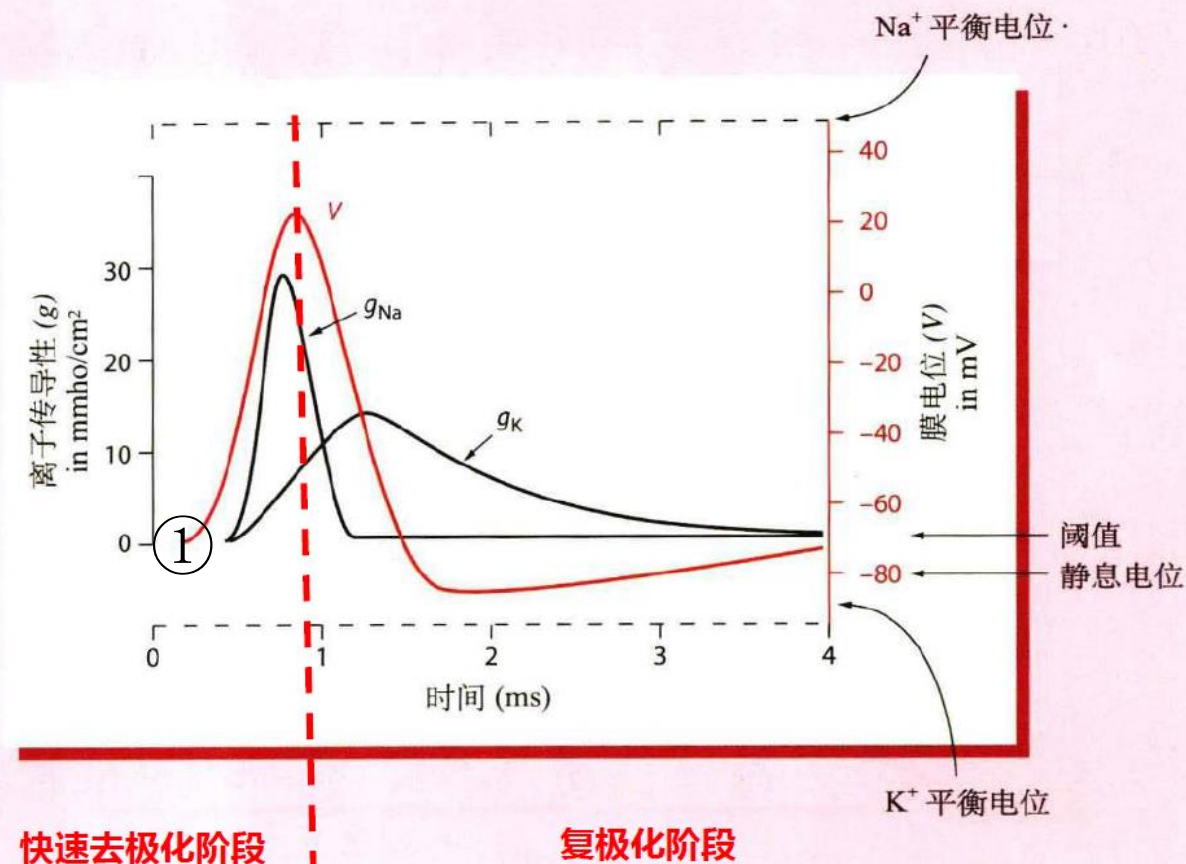


下一个
神经元

➤ 动作电位 (Action Potentials) 产生的原因：

- 动作电位可分为快速去极化和较慢的复极化两个阶段

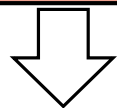
①：膜去极化达到阈值，电压门控 Na^+ 通道开放， Na^+ 进入细胞， K^+ 通道开始缓慢开放



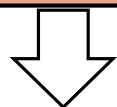
3.2 神经元的信息传递

问题2：神经元如何实现电传导？

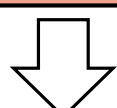
信息接收



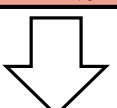
动作电位产生



动作电位传递



神经递质释放

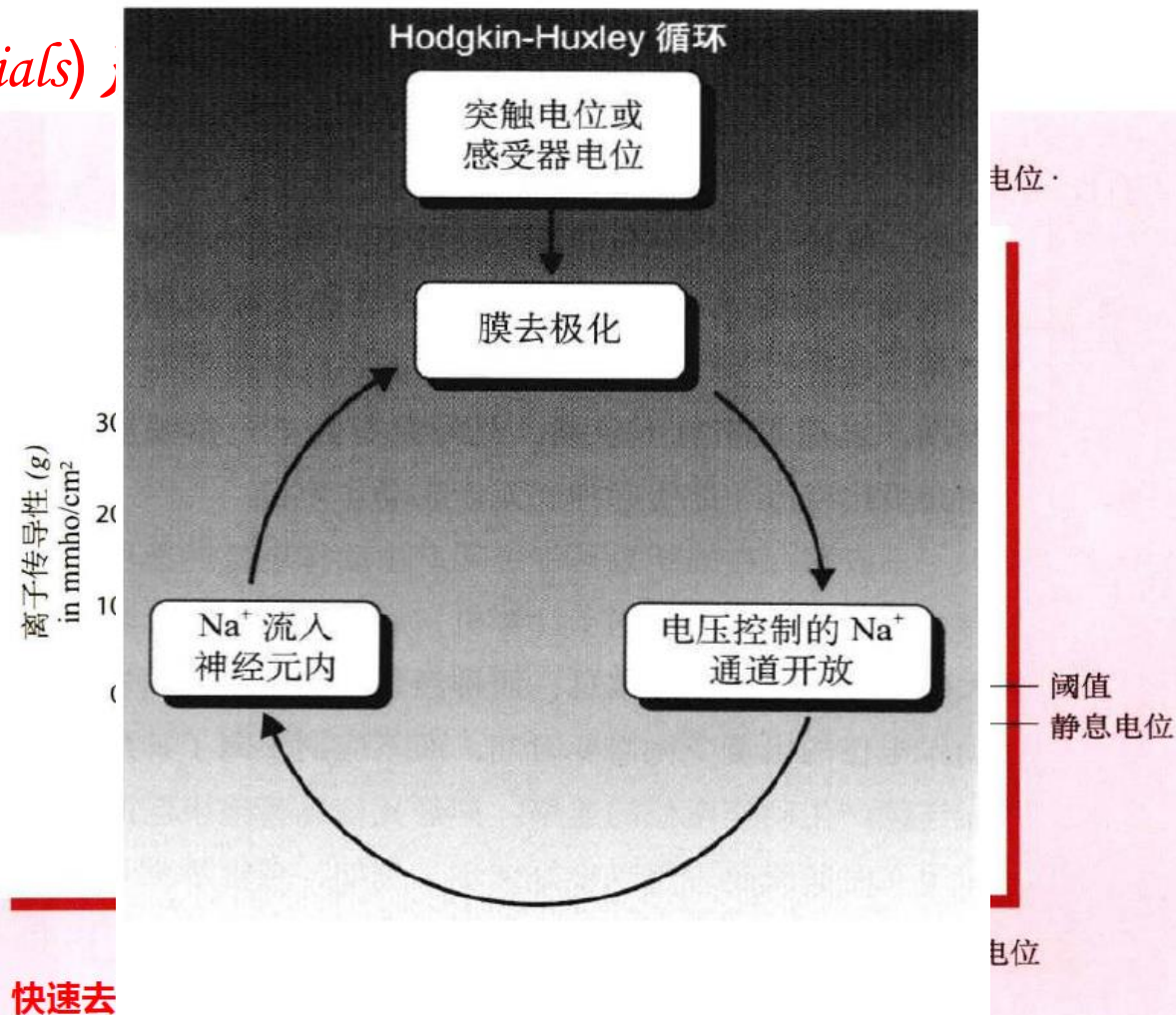


下一个
神经元

➤ 动作电位 (Action Potentials)

- 动作电位可分为快速去极化和较慢的复极化两个阶段

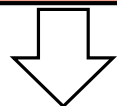
②: Na^+ 进入细胞后进一步加强膜去极化, Na^+ 更加迅速进入细胞, 处于快速去极化阶段



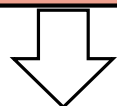
3.2 神经元的信息传递

问题2：神经元如何实现电传导？

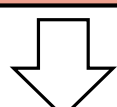
信息接收



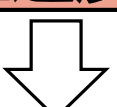
动作电位产生



动作电位传递



神经递质释放

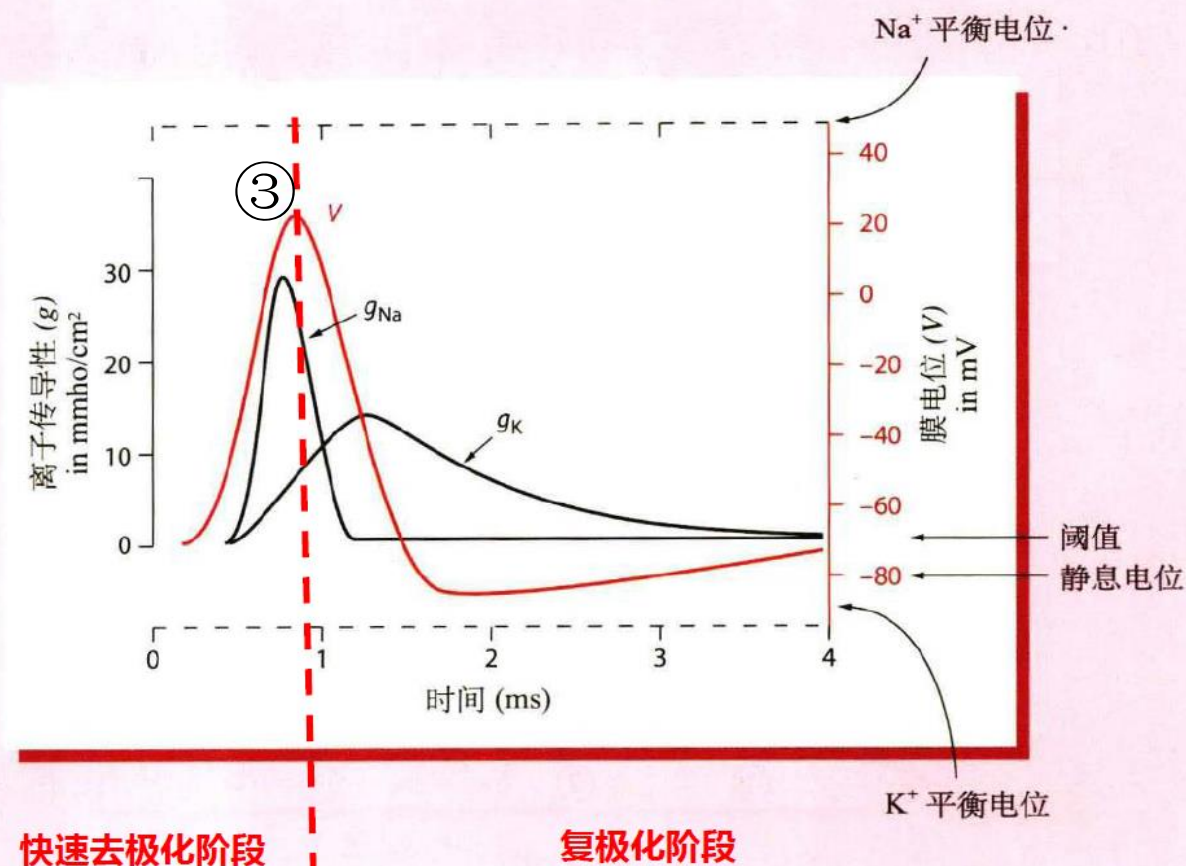


下一个
神经元

➤ 动作电位 (Action Potentials) 产生的原因：

- 动作电位可分为快速去极化和较慢的复极化两个阶段

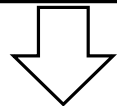
③：在峰值时， Na^+ 浓度在整个细胞膜上几乎相等，高电压导致 Na^+ 通道闭合， K^+ 离子通道开放



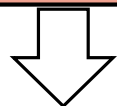
3.2 神经元的信息传递

问题2：神经元如何实现电传导？

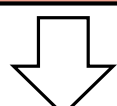
信息接收



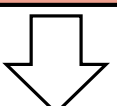
动作电位产生



动作电位传递



神经递质释放

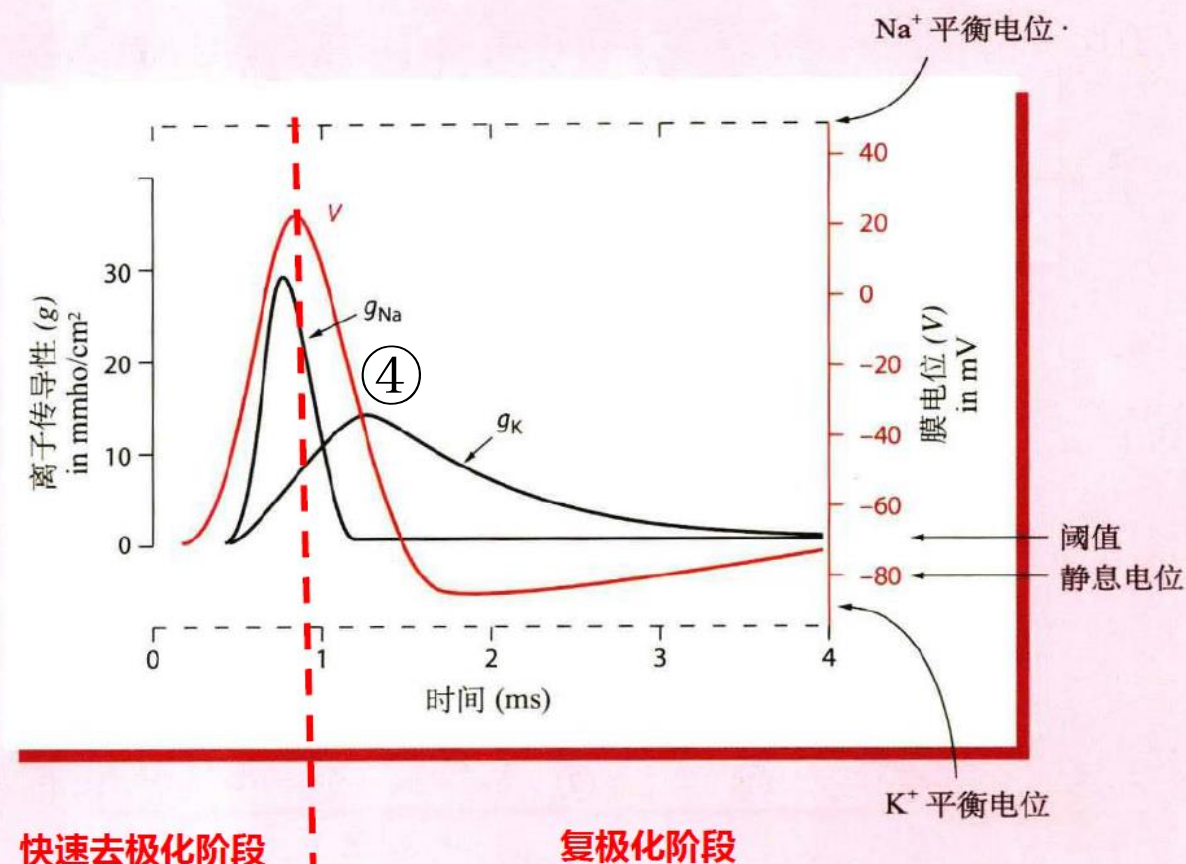


下一个
神经元

➤ 动作电位 (Action Potentials) 产生的原因：

- 动作电位可分为快速去极化和较慢的复极化两个阶段

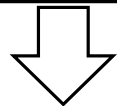
④：K⁺从细胞内转移到细胞外，进入复极化状态



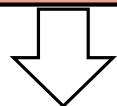
3.2 神经元的信息传递

问题2：神经元如何实现电传导？

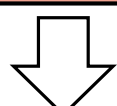
信息接收



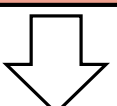
动作电位产生



动作电位传递



神经递质释放

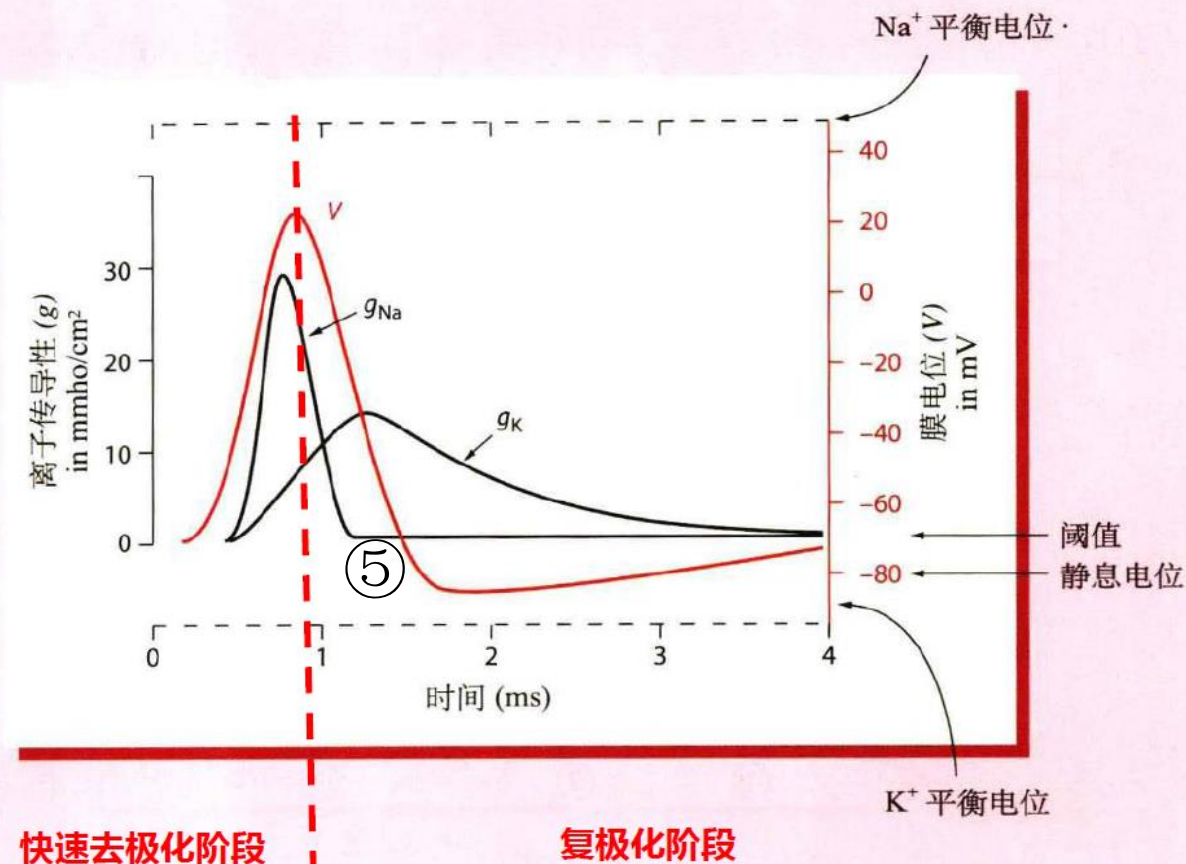


下一个
神经元

➤ 动作电位 (Action Potentials) 产生的原因：

- 动作电位可分为快速去极化和较慢的复极化两个阶段

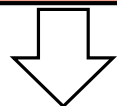
⑤：膜电位低于阈值但高于静息电位，仍然属于兴奋性反应， K^+ 通道还在作用， Na^+ 通道基本恢复



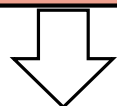
3.2 神经元的信息传递

问题2：神经元如何实现电传导？

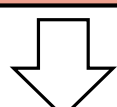
信息接收



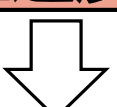
动作电位产生



动作电位传递



神经递质释放

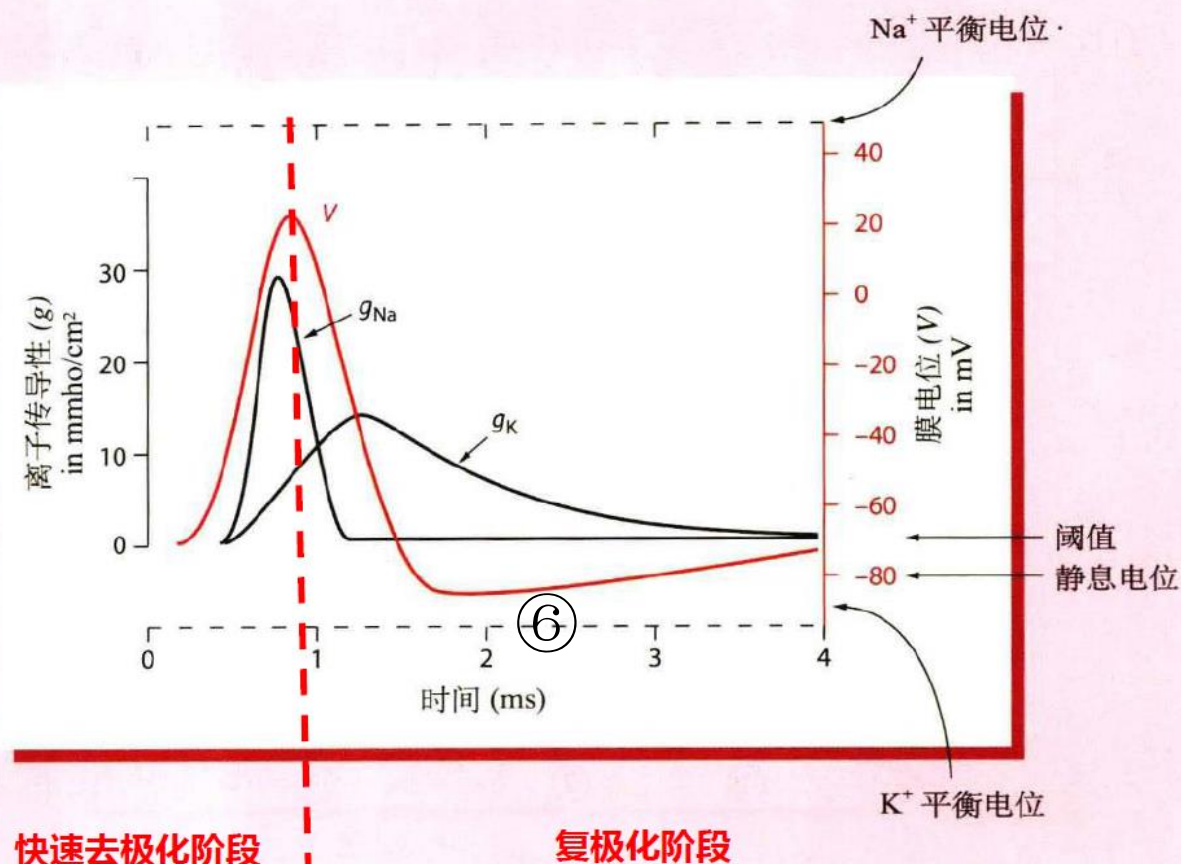


下一个
神经元

➤ 动作电位 (Action Potentials) 产生的原因：

- 动作电位可分为快速去极化和较慢的复极化两个阶段

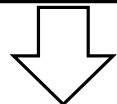
⑥：K⁺通道仍然开放，动作电位处于静息电位之下，属于抑制性反应，处于短暂的超极化状态。



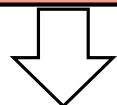
3.2 神经元的信息传递

问题2：神经元如何实现电传导？

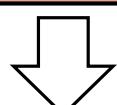
信息接收



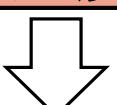
动作电位产生



动作电位传递



神经递质释放

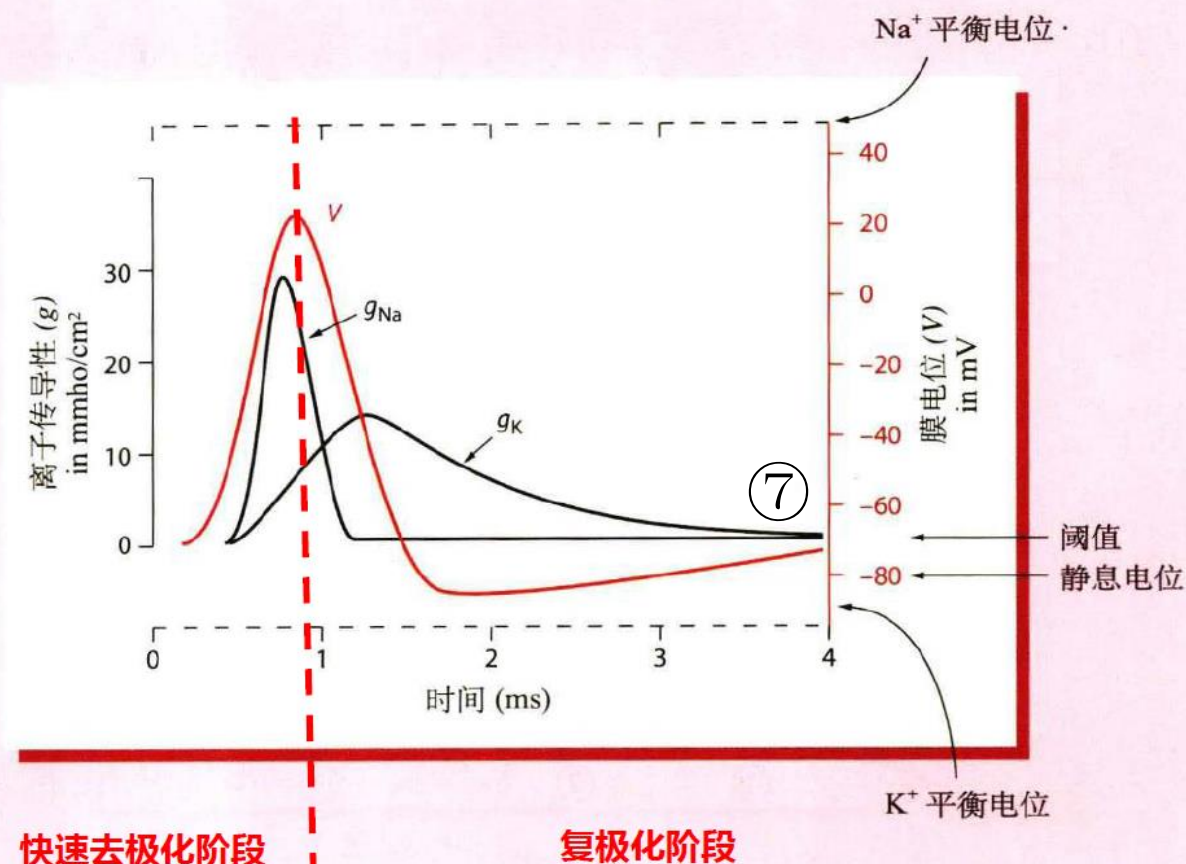


下一个
神经元

➤ 动作电位 (Action Potentials) 产生的原因：

- 动作电位可分为快速去极化和较慢的复极化两个阶段

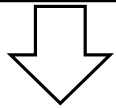
⑦：在Na-K泵作用下细胞膜电位恢复到静息电位水平。



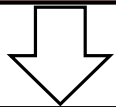
3.2 神经元的信息传递

问题2：神经元如何实现电传导？

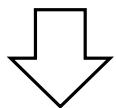
信息接收



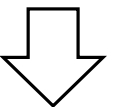
动作电位产生



动作电位传递



神经递质释放



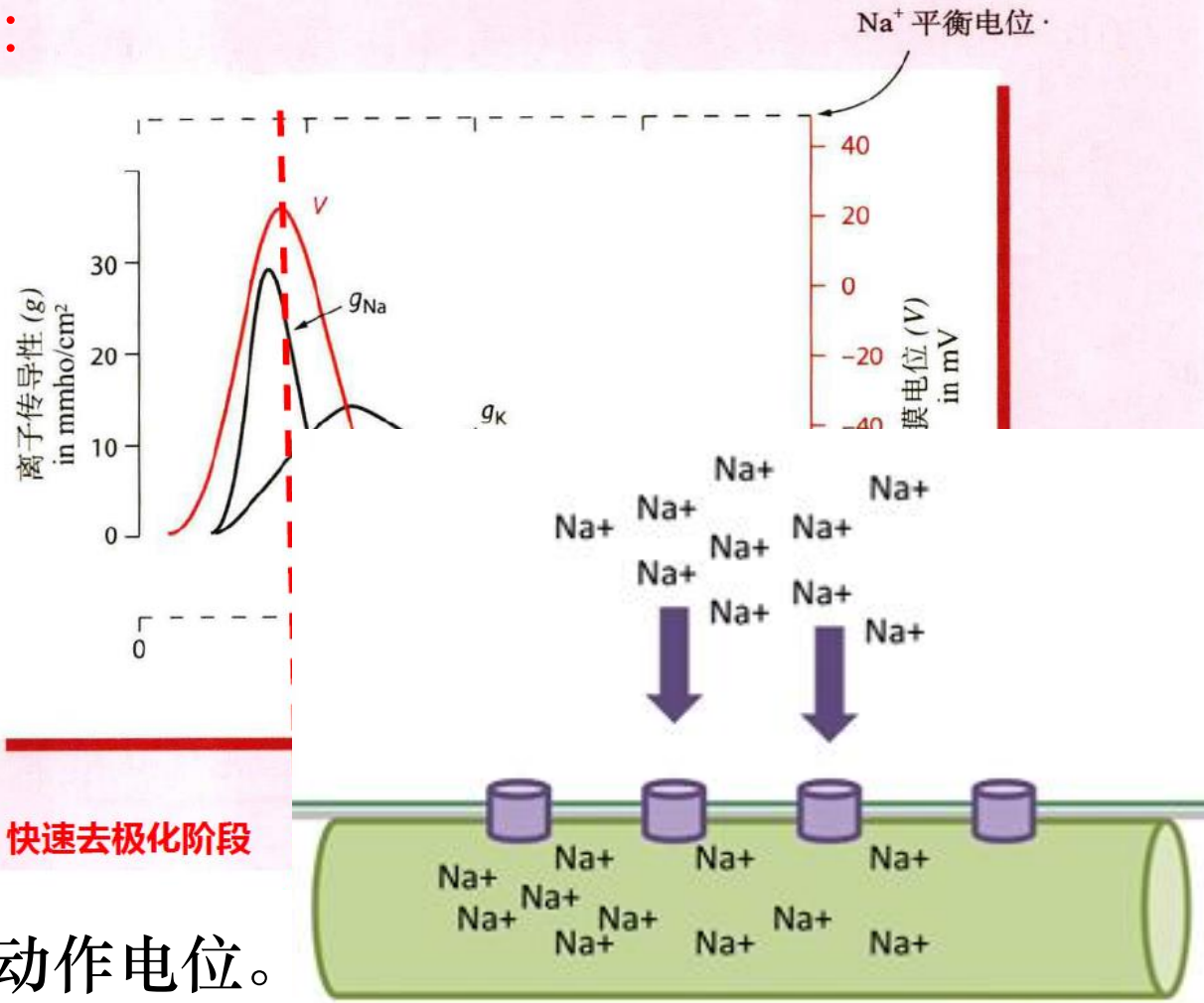
下一个
神经元

➤ 不应期 (Refractory Period):

- 复极化过程中神经元暂时不能产生新的动作电位

✓ 绝对不应期： Na^+ 通道处于失活状态，无论如何刺激均不能产生动作电位。

✓ 相对不应期： Na^+ 发生在绝对不应期之后，因超极化现象导致更难以达到动作电位的启动阈值，此时只有高于正常强度刺激才能重新产生动作电位。

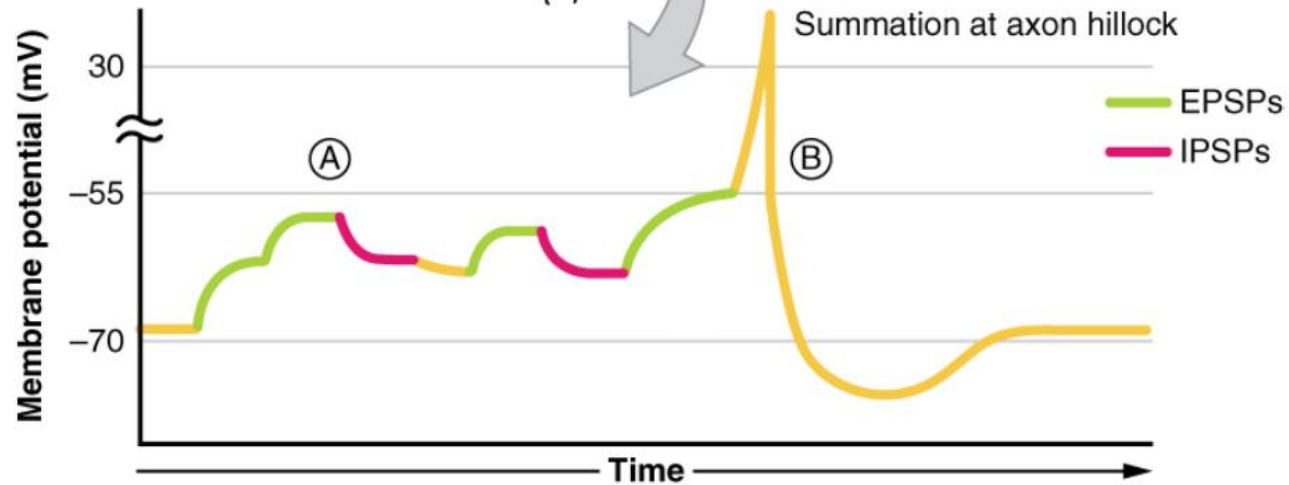
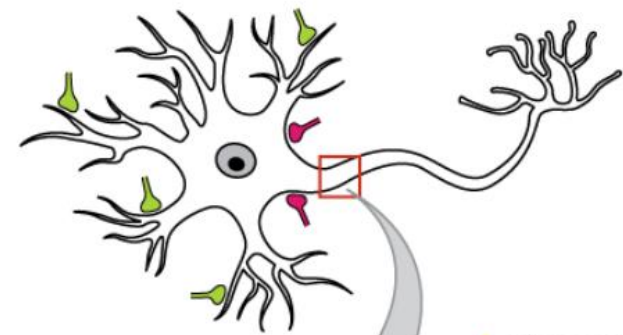


3.2 神经元的信息传递

问题2：神经元如何实现电传导？

➤ 轴丘(Axon hillock)处的电位来源：

- 来自不同的位置和不同的神经元
- 包含兴奋性反应和不同的抑制性反应
- 因为树突树的大小有限，所以输入的空间分布也有限



信息接收

动作电位产生

动作电位传递

神经递质释放

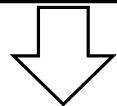
下一个
神经元

3.2 神经元的信息传递

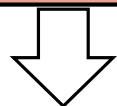
问题2：神经元如何实现电传导？

➤ 深度学习中的卷积操作：

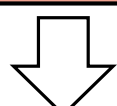
信息接收



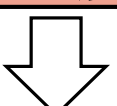
动作电位产生



动作电位传递



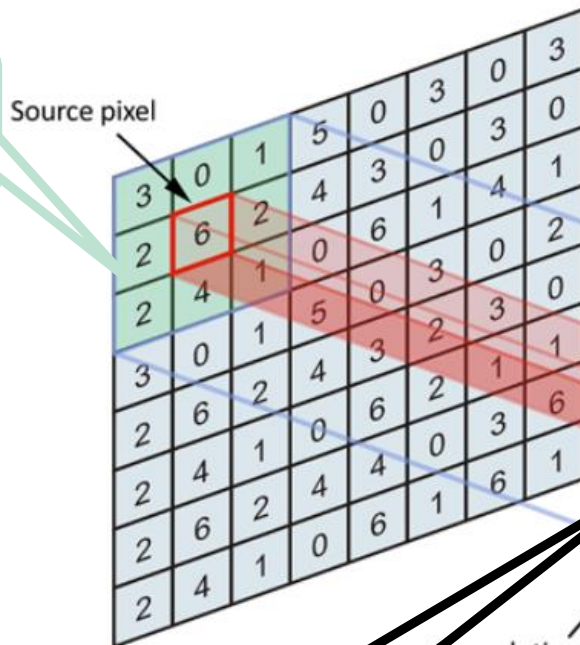
神经递质释放



下一个
神经元

突触前

空间分
布有限



Convolution filter
(Sobel Gx)

正负分别代
表EPSPs和
IPSPs

$$\begin{aligned} &(-1 \times 3) + (0 \times 0) + (1 \times 1) + \\ &(-2 \times 2) + (0 \times 6) + (2 \times 2) + \\ &(-1 \times 2) + (0 \times 4) + (1 \times 1) = -3 \end{aligned}$$

Destination pixel

突触后

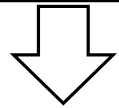
前面的操
作确定活
性强度

3.2 神经元的信息传递

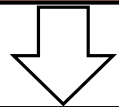
问题2：神经元如何实现电传导？

➤ 电传导：

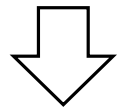
信息接收



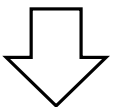
动作电位产生



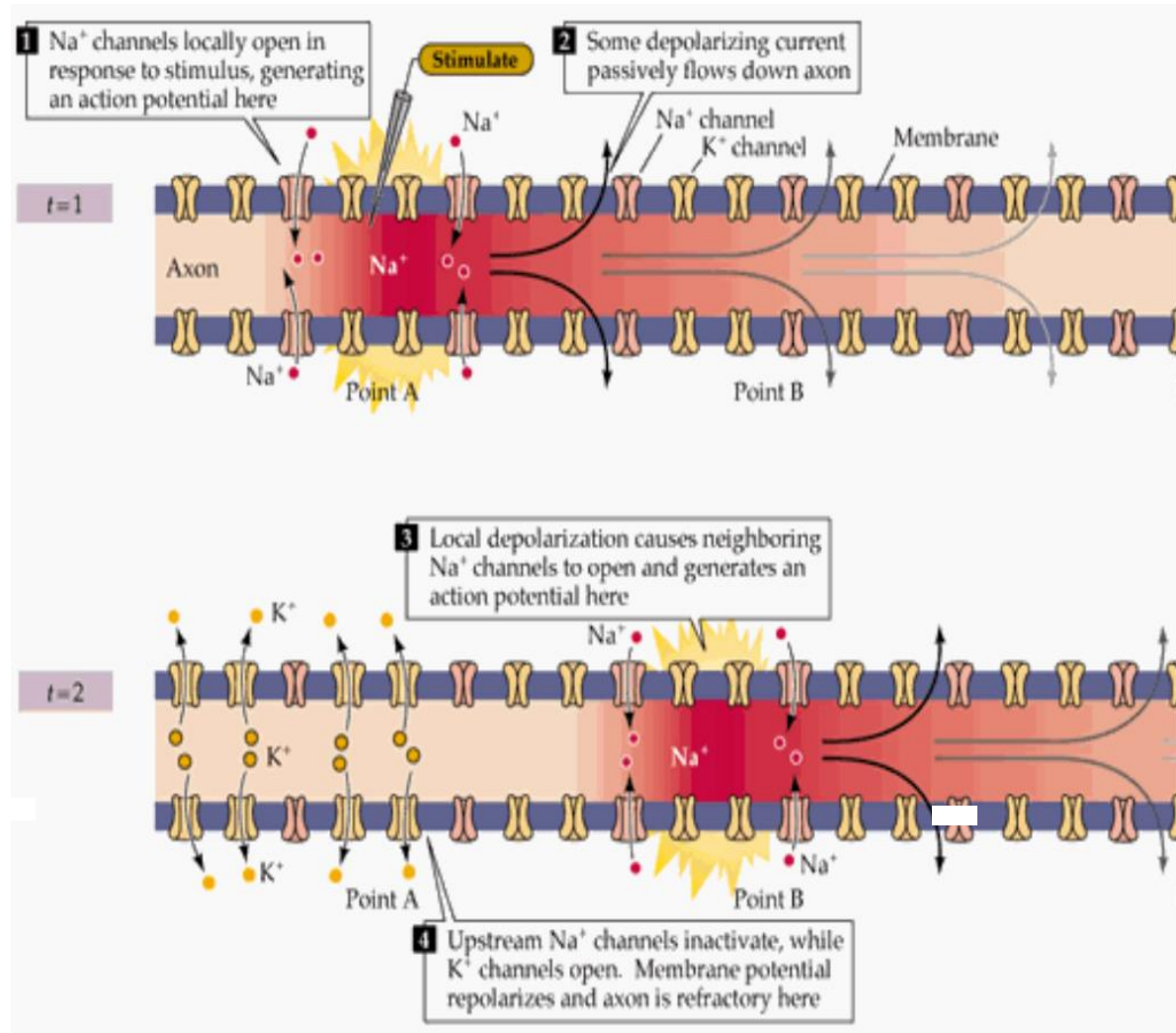
动作电位传递



神经递质释放



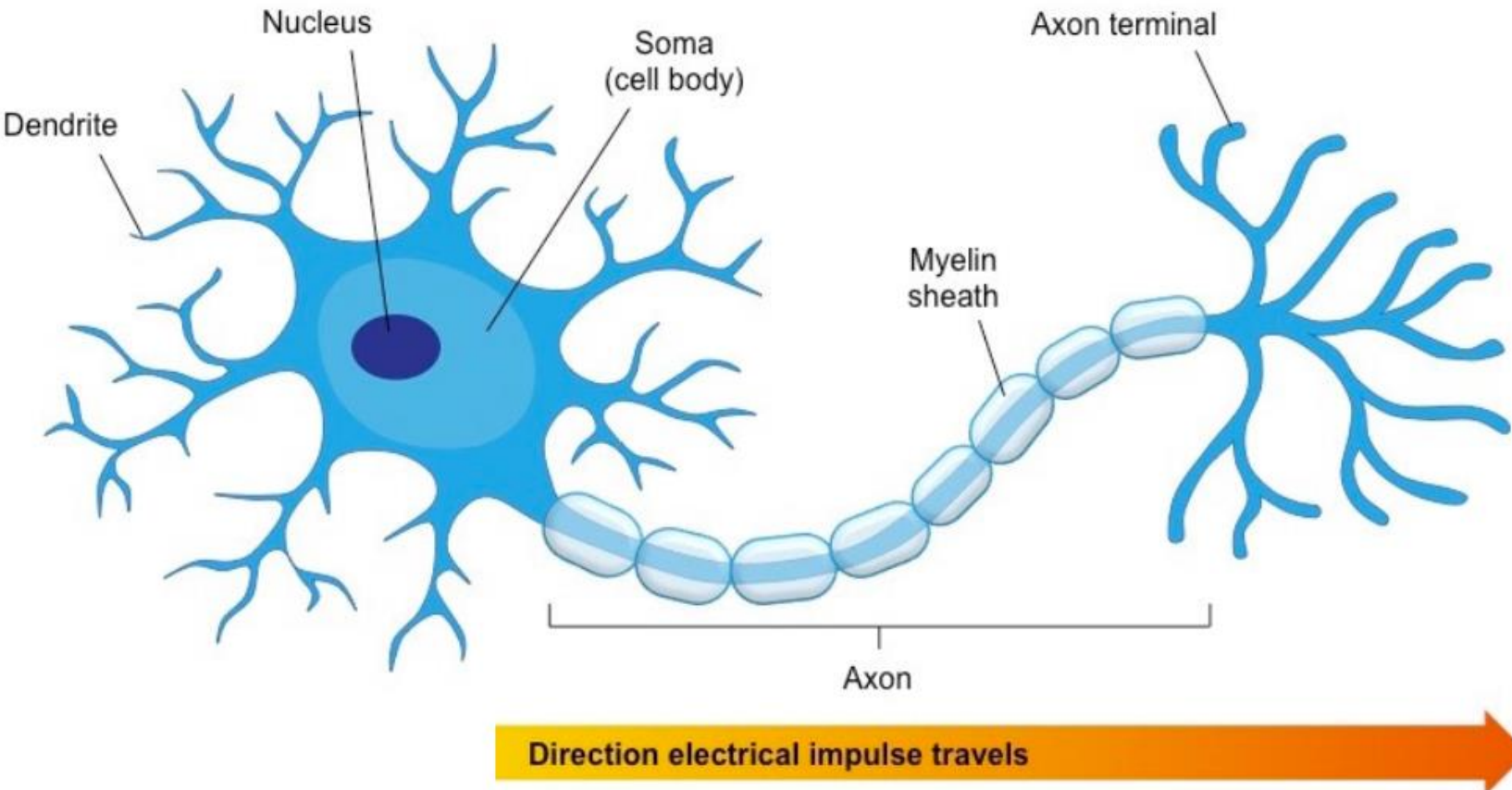
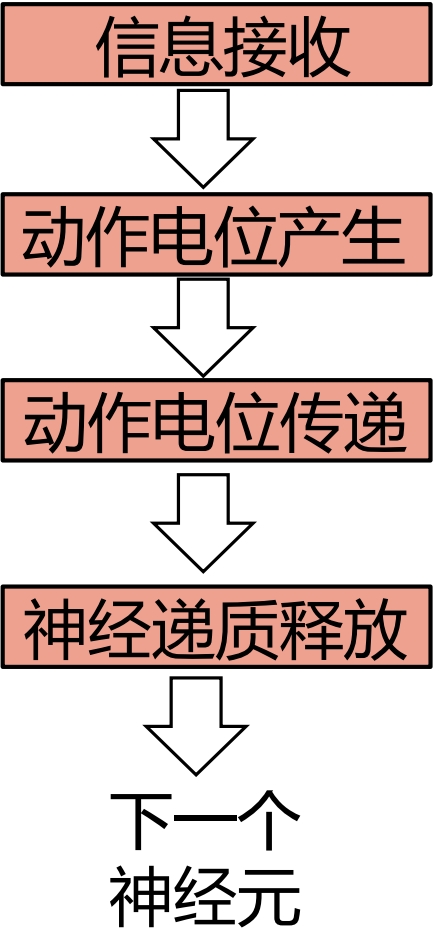
下一个
神经元



3.2 神经元的信息传递

问题2：神经元如何实现电传导？

➤ 如何确保信息在神经元间传递的速度？



具有高度绝缘性的髓鞘使动作电位随轴突的传递速度显著增加

3.2 神经元的信息传递

问题2：神经元如何实现电传导？

信息接收

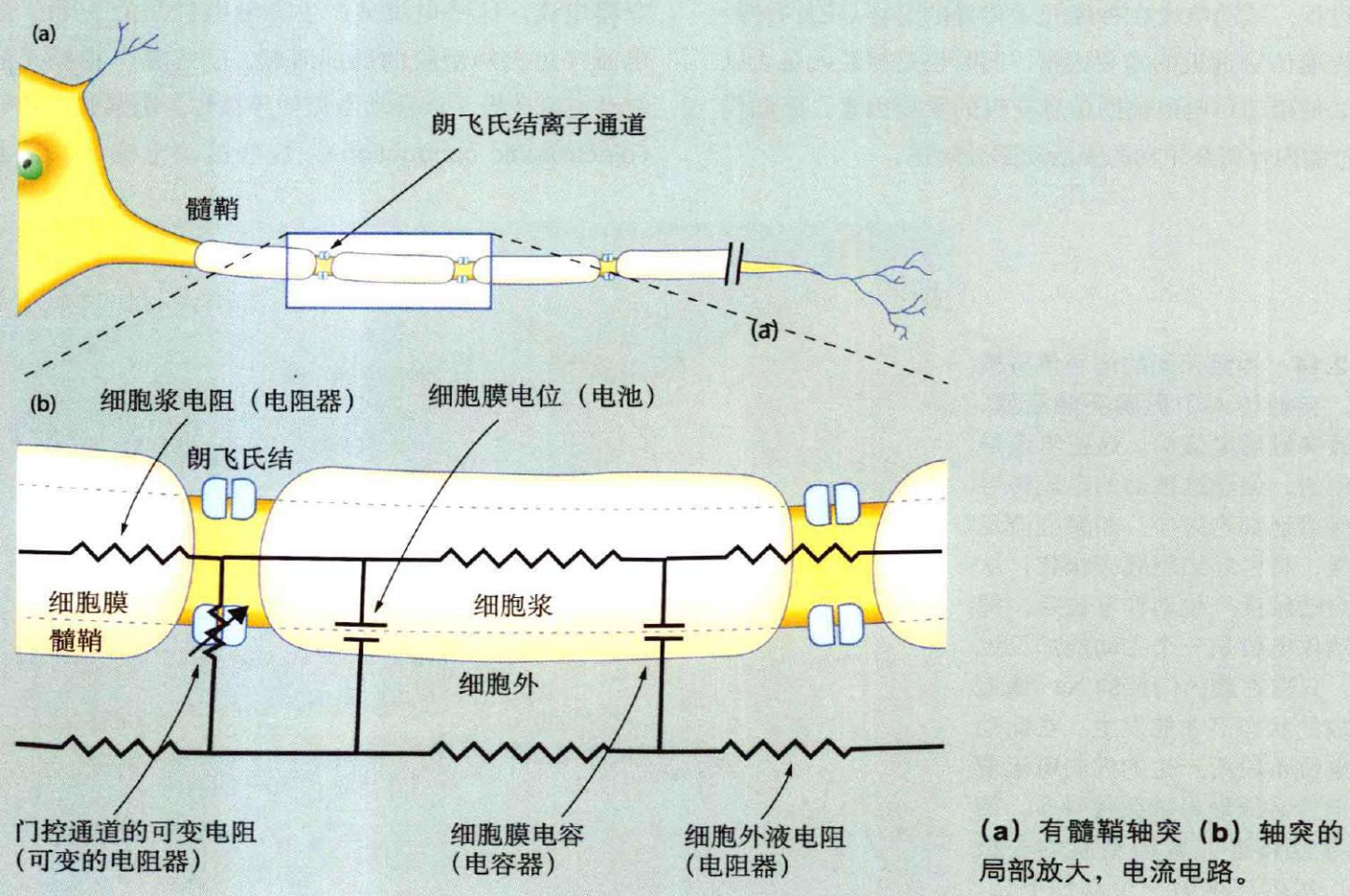
动作电位产生

动作电位传递

神经递质释放

下一个
神经元

如何确保信息在神经元间传递的速度？



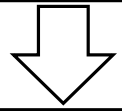
具有高度绝缘性的髓鞘使动作电位随轴突的传递速度显著增加

3.2 神经元的信息传递

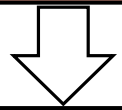
问题2：神经元如何实现电传导？

➤ 如何确保信息在神经元间传递的速度？

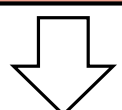
信息接收



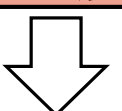
动作电位产生



动作电位传递



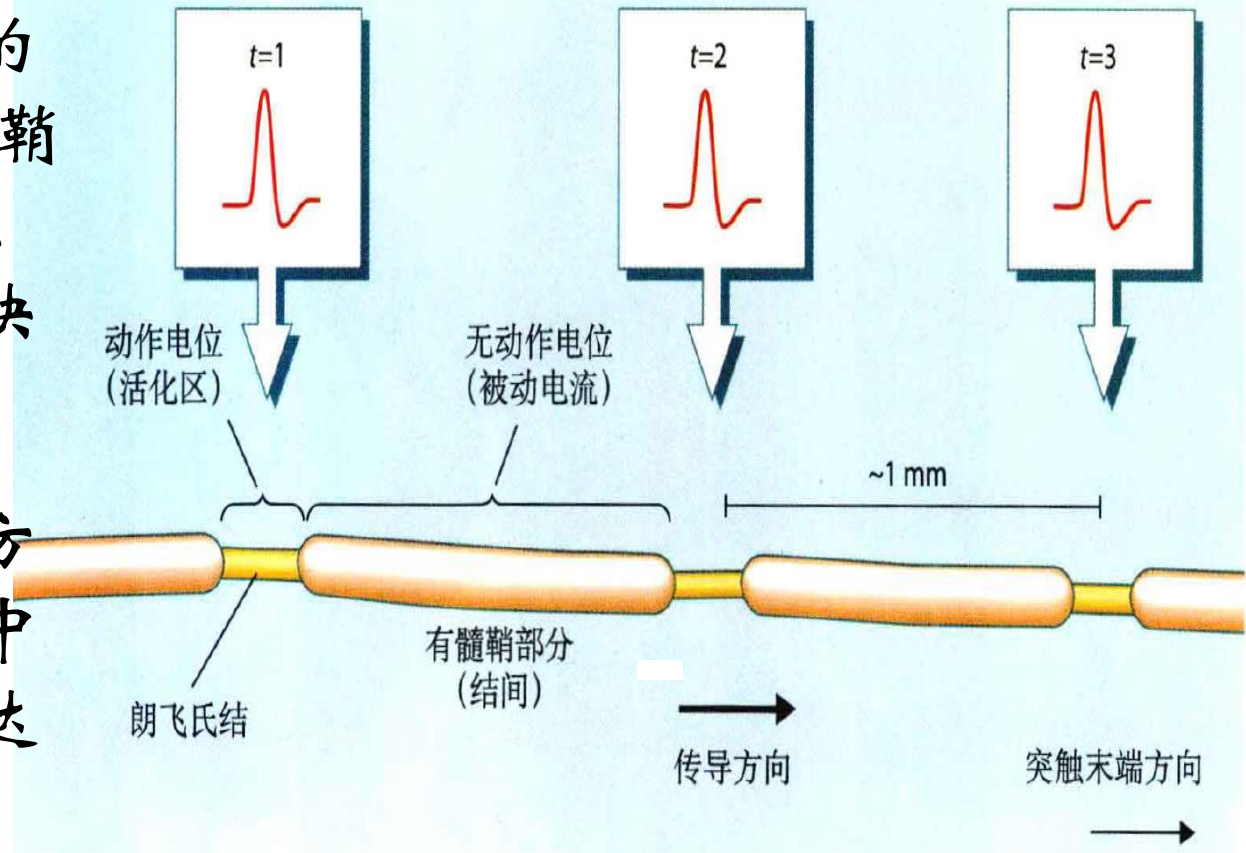
神经递质释放



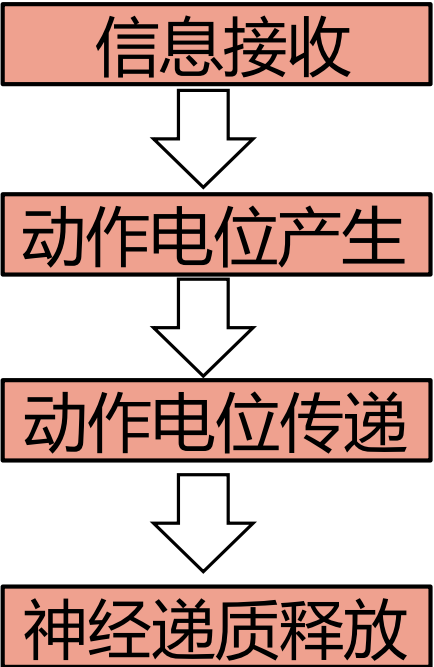
下一个
神经元

- 动作电位在髓鞘轴突的郎飞氏结(两段相邻髓鞘之间的无髓鞘部分)上通过跳跃式传导进行快速传递

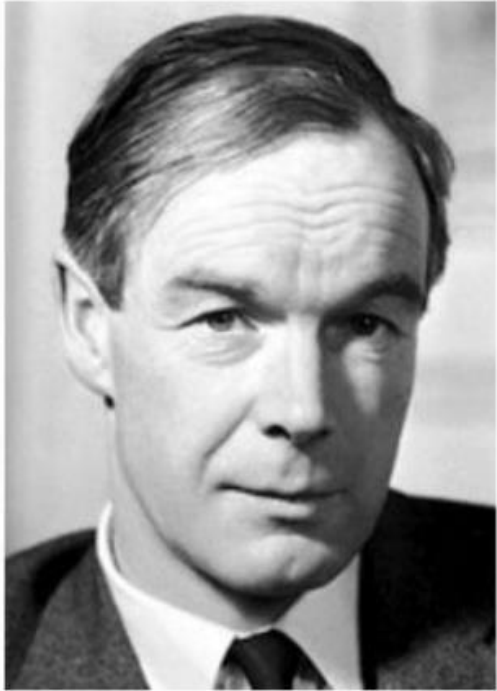
- 通过这种跳跃式传导方式，哺乳动物神经元中的信息传递速度可高达120 米/秒



3.2 神经元的信息传递



下一个
神经元

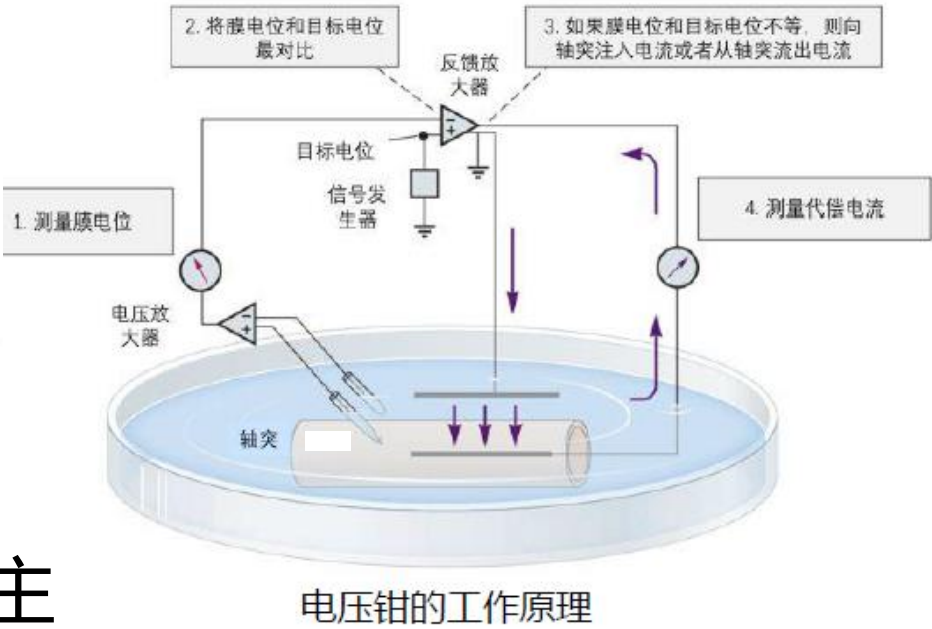
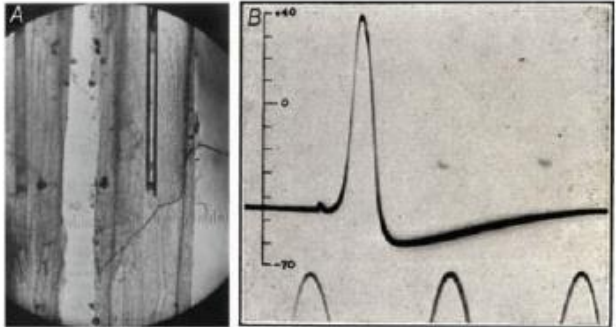


Alan Lloyd
Hodgkin



Andrew Fielding
Huxley

1963年的诺贝尔医学生理学奖得主



3.2 神经元的信息传递

问题3：神经元如何通过动作电位对信息编码？

➤ 发放率 (firing rate) 编码

- 统计一个或一群神经元在单位时间内的(平均)放电(动作电位)个数，就可以得到发放率。

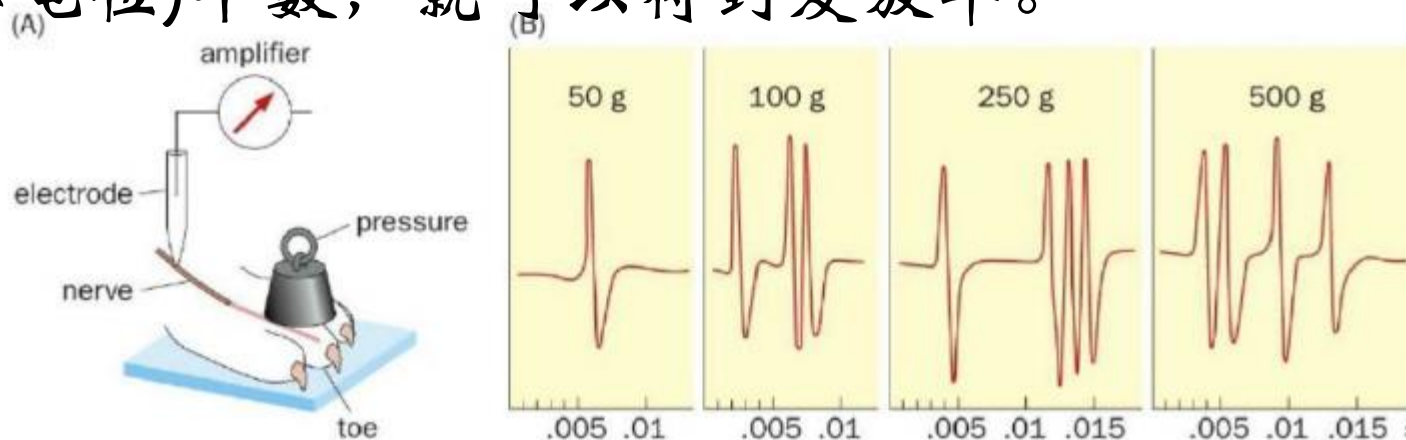
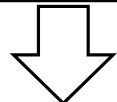


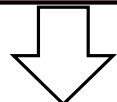
Figure 1-17 Principles of Neurobiology (© Garland Science 2016)

- 通过动作电位的发生频率进行编码
- 受限于动作电位的不应期，神经元的发放率存在上限
- 统计窗口时间内的信息会被很大程度地忽略

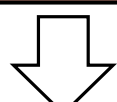
信息接收



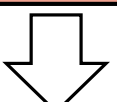
动作电位产生



动作电位传递



神经递质释放



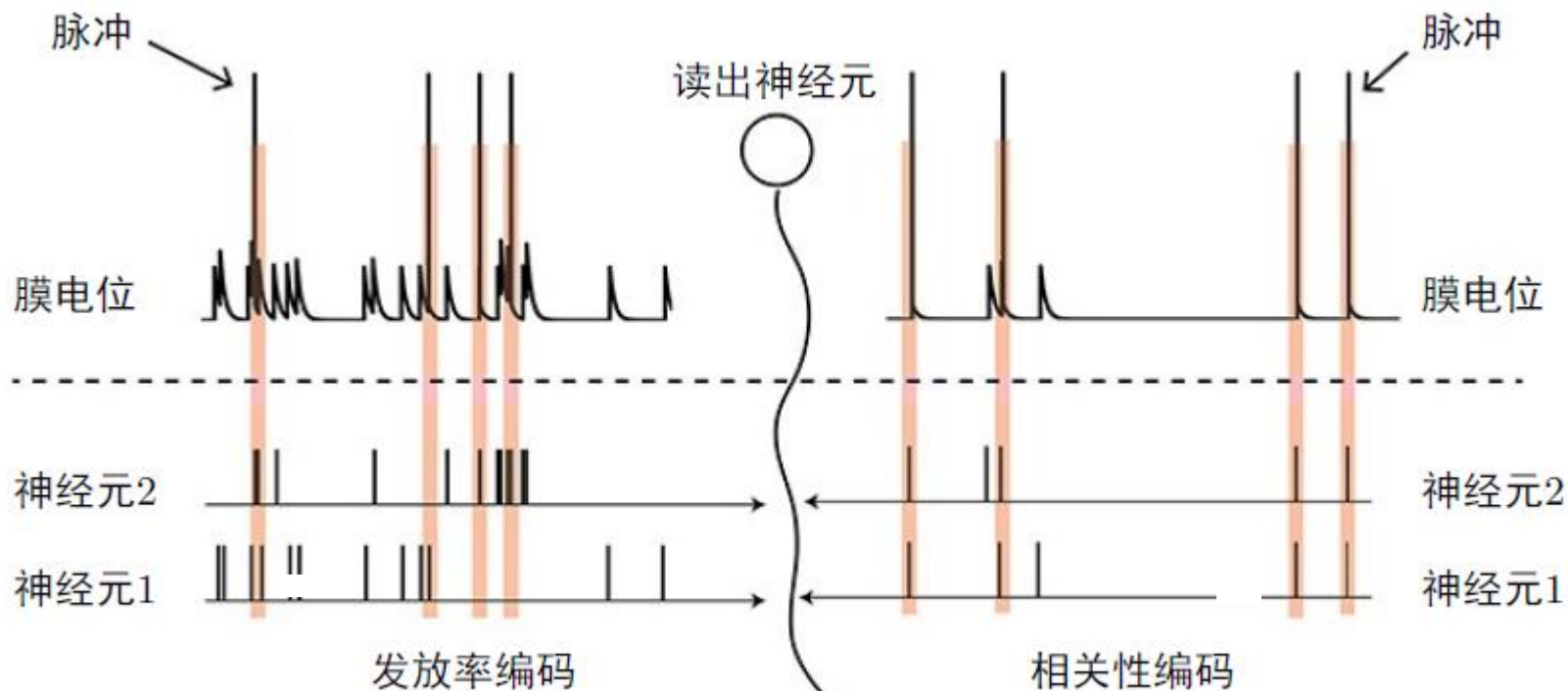
下一个
神经元

3.2 神经元的信息传递

问题3：神经元如何通过动作电位对信息编码？

➤ 相关性编码(correlation)编码

- 神经元放电时刻或者高频放电的统计涨落中也包含有信息



- 相关性编码是信息通过两个或多个邻近神经元的共同激活

信息接收

动作电位产生

动作电位传递

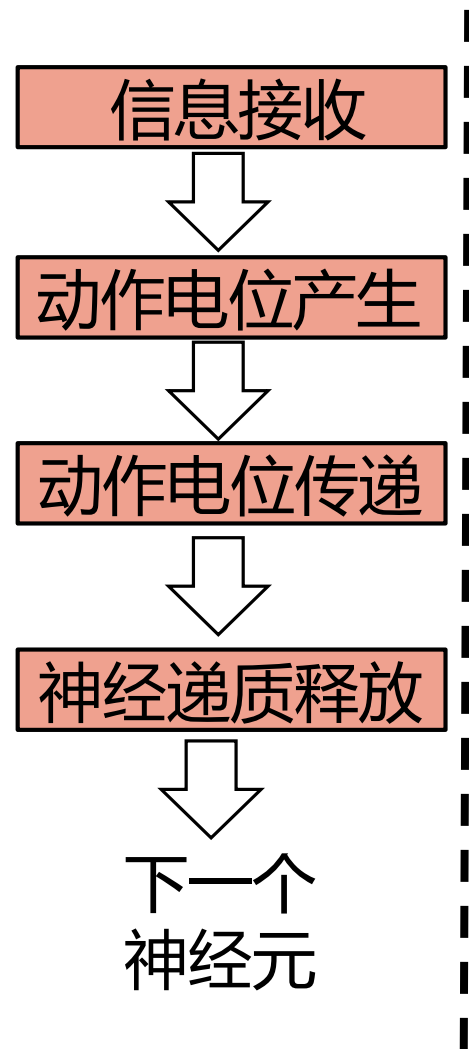
神经递质释放

下一个
神经元

3.2 神经元的信息传递

问题3：神经元如何通过动作电位对信息编码？

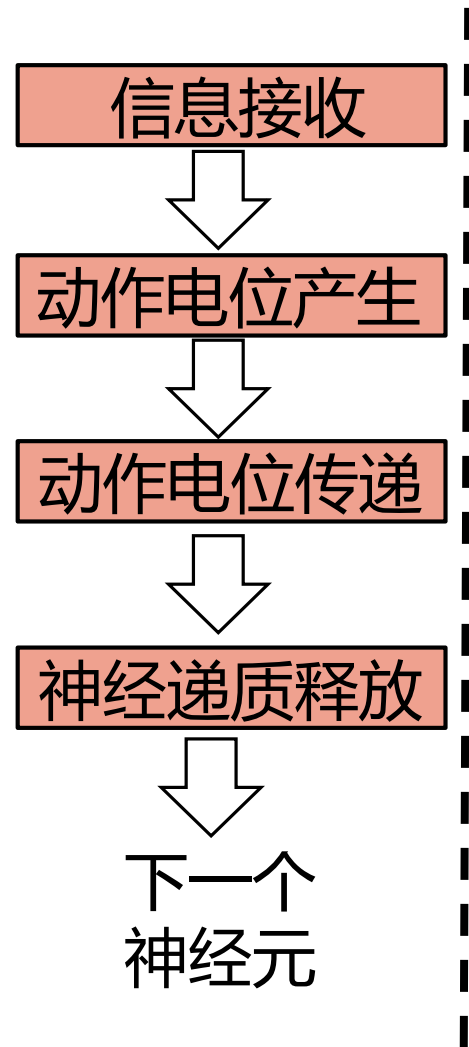
➤ 发放率编码与相关性编码



- **发放率编码**可以完成快速的信息编码，因此更具时效性，
- **相关性编码**可以利用更少的动作电位来传递信息，节约能量

3.2 神经元的信息传递

问题4：神经元之间如何实现信息传递？



➤ 神经元之间通过突触(synaptic)处的神经递质(neurotransmitter)释放来传递信息

- 化学突触
- 电突触

3.2 神经元的信息传递

问题4：神经元之间如何实现信息传递？

信息接收

动作电位产生

动作电位传递

神经递质释放

下一个
神经元

➤ 化学突触的信息传递过程

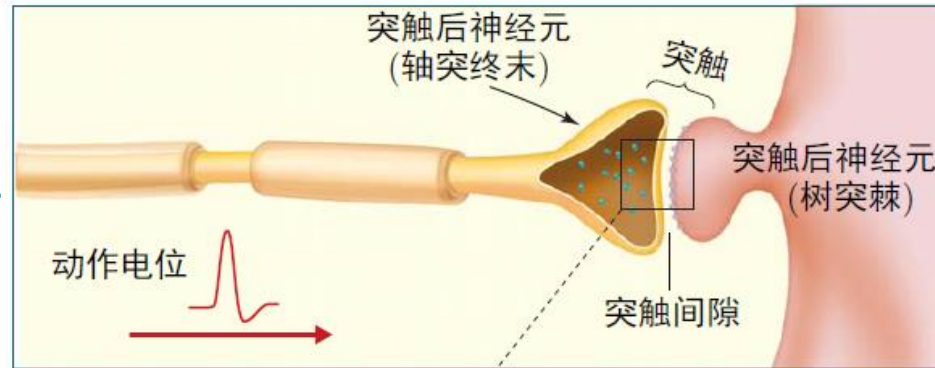
静息时，神经递质(neurotransmitter)储存在囊泡(vesicles)中，随时可用

① 动作电位到达轴突末梢，导致电压门控 Ca^{2+} 通道打开

② Ca^{2+} 与轴突末端的蛋白质结合以改变其形状，促使囊泡与突触前膜的融合

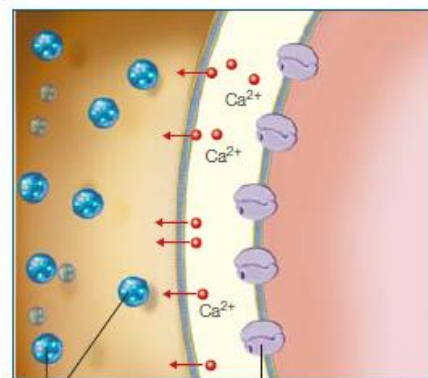
③ 神经递质以胞吐方式释放到突触间隙，并在突触间隙扩散

④ 神经递质与突触后膜的受体结合



① 动作电位到达

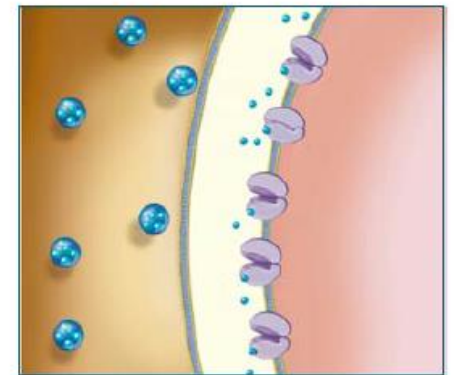
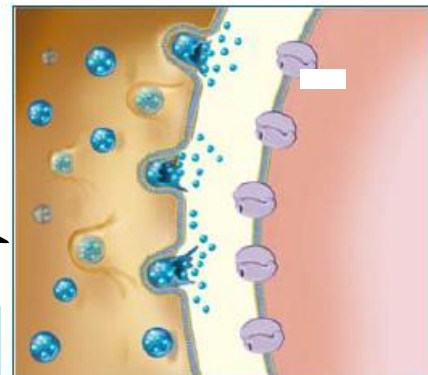
② 囊泡与细胞膜结合



神经递质的囊泡 突触后膜的受体

③ 神经递质释放

④ 神经递质与受体结合



3.2 神经元的信息传递

问题4：神经元之间如何实现信息传递？

信息接收

动作电位产生

动作电位传递

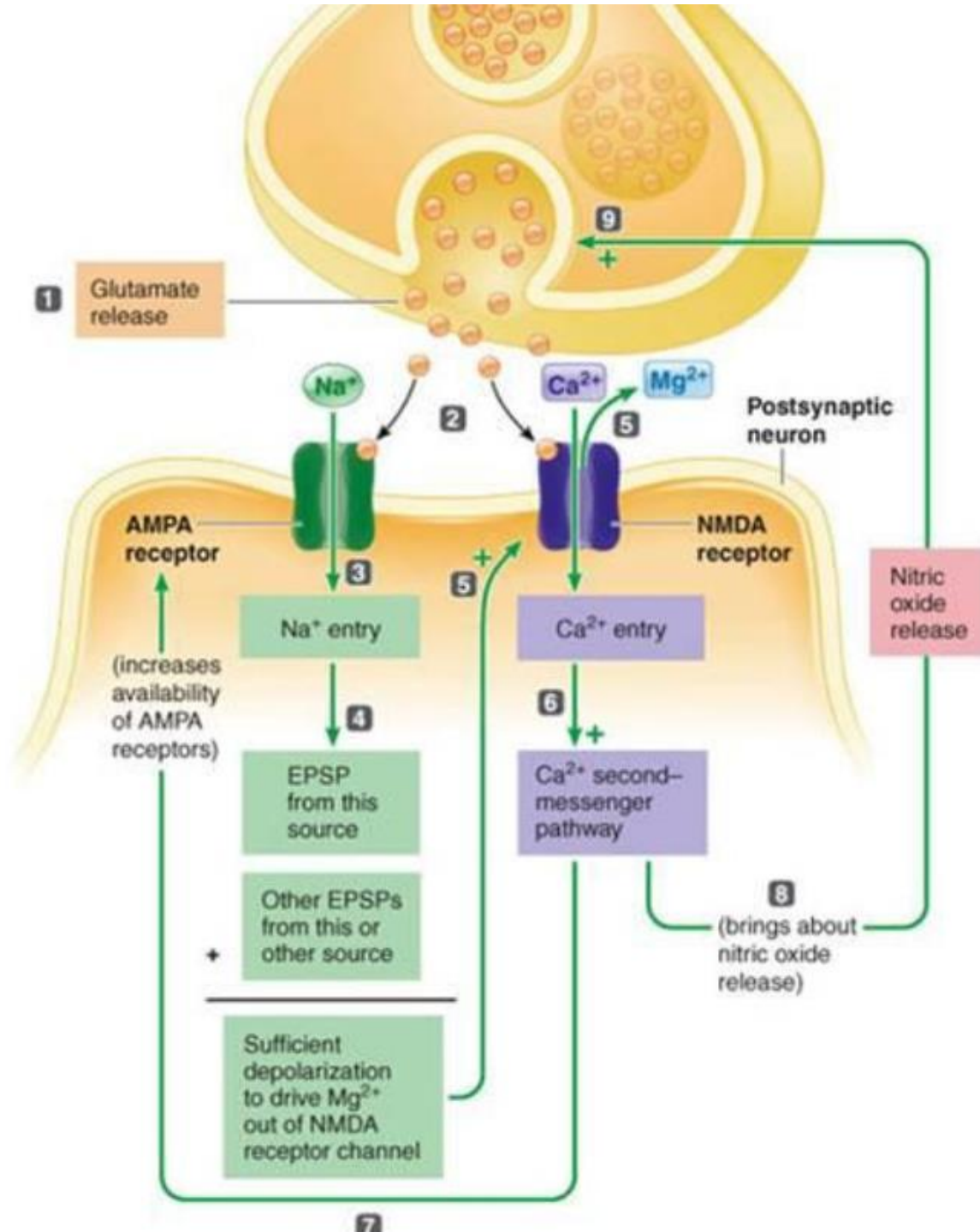
神经递质释放

下一个
神经元

➤ 多个神经元如何连接

突触后神经活动通过各种机制修改突触前和突触后末端的突触结构

这些增加了突触前神经递质的浓度和释放，以及(活跃的)突触后神经递质受体的密度

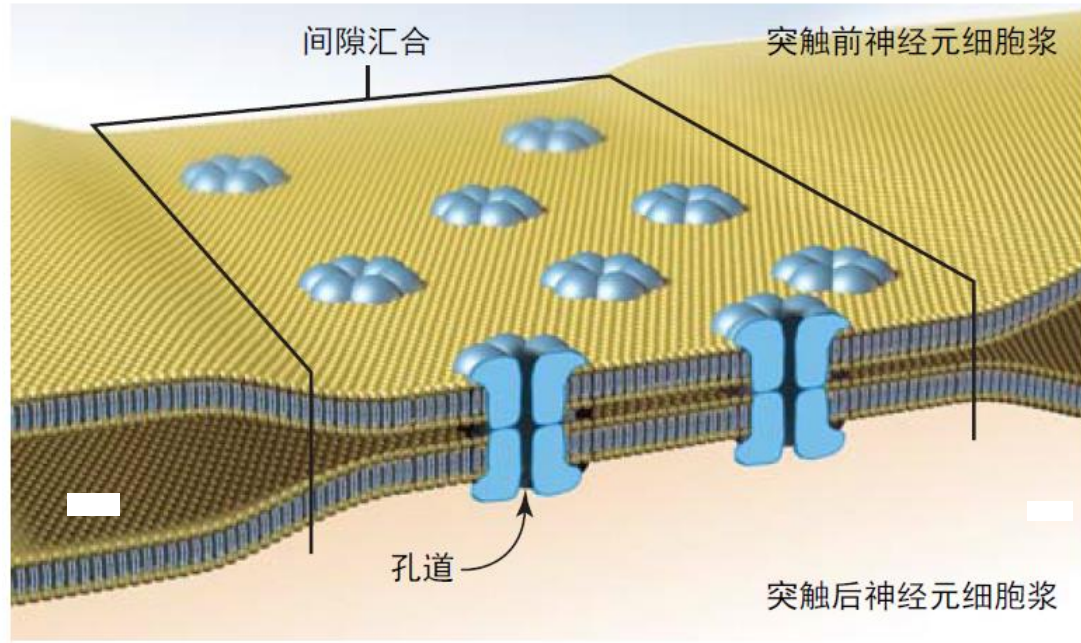


3.2 神经元的信息传递

问题4：神经元之间如何实现信息传递？

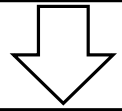
➤ 电突触的信息传递过程

电突触适用于快速传导信息的情况，通过缝隙连接 (*gap junction*) 形成穿膜的孔道，可直接传递电信号

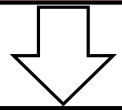


缺点：不能传递抑制性信息，也不能放大信号

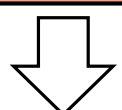
信息接收



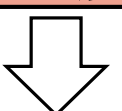
动作电位产生



动作电位传递



神经递质释放



下一个
神经元

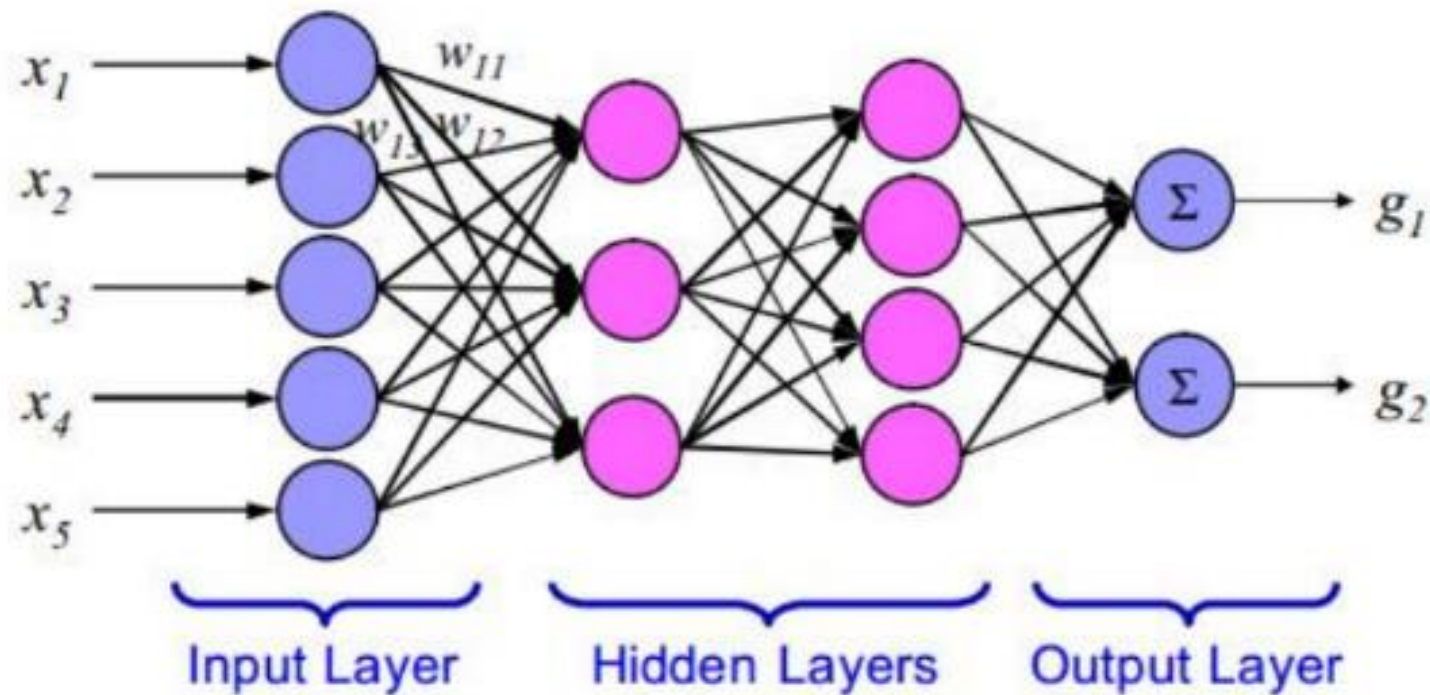
3.1 神经系统的细胞构成(*Neuroanatomy of the brain*)

3.2 神经元的信息传递(*cerebral cortex functions*)

3.3 与人工神经网络的对比(*Compared with artificial neural networks*)

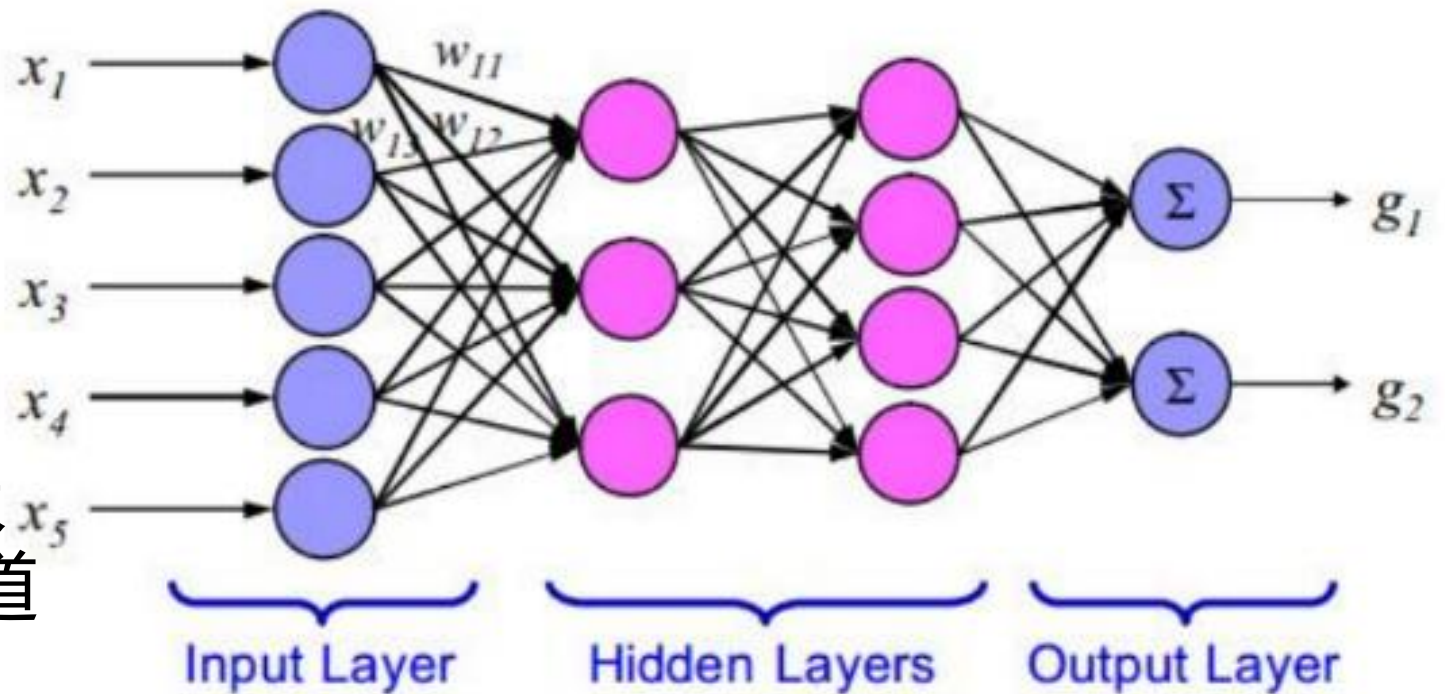
3.3 与人工神经网络的对比

神经元是神经系统传递信息的功能单位，通过对信息的接收和加工，并将其传递给其他神经元，构成了局部或长程的神经链路



3.3 与人工神经网络的对比

- **网络层**：不同突触水平的神经元层
- **特征层**：？
- **滤波器**：通过树突树整合EPSPs和IPSPs
- **阈值**：EPSPs上阈值去极化激活电压门控Na⁺通道
- **Pooling层**：？
- **学习机制**：。。。



3.3 与人工神经网络的对比

生物系统中的连接权值不依赖于误差的反向传播

我们不是通过监督式学习来训练的

我们如何了解世界并不是靠对“正确”的响应

可能存在能够适应和适应不良的反应/行为

我们主要通过无监督的过程来学习

识别我们以前见过的模式

学习我们生活的世界的统计数据

A blue thought bubble with a tail pointing towards the bottom left, containing the text "滤波器的权重主要来自学习".

滤波器的权重
主要来自学习

长效增强机制

通过突触前和突触后神经元的共同激活，持久增强突触连接

赫布(Hebb)假设：“一起活化(*fire*)的细胞，连接在一起”

3.1 神经系统的细胞构成

神经元、神经递质、树突、轴突、突触。。。。

3.2 神经元的信息传递

通过迭代的方式对错分样本的分类面进行修正

3.3 与人工神经网络的对比

如网络层、滤波器、激活函数、阈值、学习机制。。。。

- 1, 神经元主要有哪些部分构成？在神经信息传递中各发挥什么功能？
- 2, 什么是动作电位？如何产生的？
- 3, 模式识别与机器学习中的感知器算法是受神经元启发的数学模型，分析本讲的神经元在工作原理上与感知器模型的异同点。