



脑与认知科学基础 之

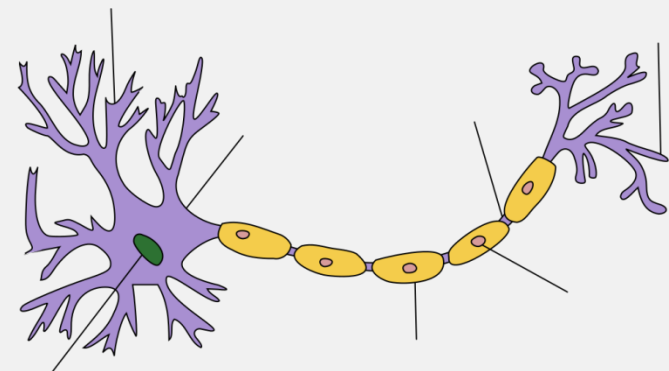
第一章 神经系统的细胞机制

仲苏玉

zhongsuyu@bupt.edu.cn

人工智能学院
脑认知与智能医学系

2024.03.10



大纲

- 神经系统的细胞
- 神经信号的传递
- 人工神经元模型
- 总结

学习目标

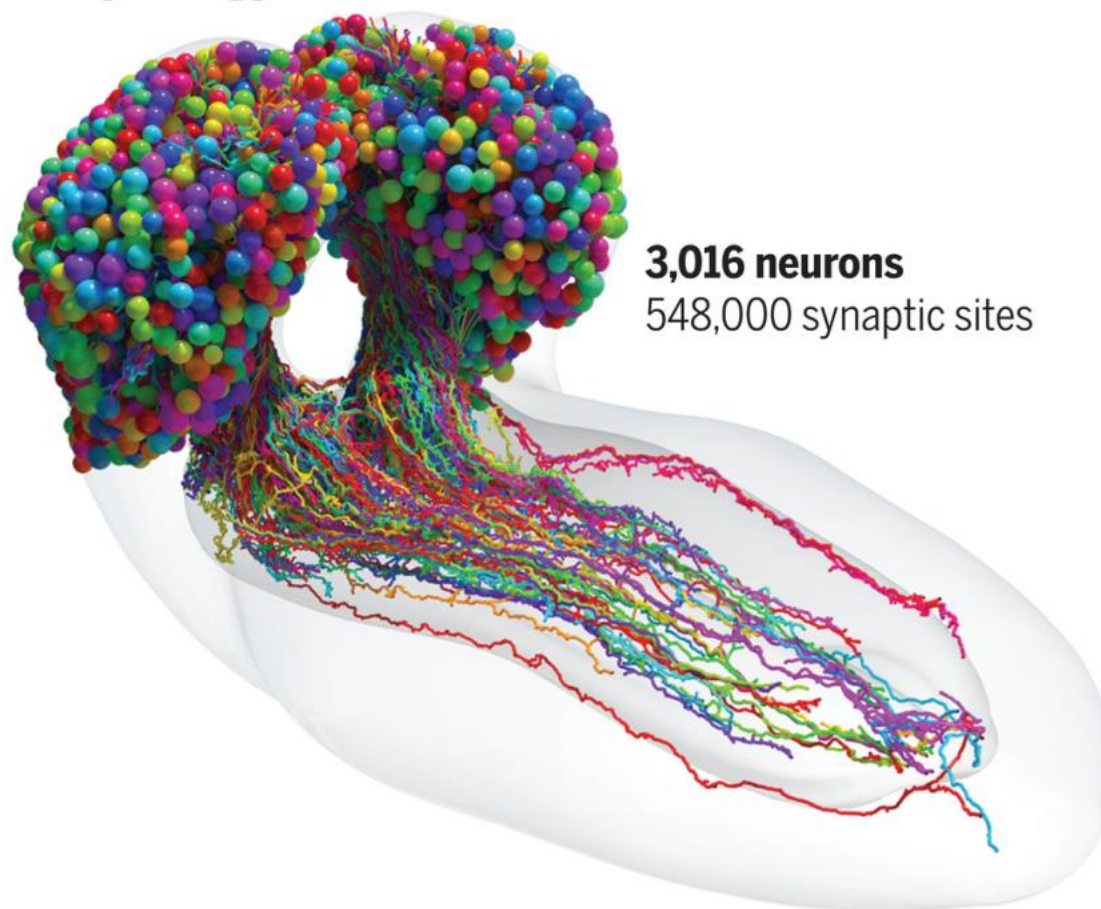
- 掌握神经元的基本结构
- 掌握神经传导的基本过程
- 掌握动作电位的基本原理

神经系统的细胞

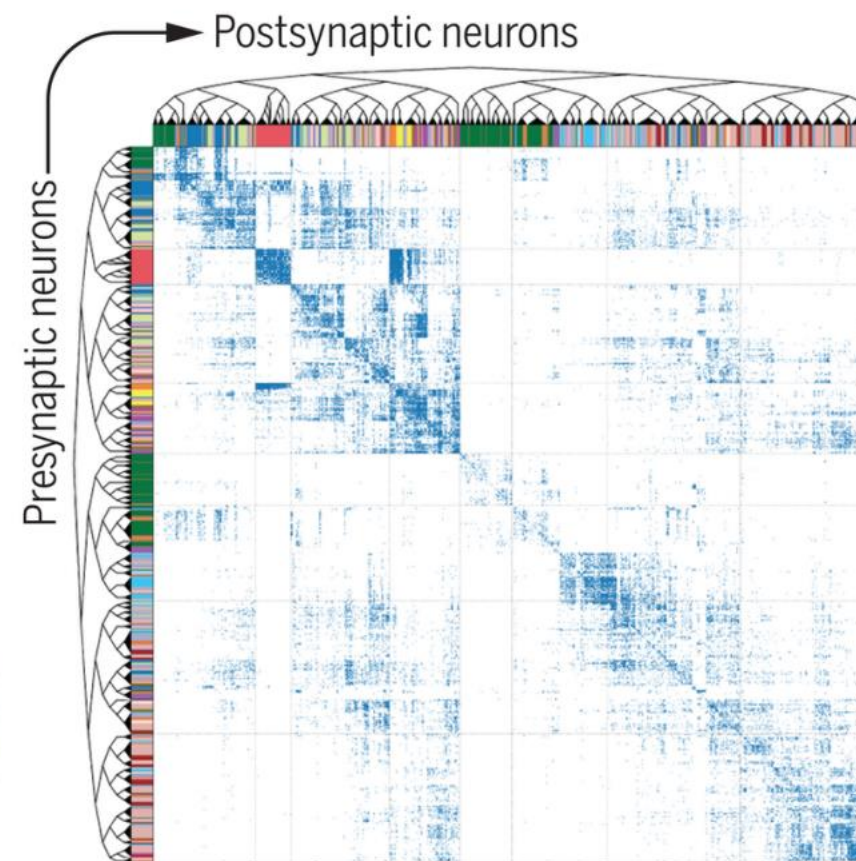
- 大脑有约800亿个神经元
- 不同类型的神经元的不同连接模式决定了多种多样的行为模式
- You are your connectome: how the brain' s wiring makes us who we are



Morphology



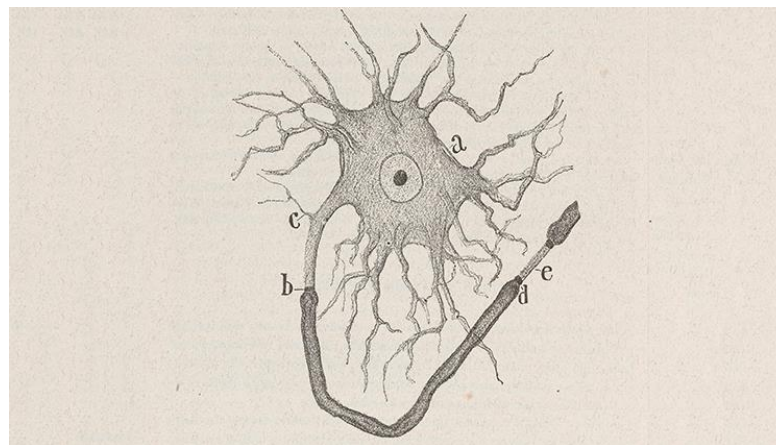
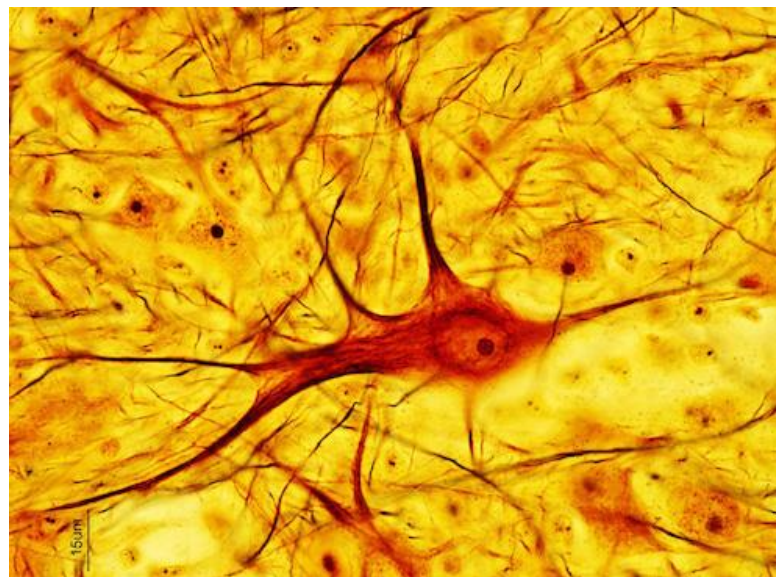
Connectivity

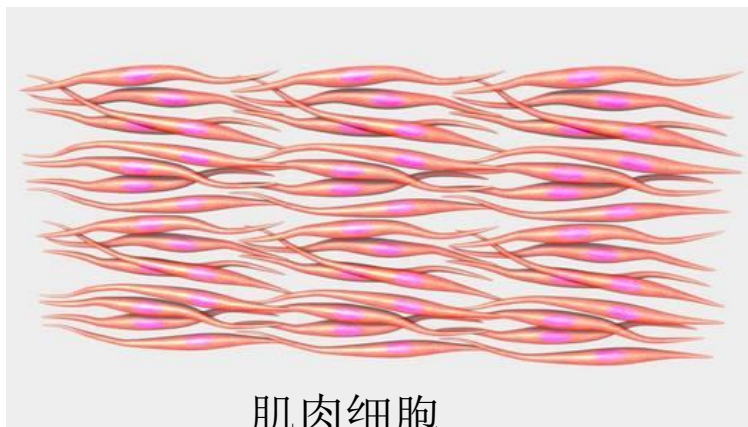


Winding et al., science, 2023

神经元理论

- 神经元是神经系统组成的基本单元
 - 高尔基的银染色法
 - 卡哈尔的神经元学说
- 神经元组成神经系统时遵循两个基本原理
 - 连接的特异性
 - 功能性两极分化

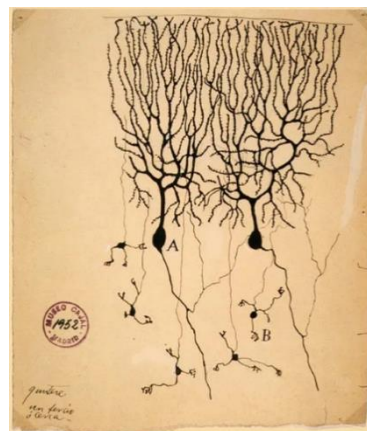




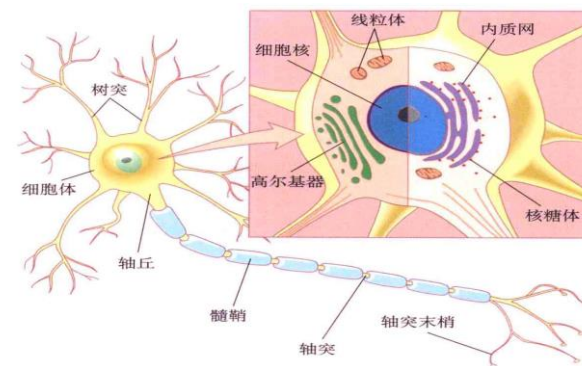
肌肉细胞



红细胞



浦肯野神经元



典型的神经元示意图

神经元的基本结构

➤ 细胞体

- 和其他细胞一样，包含维持神经元新陈代谢的细胞器
- 细胞膜双层脂质绝缘膜

➤ 树突

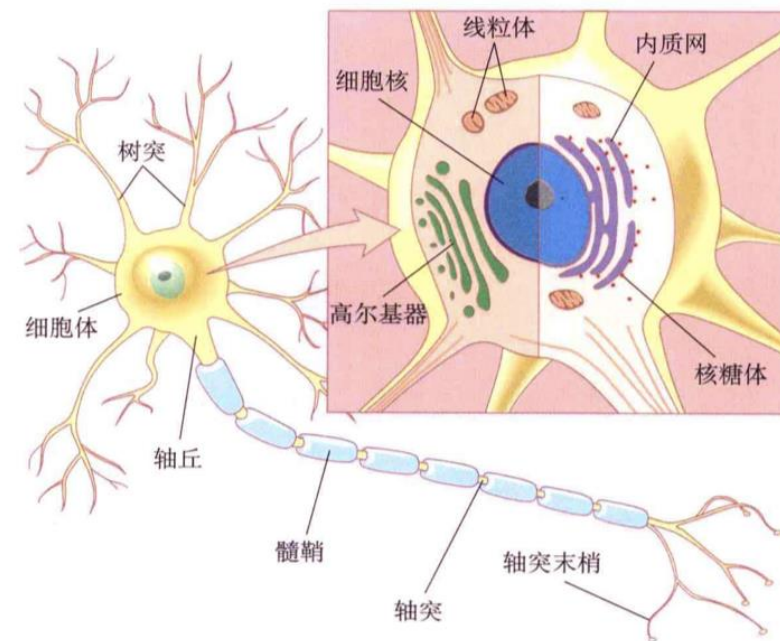
- 接收信息

➤ 轴突

- 裹着髓鞘
- 传出信息

➤ 突触

- 突触负责神经元之间的信息传递
- 通常位于树突棘上



神经元的基本结构

➤ 细胞体

- 和其他细胞一样，包含维持神经元新陈代谢的细胞器
- 细胞膜双层脂质绝缘膜

➤ 树突

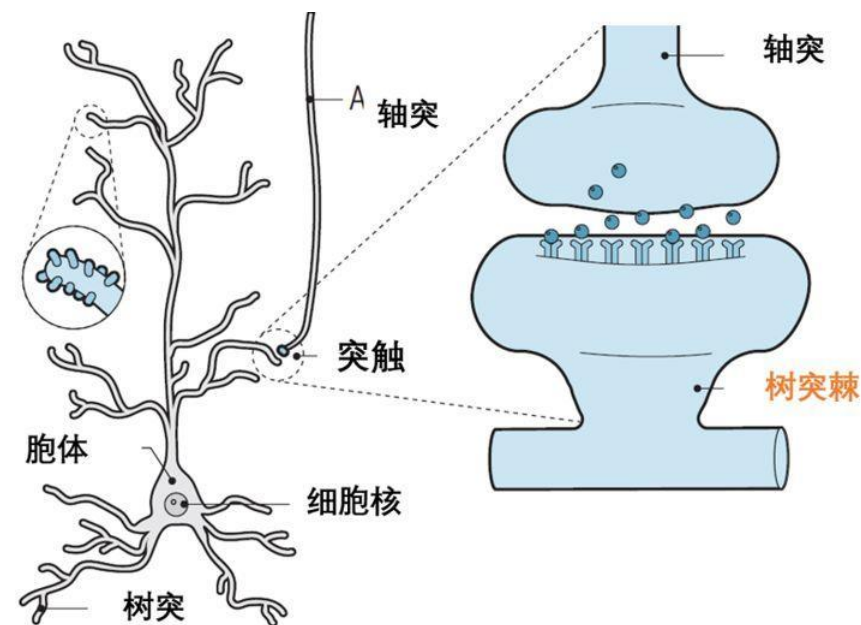
- 接收信息

➤ 轴突

- 裹着髓鞘
- 传出信息

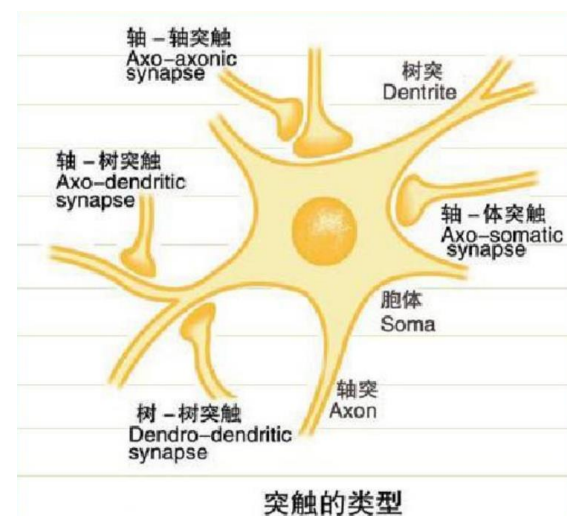
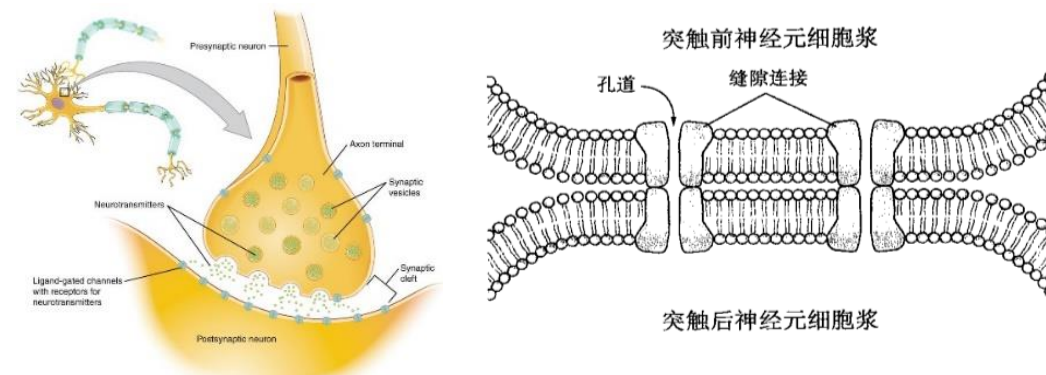
➤ 突触

- 突触负责神经元之间的信息传递
- 通常位于树突棘上

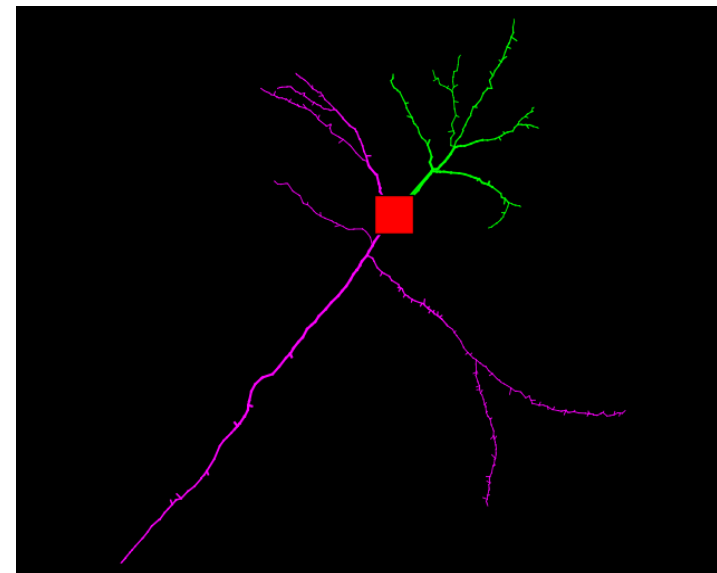
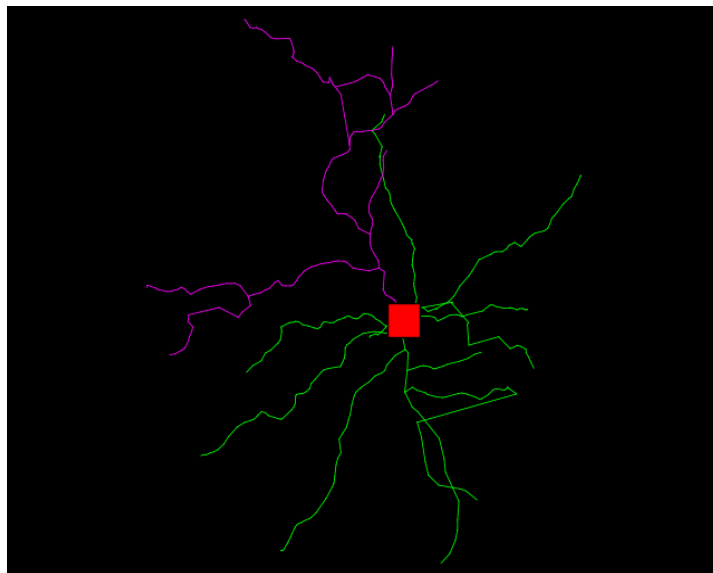
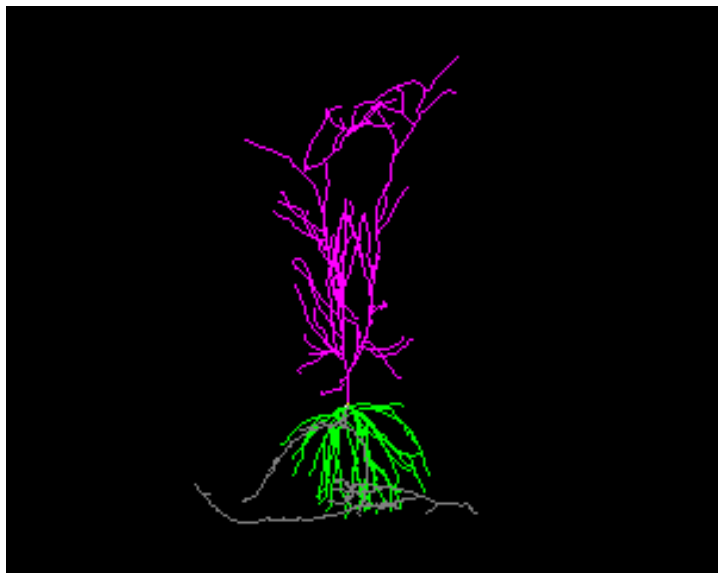


突触

- 突触是轴突末梢与其他神经元的连接点;是神经元之间在功能上发生联系的部位,也是信息传递的关键部位。
- 突触分类:
 - 化学突触;
 - 电突触;
 - 混合性突触
- 轴突-树突式突触
- 轴突-胞体式突触
- 轴突-轴突式突触
- 树突-树突式突触

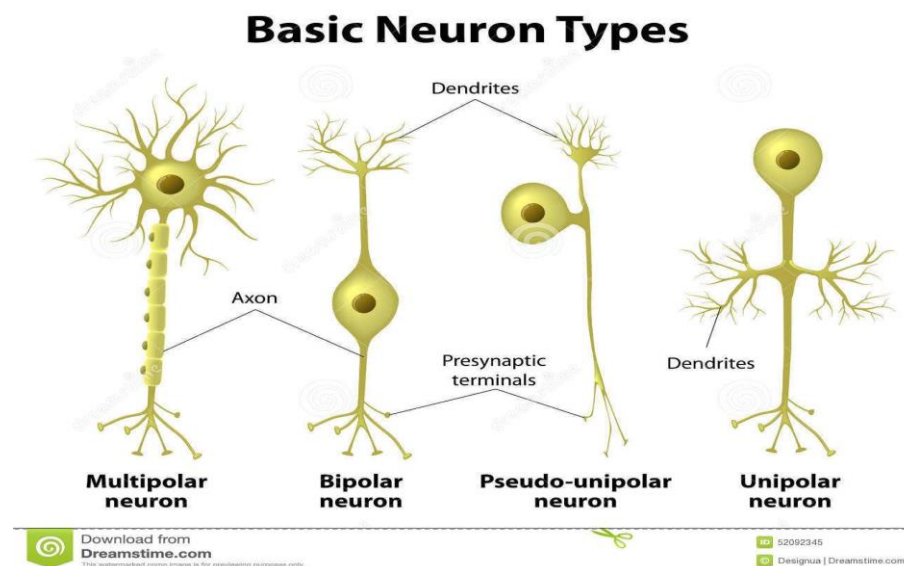


形态各异的神经元



神经元的形态

- 单极
 - 仅有一个远离胞体的突起，能分支成树突和轴突末梢
 - 无脊椎动物
- 双极
 - 两个突起：树突+轴突
 - 感觉器官：视、听、嗅觉
- 假单极
 - 源于双极感觉神经元树突和轴突的融合
 - 躯体感觉神经细胞：躯体感觉，关节、肌肉、皮肤等（脊髓背根神经节）
- 多极
 - 一轴突+多树突
 - 脑内传出神经元：参与运动和感觉信息加工
- 物以类聚性：形态学相似的神经元倾向于集中在神经系统的某一特有区域

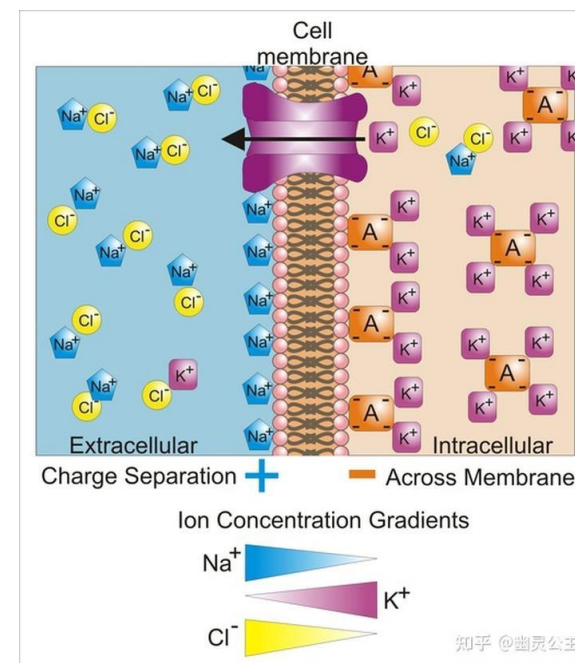


神经元的分类

- 单极、双极、假单极、多极
- 根据神经元的功能：
 - 感觉神经元：又称传入神经元
 - 信号传输外周→中枢，假单极或双极神经元)
 - 运动神经元：又称传出神经元
 - 一般位于脑和脊髓的运动核内或周围的植物神经节内，为多级神经元；
 - 信号传输：中枢→肌肉和腺体等效应器)
 - 联络神经元：又称中间神经元
 - 是位于感觉和运动神经元之间的神经元，起联络、整合等作用，为多极神经元。
- 按神经元是引起后继单位的兴奋还是抑制而分为：
 - 兴奋性神经元
 - 抑制性神经元

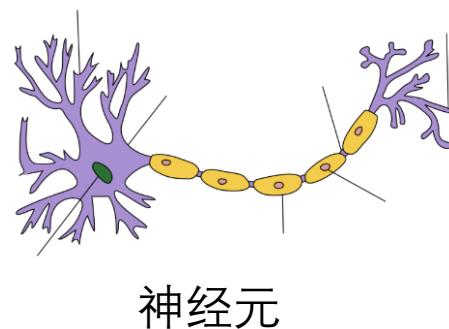
神经元的基本电特性

- 内部细胞浆：
 - 神经细胞内部液体
 - 导电
- 绝缘的细胞膜
 - 可变，电位变化
- 细胞外液
 - 神经细胞外部液体
 - 导电
- 神经细胞的导电性为**神经信息传导**提供了基础
- 神经细胞膜电位的存在为**神经信号处理**提供能量



胶质细胞

- 神经胶质细胞 (neuroglia) 或胶质细胞 (glia或glial cell)
- 数目：是神经元的10倍
- 广泛分布于中枢和周围神经系统的神经元胞体、突起以及中枢神经毛细血管的周围；
- 对神经细胞具有：
 - 支持、保护；
 - 髓鞘形成及绝缘；
 - 营养、促进神经元的再生和修复
- 特点：
 - 较神经元小；
 - 突起多而不规则；
 - 不分轴突和树突；
 - 具有增殖能力；
 - 不能传导电信号；



胶质细胞

➤ 中枢神经系统三种胶质细胞：

➤ 星形胶质细胞 (astrocyte)

- 围绕着的神经元与脑血管连接，控制离子浓度
- 形成血脑屏障：血液和神经系统之间的特异性通道

➤ 少突胶质细胞 (oligodendrocyte)

- 形成髓鞘，在轴突周围形成绝缘体，保证动作电位的传递；

➤ 小胶质细胞 (microglia)

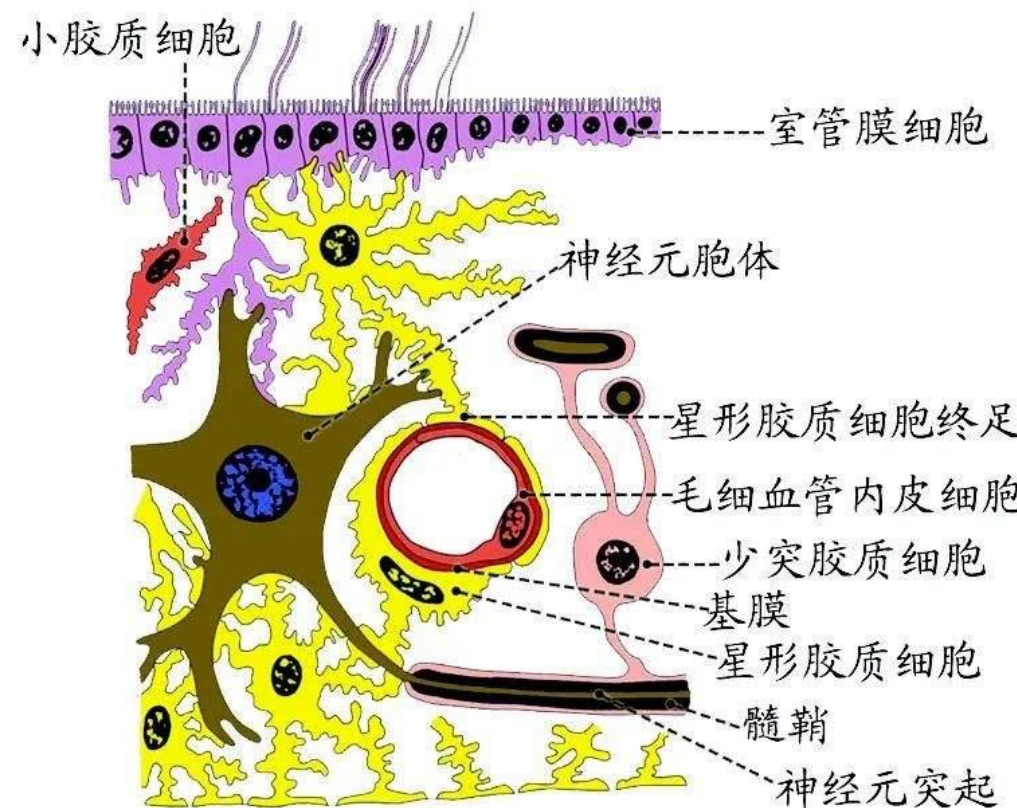
- 吞噬作用，清除和修复受损细胞；

➤ 外周神经系统：

➤ 雪旺细胞 (Schwann cell, 施万细胞、许旺氏细胞)

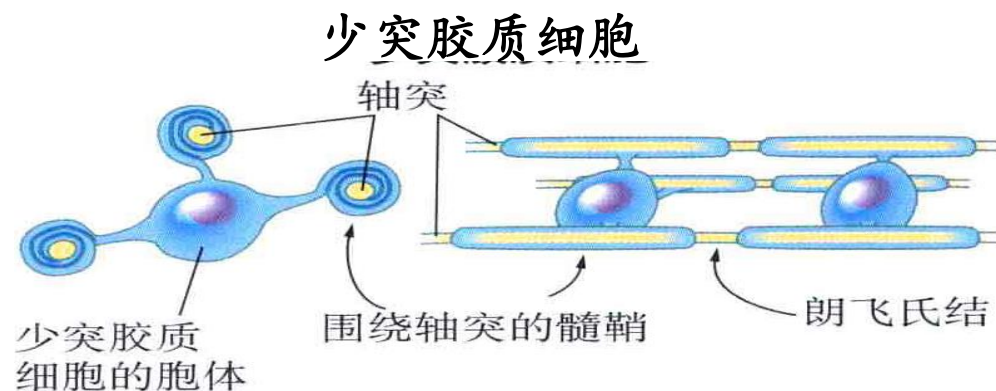
- 形成髓鞘；

➤ 卫星细胞 (satellite cell)

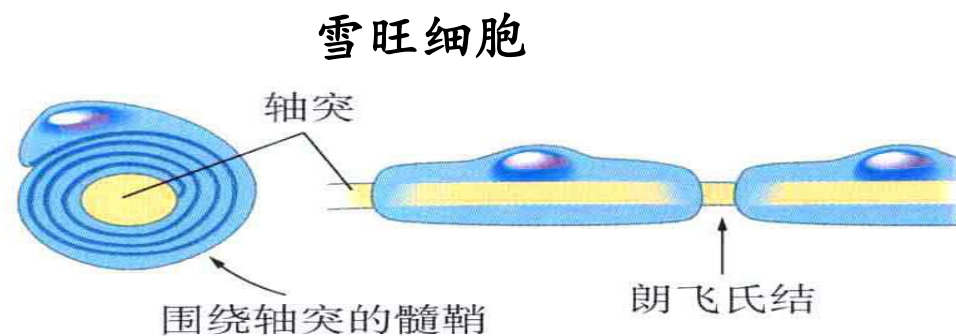


胶质细胞形成髓鞘

中枢神经系统



外周神经系统



血脑屏障 (Blood-brain barrier)

- 大脑不能替换受损的神经元。
- 为了降低对大脑不可逆转的破坏，大脑的血管周围建构了一座屏障，可以阻挡大多数病毒、细菌和有害物质。



阿尔兹海默症与血脑屏障

血脑屏障的变化是阿尔茨海默病的早期标志物；
血脑屏障的损坏程度与阿尔茨海默病的严重程度密切相关。

nature

[Explore content](#) ▾ [About the journal](#) ▾ [Publish with us](#) ▾

[nature](#) > [articles](#) > [article](#)

Article | [Published: 29 April 2020](#)

***APOE4* leads to blood–brain barrier dysfunction predicting cognitive decline**

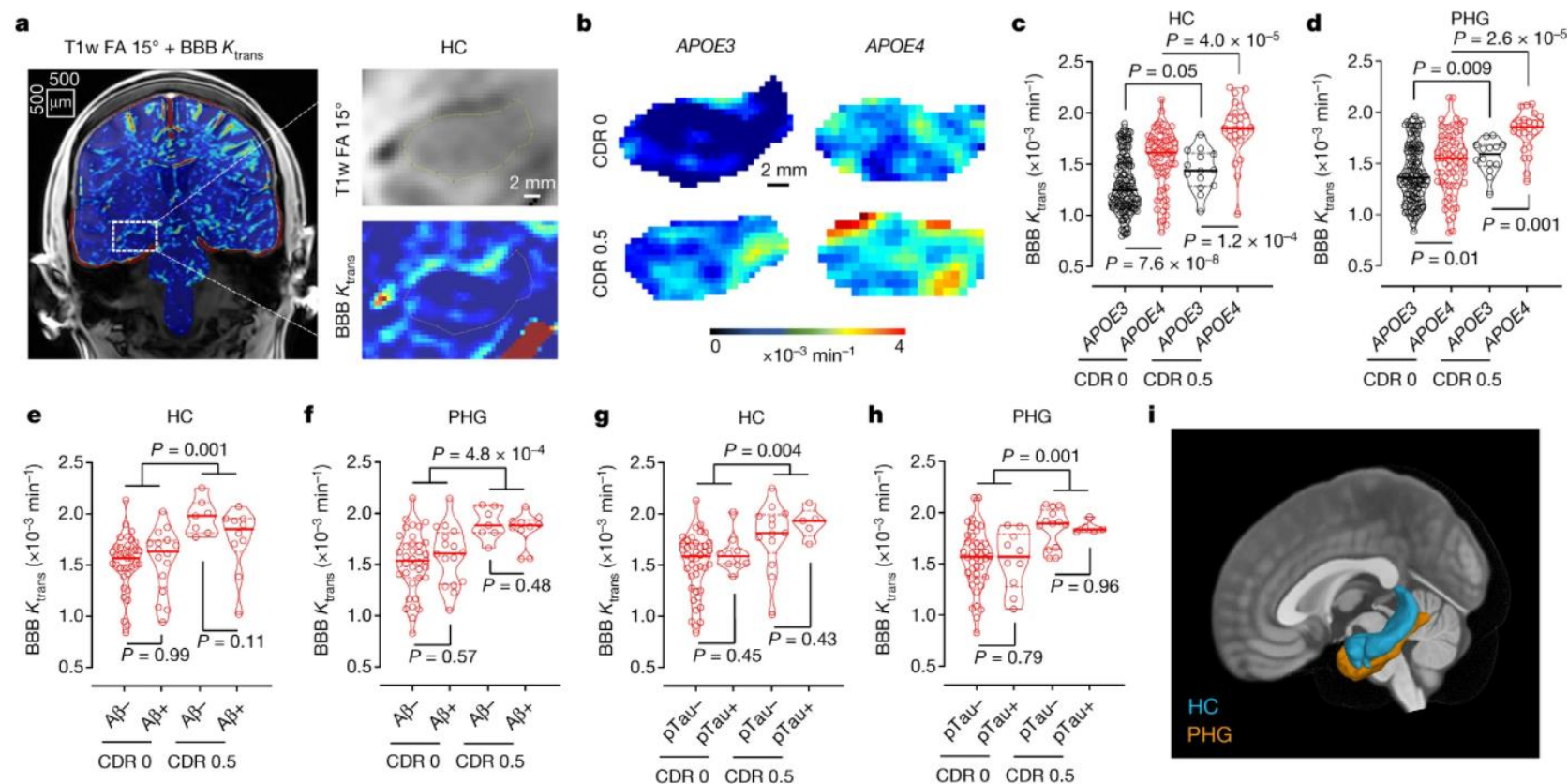
[Axel Montagne](#), [Daniel A. Nation](#), ... [Berislav V. Zlokovic](#)  [+ Show authors](#)

[Nature](#) **581**, 71–76 (2020) | [Cite this article](#)

39k Accesses | **292** Citations | **357** Altmetric | [Metrics](#)



阿尔兹海默症与血脑屏障



神经胶质细胞和神经元的主要区别

神经元	神经胶质细胞
有轴突和树突两种突起	只有一种突起
能产生动作电位	不产生动作电位，但有静息电位
不能继续运行细胞分裂	能继续进行细胞分裂

神经信号的传递

生物电

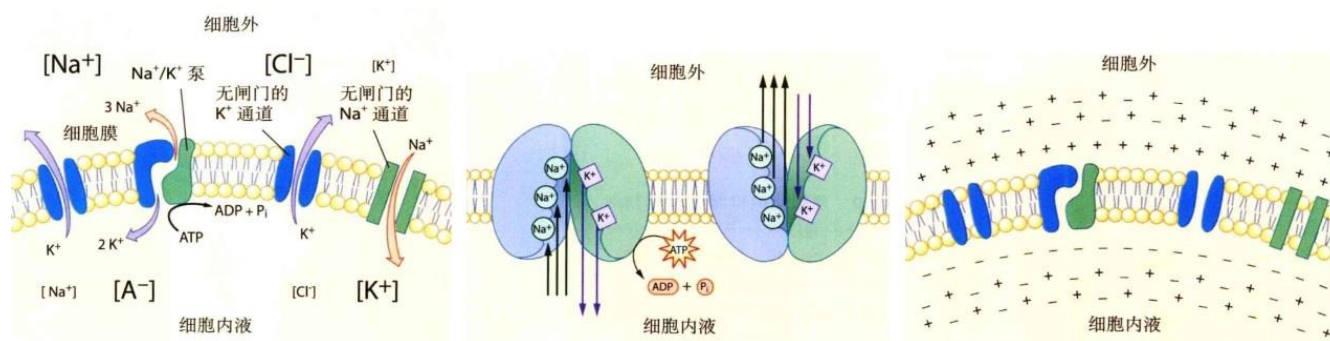
- 生物电，指生物的器官、组织和细胞在生命活动过程中发生的电位和极性变化；
- 是生命活动过程中一类物理-化学变化；
- 是正常生理活动的表现。

神经元细胞膜和膜电位

➤ 细胞膜

➤ 磷脂双分子层

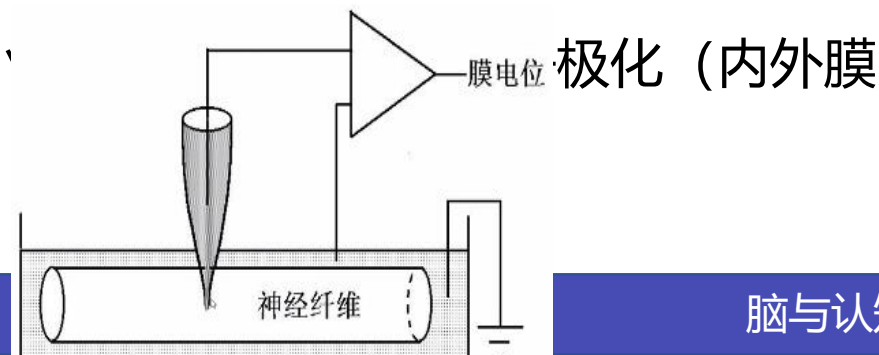
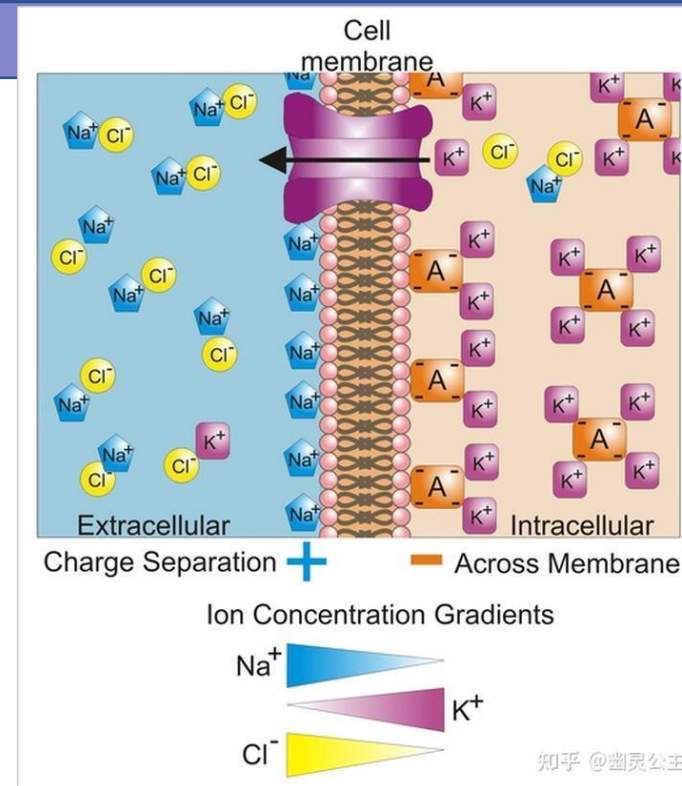
➤ 分割细胞内外



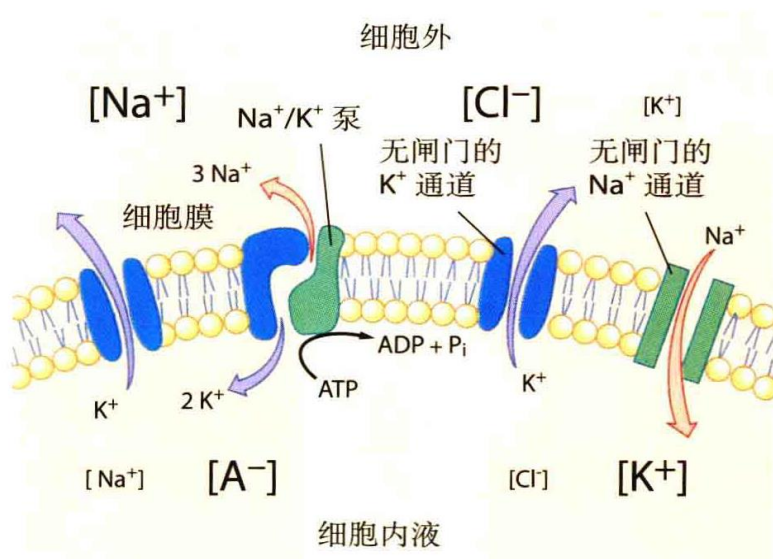
神经元细胞膜和膜电位

➤膜电位

- 安静状态下细胞膜**外正内负**的**极化**状态。
- 外正内负: $V_m = V_{in} - V_{out}$
- 膜内外电位差, **-40 ~ -90mV**
- 膜电位稳定的;
- 内外离子运动会改变膜电位
- **极化**: 安静状态下细胞膜**外正内负**的状态。
- **超极化(hyperpolarization)**: 静息电位绝对值增加的过程或状态称为超极化 (膜电位更负) 。
- **去极化(depolarization)**: 静息电位绝对值减小 电位差减少 (负电位减少) 。



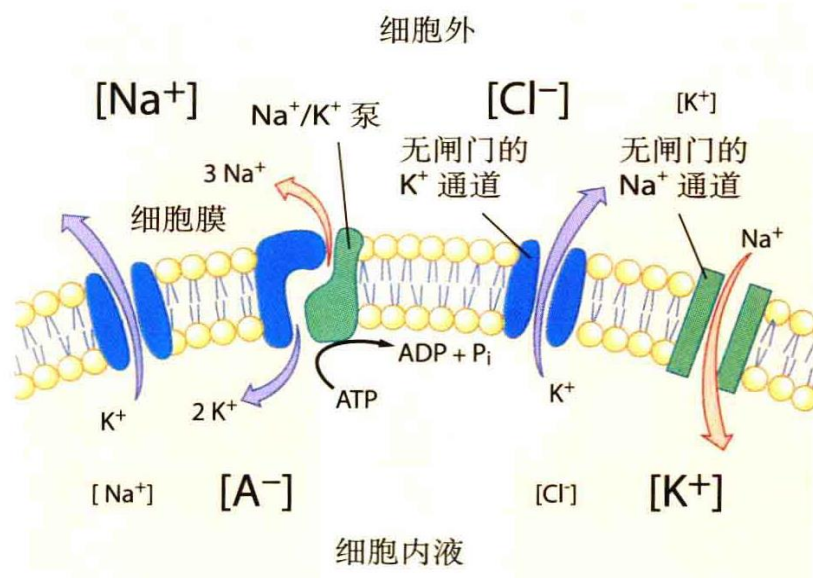
神经元细胞膜的钠 - 钾泵



- Na⁺-K⁺泵:

- 跨膜蛋白;
- 主动转运因子;
- ATP酶泵——耗能的
- 水解ATP分子, 释放能量, 将2个K⁺和3个Na⁺;

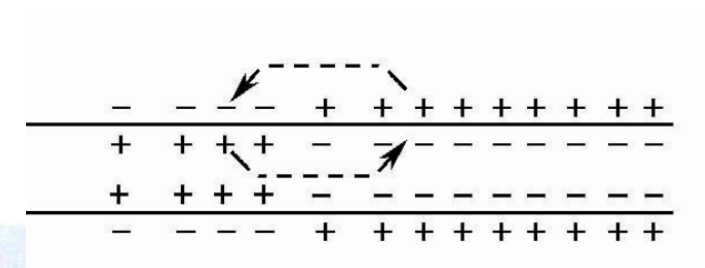
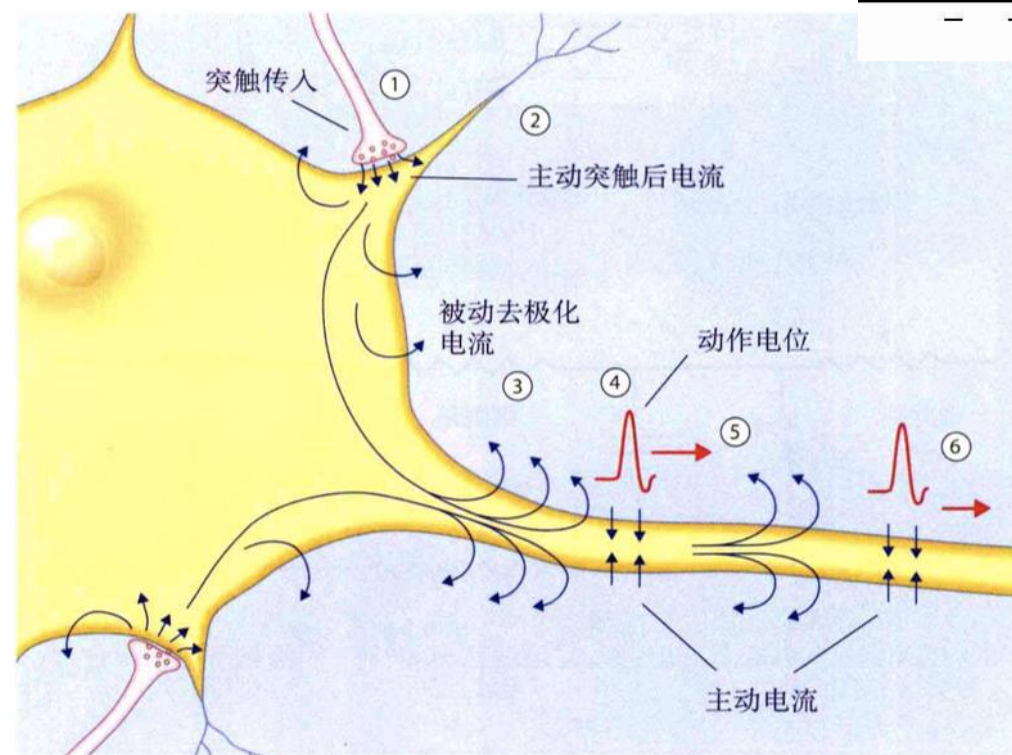
神经元细胞膜的离子通道



- 离子通道：
 - 跨膜蛋白
 - 允许特定的离子通过
- 离子通道分类：
 - 非门控的离子通道
 - 门控离子通道
 - ✓ 化学门控
 - ✓ 电压门控

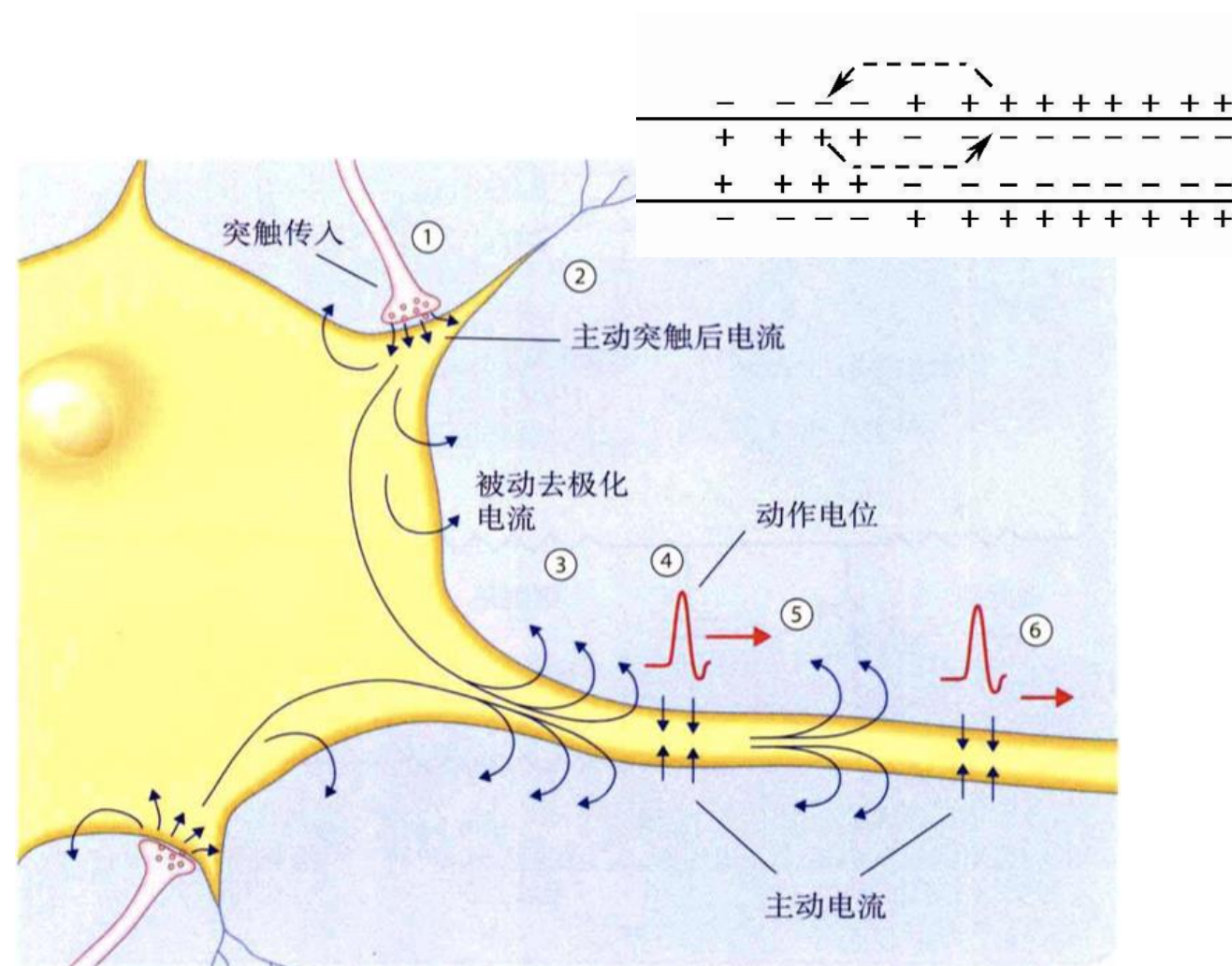
细胞内：电流传递

- 1) 突触传入
- 2) 突触电流
- 3) 被动传导
- 4) 动作电位



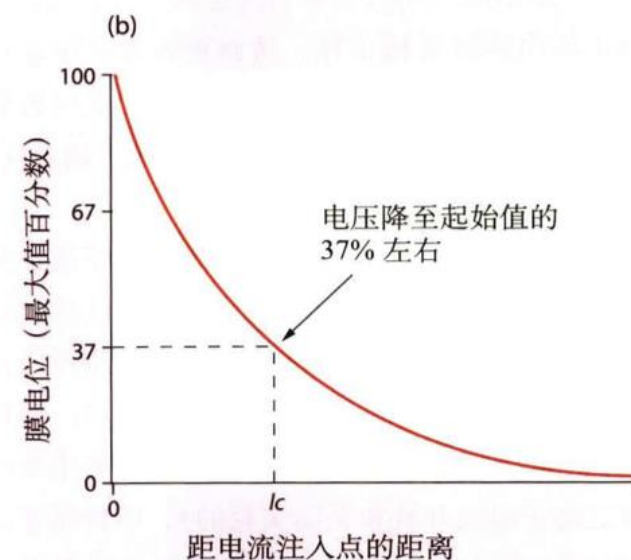
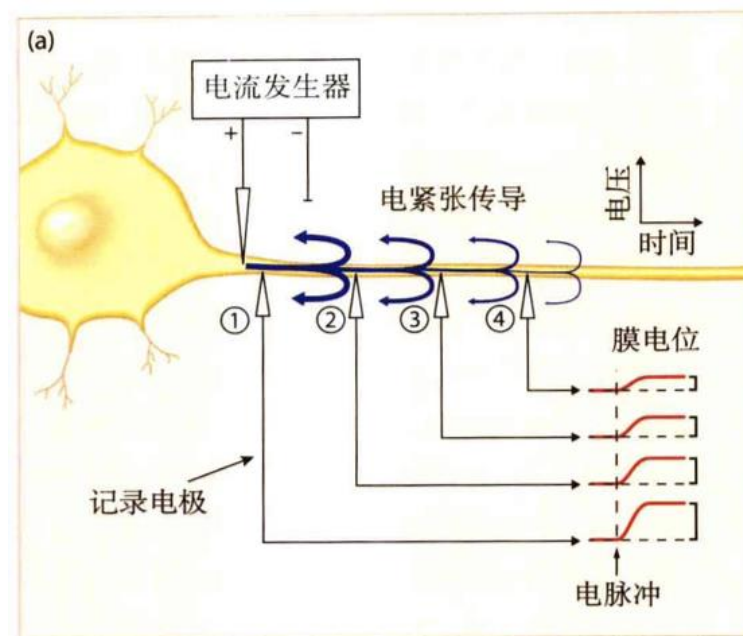
细胞内：电流传递

- 1) 突触传入
- 2) 突触电流
- 3) 被动传导
- 4) 动作电位



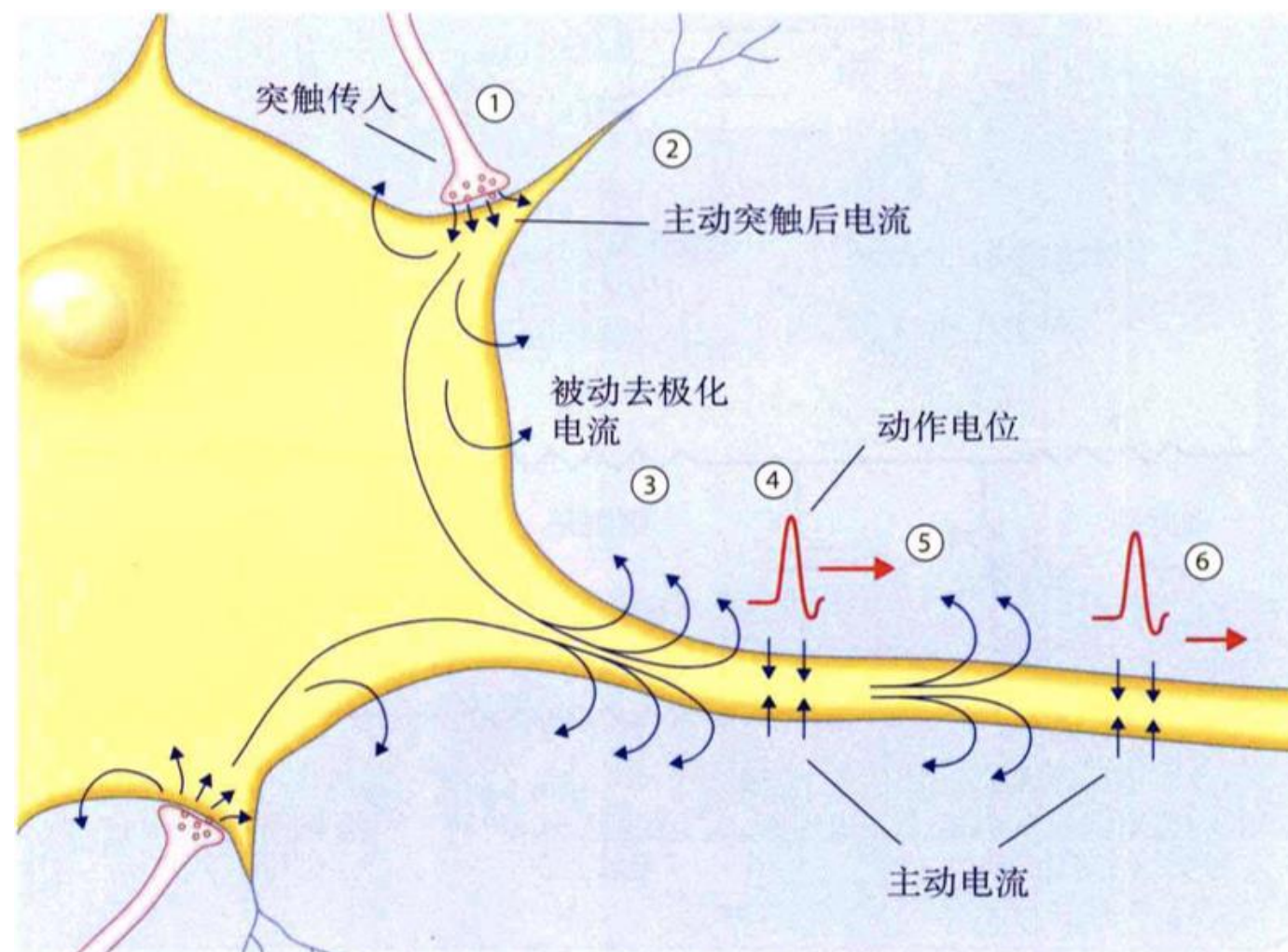
被动电流--电紧张传导（衰减传导）

- 被动电流传导
- 传导距离
 - 起始电流幅度
 - 细胞膜电阻电容
 - 细胞液导电性
- 电流幅度随距离衰减
 - 短距离发挥作用
- 传导距离：1mm
 - 对视网膜足够
 - 形成脊髓的轴突不足



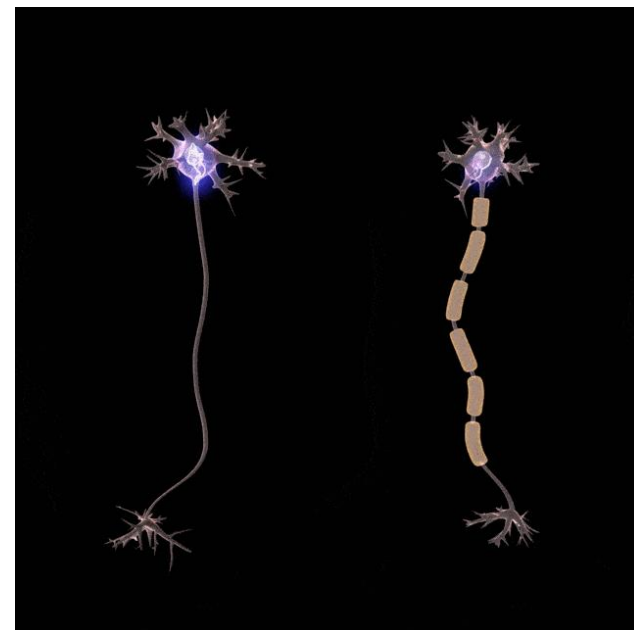
细胞内：电流传递

- 1) 突触传入
- 2) 突触电流
- 3) 被动传导
- 4) 动作电位



主动电流--动作电位

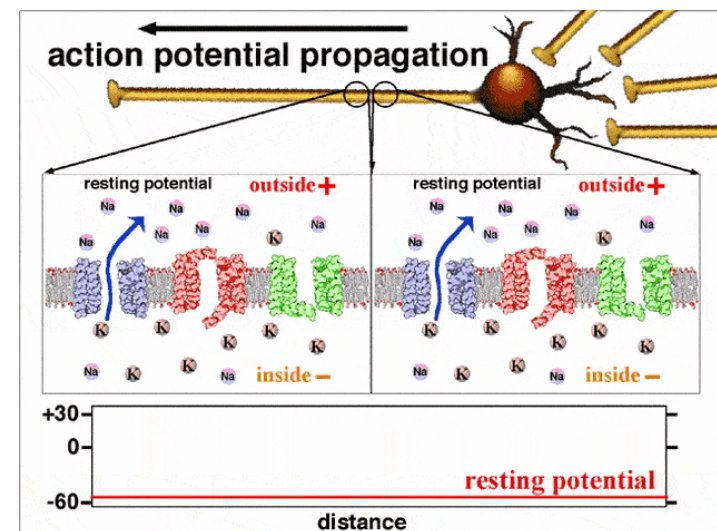
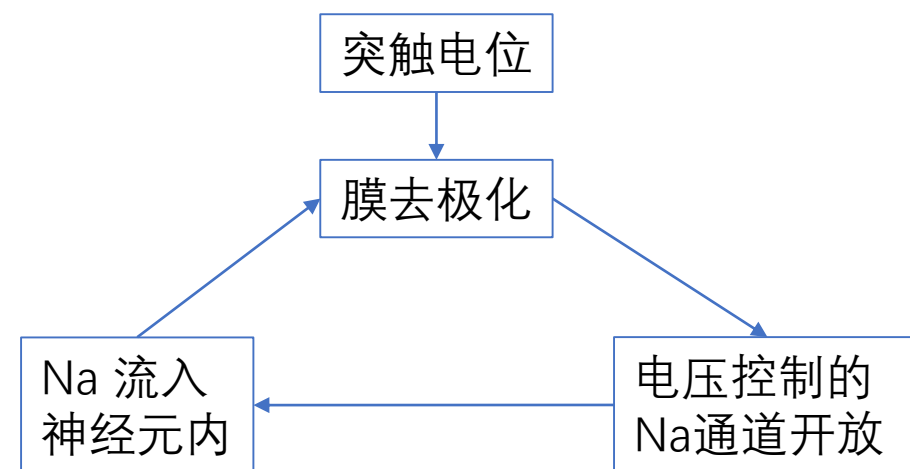
- 当细胞受到一个有效刺激之后，其膜电位在静息电位的基础上发生一次可以沿着**细胞膜快速传导的过程性的电位波动**，这种发生在细胞膜上的电波称为动作电位（又称锋电位：Spike）
- 特性
 - 由被动电流激发
 - 去极化达到阈值
 - 幅度恒定，不衰减性传到
 - 脉冲式产生
- 作用
 - 维持电流长距离传导，髓鞘
 - 麻醉剂



主动电流--动作电位

➤过程

- Hodgkin-Huxley循环
- 去极化：膜去极化—Na通道开放—Na大量内流—细胞内电位急剧上升—锋电位上升阶段
- 复极化：膜电位达到Na平衡电位—Na停止内流，K快速外流—细胞内电位下降，恢复到负电位水平—锋点位下降阶段
- 后电位：Na, K_a泵活动，使膜两侧离子分布恢复兴奋前不均匀状态
- 不应期：突触后神经元发出脉冲后，膜电压会被重置并且突触后神经元会在一段时间无法处理接收到的脉冲。
- 静息电位去极化达到阈值是产生动作电位的必要条件



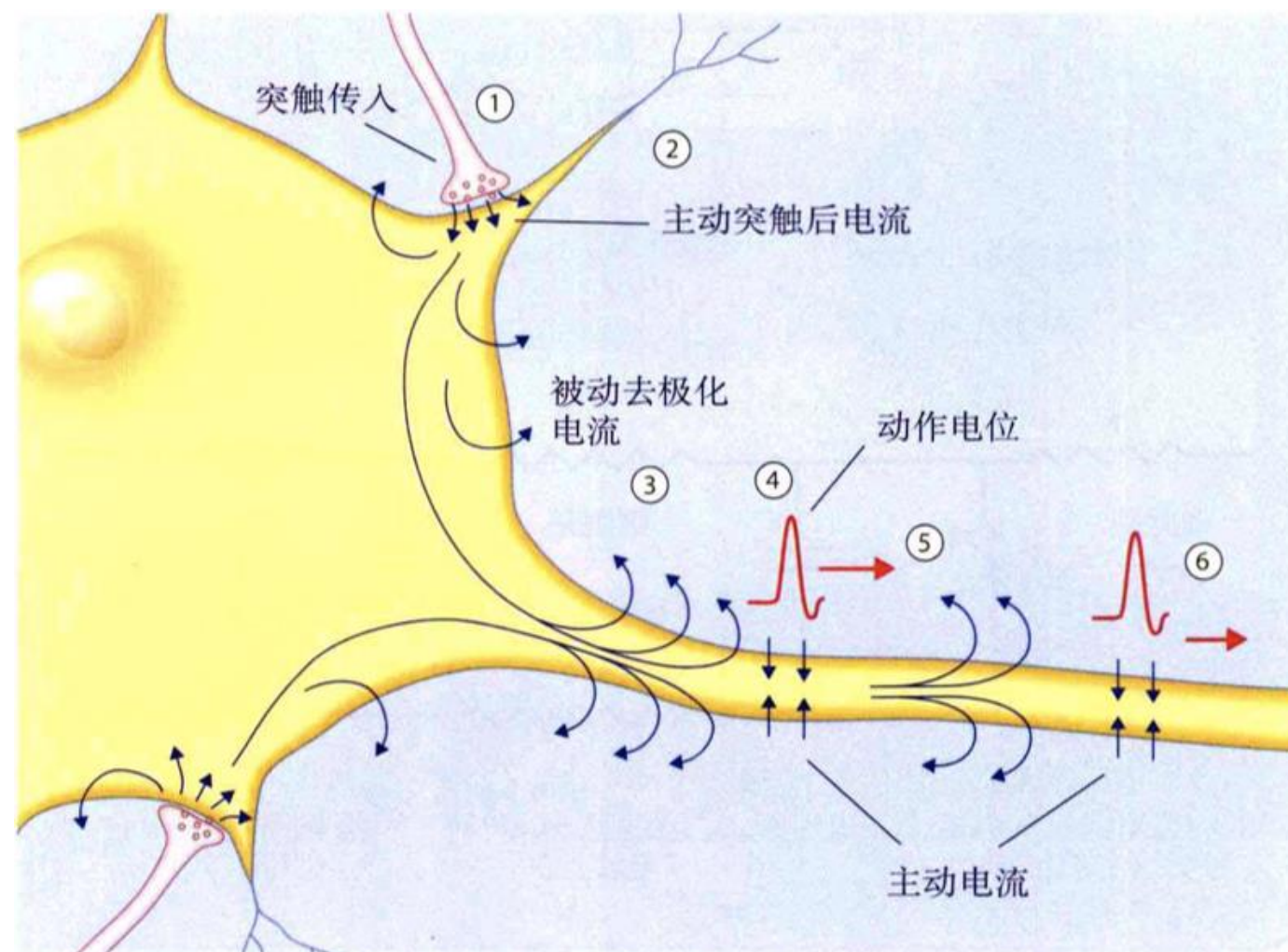
主动电位vs分级电位

表 2.2 分级电位和动作电位的主要差异

特征	分级电位	动作电位
振幅	随刺激而改变	全或无；通常振幅相同
总和	可以累加	不能累加
阈值	无	有
不应期	无	有，绝对和相对
传导	衰减	不衰减
持续性	多变的	在恒定条件下，对于某种细胞类型是恒定的
极化	去极化或超极化	只有去极化
启动	信号传递和神经传递启动	分级电位启动
通道	非电压门控	电压门控

细胞内：电流传递

- 1) 突触传入
- 2) 突触电流
- 3) 被动传导
- 4) 动作电位



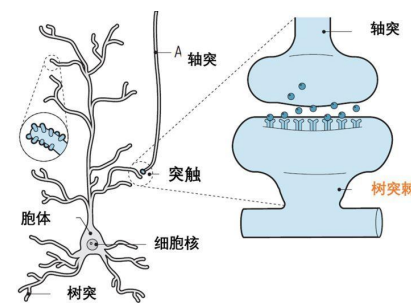
细胞间：突触传递

➤ 神经元间或神经元与肌肉的信息交流，被称为突触传递，发生在突触。

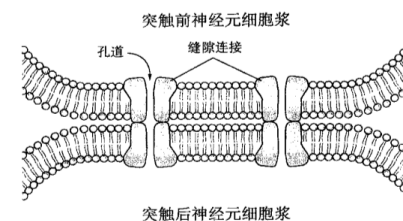
➤ 突触传递分为两类：

➤ 化学突触传递

➤ 电突触传递



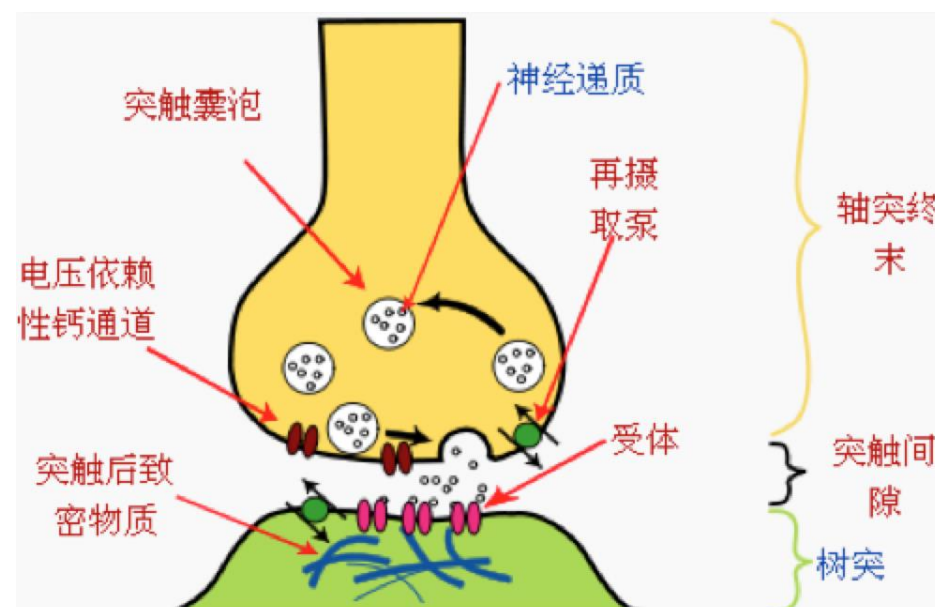
化学突触



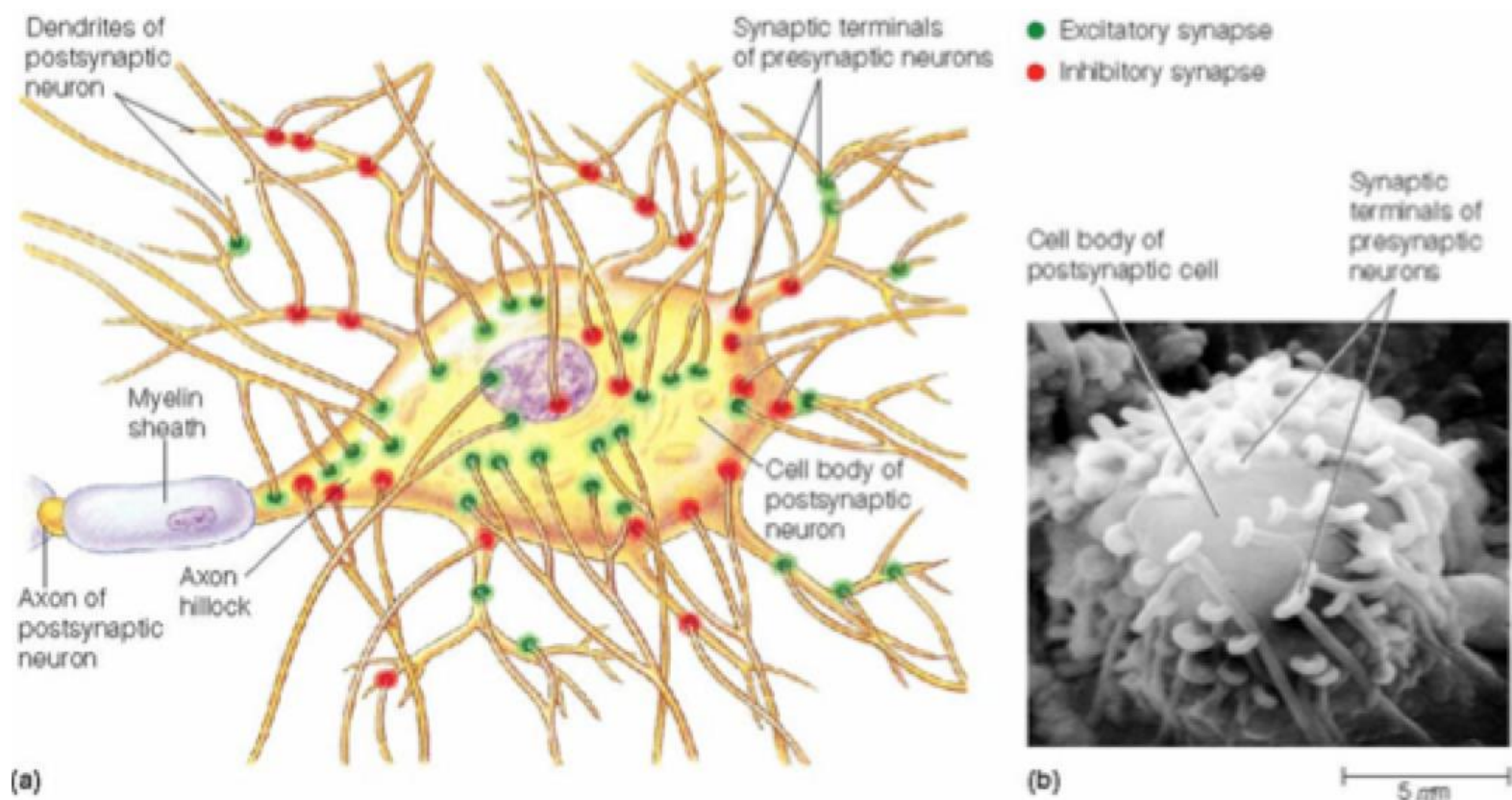
电突触

细胞间：化学突触传递

- 神经递质从突触前末梢的释放：
 - 突触电流汇总引起动作电位
 - 动作电位引起末梢去极化
 - 引起Ca内流，浓度升高
 - 囊泡与突触膜融合
- 神经递质引起突触后电位：
 - 神经递质与突触后膜的受体结合
 - 突触传递在突触后神经元中产生的电位变化
 - 兴奋性或抑制性



细胞间：化学突触传递



细胞间：化学突触传递

- 传递物质：神经递质
 - 1. 突触前合成，并存储
 - 2. 突触前去极化时被释放
 - 3. 突触后有特定受体
 - 4. 人工施加到突触后，引起相同刺激反应
- 100种以上
 - 兴奋性递质
 - 乙酰胆碱、谷氨酸、5-羟色胺
 - 抑制性递质
 - GABA、甘氨酸

药物、神经传递与疾病

- 药物影响神经递质：
 - 作用于突触后膜模拟神经递质的活动
 - 增加神经递质的释放或阻止其重摄取
 - 降低神经递质与突触后膜受体结合
- 精神分裂症：
 - 神经递质紊乱
 - 安非他明增强多巴胺和去甲肾上腺素
- 抑郁症：
 - 选择性5-羟色胺重摄取抑制剂 (SSRI)

细胞间：电突触传递

➤特点

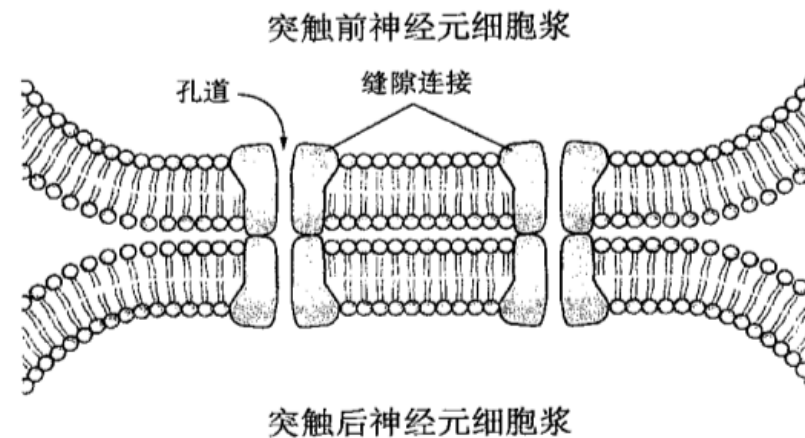
- 无突触间隙
- 细胞膜相互接触
- 细胞间相连续：特化的穿膜通道缝隙

➤局限：缺乏可塑性

- 不能传抑制信息
- 不能放大信号

➤存在于

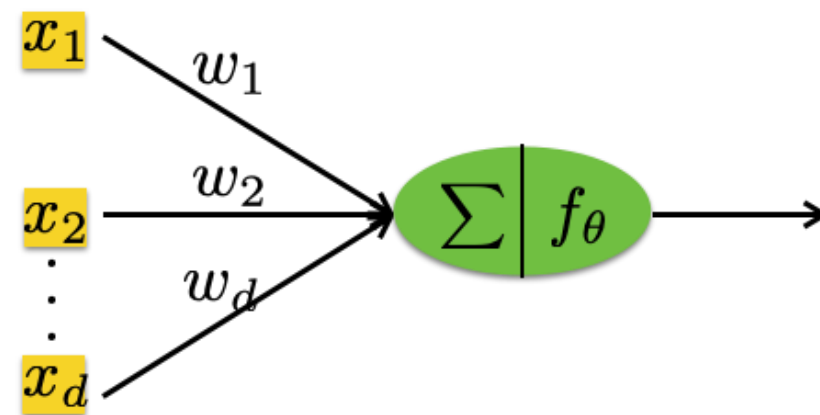
- 无脊椎动物的逃避反射
- 哺乳动物的视网膜和皮质下核团



人工神经元模型

MP神经元

- 1943年，由Warren McCulloch和Walter Pitts提出
- 加权求和：神经元是一个多输入单输出的信息处理单元
- 非线性变换（激活函数）：神经元输入分兴奋性输入和抑制性输入两种类型



总结

总结

- 神经系统的细胞
 - 神经元细胞
 - 胶质细胞
- 神经信号的传递
 - 细胞内
 - 细胞间
- 人工神经元模型
 - MP神经元
 - 一次神经元何以筑文明

谢谢