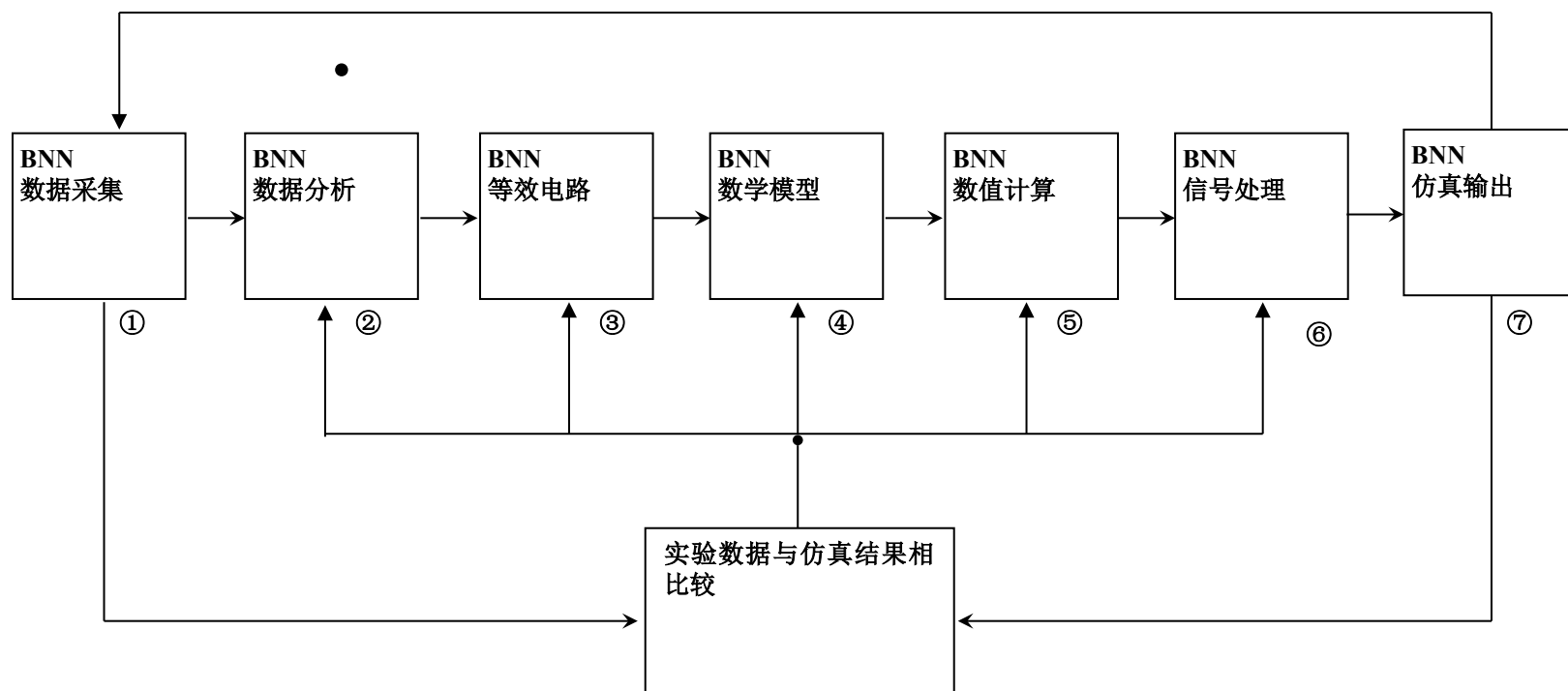


信号与系统  
第9章 信号与  
系统在生物  
医学中的应  
用

# 一、利用信号与系统研究生物神经系统的的方法

根据实验数据和概念模型建立相应计算模型，从而逐步理解和推断生物神经系统的生理结构和生化组成，以及内部作用机理。



# 一、研究生物神经系统的意义

---

- 验证生物神经网络的模型和假设
- 系统化和理论化生物神经系统的实验数据
- 拓展实验的范围并延伸实验的功能
- 探索生物神经系统的未知领域
- 为其它学科模拟生物神经网络奠定必要基础
- 为其它生物系统的仿真奠定了良好的基础

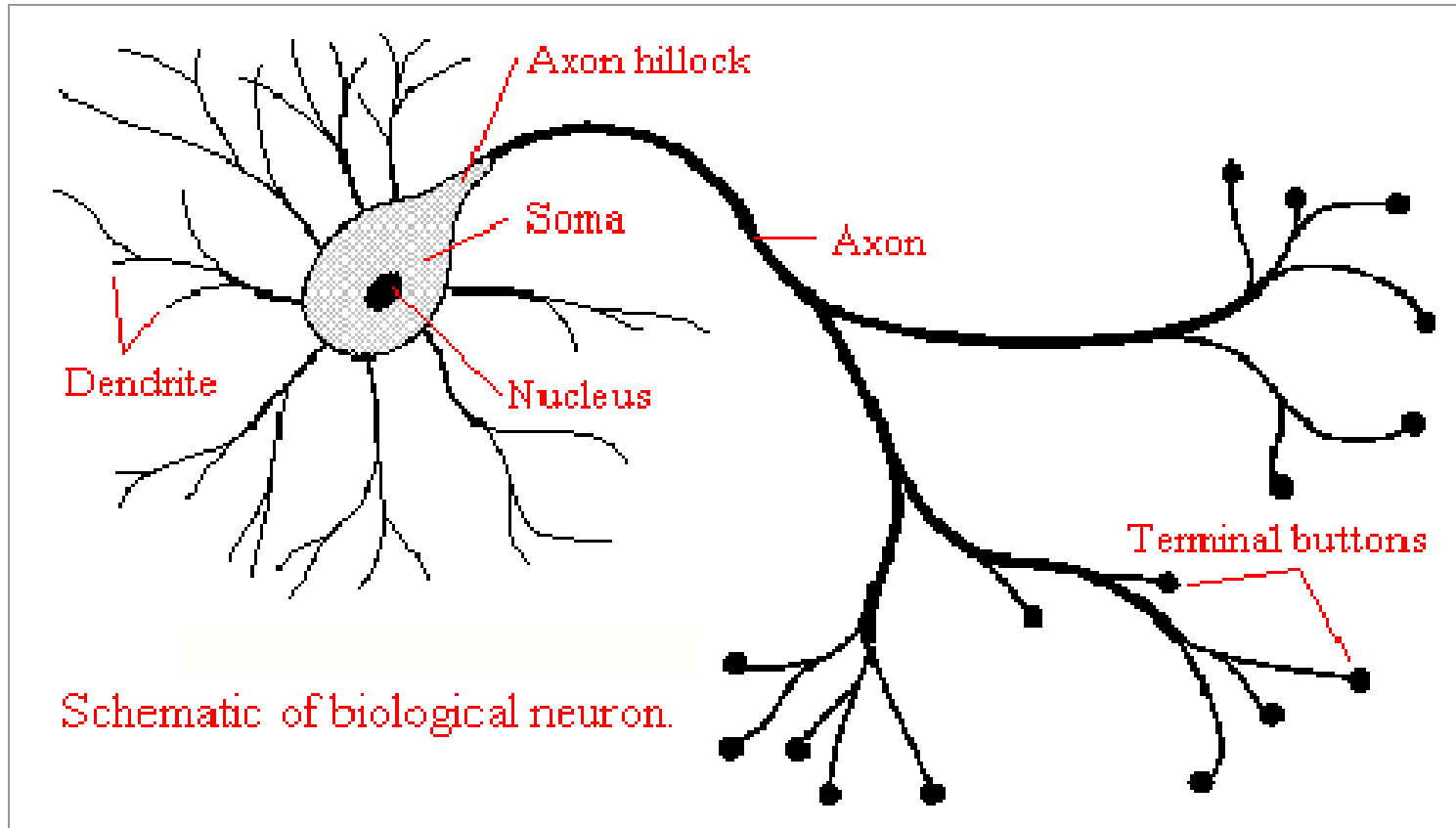


## 二、生物神经系统模型及等效电路

---

- 1. 神经元生理结构和生化组成
  2. 静息状态下单个神经元等效电路
  3. 激励状态下单个神经元等效电路
  4. 神经网络中神经元等效电路

# 1. 非线性时变系统—神经元



神经元生理结构

# 1. 神经元生理结构及生化组成

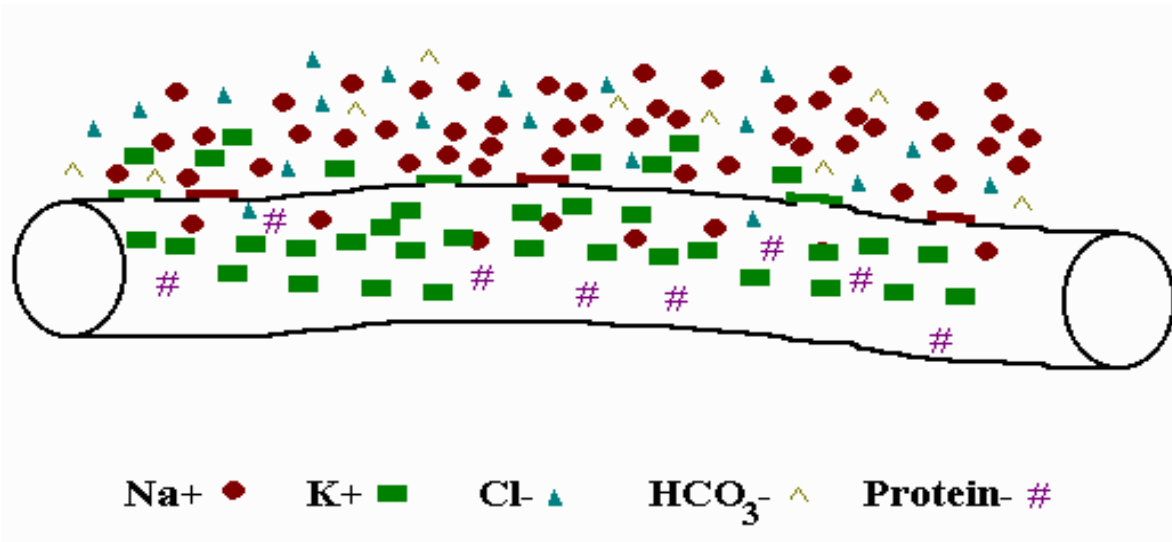
---

神经元生理结构一般由三个主要部分组成，即细胞体(soma)，轴梢(dendrite)，轴突(axon)。细胞体位于神经元的中心部分，它包含细胞核，轴梢是从细胞核发射出的许多根状物，轴突也是从细胞核发射出的一根管状纤维。

其中轴梢主要功能是从其它神经元接受电信号；细胞体主要功能是积累来自许多轴梢的电位；轴突的主要功能是传导电信号，并传递电信号至其它神经元。

沿着神经元轴突膜(membrane)分布的膜电位是描述神经元内信息传递的重要物理量。

# 1. 神经元生理结构及生化组成



离子(Ion)	膜内浓度(Inside Cell)	膜外浓度(Outside cell)
K <sup>+</sup>	397 mM/l	20mM/l
Na <sup>+</sup>	49mM/l	440nM/l
Cl <sup>-</sup>	48mM/l	480mM/l

神经膜内外的离子浓度分布

# 1. 神经元生理结构及生化组成

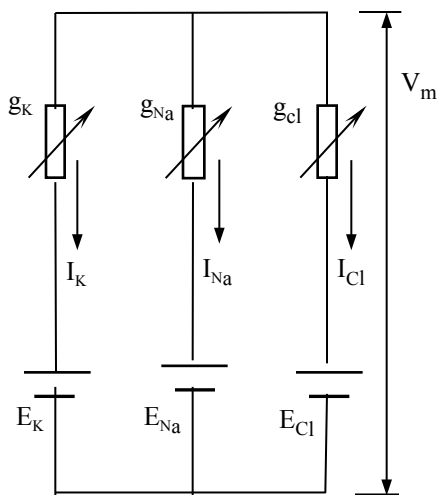
---

这些离子主要为三种单元素离子，钾离子( $K^+$ )、钠离子( $Na^+$ )、和氯离子( $Cl^-$ )以及某些复合离子。其中，正极性的钾离子( $K^+$ )主要分布在神经膜内，而正极性的钠离子( $Na^+$ )和负极性的氯离子( $Cl^-$ )主要分布在神经膜外。

正是由于神经膜内外的这些离子的存在以及它们在膜内外的浓度分布不同，形成了膜电位。

膜电位的外在特性可分为明显的两个阶段，即静息膜电位(resting membrane potential)阶段和动作电位(action potential)阶段。静息膜电位为负极性，一般在-60与-70mV之间，神经细胞在大多数情形下一直处于此平衡状态。





其中：

$g_K$ ,  $E_K$  分别为钾离子 $K^+$ 的等效电导和静息电位；

$g_{Na}$ ,  $E_{Na}$  分别为钠离子 $Na^+$ 的等效电导和静息电位；

$g_{Cl}$ ,  $E_{Cl}$  分别为氯离子 $Cl^-$ 的等效电导和静息电位；

$V_m$ 为神经细胞静息膜电位。

$$(V_m - E_{Na}) \cdot g_{Na} + (V_m - E_K) \cdot g_K + (V_m - E_{Cl}) = 0$$

$$I_{Na} = (V_m - E_{Na}) \cdot g_{Na}$$

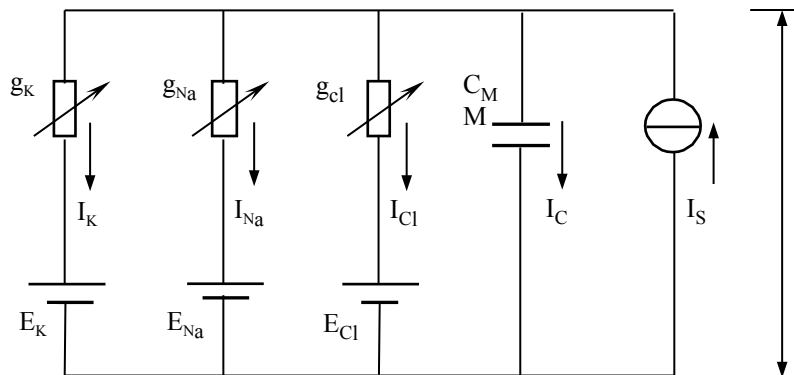
$$I_K = (V_m - E_K) \cdot g_K$$

$$I_{Cl} = (V_m - E_{Cl}) \cdot g_{Cl}$$

$$V_m = \frac{E_{Na} \cdot g_{Na} + E_K \cdot g_K + E_{Cl} \cdot g_{Cl}}{g_{Na} + g_K + g_{Cl}}$$

静息膜电位为  $V_m = -60.2\text{mv}$ ，钾离子电流为  $I_K = 5.1\text{mA/cm}^2$ ，

钠离子电流为  $I_{Na} = -4.68\text{mA/cm}^2$ ，氯离子电流为  $I_{Cl} = -0.25\text{mA/cm}^2$ 。



其中：

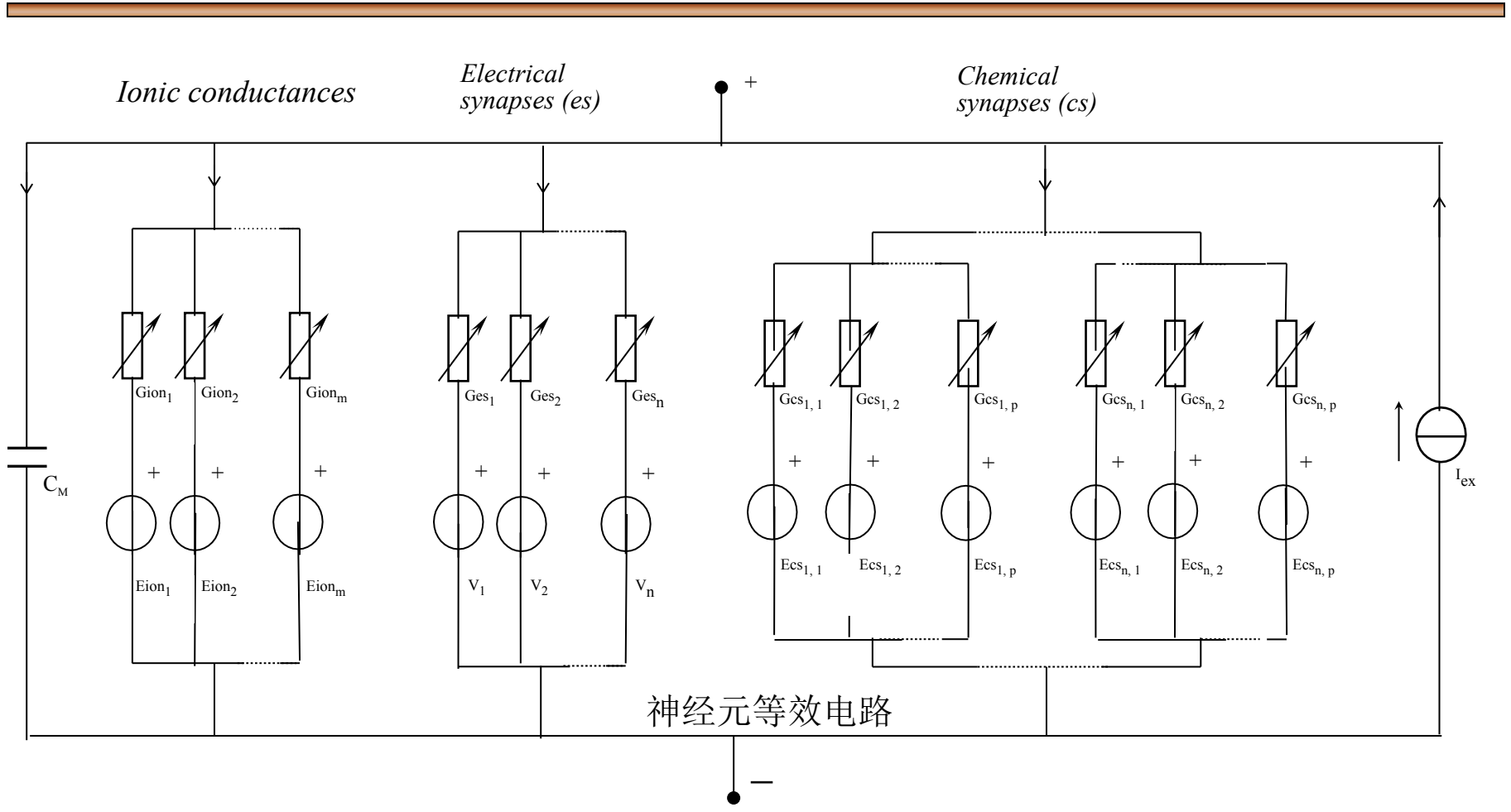
$V_m, g_K, E_K$  分别为钾离子 $K^+$ 的等效电导和静息电位；  
 $g_{Na}, E_{Na}$  分别为钠离子 $Na^+$ 的等效电导和静息电位；  
 $g_{Cl}, E_{Cl}$  分别为氯离子 $Cl^-$ 的等效电导和静息电位；  
 $V_m$  为神经细胞静息膜电位。

$C_M$  为细胞膜电容；

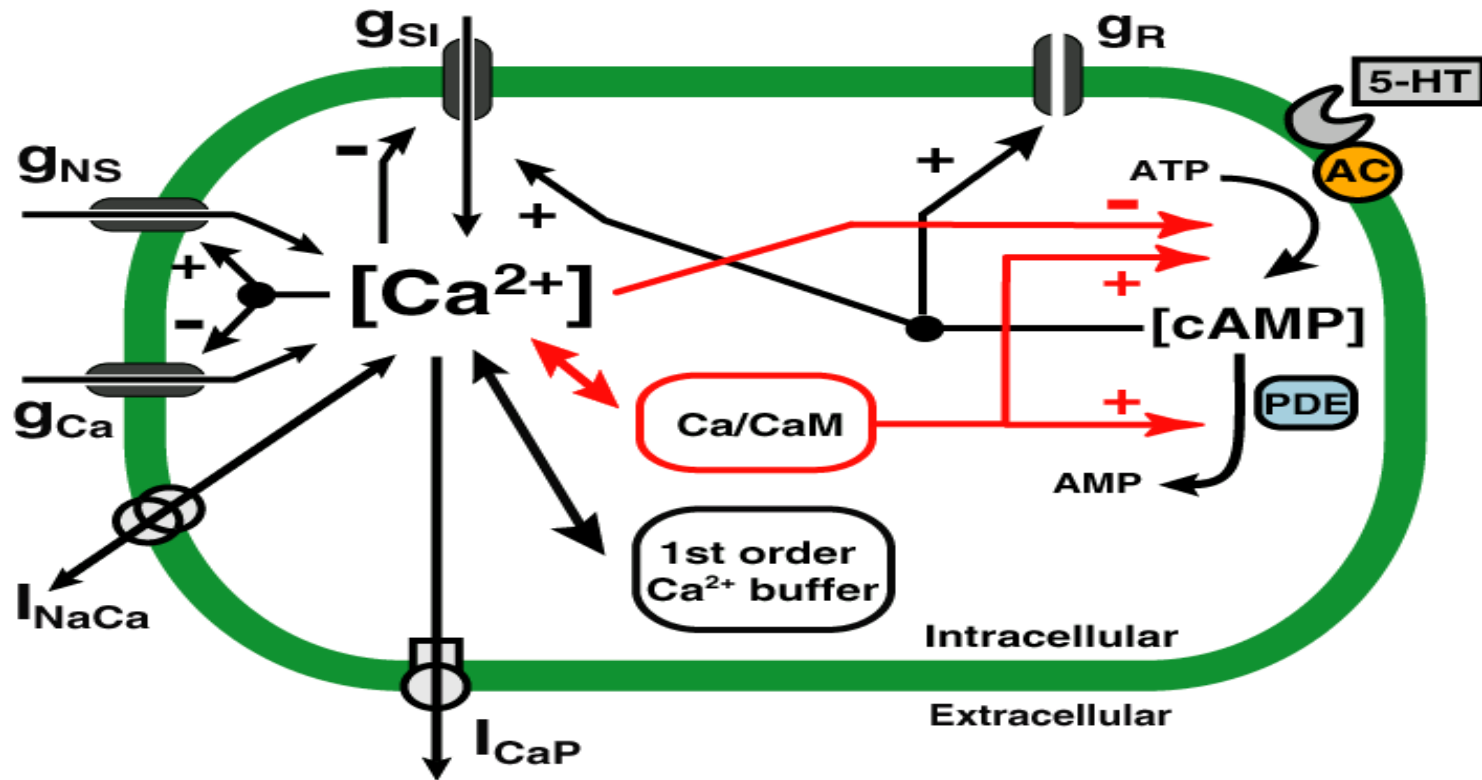
$I_S$  为外部触发

$$I_K + I_{Na} + I_{Cl} + I_C = I_S$$

$$C_M \cdot \frac{dV_m}{dt} = I_S - I_K - I_{Na} - I_{Cl}$$



## 4. 神经系统中神经元等效电路



神经元电化学模型



# 三、神经网络的数学建模

---

1. 数学建模的基本原理
2. 神经膜动作电位模型
3. 离子电导模型
4. 化学突触电导模型
5. 电突触电导模型
6. 离子电导调节因子函数模型
7. 电导随机特性模型

# 1. 数学建模的基本原理

---

首先对在一定控制条件下得到的生物数据进行定性分析，确定该实验数据可能的概念模型。

然后依照该概念模型确定相关的数学模型，按照最小均方误差准则从这些数据中得到对应的模型参数。

为归一化整个数学建模过程，通过简单变换的方法，将其它模型都映射为直线模型，将数据也按相同的变换映射为新的数据集，在得到直线模型参数后，再反变换成原来模型。

$$y = a \cdot x + b$$

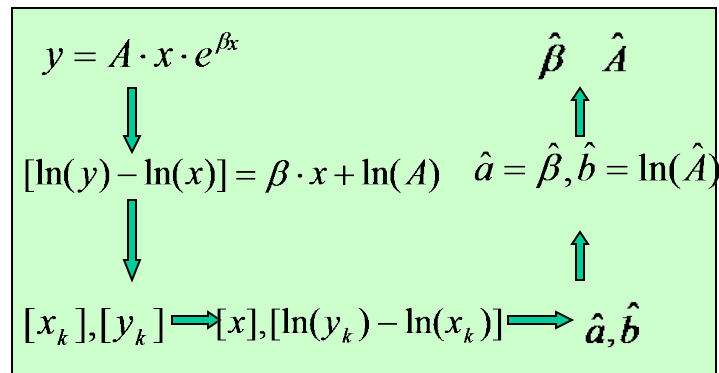
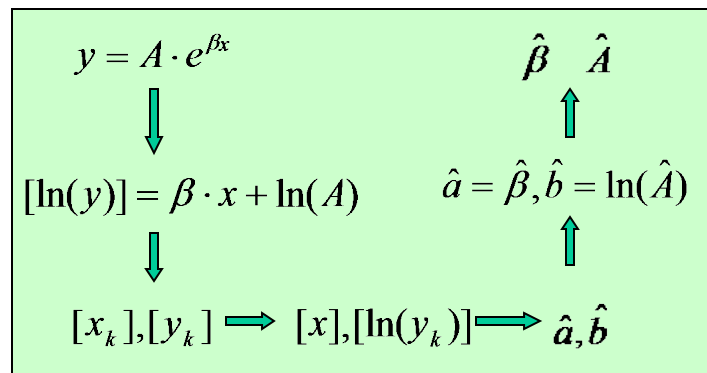
$$\left\{ \begin{aligned} \hat{a} &= -\frac{N \sum_{k=0}^{N-1} x_k y_k - \left( \sum_{k=0}^{N-1} x_k \right) \cdot \left( \sum_{k=0}^{N-1} y_k \right)}{N \sum_{k=0}^{N-1} x_k^2 - \left( \sum_{k=0}^{N-1} x_k \right)^2} \\ \hat{b} &= \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} y_k - \hat{a} \cdot \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x_k \end{aligned} \right.$$

其中：

$\hat{a}, \hat{b}$  分别为直线参数  $a, b$  的估计；

$[x_k], [y_k]$  为实验数据序列对；

$N$  为数据序列的长度。



## 2. 神经膜动作电位模型

$$\frac{dv_i}{dt} = \frac{\sum_{r=1}^q I_{ex_{ir}} - \sum_{j=1}^m I_{ion_{ij}} - \sum_{k=1}^n I_{es_{ik}} - \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^p I_{cs_{ikl}}}{C_{M_i}}$$

- 其中：
- $i$  为网络中神经元膜电位  $V$  的下标；
  - $j$  为离子电流  $I_{ion}$  的下标；
  - $k$  为电突触电流  $I_{es}$  的下标；
  - $l$  为化学突触电流  $I_{cs}$  的下标；
  - $r$  为外部激励电流  $I_{ex}$  的下标；
  - $m$  为各神经元中电压依赖电导的数目；
  - $p$  为每个电突触伴随的化学突触的数目；



以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/328071143020006120>