

# Исследование функций нервной системы на базе нейростимуляции

Нестеров И.Д., Шацких И.М., Щеглюк А.А.

## Содержание

<b>Введение</b>	<b>2</b>
Физиология нервной системы человека . . . . .	2
Передача информации в нервной системе . . . . .	6
<b>Ход работы</b>	<b>8</b>
Оборудование . . . . .	8
Методы и результаты . . . . .	8
Вычисление СРВ . . . . .	10
<b>Выводы</b>	<b>11</b>

## Введение

**Цель работы:** Ознакомиться с электронейромиографией на базе нейростимулятора. На основе стимуляций вычислить скорость распространения возбуждения.

## Физиология нервной системы человека

Нервная система представляет собой сеть нейронов, основной функцией которой является генерация, модуляция и передача информации между различными частями человеческого тела. Это свойство обеспечивает многие важные функции нервной системы, такие как регуляция жизненно важных функций организма (сердцебиение, дыхание, пищеварение), ощущения и движения тела. В конечном счете, структура нервной системы контролирует все физиологические и психофизиологические процессы.

Нервная система состоит из двух отделов, связанная сетью нейронов, которая отправляет, получает и модулирует нервные импульсы между различными частями тела:

- *Центральная нервная система (ЦНС)* является интеграционным и командным центром организма.
- *Периферическая нервная система (ПНС)* представляет собой канал между ЦНС и организмом. Далее она подразделяется на *соматическую нервную систему (СНС)* и *вегетативную нервную систему (ВНС)*.

В нервной системе присутствуют два основных типа клеток – это нейроны и глиальные клетки.

Нейроны, или нервные клетки, являются основными структурными и функциональными единицами нервной системы (рис. 1). Каждый нейрон состоит из тела (*сомы*) и ряда отростков (*нейритов*). Тело нервной клетки содержит клеточные органеллы и является местом генерации нервных импульсов (*потенциалов действия*). Процессы исходят из организма, они соединяют нейроны друг с другом и с другими клетками тела, обеспечивая поток нервных импульсов. Существует два типа нервных процессов, которые различаются по структуре и функциям:

- *Аксоны* длинные и проводят импульсы от тела нейрона.
- *Дендриты* короткие и принимают импульсы от других нейронов, проводя электрический сигнал к телу нервной клетки.

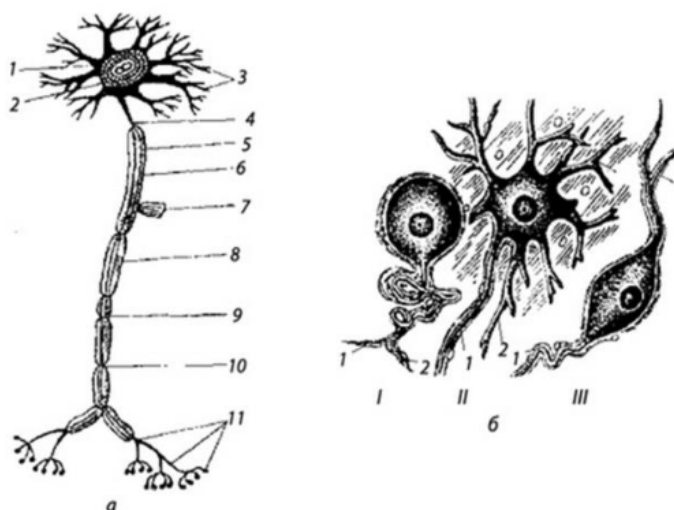


Рис. 1: Схема нейрона (по И.Ф. Иванову): 1 - тело; 2 - ядро; 3 - дендриты; 4,6 - нейриты; 5,8 - миелиновая оболочка; 7 - коллатераль; 9 - перехват/узел Ранвье; 10 - ядро леммоцита; 11 - нервные окончания; I - униполярная; II - мультиполярная; III - биполярная; 1 - неврит; 2 - дендрит.

Каждый нейрон имеет один аксон, а количество дендритов варьируется. Исходя из этого числа, существует четыре структурных типа нейронов: *мультиполярный, биполярный, псевдоуниполярный и униполярный*.

Существует два типа нейронов, названных в зависимости от того, посылают ли они электрический сигнал в сторону ЦНС или от нее:

- *Эфферентные нейроны* (моторные или нисходящие) посылают нервные импульсы от ЦНС к периферическим тканям, инструктируя их, как функционировать.
- *Афферентные нейроны* (сенсорные или восходящие) проводят импульсы от периферических тканей к ЦНС. Эти импульсы содержат сенсорную информацию, описывающую среду ткани.

Место, где аксон соединяется с другой клеткой для передачи нервного импульса, называется синапсом (рис. 2). Синапс не соединяется напрямую со следующей клеткой. Вместо этого импульс вызывает выброс химических веществ, называемых нейротрансмиттерами, из самого конца аксона. Эти нейротрансмиттеры связываются с мембраной эффекторной клетки, вызывая биохимические события, происходящие внутри этой клетки в соответствии с приказами, посылаемыми ЦНС.

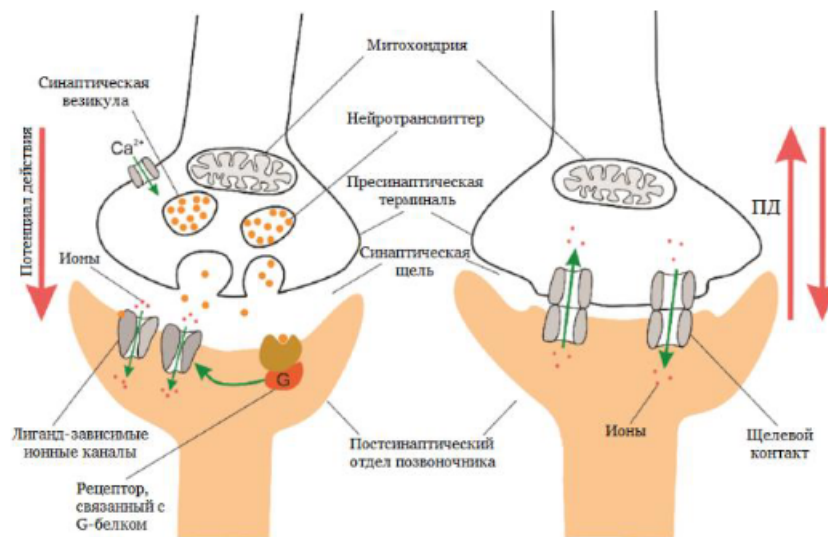


Рис. 2: Структура синапса.

*Синапс* – это функциональное соединение между нервным волокном и иннервируемой тканью. Синапс обеспечивает передачу возбуждения от нервного волокна к иннервируемой им ткани – мышечной, нервной или железистой.

Каждое разветвление аксона заканчивается аксон-терминальной выпуклостью, похожей на луковицу, это синаптическая пуговка, которая располагается в углублении сарколеммы. Эта часть сарколеммы называется концевой пластинкой. Если нервное волокно иннервирует мышечную ткань, синапс называется *нервно-мышечным*.

*Глиальные клетки*, также называемые нейроглией или просто глией, представляют собой более мелкие невозбуждающие клетки, которые поддерживают нейроны. Они не распространяют потенциалы действия. Вместо этого они миелинизируют нейроны, поддерживают гомеостатический баланс, обеспечивают структурную поддержку, защиту и питание нейронов во всей нервной системе.

Этот набор функций обеспечивают четыре разных типа глиальных клеток:

- Миелинизирующая глия образует миелиновую оболочку, изолирующую аксоны. Они называются *олигодендроцитами* в ЦНС и *шванновскими клетками* в ПНС.
- *Астроциты* (ЦНС) и *спутниковые глиальные клетки* (ПНС) выполняют общую функцию поддержки и защиты нейронов.
- Два других типа глиальных клеток встречаются исключительно в ЦНС:
  - *Микроглия* — это фагоциты ЦНС.
  - *Эпендимальные клетки*, выстилающие желудочковую систему ЦНС.

Большинство аксонов покрыто белым изолирующим веществом, называемым *миелиновой оболочкой*, которое вырабатывается олигодендроцитами и шванновскими клетками. Миелин сегментарно окружает аксон, оставляя безмиелиновые промежутки между сегментами, называемые *перехватами Ранвье* (рис. 3). Нейронные импульсы распространяются только через узлы Ранвье, минуя миелиновую оболочку. Это значительно увеличивает скорость распространения нервного импульса.

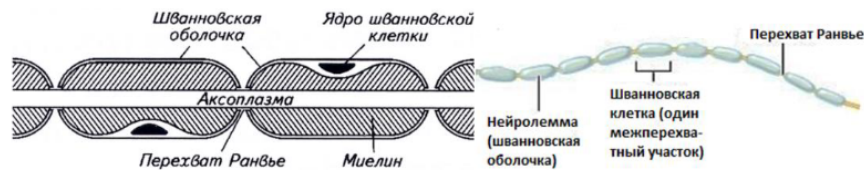


Рис. 3: Пример структуры глиальной клетки.

За счет миелинового слоя можно выделить два типа проведения сигнала по нерву — *сальтаторное* и *непрерывное*.

*Сальтаторная проводимость* происходит в миелинизированных аксонах, которые позволяют потенциалу действия возникать только в *перехватах Ранвье*. Следовательно, нервные импульсы распространяются быстро, прыгая от одного узла Ранвье к следующему узлу. Поэтому сальтаторное проведение — самый быстрый способ передачи потенциала действия. Напротив, *непрерывная проводимость* имеет место в немиелинизированных аксонах. Потенциал действия генерируется по всей длине немиелинизированного аксона. Следовательно, он передает нервные импульсы медленно. Кроме того, сальтаторное проведение более эффективно, поскольку его энергетические затраты невелики по сравнению с продолжительным проведением.

## Передача информации в нервной системе

Раньше нервное волокно и его содержимое сравнивали с металлической проволокой, а мембрану — с изоляцией вокруг провода. Это сравнение было ошибочным по ряду причин. Носителями заряда в нервах являются ионы, а не электроны, и плотность ионов в аксоне значительно меньше, чем электронов в металлической проволоке. Например, в реакции образования соли из натрия и хлора каждый атом натрия отдает отрицательно заряженный электрон атому хлора. В результате получается хлорид натрия ( $\text{NaCl}$ ), состоящий из одного положительно заряженного иона натрия ( $\text{Na}^+$ ) и одного отрицательно заряженного иона хлорида ( $\text{Cl}^-$ ). Положительно заряженный ион называется *катионом*; отрицательно заряженный ион — *анионом*. Электрические события, составляющие передачу сигналов в нервной системе, зависят от распределения таких ионов по обе стороны нервной мембраны.

Электрический потенциал, существующий в нейронах, основан на распределении ионов через плазматическую мембрану и что это распределение происходит за счет проникновения через мембрану. Фактически ионы почти всегда гидратированы в виде ионно-водных комплексов, которые с большим трудом проникают через гидрофобный липидный бислой плазматической мембраны. Проникновение фактически происходит через встроенные в него белковые структуры в липидном бислое и охватывает мембрану от цитоплазмы до внеклеточной жидкости.

Нейрон находится в состоянии покоя, когда он не посылает электрический сигнал. В это время внутренняя часть нейрона отрицательна по отношению к внешней. Хотя концентрации различных ионов пытаются сбалансироваться по обе стороны мембраны, это не удается, поскольку клеточная мембрана позволяет только некоторым ионам проходить через ионные каналы. В состоянии покоя ионы калия ( $\text{K}^+$ ) легко проникают через мембрану. Также в состоянии покоя ионам хлорида ( $\text{Cl}^-$ ) и ионам натрия ( $\text{Na}^+$ ) труднее проникать. Потенциал покоя нейрона составляет около  $-70$  мВ — это означает, что внутри нейрона на  $70$  мВ меньше, чем снаружи (рис. 4).

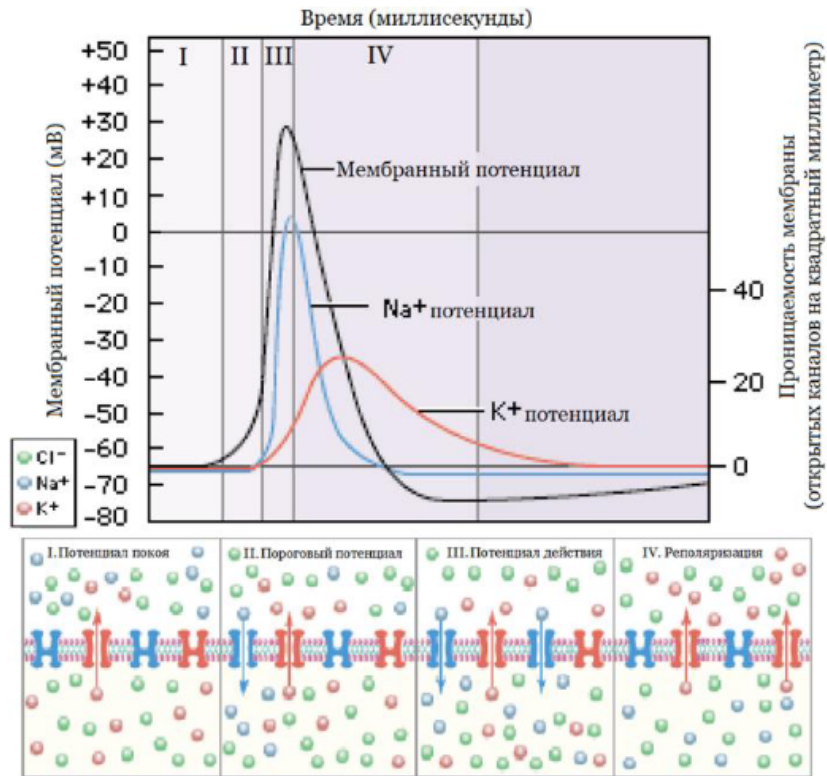


Рис. 4: Графическая зависимость ионной проницаемости и потенциала действия.

Потенциал действия возникает, когда нейрон отправляет информацию по аксону в сторону от тела клетки. *Потенциал действия* – это вспышка электрической активности, создаваемый деполяризующим током. Это означает, что какое-то событие (стимул) заставляет потенциал покоя двигаться в сторону 0 мВ. Когда деполяризация достигает примерно -55 мВ, нейрон запускает потенциал действия.

## Ход работы

### Оборудование

В ходе лабораторной работы использовался нейростимулятор. Он состоял из регистрирующего и стимулирующего электродов. Также вспомогательно использовались спиртосодержащие салфетки для очистки электродов и нивелирования жировых выделений, увеличивающих импеданс, а также электролитный гель.

### Методы и результаты

Во время проведения эксперимента регистрирующий электрод располагался на фаланге среднего пальца правой руки. Стимуляция производилась последовательно в трёх местах: запястье (рис. 5), локтевой сгиб (рис. 6) и нижняя треть плеча (рис. 7).

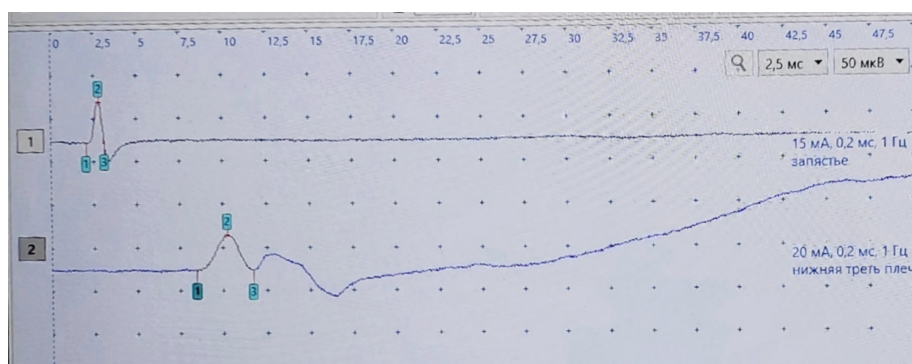


Рис. 5: Ответный сигнал на стимуляцию запястья (Сверху).

Параметры стимуляции:

Точка стимуляции	Запястье
Латентность, мс	2.0
Расстояние, мм	135
Амплитуда, мВ	0.05
Длительность, мс	1.1



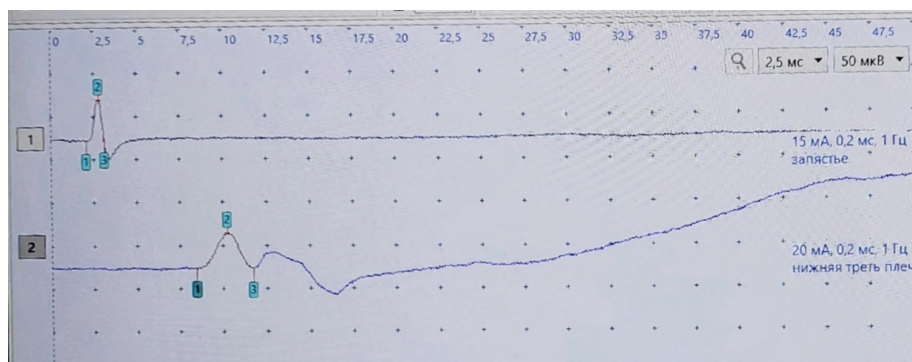


Рис. 6: Ответный сигнал на стимуляцию нижней трети плеча (Снизу).

Параметры стимуляции:

Точка стимуляции	Нижняя треть плеча
Латентность, мс	8.4
Расстояние, мм	70
Амплитуда, мВ	0.04
Длительность, мс	3.3

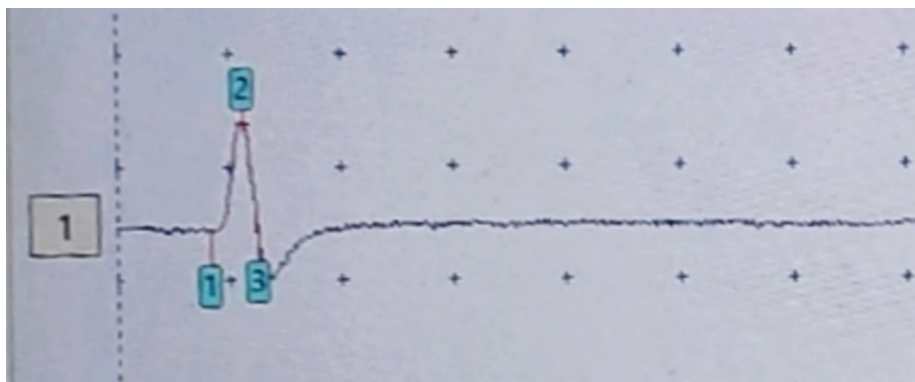


Рис. 7: Ответный сигнал на стимуляцию локтевого сгиба.

Параметры стимуляции:

Точка стимуляции	Локтевой сгиб
Латентность, мс	5.2
Расстояние, мм	233
Амплитуда, мВ	0.02
Длительность, мс	1.6

### Вычисление СРВ

При помощи полученных данных может быть вычислена *скорость распространения возбуждения* (СРВ):

$$CPB = \frac{D_P - D_D}{T_P - T_D} \quad (1)$$

Где  $D_P - D_D$  - разность длин между проксимальной и дистальной точками стимуляции относительно регистрирующего электрода.  $T_P - T_D$  - разность латентностей при стимуляции проксимальной и дистальной точек соответственно.

Найдём 3 величины СРВ:

- СРВз-л - между запястьем и локтевым сгибом.
- СРВл-п - между локтевым сгибом и нижней третью плеча.
- СРВз-п - между запястьем и нижней третью плеча.

После подстановки значений получаем результаты:

- $CPB_{3-л} \approx 30$  м/с.
- $CPB_{л-п} \approx 10$  м/с.
- $CPB_{3-п} \approx 48$  м/с.

Порядок величин совпадает с истинными значениями.

## Выводы

В данной работе был проведён ряд стимуляций нейро-мышечного волокна. С помощью параметров ответных сигналов были вычислены скорости распространения возбуждения волокна в разных частях руки, которые согласуются с известными результатами.