

# SimNeuron

## 虚拟实验室中的电流钳和电压钳实验

### 教程

#### 目录：

1. 实验室设计
2. 电流钳基本实验
  - 2.1 动作电位、电导和电流
  - 2.2 被动反应和局部电位
  - 2.3 刺激幅度和持续时间的效应
  - 2.4 Induction of Action Potential Sequences 动作电位序列的诱导（正文中没有这个内容）
  - 2.5 建立一个新的神经元
3. 电压钳基本实验
  - 3.1 电容和电压依赖的电流
  - 3.2 阻容补偿
  - 3.3 内向电流和外向电流
  - 3.4 变化的命令电压
  - 3.5 曲线和“逆转电位”
  - 3.6 逆转电位
  - 3.7 尾电流
4. 神经元编译器（Neuron Editor）
5. 预设置

2020.04.01

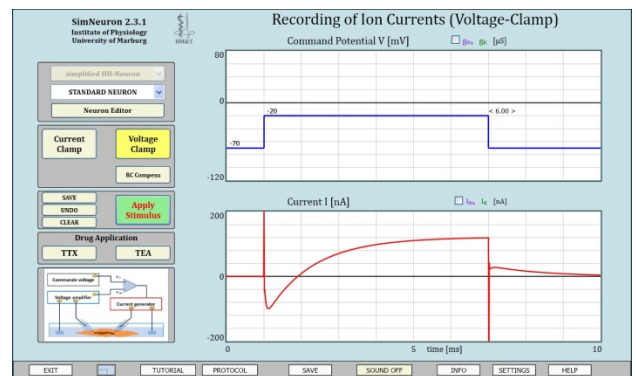
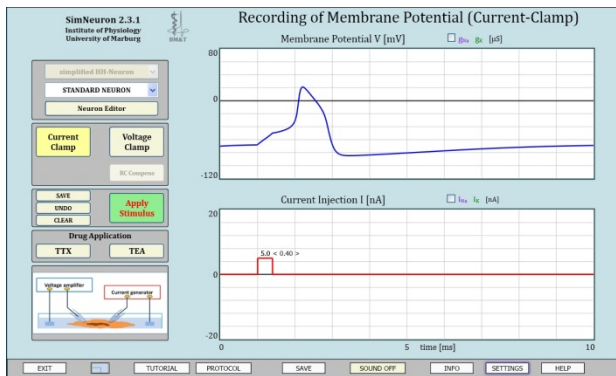
2

## 1. 实验室设计

我们试图保持屏幕设计尽量简单，以使电压钳和电流钳实验便于操作。实验中无需太专注于实验的技术细节，而是通过对电流钳和电压钳记录的比较，对神经元的兴奋性形成全面的了解。

电流钳实验室和电压钳实验室的组织方式相同。在屏幕左侧，有一个可用神经元的选项框。这个选项框的下面有几个做记录需要用到的控制按钮，还有一个实验装置的示意图。屏幕的主要部分的曲线图（右侧）可以用来设置刺激并显示实验记录。

虚拟实验室的初始状态为电流钳模式，在这个模式下，屏幕右侧下栏中有一个电流脉冲（红色），而上栏是空白的。如果选择电压钳模式，则会在上栏中出现一个电压脉冲（蓝色），而下栏是空的。按下“施加刺激 Apply Stimulus”键，可以显示相应的实验结果（电流钳实验中的动作电位和电压钳实验中的电流）。



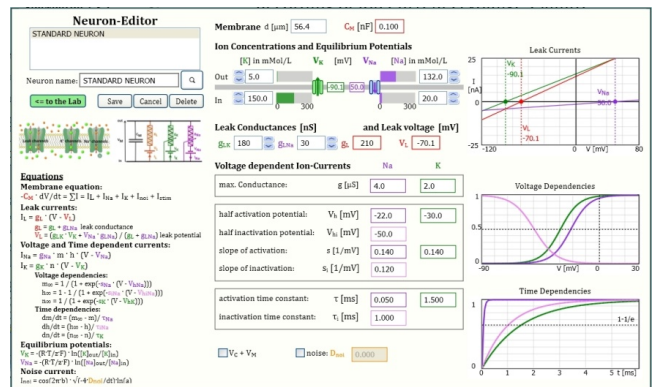
可以通过一组按钮得到其他一些信息，例如，可以直接从程序中打开本教程，或允许更改程序的“预设置”（不适用于演示版本）。特别是，你可以将实验记录“保存 SAVE”为硬盘上的图形文件。

点击神经元编译器（Neuron Editor）可见左侧显示了膜的卡通图和等效电路、以及完整的模型方程组。

在中间部分，模型的所有参数值都显示在文本编辑框中，并且可以进行修改以考察它们对电流钳和电压钳记录的影响。修改后的神经元可以用新的文件名进行保存。

在右侧的曲线图中，可以直接观察到一些参数变化对模型的动态相关特性的影响。

初始状态下，程序提供一个“标准神经元 STANDARD NEURON”。但是，你可以修改参数值以考察它们对神经元的影响，并可以用新的文件名保存神经元。你也可以使用随机设置的参数值创建更多的神经元。



## 2. 电流钳基本实验

只需点击几下鼠标就可以进行一些基本的实验：

要进行这些实验，请确保处于电流钳模式，也就是电流钳（Current Clamp）按钮处于激活状态（黄色）。在初始状态下，初选为“标准神经元 STANDARD NEURON”，可以在右图的下栏中看到一个电流脉冲（红色）。

## 2.1 动作电位、电导和电流

在初始设置（5 nA, 0.4 ms）条件下单击“施加刺激 Apply Stimulus”按钮。

可以看见动作电位出现（图 1.1.1（图注中都未见图的序号），上栏中的蓝色曲线）。

在虚拟实验室中，有可能完成实际实验中无法完成的操作，比如同时记录膜电位以及离子通道的电导和电流的随时间变化过程。为了实现这个，你只需激活  $g_{Na}$  和  $g_K$  选项框以及  $I_{Na}$  和  $I_K$  选项框（未见）。

接下来点击“Apply Stimulus”按钮，则可以绘出离子电导（上栏）和离子电流（下栏）（图 1.1.2，未见图序），图中紫色对应 Na 离子，绿色对应 K 离子。

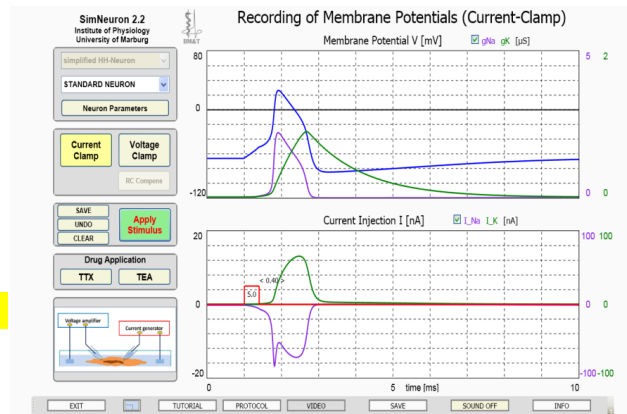
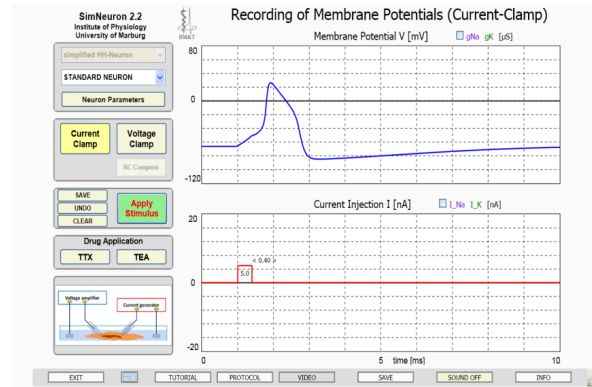
在上栏中，你可以看到从传统的教科书中所学到的，也就是说，与 Na 电导（紫色）的快速提高有关动作电位上升沿，以及随后产生的由于 K 通道（绿色）的延迟开启以及 Na 通道的失活所导致的下降沿（包括超极化后电位）。

下栏曲线显示电压依赖的 Na 和 K 电流的相应变化，可以将其与泄漏电流（包括  $I_L$ ）绘制在一起。此外，还可以显示所有电流的总和（ $S_i$ ）。（我的版本中没有这个功能。）

**问题 1.1:** 你能理解离子电导和电流的时间过程中的差异吗？例如，为什么 Na 电流会瞬间减小（箭头所示（未见箭头））？为什么当 K 电导仍然相对较高时，K 电流却几乎回到零值？（图中只有离子电导，未见离子电流。）

提示：应用欧姆定律，但别忘了考虑“驱动力”。

参阅“电压钳实验”，以便对这些内容有更好的理解（见下文）。



上栏电导 下栏电流

## 2.2 被动反应和局部电位

在下面的实验中，你应该了解不同控制按钮的含义，并学习如何改变刺激参数以及调整曲线图的尺度：

### 改变刺激 STIMULUS 参数：

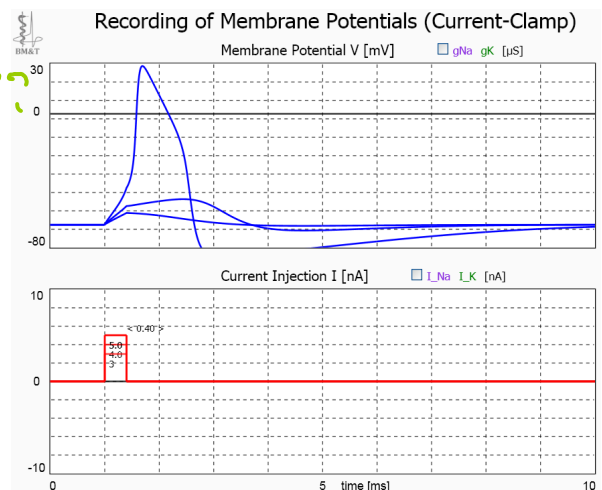
点击脉冲顶部或上升沿，会出现上-下或左-右箭头，可以修改脉冲的幅度和起始点。此外，在脉冲上升沿和下降沿之间单击鼠标右键可以平移整个脉冲（不大好操作）。

### 改变绘图参数（曲线图的标尺）：

选中坐标（电压、电流或时间）上的数字，然后选择所需的范围。请注意：更改标尺范围会导致以前记录的删除。

对于下面的实验，选择 -80 到 +30 mV 之间的电压范围（而不是 -120/+80），对于电流刺激，选择 -10/+10 nA 而不是 -20 到 +20 nA。时间分辨率不变。

图 1.2（图序未示）。再次显示上面绘制的动作电位——在这个图中，没有离子电导和离子电流（相应的选项框未选中）。但是，保存 **SAVE** 按钮已被激活，以将此记录保存在屏幕上，以便与纯被动反应和局部电位进行比较。



**被动反应：**当电压依赖的主动电流被  $\text{Na}^+$ -通道阻断剂 **TTX** 和  $\text{K}^+$ -通道阻断剂 **TEA** 所阻断（可由相应的按钮激活）时，只剩下所谓的被动反应。电压变化反映了外加电流对膜电容的充放电。

### 关于 TTX 和 TEA 应用的补充实验：

- 改变刺激的强度和持续时间，以观察膜的完全充电直至达到稳态（恒定的电位），并确定膜的时间常数。
- 在只使用 TTX 的情况下做同样的实验，并解释不同之处。

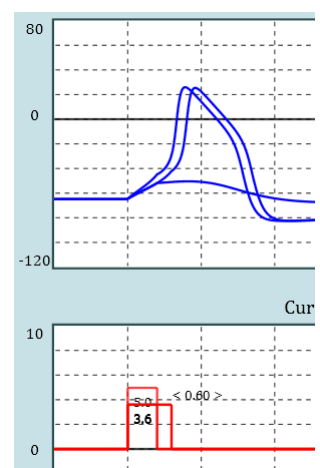
c) Go back to a short, slightly subthreshold stimulus pulse and compare the action potential with a second one after TEA application. Can you explain why the action potential develops faster and last longer? 再次给予一个短暂的、幅度略低于阈值的刺激脉冲，并与施加 TEA 后的刺激产生的动作电位进行比较。你能解释一下为什么动作电位的产生变得更快、持续时间更长吗？

**局部电位：**试着将刺激幅度调整到低于阈值，但使之依然能引起稍大于纯粹被动反应的电位变化。这些所谓的“局部电位”是在主动电流的作用下产生的，但幅度太小，无法产生可传播的动作电位。生理上，局部电位主要在递质门控通道开放时以突触电位的形式出现。

## 2.3 刺激幅度和持续时间的影响

当你将 0.4 ms 短时刺激的幅度调到阈下，比如从之前的 4 nA 调到 3.5 nA，然后增加刺激持续时间，比如调到 0.6 ms，由于在额外的时间内进一步去极化，这也会诱导出动作电位，当然时间上会稍微慢一点。

当你确定产生 AP 的刺激幅度和持续时间在不同组合下的阈值时，你就可以得到所谓的强度-持续时间曲线，并得到基强度和时值这两个关键



的值。

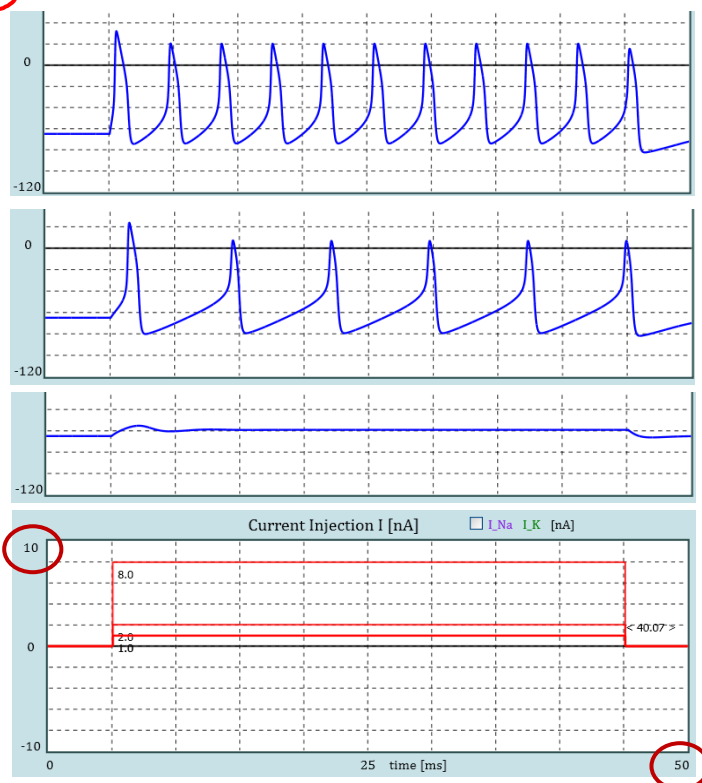
## 动作电位序列

如果阈上刺激的持续时间足够长，就可以产生一系列的动作电位，你也可以看到刺激幅度是如何通过动作电位序列的放电频率进行编码的（频率编码）。

### 坐标尺度：

请注意：对于这些记录，时间轴已经扩展，这里是 50 ms 的记录时间。  
点击横坐标上的最大值可以调整记录时间。点击纵坐标上的最大值（圆圈处），同样可以调整电流和电压范围。

这个图包含了三个不同幅度的持续刺激（40 ms）作用下的记录。强度为 1 nA 的刺激只能引起微弱的局部反应，2 nA 的刺激在给定的时间内产生了 6 个 APs，而 8 nA 则导致 AP 频率几乎成倍增加。✓

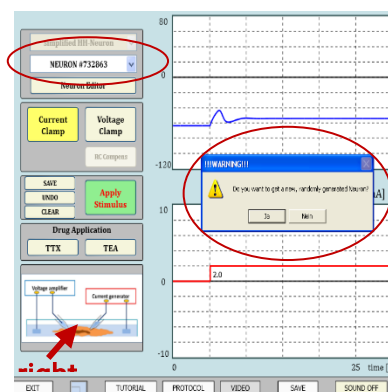


### 附加实验：

- 你可以系统性地增加刺激幅度以确定频率-刺激曲线。✓
- 将给定“标准神经元 Standard Neuron”的反应与神经元列表中另一个神经元的反应进行比较；如果列表中没有，可以自己建立一个。

## 2.4 建立一个新神经元

可以转到神经元编辑器（Editor）（见下文）来调整神经元的参数，并用一个新的文件名来保存这个神经元。✓



或者，用鼠标右键点击图中的记录装置部分（箭头所示）也可以建立一个新神经元，这个神经元将出现在神经元列表中，并形成一个新的文件名（圆圈所示）。✓

请注意：这些神经元的参数为随机设置。在这里给出的例子中，当施以相同的刺激时，新建的神经元仍然处于阈下状态，而在标准神经元中，已经可以引发一系列的动作电位了。



请注意：新建的神经元可能会由于预先设置的条件而受到“噪音”的影响。✓

### 3. 电压钳基本实验

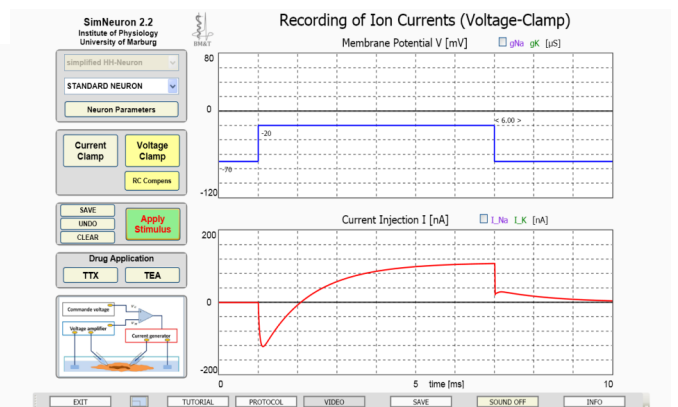
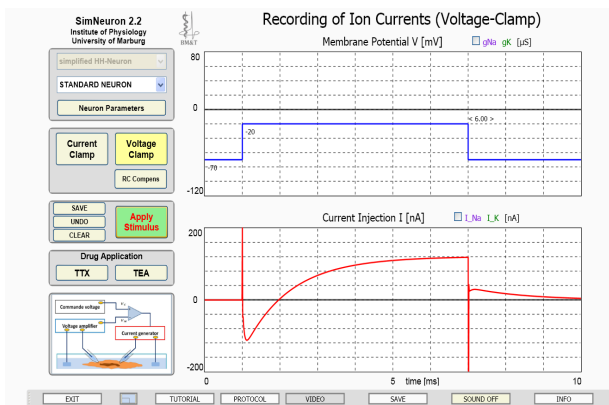
#### 3.1 电压钳位脉冲作用下的电容和电依赖的电流

点击“电压钳 **Voltage Clamp**”按钮，进入电压钳实验室。现在上栏中会出现一个电压脉冲，可以对其进行调整，方式与电流钳实验室中对电流脉冲进行调整的方式相同。

点击“施加刺激 **Apply Stimulus**”按钮。

在下栏中可以看到典型的电流曲线：

- 1) 在脉冲的开始和结束处分别有一个瞬间的向上和向下偏转，反映了对膜电容充放电所需的**电容电流**，也就是使得膜电位回到设定值（达到命令电压并回到钳位电压）所需要的电流。
- 2) 在两者之间，有一个向下的偏转，其随后变成一个向上的偏转（大约在刺激开始后的**1 ms**）。这些电流是针对**主动电流**（也就是电压依赖的膜电流）的补偿电流，目的在于将电位保持在所需要的值。



请注意：向下偏转为内向跨膜电流，而向上偏转为外向跨膜电流。

#### 3.2 阻容补偿

教科书大多会给出电容电流被消除后的记录。可以点击“**RC-compens**”（唯一在电流钳实验室找不到对应按钮的情况）来实现这个操作，这个要比实际的实验操作容易得多。

剩下的是瞬时向下偏转（内向电流），以及之后持续的向上偏转（外向电流）。✓

这些电流是我们主要关注的电流，因为它们是由于离子通道的电压依赖性开启和关闭而产生的“主动”电流。

#### 3.3 内向和外向电流

在电压钳实验室中，激活曲线图上方相应的选项框，可以分别绘制 **Na<sup>+</sup>**（紫色）和 **K<sup>+</sup>**（绿色）离子相关的电导（上栏）和电流（下栏）。

在曲线图的下栏中，可以看到全细胞电流（红色）是由快速瞬变的内向（Na<sup>+</sup>）电流和延迟但持续的外向（K<sup>+</sup>）电流组成的。✓

### 3.4 变化的命令电位

组.

典型的电压钳实验是利用系统性地改变指令电位，而形成一族电压刺激进行的。

如图所示，应用一组电压刺激，可见外向电流的幅度不断增大，而内向电流的幅度则先增后减，最后完全消失。

### 3.5 I-V 曲线和“逆转电位”

可以通过对其他类型的离子通道进行阻断，来确定特定类型离子通道的电流-电压 (I-V) 曲线。在给出的例子中，就是当 K-电流被 TEA 阻断时，记录到的 Na-电流。

可以看到这种类型的  $\text{Na}^+$  电流的失活过程，而且电流的幅度与命令电压是非单调相关的，甚至其方向由内向电流变为外向电流。

回到问题 1.1，我们观察到，在动作电位的峰值期间， $\text{Na}^+$ -电流会瞬间减小（图 1.1.2）（没有图序）。现在你是否可以理解为什么会发生这种情况，以及为什么  $\text{K}^+$ -电流在后超极化阶段几乎为零，尽管此时  $\text{K}^+$ -电导仍然相当高？

通过绘制最大电流和命令电压之间的关系，可以得到 I-V 曲线。右下图给出了  $\text{Na}^+$ -电流和  $\text{K}^+$ -电流的示例。

在足够高的电压下，两者会呈现一个线性关系，表明已达到最大电导。此时的电流仅取决于驱动力。偏离这样的线性 I-V 关系意味着部分潜在可用的离子通道处于关闭状态。根据实测电流与基于线性关系推断的所有通道均开启时的预期电流之间的关系，可以构建激活曲线。

### 3.6 “逆转电位”

电流改变方向时所对应的电位称为逆转电位。

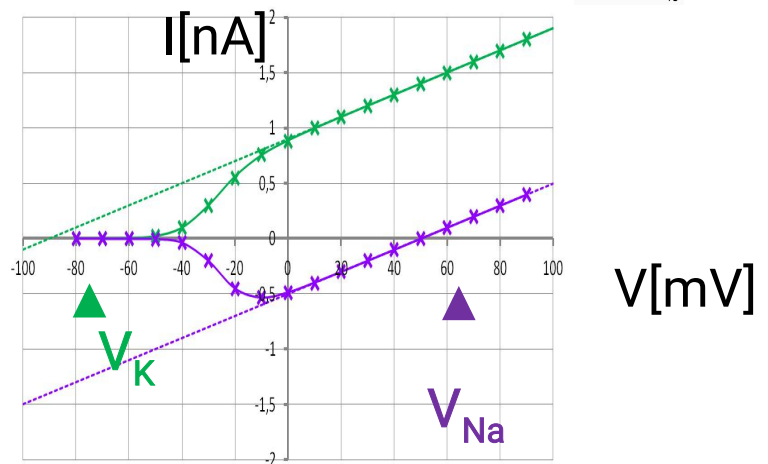
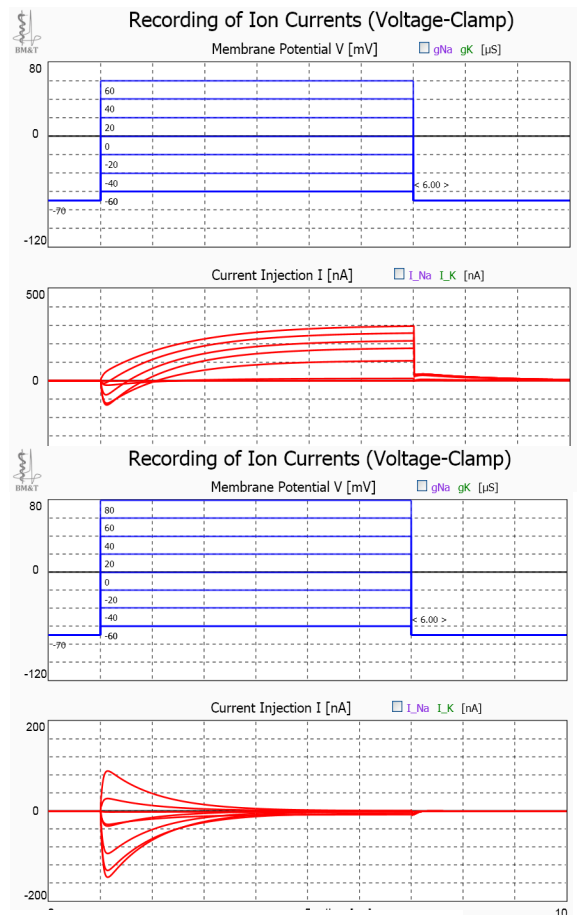
如上面例子所示，对于 Na-电流，在 50 mV 左右时出现这种情况。此时，尽管 Na-通道的开启量达到最大，但是  $\text{Na}^+$ -电流却是为零。原因是，此时“驱动力” ( $V - V_{\text{Na}}$ ) 为零。对于只对一种离子选择性通透的特定离子通道，这种情况发生在其平衡电位，其值由能斯特方程决定。

问题：对于非特异性的阳离子通道（比如说对 Na 和 K 的通透性同样好的通道）来说，其逆转电位如何决定？

why?

逆转电位是离子通道类型的标识性参数，因此是电压钳记录的关键值。它们可以通过 I-V 曲线的过零点来确定，而对于 K-电流，则需要对 I-V 曲线的线性部分进行延伸而得到。

此外，Na-电流的逆转电位可以通过逐步改变去极化电位的幅度来直接测量，关键在于寻找内向电流和外向电流发生切换时的零电流点。



对于 K 电流，逆转电位应该低于静息膜电位。然而，在超极化阶跃电流作用下，K-电流始终为零，因为此时离子通道处于关闭状态。

因此，确定 K-电流的逆转电位需要一种不同的策略，即对“尾电流”的记录。

### 3.7 “尾电流”

由于离子通道关闭的延迟，尾电流出现在阶跃电压结束的时候——前提是此时的驱动力不为零。在静息膜电位条件下，Na 电流和 K 电流都会有这个现象。

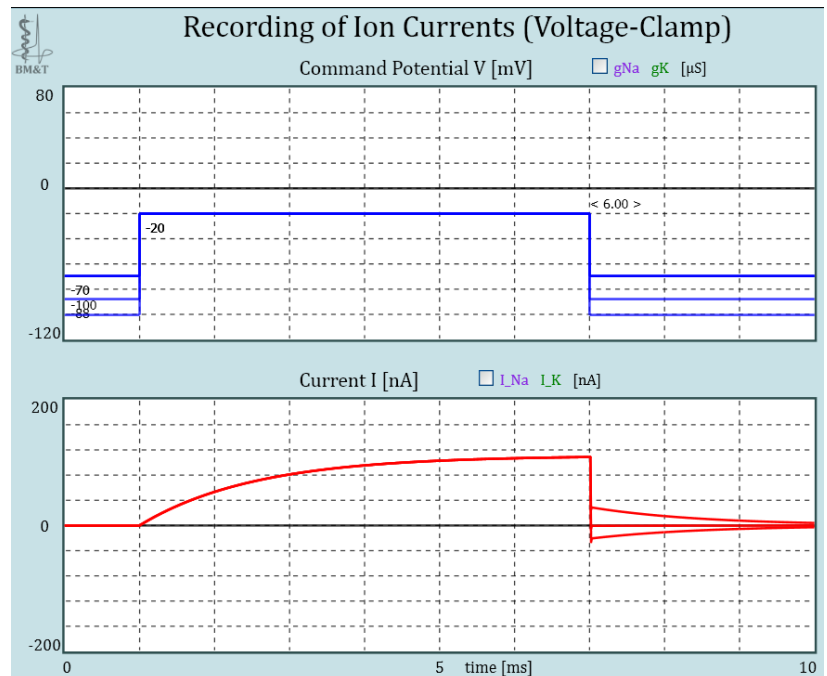
why?

因此，为了确定 K-电流的逆转电位，有必要明确尾电流消失时所对应的电压。为此，你可以更改钳位电位，而不是命令电位，如图所示。在 Na 电流被阻断的情形下，K 平衡电位下的尾电流变为零。

问题：

a) 能否解释一下，为什么即使不阻断 Na 电流，上面显示的尾电流也不会有明显的不同？

b) 对于一个能通透 Na 和 K 电流的非特异性离子通道，为什么可以分别找到这两种离子的逆转电位，而不是两种离子通道的共同的逆转电位？

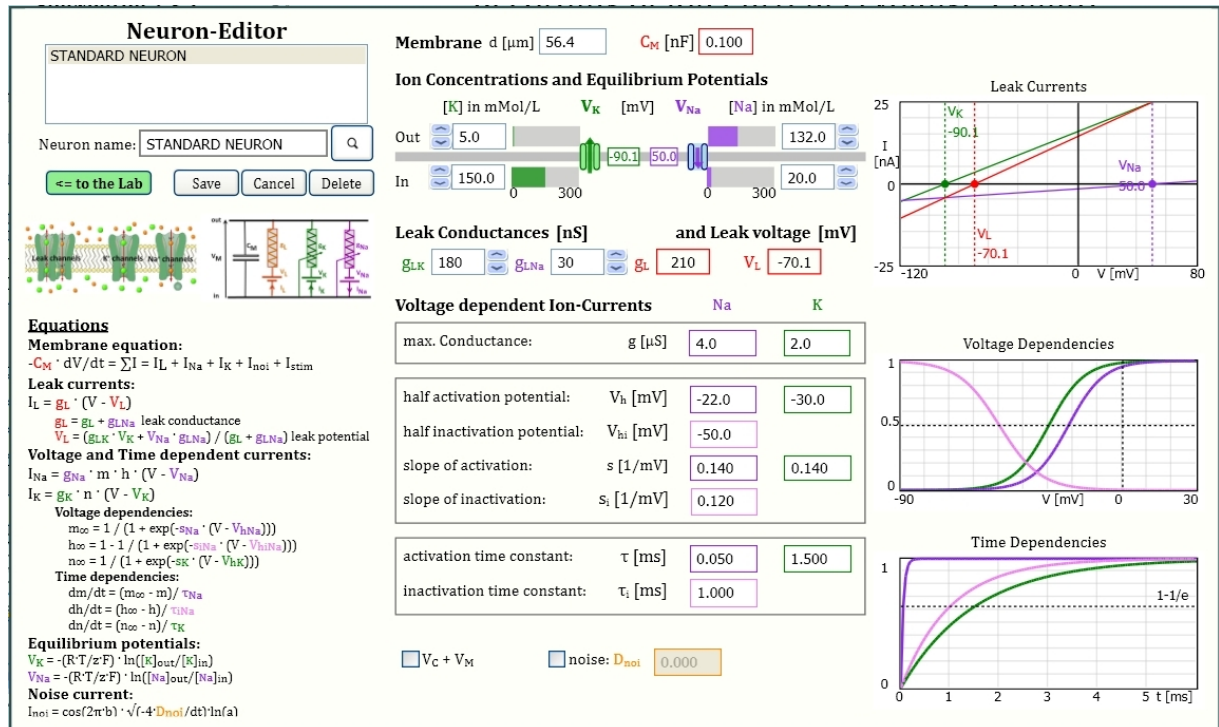




## 4. Neuron 编辑器

SimNeuron 虚拟实验室的神经元反应是数值模拟的结果。“Neuron Editor”提供了调整所有模型参数值的可能性，以考查它们对电流钳和电压钳实验中神经元响应的影响。

可以在任意一个实验室单击相应的按钮转到**神经元编辑器 Neuron Editor**。访问可能受**密码**保护，这个取决于预设置条件（见下文）。



在左上角，你可以看到已生存和保存的**神经元列表**。初始状态下，只有标准神经元 **Standard Neuron**。可以选择一个已有的神经元来改变它的参数值，然后点击**"to the lab"**去查看它的反应。如果修改后的神经元尚未保存，它的文件名将有个扩展名**"test"**。可以用相同的文件名（除了不能使用“标准神经元 Standard Neuron”）或不同的文件名来**“保存 Save”**这个新的神经元。同样，所选定的神经元也可以被**“删除 Delete”**。如果按下**“取消 Cancel”**键，则将返回实验室，而不保存由神经元编辑器 Neuron Editor 操作所进行的任何更改。

在编辑框的下面，有一个关于**膜的简单的示意图**，其含有离子、离子通道以及相应的**等效电路**。这个图的下面给出了完整的**方程组**。

中间部分显示了所有**膜参数的数值**，可以通过**文本编辑框**进行调整。

右边的**图**则是一些功能相关特征的图示。

最上面的文本编辑框指示被选中神经元的**直径和膜电容**。

其下面的文本编辑框**“膜设置 Membrane Settings”**里的“离子浓度和平衡电位 Ion Concentrations and Equilibrium Potentials”以及“漏电导和漏电压 Leak Conductances and Leak Voltages”与所谓的被动膜特性有关。在计算机建模研究中，它主要由单项漏电流  $I_L = g_L \cdot (V - V_L)$  表示，因此仅取决于广义漏电导  $g_L$  和驱动力  $(V - V_L)$ 。“SimNeuron”可以分别调节神经元的主要**漏电导**以及它们的**平衡（能斯特）电位**，后者通过改变作为生理相关参数的**离子浓度**间接地调节。这种参数变化的影响可以直接在右上角标有“漏电流 Leak Currents”的图中进行观察。

在下半部分，根据左边的方程，给出了**“电压依赖的离子电流 Voltage-Dependent Ion-Currents”**的数值参数。由此引起的变量 **m**、**n** 和 **h** 的**电压依赖性**和**时间依赖性**在右侧相应的图中可见。

钳制?

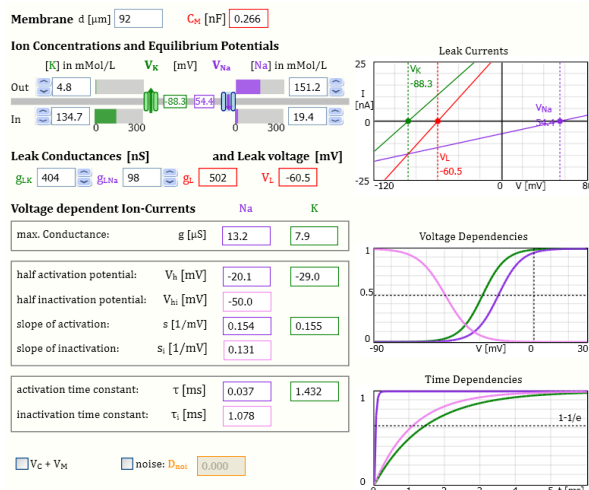
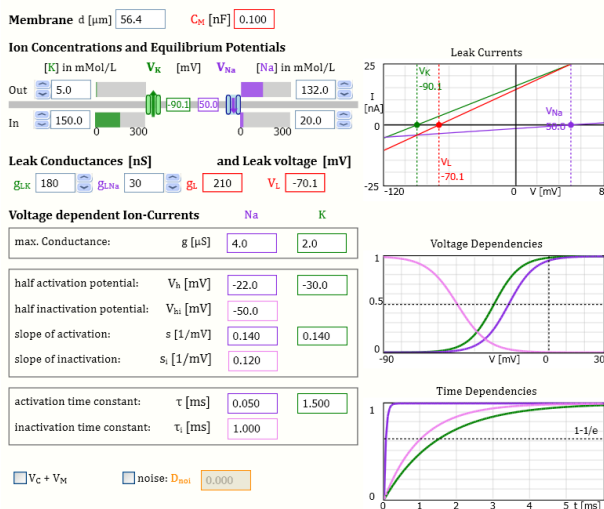
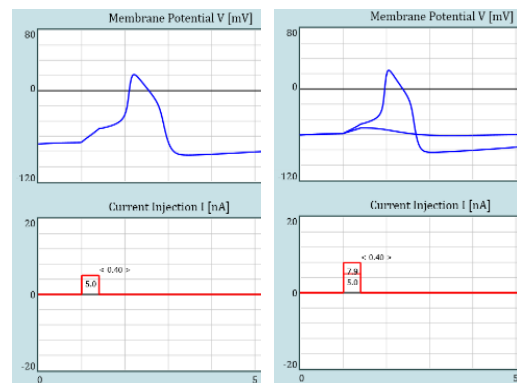
另外两个选择框允许添加“噪声 Noise”电流并调整其强度 D，或者在显示控制电位  $V_c$  的同时也显示实际膜电位  $V_M$ （在电压钳模式下）。

## 4.1 膜参数的比较

在 SimNeuron 实验室进行实验的所有神经元最初都处于稳定状态，即表现出稳定的膜电位。新建的神经元会有随机的参数设置，但也在相应的调整范围内。其原因是，作为初始任务之一，你应该可以确定动作电位（AP）产生的阈值。事实上，你会看到所需的电流强度可能会显著不同。

给出的示例中将标准神经元（Standard Neuron **SN**）与随机参数设置的神经元进行了比较。注入 5 nA 的电流，可以在 SN 中诱导 AP，但是在第二个神经元则只能导致轻微的去极化。在这里，需要大约 8 nA 的刺激脉冲（持续时间一样）才能产生一个 AP，尽管它的静息状态更为去极化。

你可以转到神经元编辑器（Neuron Editor）去比较两个神经元的参数值，以找出阈值较高的可能原因。



事实上，漏电压  $V_L$  大约高了 10 mV 左右（-60.5 mV vs -70.1 mV）。然而，对膜电位具有稳定作用的漏电导  $g_L$  也高得多（约为 2.5 倍），这也反映在更陡的漏电流 I-V 关系中。特别是，神经元直径  $d$  几乎是标准神经元直径的两倍，导致膜电容  $C$  比标准神经元大 2.66 倍。对一个较大的电容进行充电无疑需要更多的电流。

电压依赖电流的参数也有显著差异。Na<sup>+</sup>-离子和 K<sup>+</sup>-离子的最大电导  $g$  大约比原来大 4 倍。然而，这些主要与在给定时间内充放电的膜电容相关的动作电位的幅度有关。时间常数显然没有显著差异。而且电压依赖性也非常相似，因此对 AP 阈值的提高贡献不大。同样，决定了平衡电位的离子浓度的差异，可能也并不起重要作用。

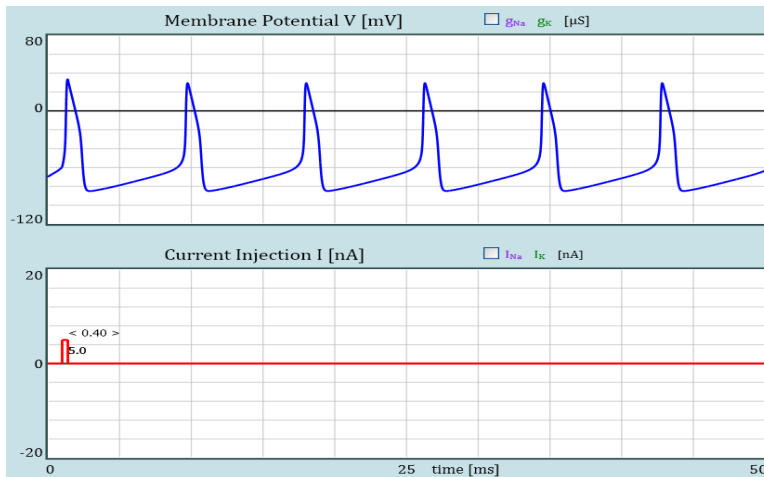
因此，在这个例子中，主要是所谓的被动膜特性（电容和漏电导）和动作电位阈值的提高有关。在其他例子中，也可能是电压依赖的电流或离子浓度。这可以通过选择性地改变特定的膜参数来检查。

## 4.2 膜参数的改变

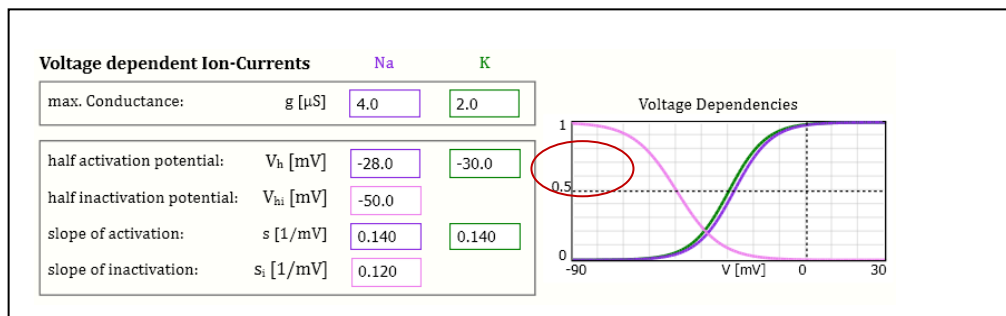
我们使用标准神经元（Standard Neuron）及其定义参数设置来说明某些特定膜参数对神经元兴奋性的潜在影响。

### 4.2.1 $\text{Na}^+$ 电流的电压依赖激活特性的变化 – 建立一个起搏神经元

$\text{Na}^+$  电流和  $\text{K}^+$  电流激活范围之间的关系，特别是它们与漏电位的关系，是决定神经元兴奋性的非常敏感的参数。比如，将  $\text{Na}^+$  通道的半激活电位  $V_h$  稍微移至更负的电位（从  $-22 \text{ mV}$  移至  $-28 \text{ mV}$ ，见插图中的红色圆圈）会产生显著的效果。这将使具有稳定膜电位的标准神经元 Standard Neuron 变为起搏细胞 – 即使没有任何外部刺激，也能产生 APs。与自发产生的 AP 重叠的开始时的刺激脉冲，并不起到作用。为了更好地说明这个重复性的活动，下图中的记录时间扩展为  $50 \text{ ms}$ 。



更易激活

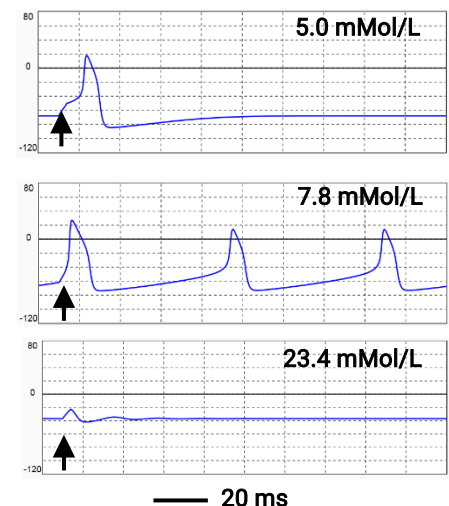


### 4.2.2 Increasing the external $\text{K}^+$ concentration - via pacemaker activity into a depolarization block 通过起搏活动将细胞外 $\text{K}^+$ 浓度增加至去极化阻滞状态

类似的效果，也就是将一个沉默的神经元转变为起搏细胞，可以通过几种不同的方式实现。下面通过增加胞外  $\text{K}^+$  浓度给出了另一个示例。首先，直接效应是  $\text{K}^+$  平衡电位的降低。这个伴随着类似的漏电压的降低。动态相关效应与之前的一样： $\text{Na}^+$  激活曲线和漏电压变得更加接近。当足够的  $\text{Na}^+$  电流被激活，就会在漏电压水平产生再生性去极化而出现自发活动。

改变外部离子浓度是实验研究中常用的方法。即使在临床情况下，增加细胞外  $\text{K}^+$  浓度也是常见的做法，例如使心脏处于去极化阻滞状态以便进行手术。同样的情况也发生在神经元中  $\text{K}^+$  浓度足够高而导致其足够的去极化。如果膜不能产生复极化， $\text{Na}^+$  通道将保持失活状态。

右边的例子中，上面的记录迹线显示，当细胞外  $\text{K}^+$  浓度为  $5.0 \text{ mM}$  时，神经元处于稳定状态，但可以被外部电流刺激（箭头所示）所激活。当细胞外  $\text{K}^+$  浓度为  $7.8 \text{ mM}$  时，神经元的去极化程度足以形成自发的 AP。而当细胞外  $\text{K}^+$  浓度为  $23.4 \text{ mM}$  时（这个值仍然远低于细胞内  $\text{K}^+$  浓度  $150 \text{ mM}$ ），神经元的去极化程度大约在  $-40 \text{ mV}$  左右，而此时大多数  $\text{Na}^+$  通道已经失活。其余的只能诱导一个微小幅度的 AP，随着  $\text{K}^+$  浓度的进一步增加，它将随着膜电位的进一步



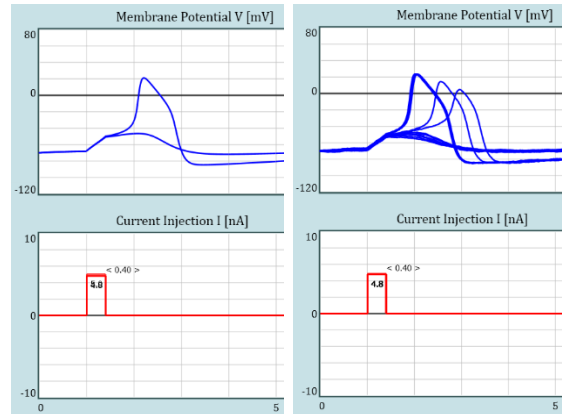
去极化而彻底消失。

### 4.3 引入随机性：噪声电流

所有的实验记录都难免会被随机噪声所污染。除了神经元的多样性，同一个神经元对完全相同的刺激也不会有完全相同的反应。事实上，当使用非常强的超阈值刺激时，不会有太大的差异。然而，在 AP 产生阈值的附近，微小的随机波动则可能足以决定 AP 能否产生。实际上，这种随机性的来源可能不同。在这里，和大多数模型研究一样，我们引入随时间而随机波动的噪声电流。

最初设定的刺激值 (5 nA, 4 ms) 似乎刚好高于标准神经元 (Standard Neuron) 产生 AP 的阈值。重复应用这种刺激，s 所诱导的动作电位的时间过程是完全相同的。当刺激强度稍微降低到 4.8 nA 时，动作电位将不再出现 (见左侧示例)。

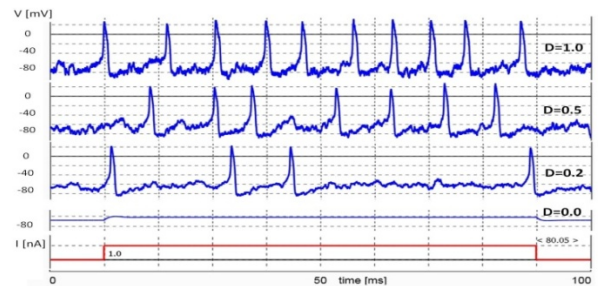
这些完全确定性的情况，只会出现数学或计算机模拟中——但实际情况则不是这样。



右边的记录是在叠加了一个微小的噪声电流 ( $D = 0.01$ ) 的情况下获得的。10 次阈下刺激产生了 4 次动作电位。

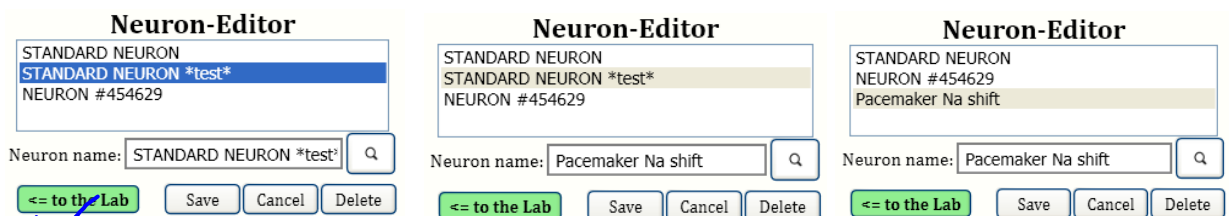
第二个例子用标准神经元 (Standard Neuron) 再次说明了，在一个确定的、明显的阈下刺激作用下，通过噪声强度  $D$  的增加，能导致动作电位放电率的增加。

事实上，在没有额外的电流刺激的情况下，足够强的噪声也能诱导动作电位的发放。



### 4.4 保存 (SAVE) 自行定义的神元

当更改了一个神经元的参数后，这个神经元的文件名将显示在选择框中，扩展名为 **\*test\***——这里显示的是标准神经元 (Standard Neuron) (左侧) 的一个示例，这通常是第一步。可以进入电流钳或电压钳实验室检查参数变化带来的效果。



如果你想对修改过参数值的标准神经元 (Standard Neuron) 进行保存，你必须输入另一个文件名，比如“Pacemaker Na Shift” (根据 4.2.1 中的更改)。标准神经元 (Standard Neuron) 的参数是不能改变的。

如果更改了任何其他一个你自己的神经元的参数，你可以选择是否对这个神经元进行更新，或者用其他文件名来保存这个新的神经元。

任何情况下，按下保存 (SAVE) 按钮后，新的神经元将显示为实际激活的神经元。

Save

**请注意：**列表中所有神经元的参数文件将以扩展名“.VAR”保存在特定文件夹“sim-original”中。你可以在“My Documents\Viphy\SimNeuron\Files\”中找到文件夹“**sim-original**”。

如果累积的神经元太多了，你可以手动删除文件夹“**sim-original**”中不需要的神经元。

.



## 5. 预设置

SimNeuron 版本 2.3 以及更高版本允许你指定学生可以访问的程序的特定功能，这可以在预设置窗口中完成。可以通过实验室开关栏中的“设置 (SETTING)”按钮将其打开。预设置操作受密码保护，初始密码是“admin”。在预设置窗口中单击“更改密码 (change password)”按钮，可以对密码进行更改。

按下“设置 (SETTING)”按钮并输入正确的密码，就会弹出一个窗口，如下图所示。有一个功能列表，你可以进行选项 (“是 (Yes)”或“否 (No)”)。这个图中的设置与初始设置相同，右侧显示了附加说明。其他解释如下文。

SimNeuron Pre-settings	Yes	No	Description
Open the lab with a randomly generated neuron?	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	On "yes", in the current-clamp lab two buttons will appear in the right lower corner of the current display which allows switching from conventional step-like current injection to ramp-like current stimuli.
Allow receipt of additional neurons?	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Get randomly generated neurons with noise?	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
Access to the "Neuron Editor"	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Save new neurons?	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Show numerical values and set marks.	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Display conductances	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Display currents separately	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Show reset Button (Initial settings)	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
Allow switching to current ramp	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	

change password

CANCEL OK SAVE

在电流钳实验室按下“是 (yes)”按钮，电流显示器的右下角将出现两个按钮，允许从传统的阶跃电流切换到斜坡电流刺激。

### 1) 用一个随机产生的神经元进行实验操作? English

可以自行决定在程序启动时选用什么样的神经元。如果选择“是 (Yes)”，即可得到一个参数值随机选定的神经元。

选择“否 (No)”则将在启动 SimNeuron 时使用“标准神经元 (Standard Neuron)”，这个“标准神经元”是始终相同且不能更改的。

注意：当这个选项设置为“是 (Yes)”以接收随机产生的神经元时，并不妨碍“标准神经元 (Standard Neuron)”，以及所谓的“通用神经元 (General Neuron)”和“起搏神经元 (Pacemaker Neuron)”的使用。

## 2) 允许使用新的神经元?

English

corner of the labs. 如果这个选项为“是 (Yes)”，即可在实验室左下角实验设置示意图上点击鼠标右键来获得具有随机参数值的其他神经元。

如果这个选项为“否 (No)”，则不能产生新的神经元。

## 3) 在噪声环境产生随机神经元?

English

选择“是 (Yes)”意味着随机产生的神经元包含一个噪声项。这不仅使记录数据看起来更加真实，动作电位产生的阈值和持续时间也会呈现出一定的变异性。

如果为了得到在相同刺激作用下具有完全可重复反应的确定性模拟，这个选项应设为“否 (No)”。如果具有操作权限，仍然可以通过神经元编辑器 (Neuron Editor) 来添加噪声 (参见下一条)。

## 4) 进入“神经元编辑器 (Neuron Editor)”

English

如果这个选项设为“是 (Yes)”，可以进入“神经元编辑器 (Neuron Editor)”，点击相应的按钮在 SimNeuron 里打开电压钳和电流钳实验室。

如果这个选项设为“否 (No)”，则不能进入“神经元编辑器 (Neuron Editor)”。

“神经元编辑器 (Neuron Editor)”显示当前神经元的完整的方程和所有参数值。神经元参数可以改变，也就是说可以检查这些参数对神经元反应的影响，或通过改变参数来产生具有特定性质的新的神经元。

## 5) 保存新的神经元?

English

如果这个选项设为“是 (Yes)”，则在当前窗口生成的新神经元将被加入到可用神经元列表中，并在下一次实验的窗口中显示。

如果这个选项设为“否 (No)”，则在程序退出时将删除当前窗口生成的所有神经元，而之前的神经元列表依然保存。

当然，只有当上面的一个或两个选项（接受随机生成的神经元或访问神经元编辑器）被激活时，这个选项才会有效。

## 6) 显示数值并设置标记

English

如果选择“是 (Yes)”，就可以使用鼠标左键，点击记录曲线中的任意一点，这时会在鼠标指针的顶端出现一个小圆圈，同时显示记录数据的 x/y 数值，即时间点以及相应的电压或电流值。

同时按下鼠标右键将在当前鼠标位置上留下一个圆圈作为标记。相应的 x/y 值将存储在曲线的上方。按键盘上的“删除 (Delete)” (或“清除 (Clear)”) 键可以删除最后形成的标记。

## 7) 显示电导

English

选择“是 (Yes)”会在屏幕上显示一个选择框（在电压曲线上方），选中这个选择框可以显示 Na 和 K 电导的时间过程 — 当然，这在实际的实验中是无法直接看到的。

如果选择“否 (No)”，则这个选项会被阻止，选择框将不再显示。

## 8) 单独显示电流

English

If "Yes" is selected **several** check boxes (above the current chart) will be accessible allowing to display the voltage dependent Na and K currents separately, in the Current Clamp lab also with or without the leak current. 如果选择“是 (Yes)”，则会出现**多个 (未见) 选择框**（在电流曲线上方），以便在电流钳实验室中单独显示电压依赖的 Na 和 K 电流，无论是否有泄漏电流。

当选项设为“否 (No)”时，就不能这么做了。选择框会被隐去。

#### 9) 显示重启 (Reset) 按钮 (初始设置) *Gongrich*

如果选择“是 (Yes)”，右上角将出现一个按钮，允许重新设置初始值（在程序启动后调整标尺和刺激）。

#### 10) 允许切换到斜坡电流 *Gongrich*

如果选择“是 (Yes)”，在电流钳实验室，电流曲线的右下角会出现两个按钮，允许从传统的阶跃电流切换到斜坡电流刺激。

### 按钮：

**改变密码 (change password)：** 开启窗口改变密码

**撤销 (CANCEL)：** 关闭预设窗口并放弃当前改变

**OK：** 以更改的参数进行当前实验

**存储 (SAVE)：** 保留已更改的预设值以备下次程序启动时使用