

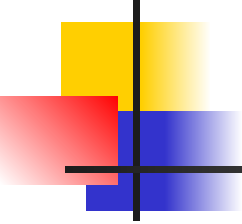


Введение в нейрофизиологию

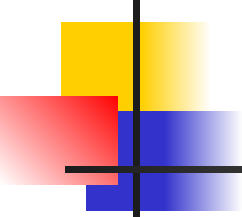


План лекции

1. Введение
2. История развития нейрофизиологии
3. Основные процессы в нервной системе
4. Нейрон – как структурно-функциональная единица нервной системы
5. Заключение



**РЕКОМЕНДУЕМАЯ
ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ
САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ
ПОДГОТОВКИ**

- 
-
- Крылова Н.В., Искренко И.А. Мозг и проводящие пути: Анатомия человека в схемах и рисунках: Атлас-пособие. Изд. 3-е. - М.: Изд-во РУДН, 2000.
 - Коган А.Б. Функциональная организация нейронных механизмов мозга. - Л., 1979.
 - Котляр Б.И., Шульговский В.А. Физиология ЦНС. - М., 1985.

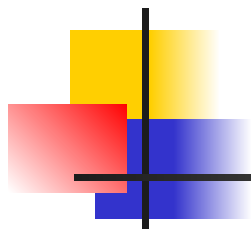
Введение

- **Нейрофизиология** относится к разделу физиологии, который изучает функции *нервной системы*, в том числе её единиц - *нейронов*.
- **Нейрофизиология** – это наука о *жизнедеятельности головного мозга*, о его *взаимодействии* с внешней средой и *динамике процессов*, протекающих на уровне мембраны нервных клеток, синапсов и нервных тканей.



Разделы нейрофизиологии

- **Общая нейрофизиология** - изучает закономерности функционирования нервной системы на разных уровнях.
- **Возрастная нейрофизиология** — это раздел, посвященный изучению возрастных и индивидуальных особенностей мозгового обеспечения высших нервных и психических процессов.
- **Клиническая нейрофизиология** изучает особенности функционирования мозга при патологических процессах.



История открытия и развитие представлений о биопотенциалах головного мозга

История развития нейрофизиологии

Поиски истоков
человеческого
сознания

Религия

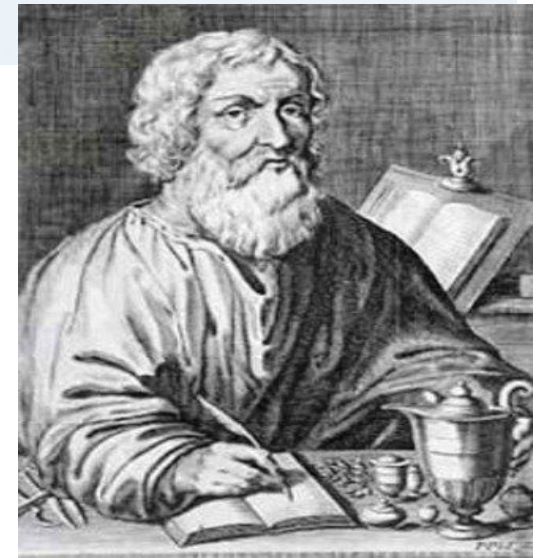
Философия

Биология

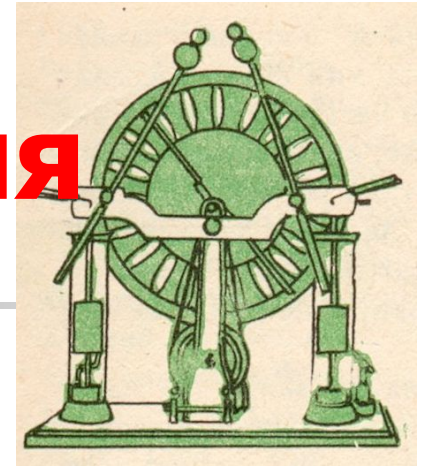
Физиология
(1628 год –
Уильям Гарвей
кровообращение)

Нейрофизиология
(30-е годы XVII в
Рене Декарт)

Зависимость **сознания от мозга** утверждал еще отец медицины - **Гиппократ**.
Ученики Гиппократа, следуя своему учителю, рассматривали мозг как центр всех центров и главный орган ума.

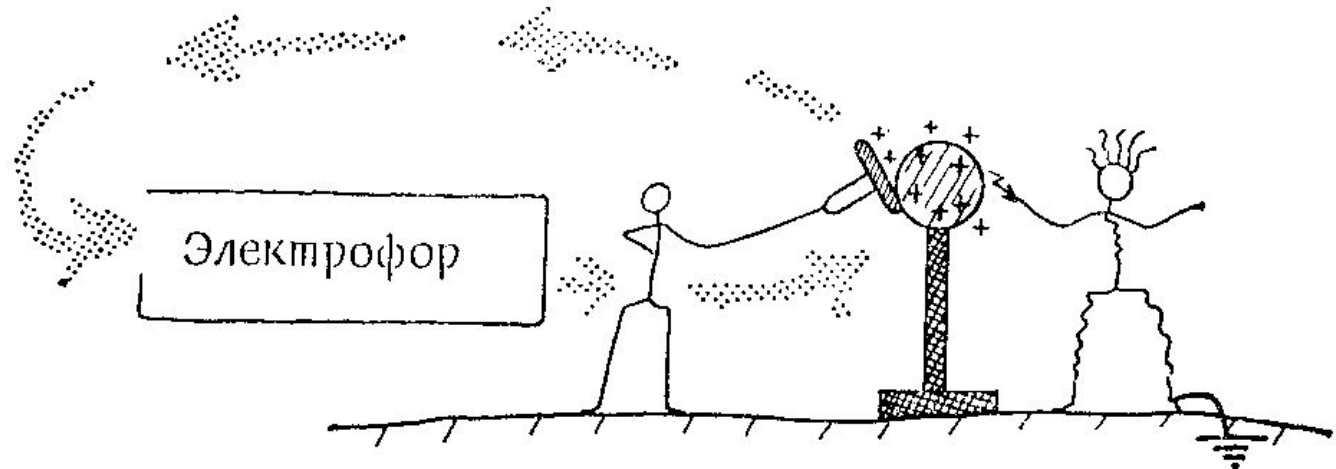
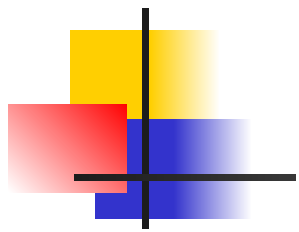


Первые исследования



около 620-550 до н.э. – Фалес Милетский - считается первооткрывателем статического электричества, производимого трением (например, трением меха или стекла о шелк). Трение признавалось источником феномена, который получил название «электрон», происходящее от греческого слова, обозначающего янтарь.

около 1600 года - Вильям Гильберт (William Gilbert) начал изучать электрические свойства различных веществ, а **Отто ван Герик** (Otto von Guericke 1602-1686) изобрел электрофорную машину для создания электрических полей.



История **электрофизиологии** началась с изучения влияния электричества на организм. В 18 веке физики, занимавшиеся изучением электрических зарядов, неоднократно сталкивались с фактом их раздражающего действия на организм.

Раздражение вызывало своеобразное субъективное ощущение и некоторые воздействия на организм, например, непроизвольные и судорожные сокращения и подергивание мышц. Эти влияния привлекли внимание врачей и физиологов.

История развития нейрофизиологии

- Первые представления о рефлекторном принципе действия нервной системы человека были сформулированы в XVII столетии французским философом, математиком и физиологом Рене Декартом.



Рене Декарт

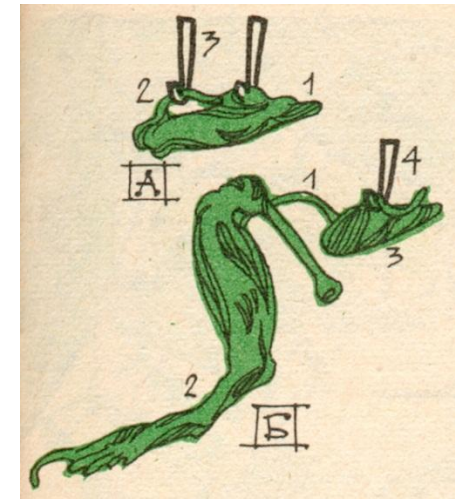


Ответная реакция по Декарту

История развития

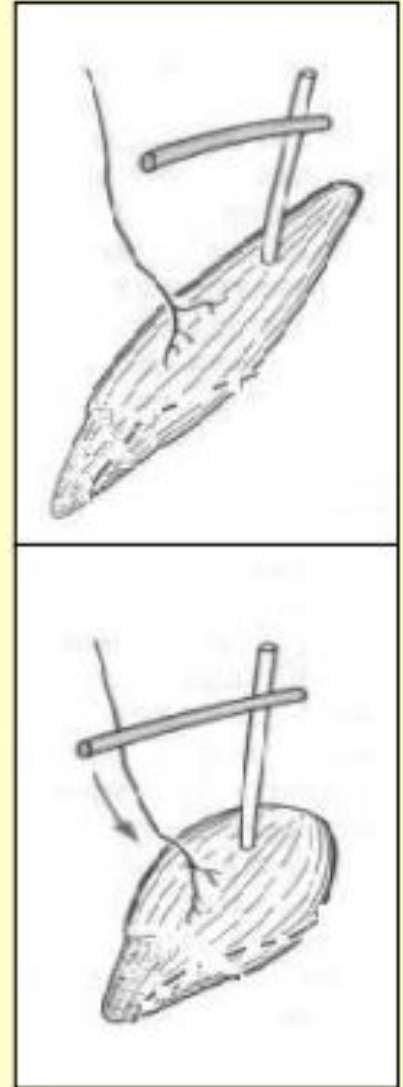
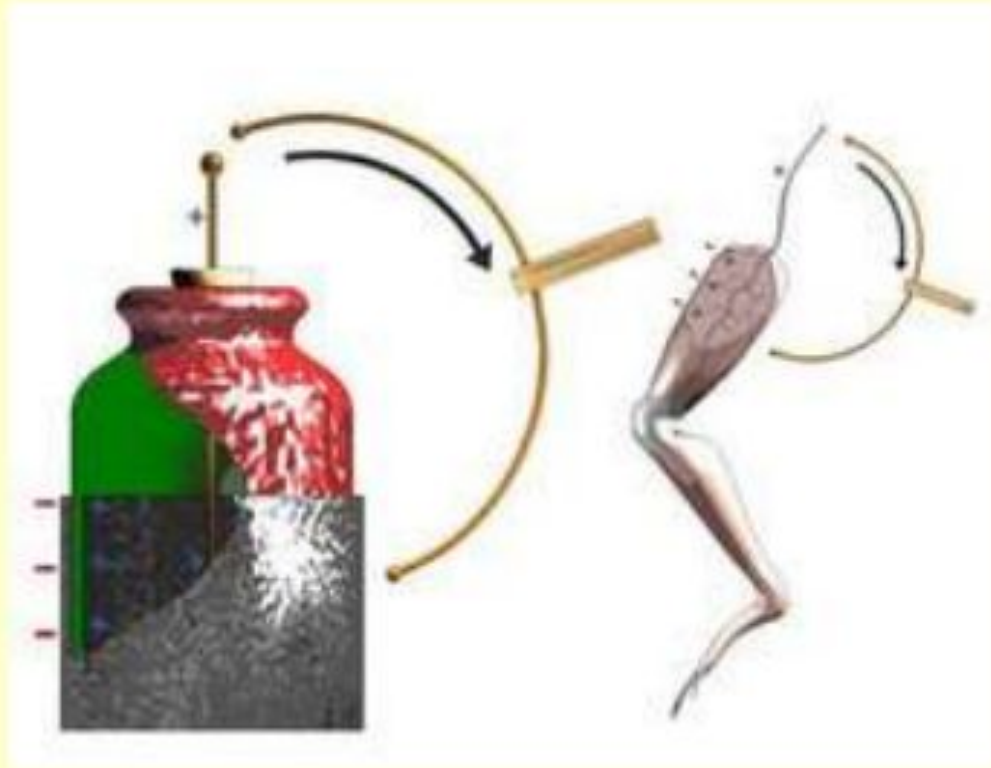
Начало
нейрофизиологии
электрофизиологии

обычно связывают со знаменитыми опытами итальянского врача, анатома и физиолога **Луиджи Гальвани** (L. Galvani 1737-1798). В 1791 г. Гальвани опубликовал «Трактат о силах электричества при мышечном движении».



Открытие «животного электричества»

В 1791 г. **Л. Гальвани** обнаружил, что если к **нервно-мышечному препарату лягушки** приложить две соединенные между собой пластинки из разнородных металлов, то мышца сокращается. Л. Гальвани объяснял это явление протеканием **«животного электричества»**, которое, по его мнению, зарождалось в нервах и запасалось в мышцах.



Карло Маттеучи (Carlo Matteucci

1811 – 1868) в 1830-1840 годах

показал, что в мышце всегда

может быть отмечен

электрический ток, который течет

от ее неповрежденной поверхности

к поперечному разрезу. Опыт

Гальвани он объяснял выходом

отрицательного заряда по нерву как

проводнику из глубины мышцы.

Маттеучи так же показал, что

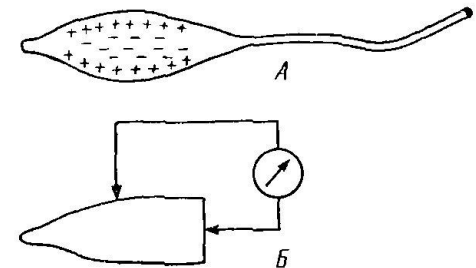
электрический ток, возникающий

при возбуждении тканей, способен

раздражать другую возбудимую

ткань («опыт с вторичным

сокращением»).

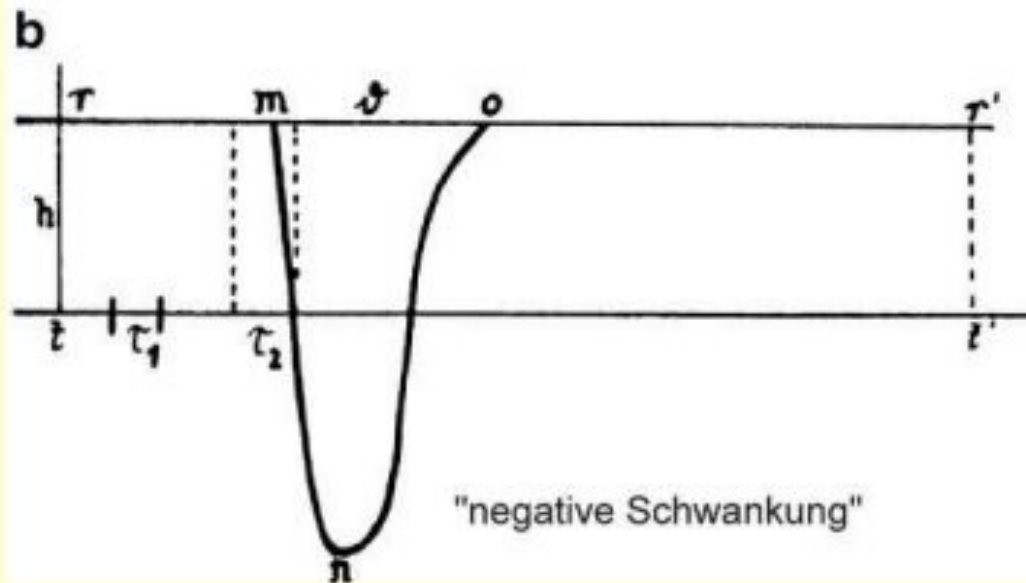
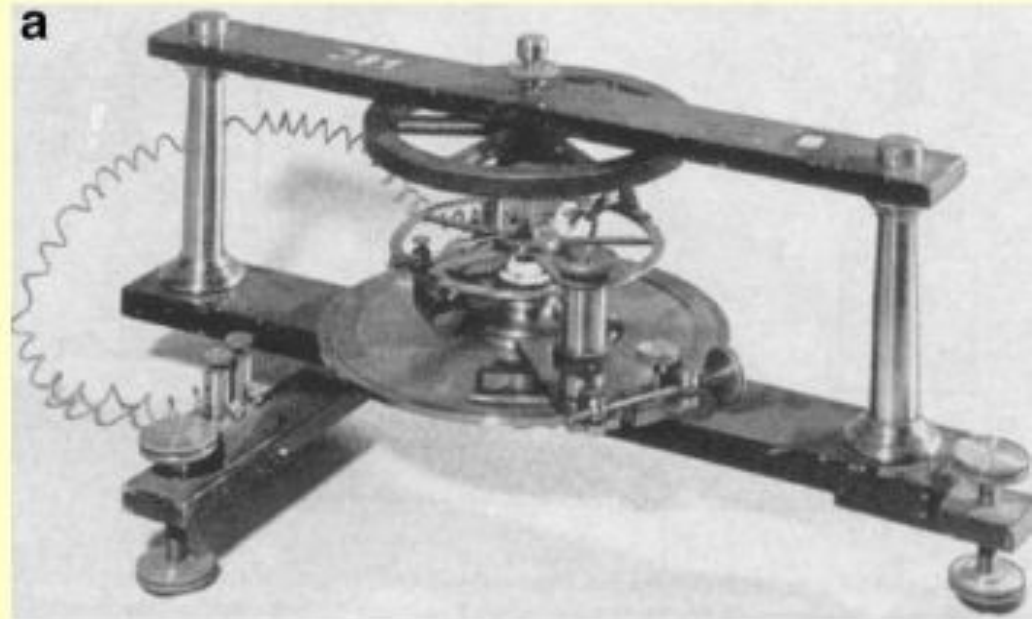


Распределение электрических зарядов в нервно-мышечном препарате (А) и разность потенциалов (Б), регистрируемая между неповрежденной и поврежденной поверхностями мышцы (по Маттеучи)

Первое измерение «животного электричества»



1839-1917



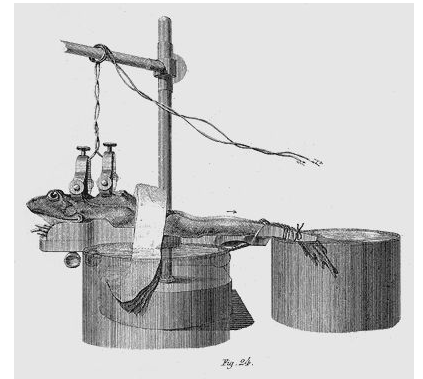
Bernstein J (1868)
Ueber den zeitlichen Verlauf der negativen
Schwankung des Nervenstroms.
Pflügers Arch 1:173–207

История развития нейрофизиологии

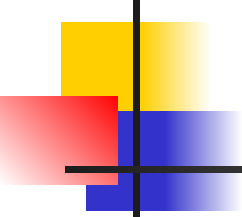
Первая публикация о
наличии **ТОКОВ В**
центральной нервной
системе (ЦНС) была
сделана основоположником
электрофизиологии нервов
и мышц **Эмилем Дюбуа**
Реймоном.



Эмиль Дюбуа Реймон



*Опыт по электрофизиологии
нервов и мышц
лягушки [Du Bois-Reymond: Frog
Experiment (1848)]*

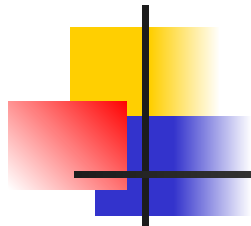


В 1875 году английский хирург и физиолог **Ричард Кэтон** на заседании Британской медицинской ассоциации впервые сообщил, что ему удалось **зарегистрировать от мозга кроликов и обезьян слабые электрические токи.**

Таким образом, было показано, что мозг является **генератором электрической активности**, то есть были открыты **биотоки мозга.**



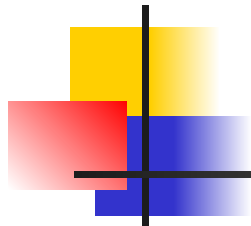
Richard Caton
(1842 – 1926)



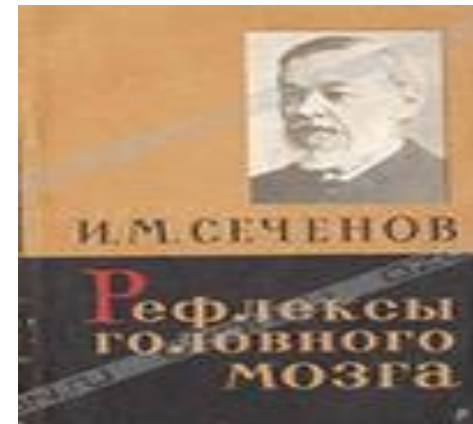
В 1875 г. **В.Я. Данилевский** изложил данные по изучению фоновой электрической активности обнаженного мозга у собак, с помощью гальванометрической установки. Выделил две основные формы активности – **фоновую**, то есть спонтанно возникающую в спокойном состоянии животного, при видимом отсутствии раздражений рецепторов и проводящих путей и **вызванную** – на свет, звук, при электрической стимуляции седалищного нерва, а так же на запах аммиака, амилнитрита и пищи.



***Василий
Яковлевич
Данилевский***



*Иван Михайлович
Сеченов*



**1864 г. «Рефлексы
головного мозга»**

В **1882** году **И.М.Сеченов** опубликовал работу “Гальванические явления на продолговатом мозге лягушки” – впервые был установлен факт наличия ритмической активности. Эту активность он назвал спонтанной, так как она возникала без видимых внешних причин. Сеченов показал, что раздражение периферических нервов приводит к угнетению спонтанных колебаний.



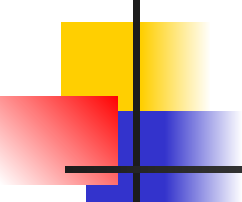
Иван Михайлович Сеченов

1829 – 1905

В 1863 г. опубликовал книгу «*Рефлексы головного мозга*», где приводил убедительные доказательства рефлекторной природы психической деятельности



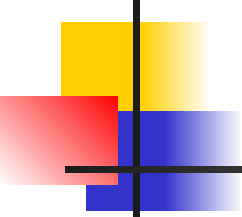
- Он обосновал возможность распространения принципа рефлекса как принципа организации поведения на всю работу головного мозга



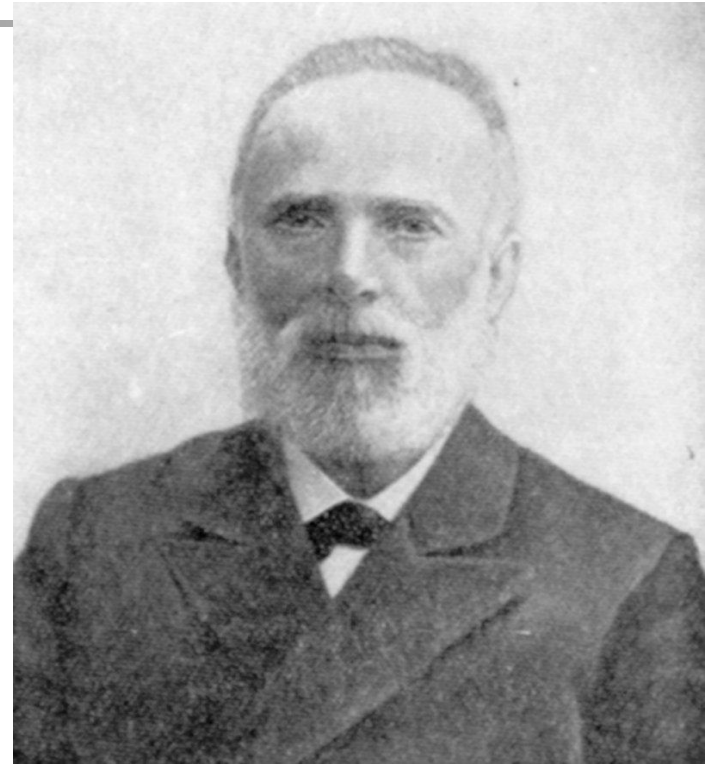
В **1884** году Н.Е. Введенский в работе “Исследования над нервными центрами” применил телефонический метод для изучения электрической активности продолговатого мозга лягушки, коры больших полушарий кролика и собаки. Введенский подтвердил основные наблюдения Сеченова и показал, что спонтанную активность можно обнаружить и в коре больших полушарий млекопитающих.



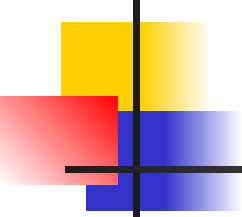
*Николай Евгеньевич
Введенский
(1852 – 1922)*



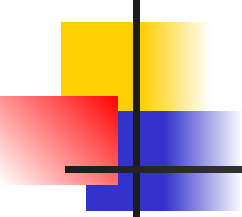
В **1889** г. В журнале «Вестник клинической и судебной психиатрии и невропатологии» была опубликована большая работа известного русского физиолога, ученика Сеченова Б.Ф. Вериги, в которой он изложил свои наблюдения над электрической активностью спинного и головного мозга.



Б.Ф. Вериги



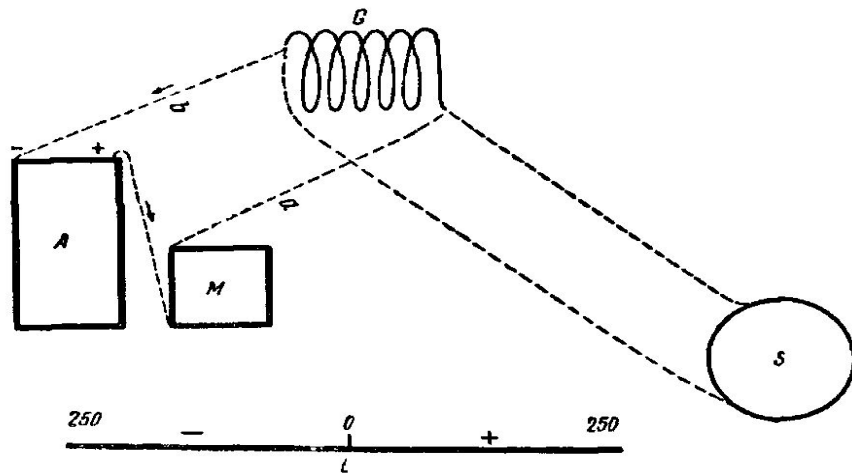
1890 год - работа А. Бека, посвященная использованию метода регистрации электрической активности мозга для вопросов локализации функций. Зрительные и слуховые раздражения приводили к изменениям в соответствующих областях коры больших полушарий. Бек также отметил, что в коре головного мозга собак и кроликов регистрируемые колебания потенциалов не совпадают с дыханием и пульсацией, то есть имеют самостоятельный генез.



1898 год - В.Е. Ларионов производит исследования электрических явлений в головном мозгу для доказательства существования открытых им ранее тоновых центров слуха (существование их и до настоящего времени остается спорным).

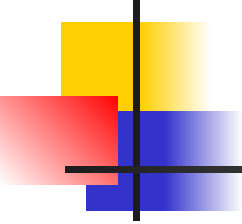
Соответствие между высотой музыкального тона и участком мозга, где локализованы, по мнению Ларионова, тоновые центры, обнаруживалось появлением отрицательного колебания; несоответствие – положительного колебания.

1900 год – работа С.А. Тривуса, который получил определенные изменения потенциалов при зрительных раздражениях. Впервые установил прямую зависимость электрической активности коры от степени наркоза.



*G — гальванометр, А — аккумулятор, S — шунт, М — реостат,
S — шкала.*

**Схема
экспериментальной
установки С.А.
Тривуса**



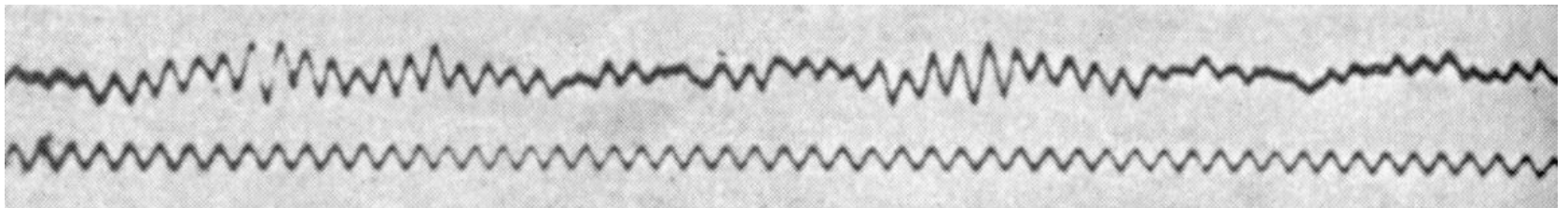
1912 год - обширное исследование П.Ю. Кауфмана, который в тщательных опытах на собаках показывает, что **электрические процессы мозга есть следствие жизнедеятельности нервных центров**, а не артефакт. Доказал также возможность регистрации биотоков мозга через неповрежденную мозговую оболочку, черепные кости и кожу головы.

Первая запись биотоков головного мозга человека

Первая запись
биотоков головного
мозга человека
получена **Гансом
Бергером** в 1925 году.




Ганс Бергер



Нейрофизиологические методы:

- *Внутриклеточная регистрация активности нервных клеток (ПП, ПД)*
- *Внеклеточная регистрация нейронной активности (ПД, ЭЭГ)*
- *Гистологические (гистохимические) методы – оценка изменения активности клеток по накоплению в них различных веществ (аминокислот, белков и др.)*



Методы
клинической
психофизиологии

электроэнцефалография

Компьютерная томография (КТ)

Вызванные потенциалы
головного
мозга

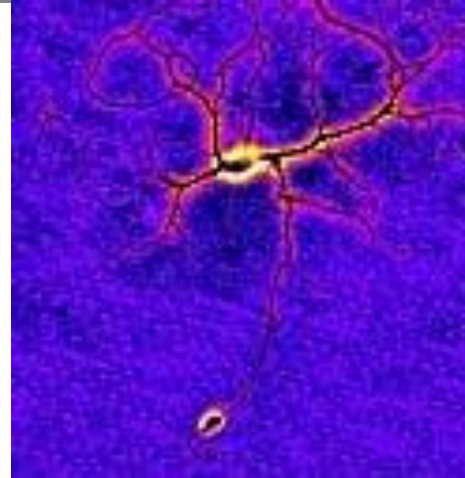
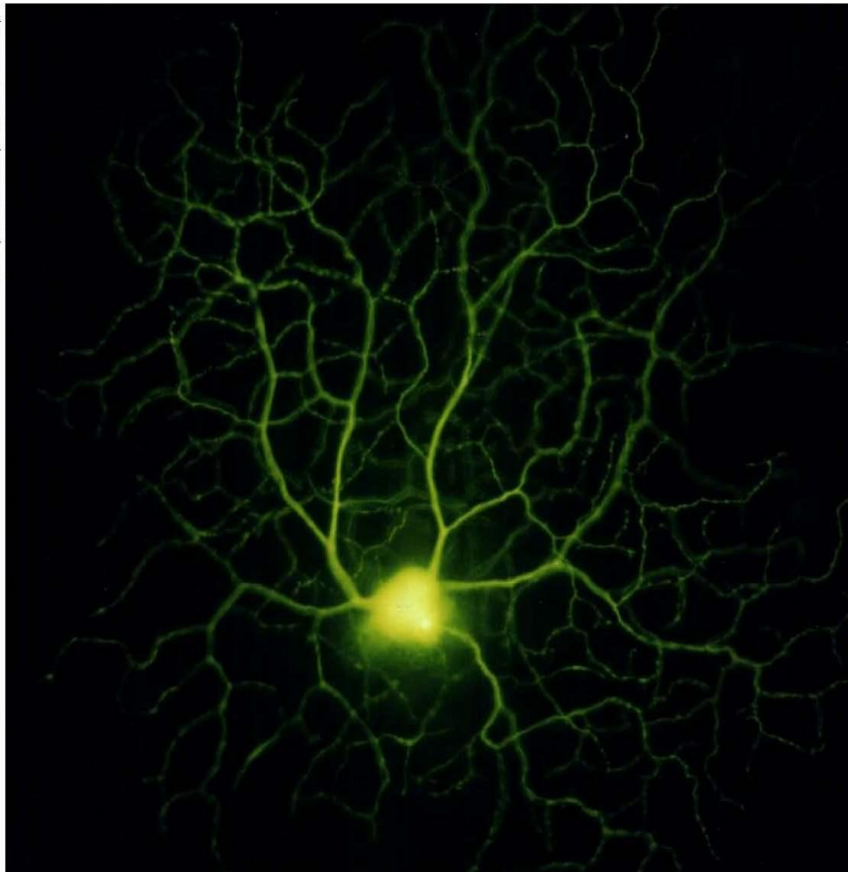
Топографическое картирование электрической активности мозга (ТКЭАМ)

Магнитно-резонансная томография (МРТ, MRT, MRI)

Регистрация импульсной активности нервных клеток

Подведение электрода к телу нейрона

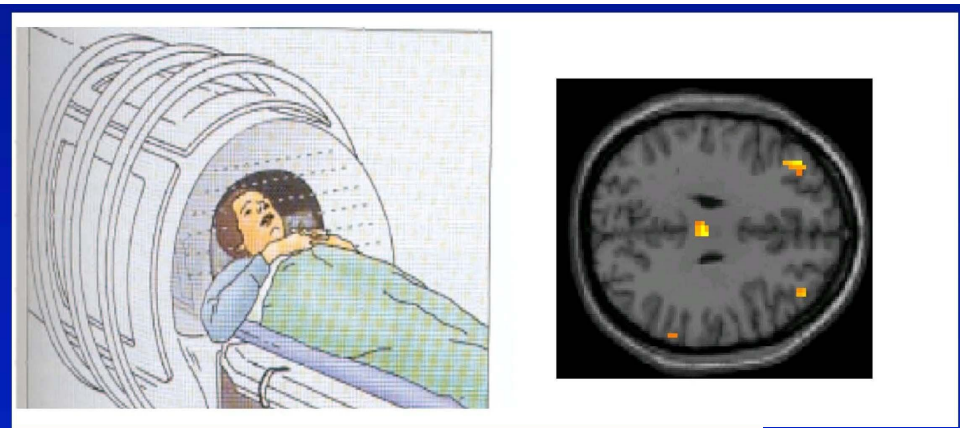
Фотографии нейронов, окрашенных флуоресцентным красителем



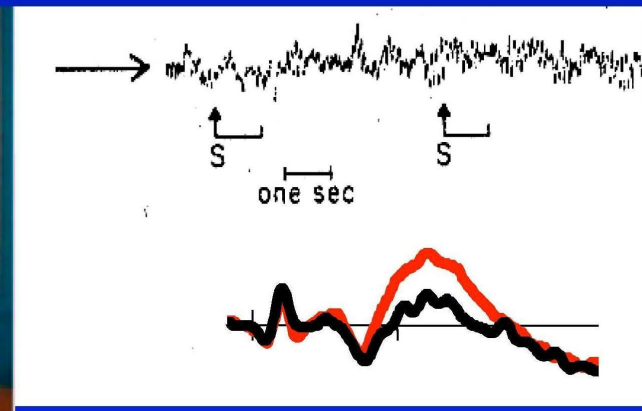
A microelectrode records the firing of individual cells in a monkey's visual cortex.

Два подхода к изучению мозга

Гемодинамика
(метаболизм) –
ПЭТ, ЯМРИ



Электрофизиология
– ЭЭГ, МЭГ





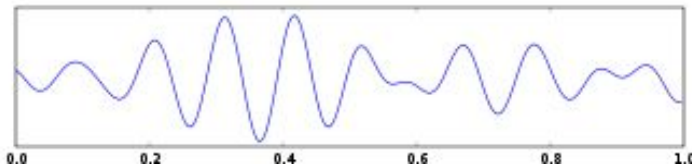
Электроэнцефалография

- ЭЭГ -метод регистрации и анализа электроэнцефалограммы (ЭЭГ), т.е. суммарной биоэлектрической активности, отводимой как со скальпа, так и из глубоких структур мозга. Последнее у человека возможно лишь в клинических условиях

Основные ритмы ЭЭГ

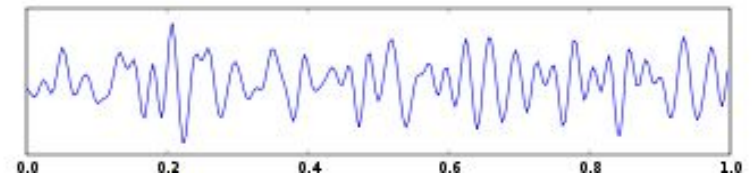
■ **Альфа-ритм, 8-13 Гц**

■ 50-100 мкВ

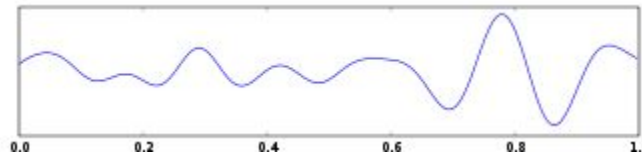


Бета-ритм, 14-30 Гц

5-30 мкВ

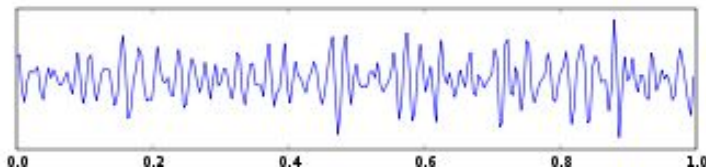


Тета-ритм, 4-7 Гц, 20-100 мкВ

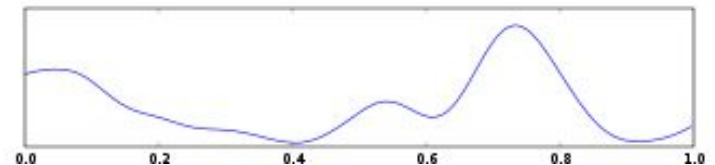


Гамма-ритм, 30-60 (150, 500) Гц

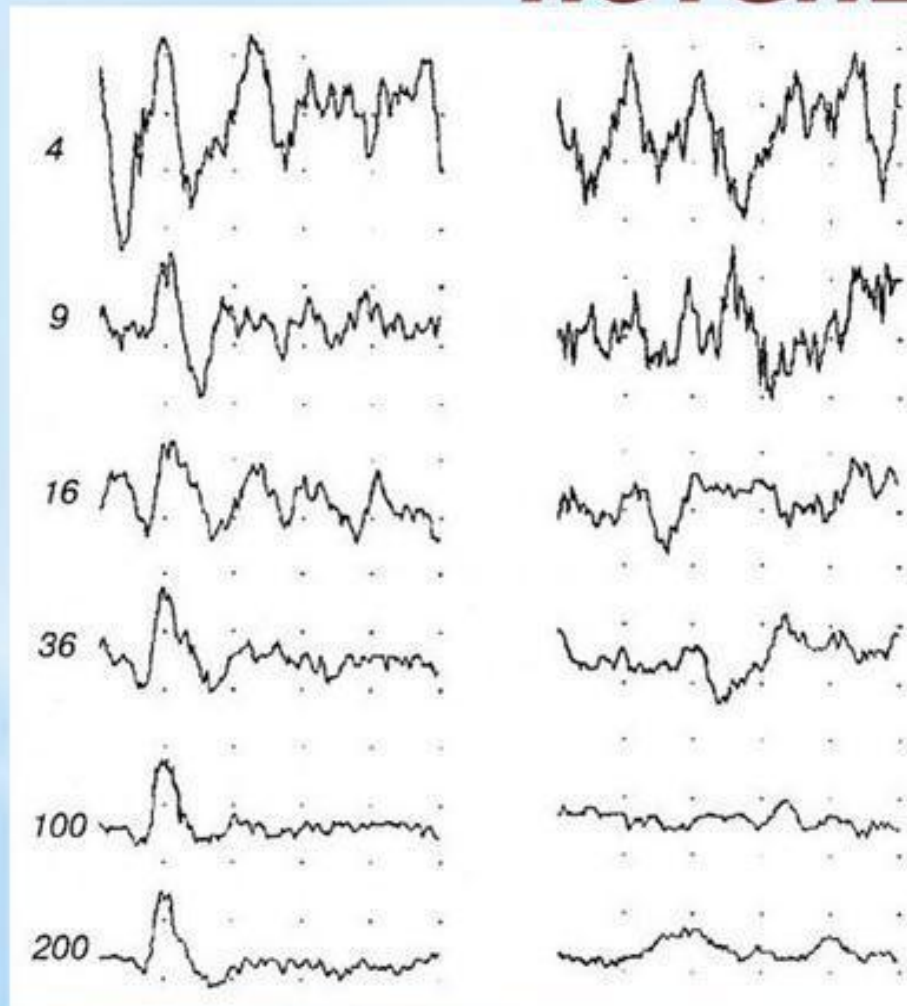
2-15 мкВ



■ **Дельта-ритм, 0.5-4 Гц**



Метод вызванных потенциалов



Вызванные потенциалы (ВП) – это колебания потенциала ЭЭГ, возникающие в ответ на сенсорные стимулы. Поскольку на одиночных записях ВП обычно слабо выделяются на фоне спонтанных колебаний ЭЭГ, их выделяют методом синхронного (когерентного) усреднения нескольких десятков записей ЭЭГ.



Вызванные потенциалы

- Примерами здесь служат: колебания, связанные с активностью двигательной коры (моторный потенциал, или потенциал, связанный с движением); потенциал, связанный с намерением произвести определенное действие (так называемая Е-волна); потенциал, возникающий при пропуске ожидаемого стимула.

Современные методы исследования мозга человека, позволяющие локализовать функции

- Компьютерная томография
- Ядерно-магнитный резонанс
- Магнитоэнцефалография
- Позитронно-эмиссионная томография

Томографические методы

Томография – основана на получении отображения срезов мозга с помощью специальных техник и дальнейшей компьютерной обработки для получения объемной картины органа.

Компьютерная томография – реконструкция трехмерной анатомической структуры на основе серии рентгеновских снимков. Не позволяет наблюдать активность мозга.



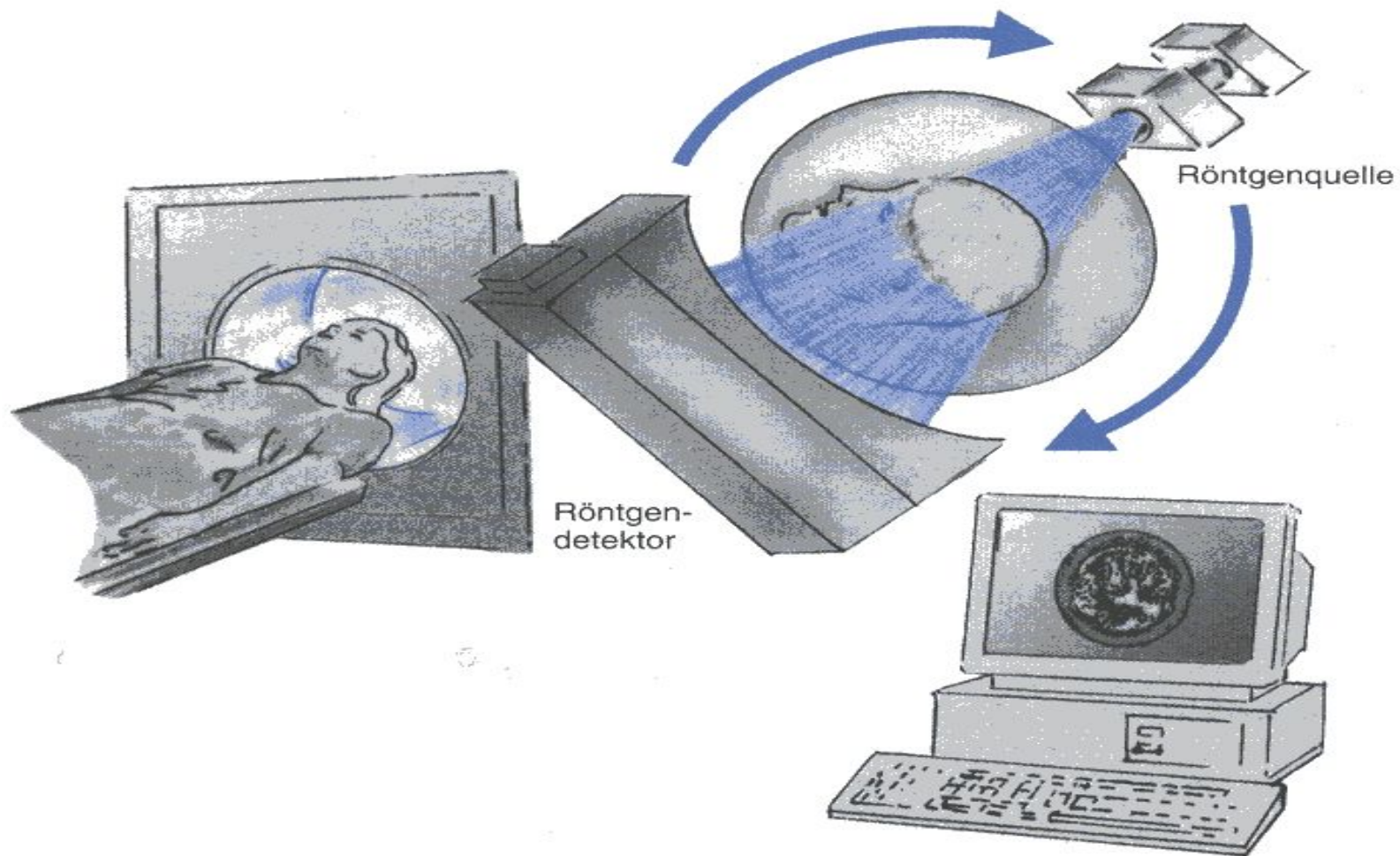
Компьютерная томография

- Компьютерная томография (КТ) новейший метод, дающий точные и детальные изображения малейших изменений плотности мозгового вещества. КТ соединила в себе последние достижения рентгеновской и вычислительной техники, отличаясь принципиальной новизной технических решений и математического обеспечения.

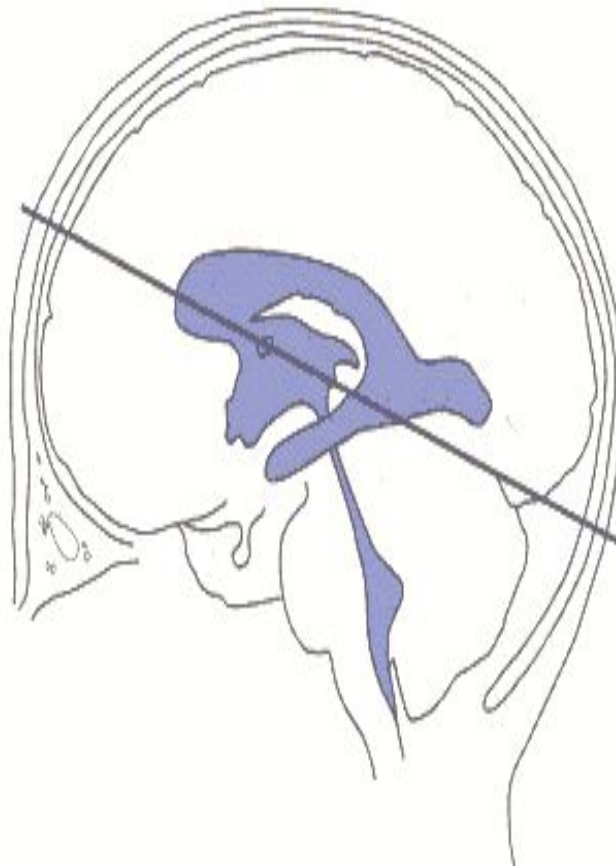


- Главное отличие КТ от рентгенографии состоит в том, что рентген дает только один вид части тела. При помощи компьютерной томографии можно получить множество изображений одного и того же органа и таким образом построить внутренний поперечный срез, или "ломтик" этой части тела.

Компьютерная томография



Компьютерная томограмма



Fissura longitudinalis cerebri

Frontallappen

Corpus callosum

Seitenventrikel

Capsula interna

dritter Ventrikel

Epiphyse (Zirbeldrüse)

Plexus choroideus

Seitenventrikel



Nucleus caudatus

Putamen

Globus pallidus

Foramen intraventriculare (von Monro)

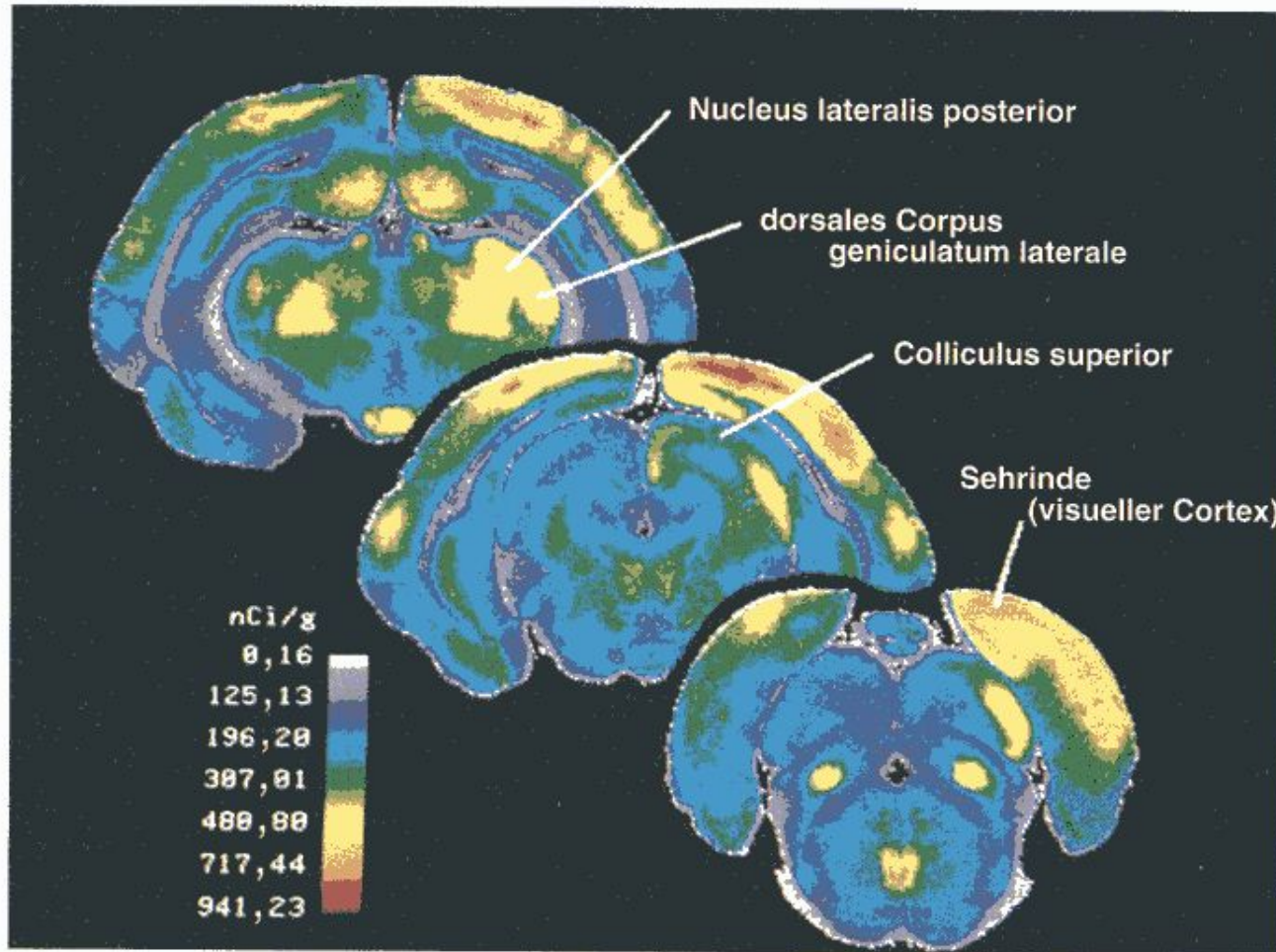
Fissura sylvii

Thalamus

Temporallappen

Okzipitallappen

Позитронно-эмиссионная томография

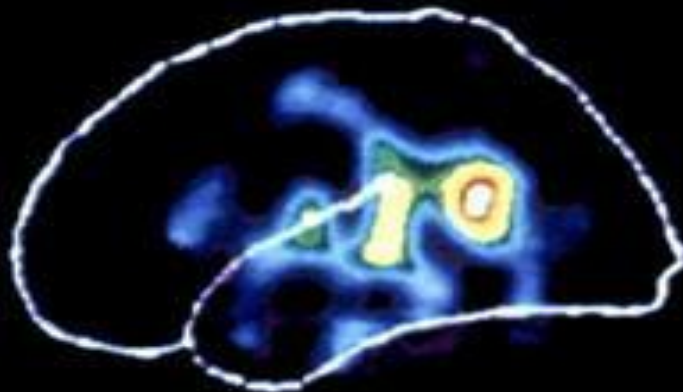




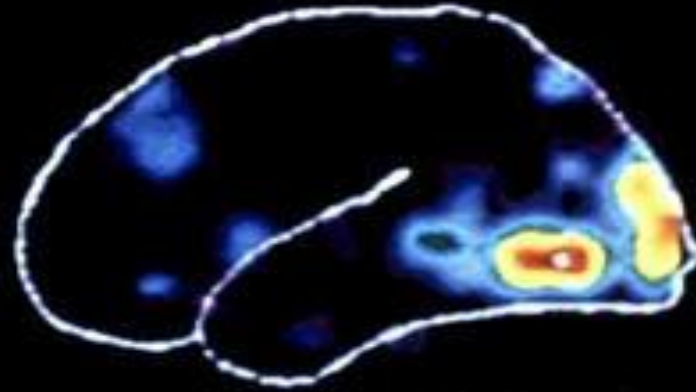
ПЭТ-томография (позитрон-эмиссионная томография) – основана на регистрации излучения от слаборадиоактивного вещества, которое вводится в кровь. Позволяет увидеть скорость потребления глюкозы и соответственно обнаружить наиболее активные участки мозга

Результаты ПЭТ-сканирования

Reductionism/functionalism/materialism/physicalism:
Technology reveals brain activity associated
with consciousness



HEARING WORDS

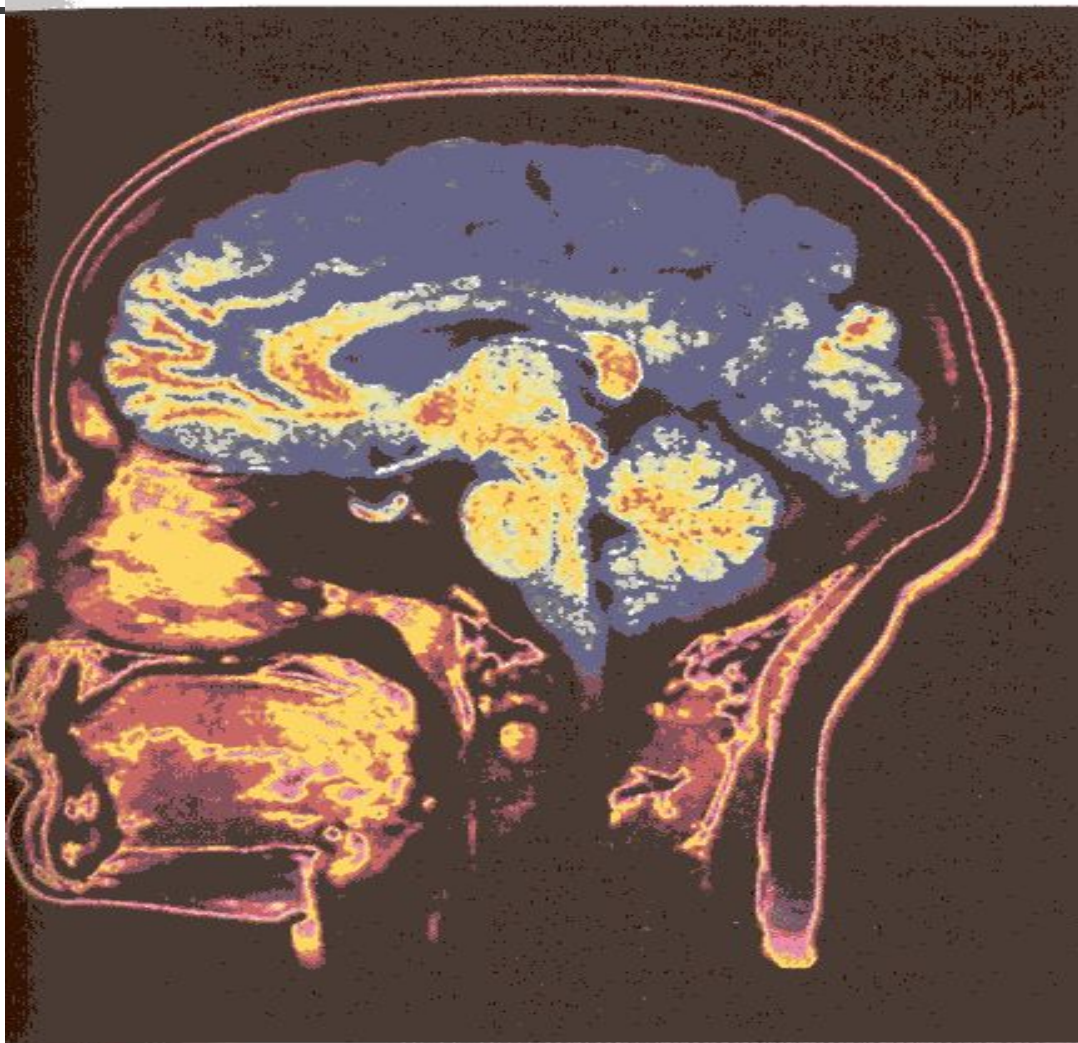


SEEING WORDS

But is this activity equivalent to consciousness?

*ПЭТ - изображение мозга, показывающее зрительное и слуховое
распознавание*

Ядерно-магнитный резонанс



Магнитно-резонансная томография

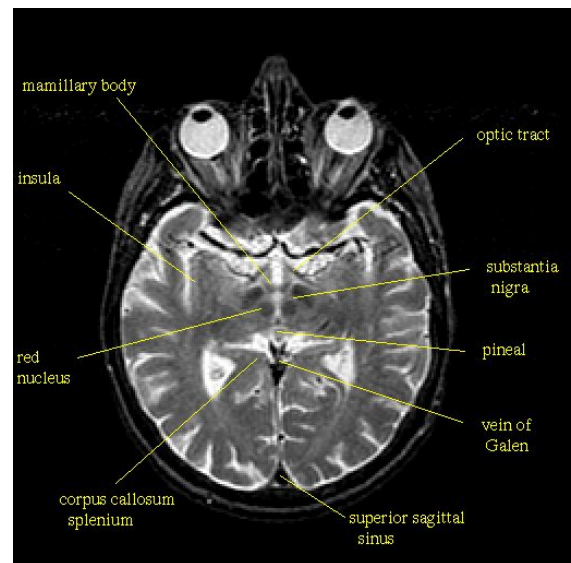
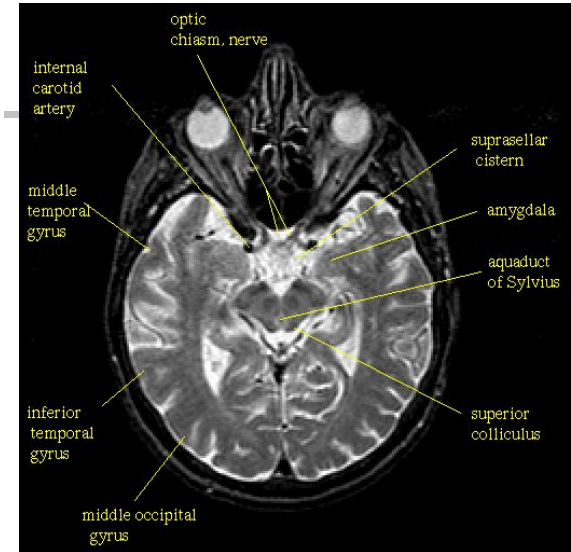
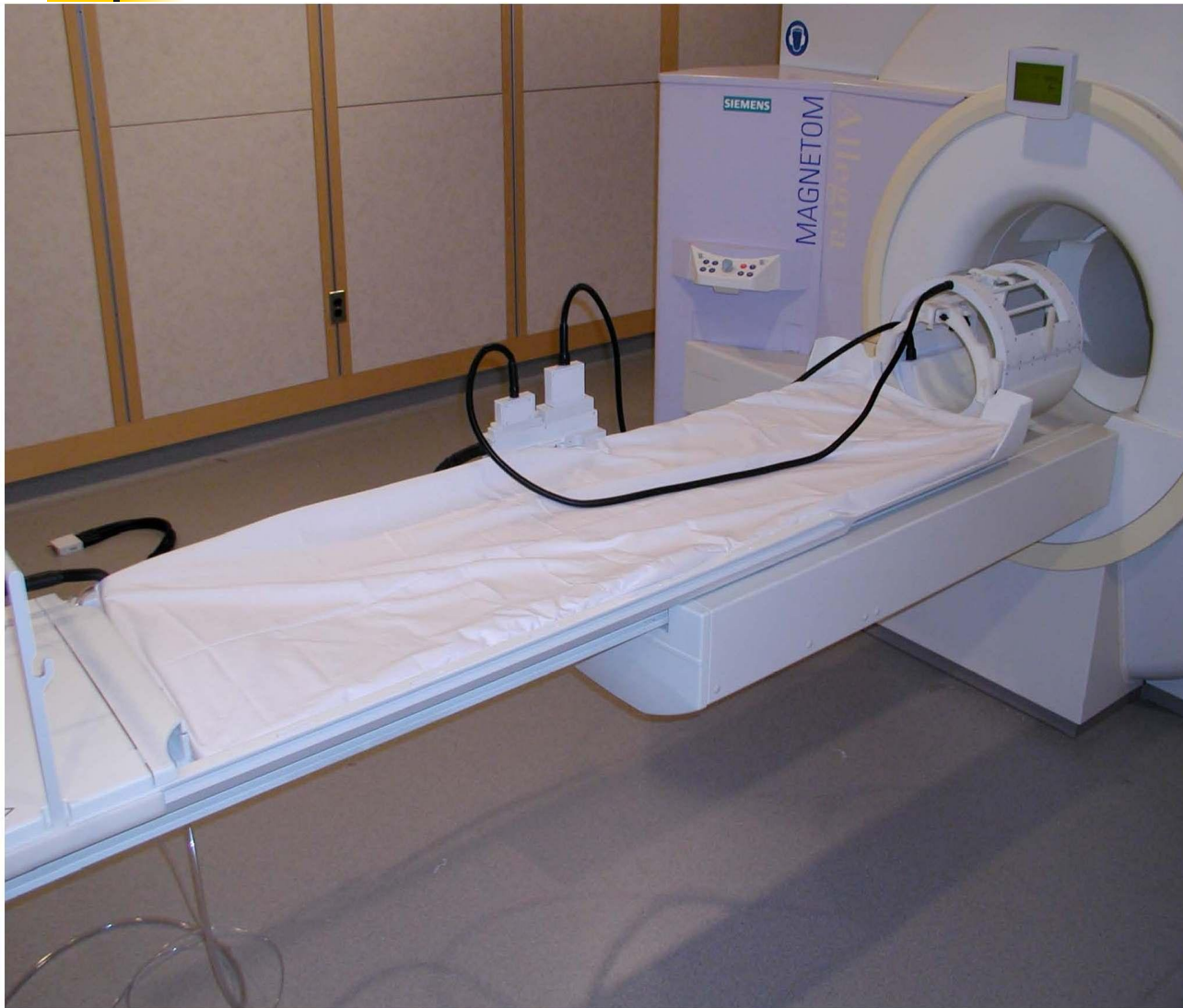
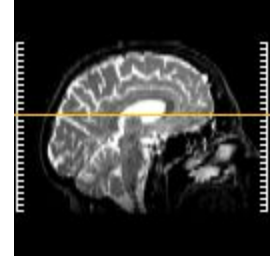


- томографический метод исследования внутренних органов и тканей с использованием физического явления ядерного магнитного резонанса метод основан на измерении электромагнитного отклика ядер атомов водорода на возбуждение их определённой комбинацией электромагнитных волн в постоянном магнитном поле высокой напряжённости.

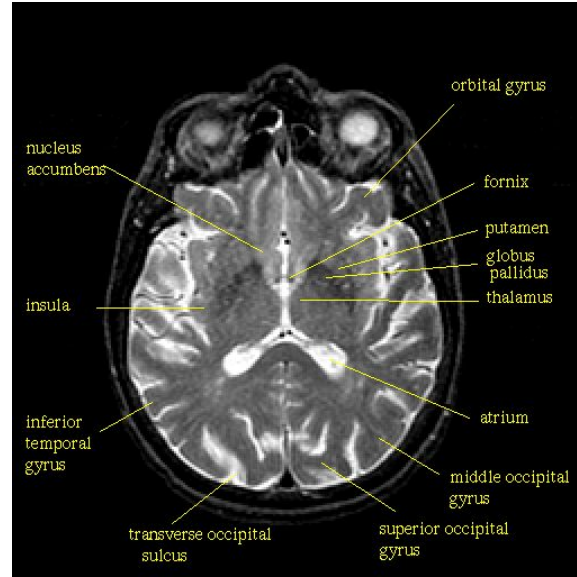
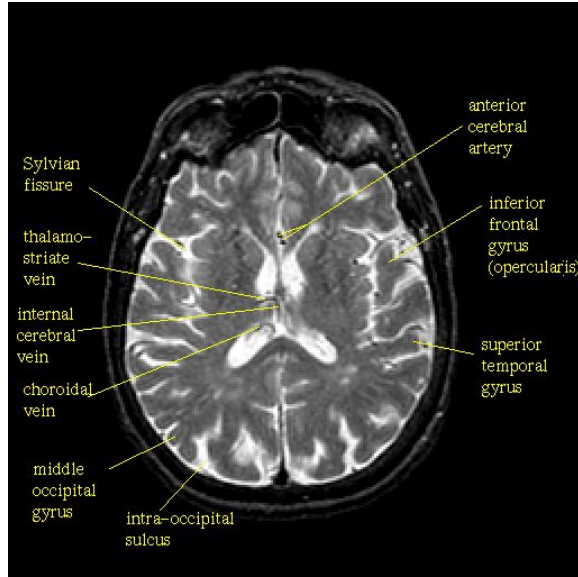
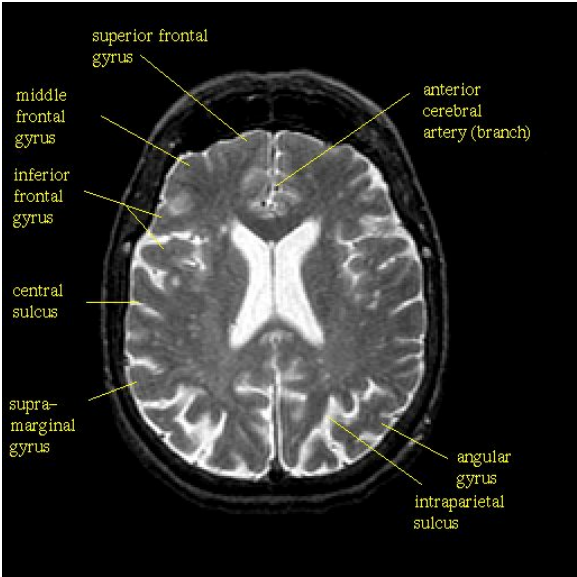
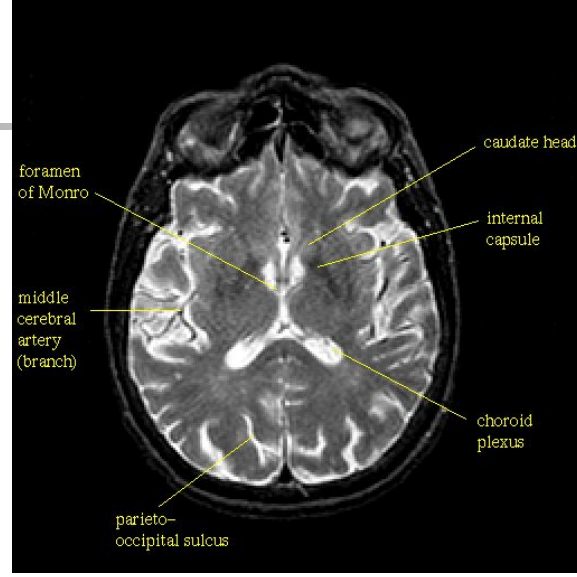
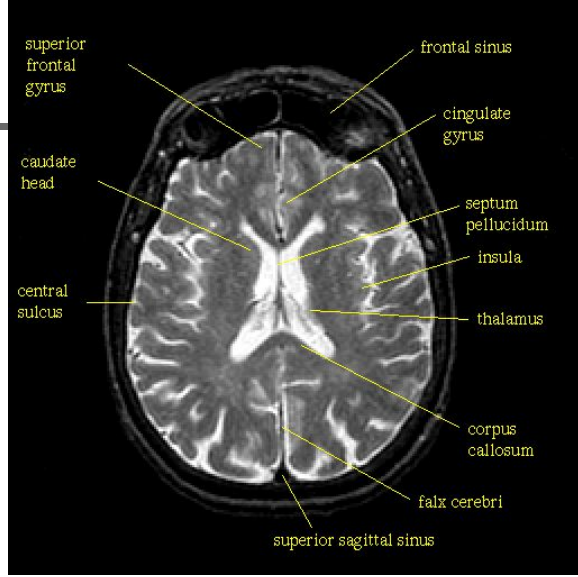
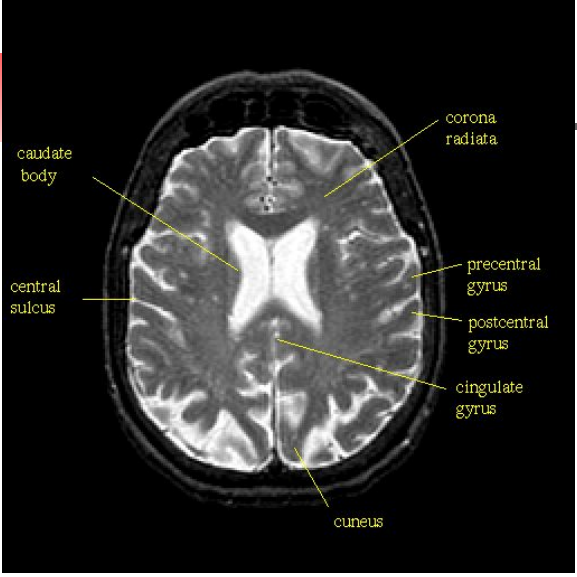


ЯМР-томография (магниторезонансная томография, МРТ) – основана на явлении ядерного магнитного резонанса. Ее разновидность – так называемая функциональная ЯМР (фЯМР или фМРТ) – позволяет наблюдать активность мозга

Ядерная магнитно-резонансная интроскопия (ЯМРИ, MRI)



Послойное сканирование ЯМРИ



Возникновение современной нейронауки



На современном этапе функции нейрофизиологии построены на изучении интегративной деятельности нервной системы и имеют тесную взаимосвязь с другими нейронауками, что имеет прикладное значение в медицине и медицинской психологии.



Задачи нейронауки

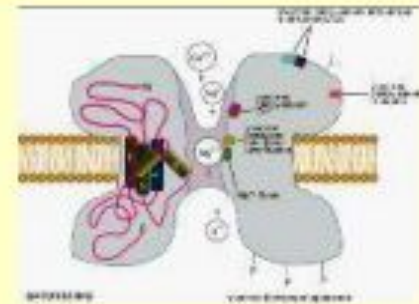
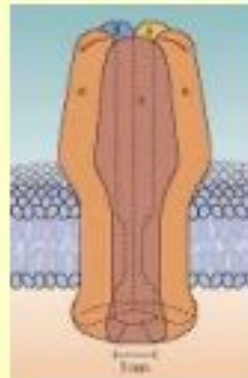
- **Объяснить поведение человека в терминах активности мозга.**
- Понять, как мозг управляет всеми миллионами отдельных нервных клеток, чтобы сформировать поведение, и как на эти клетки влияет окружающая среда.
- **Нейронаука изучает нервную систему на различных уровнях: от молекулярного к клеточному, затем к системному уровню и, наконец, когнитивному (познавательному).**

Уровни изучения строения и функций мозга

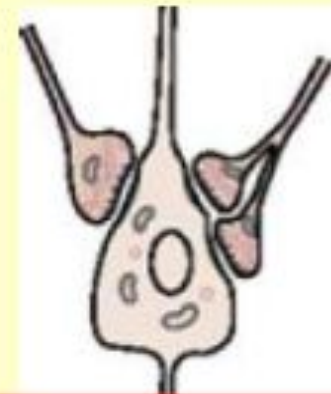
Строение

Функции

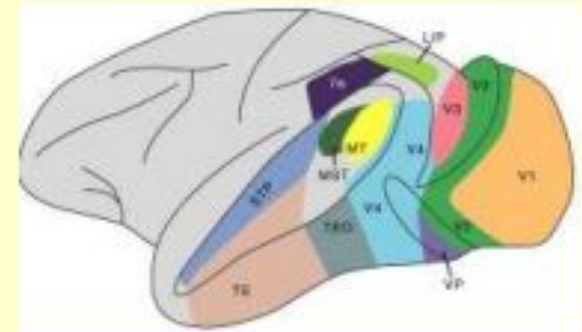
Молекулярный



Клеточный

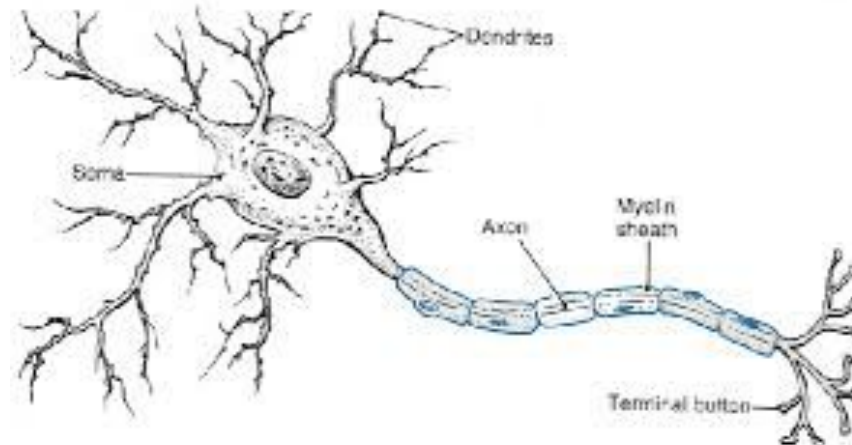


Системный



Молекулярный уровень

- рассматриваются вопросы морфологии и физиологические особенности нейронов, а также взаимосвязь нейронной организации мозга с различными типами поведения человека.



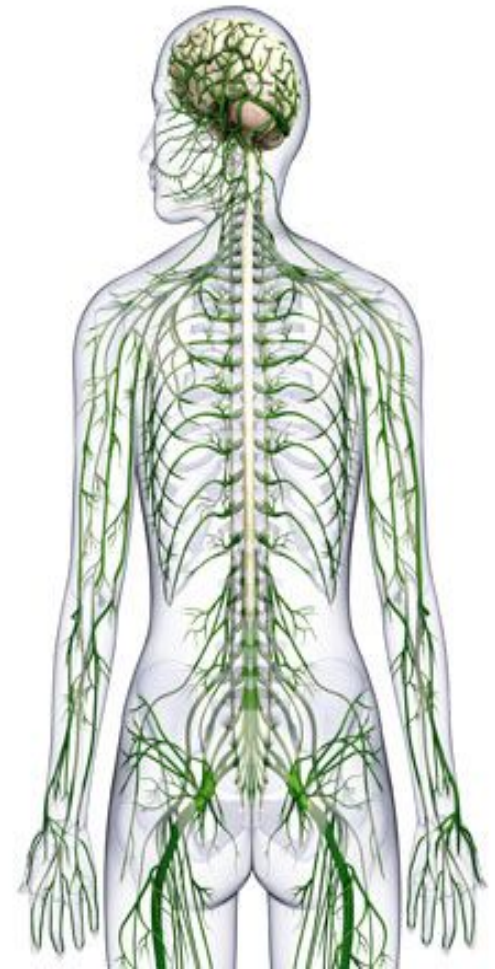
Клеточный уровень

- **Оценка механизмов восприятия сигналов дендритами, сомами и аксонами нейронов, а также передача их с помощью нейромедиаторов и потенциалов для дальнейшего преобразования в клетке.**



Системный уровень

- Использование анатомических и физиологических знаний для изучения таких физиологических функций, как рефлексy, сенсорная интеграция, координация двигательной системы, циркадный ритм, эмоциональные ответы, способность к обучению, память и т.д.





Когнитивный уровень

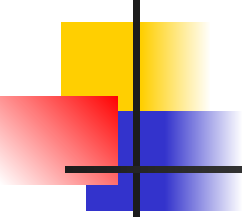
- Оценка психологических функций с точки зрения формирования нервной системы.



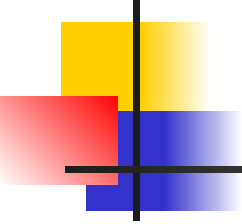
Основные процессы в нервной системе

- **Трансдукция.** Превращение раздражения, внешнего по отношению к самой нервной системе, в нервное возбуждение, которым она может оперировать.
- **Трансформация.** Переделка, преобразование входящего потока возбуждения в выходящий поток с отличающимися характеристиками.
- **Распределение.** Распределение возбуждения и направление его по разным путям, по разным адресам.

Основные процессы в нервной системе

- 
- **Моделирование.** Построение нервной модели раздражения и/или раздражителя, которая заменяет сам раздражитель. С этой моделью нервная система может работать, она может её хранить, видоизменять и использовать вместо реального раздражителя. Сенсорный образ - один из вариантов нервных моделей раздражения.
 - **Модуляция.** Нервная система под влиянием раздражения изменяет себя и/или свою деятельность.

Виды модуляции

- 
-
- 1. Активация (возбуждение).** Повышение активности нервной структуры, повышение её возбуждения и/или возбудимости. Доминантное состояние.
 - 2. Угнетение (торможение, ингибция).** Понижение активности нервной структуры, торможение.

Виды модуляции

3. Пластическая перестройка нервной структуры.

Варианты пластических перестроек:

- 1) Сенситизация - улучшение передачи возбуждения.
- 2) Габитуация - ухудшение передачи возбуждения.
- 3) Временная нервная связь - создание нового пути передачи возбуждения.

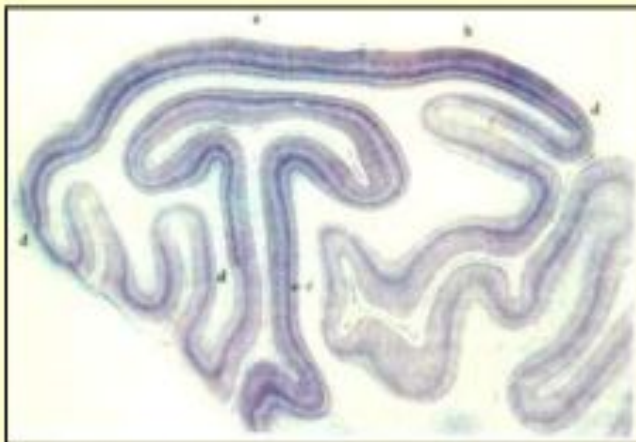
Виды модуляции



4. Активация исполнительного органа для совершения действия.

Таким способом нервная система обеспечивает ***рефлекторную ответную реакцию на раздражение.***

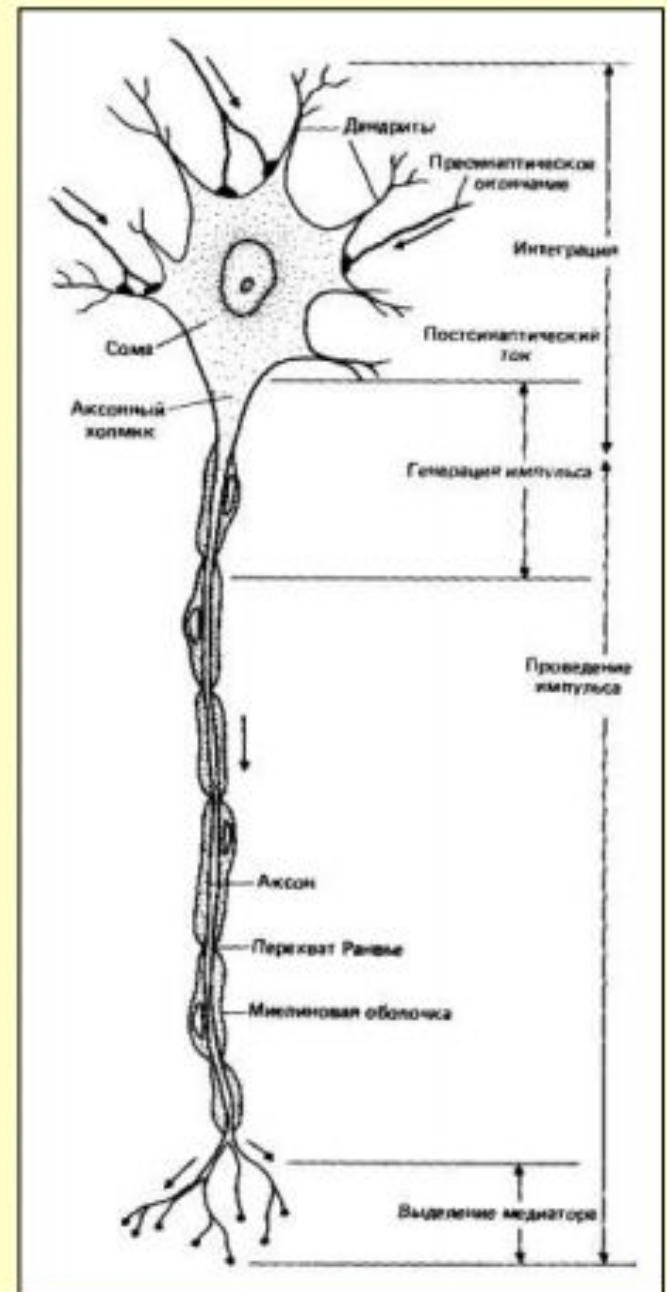
Строение нервной ткани

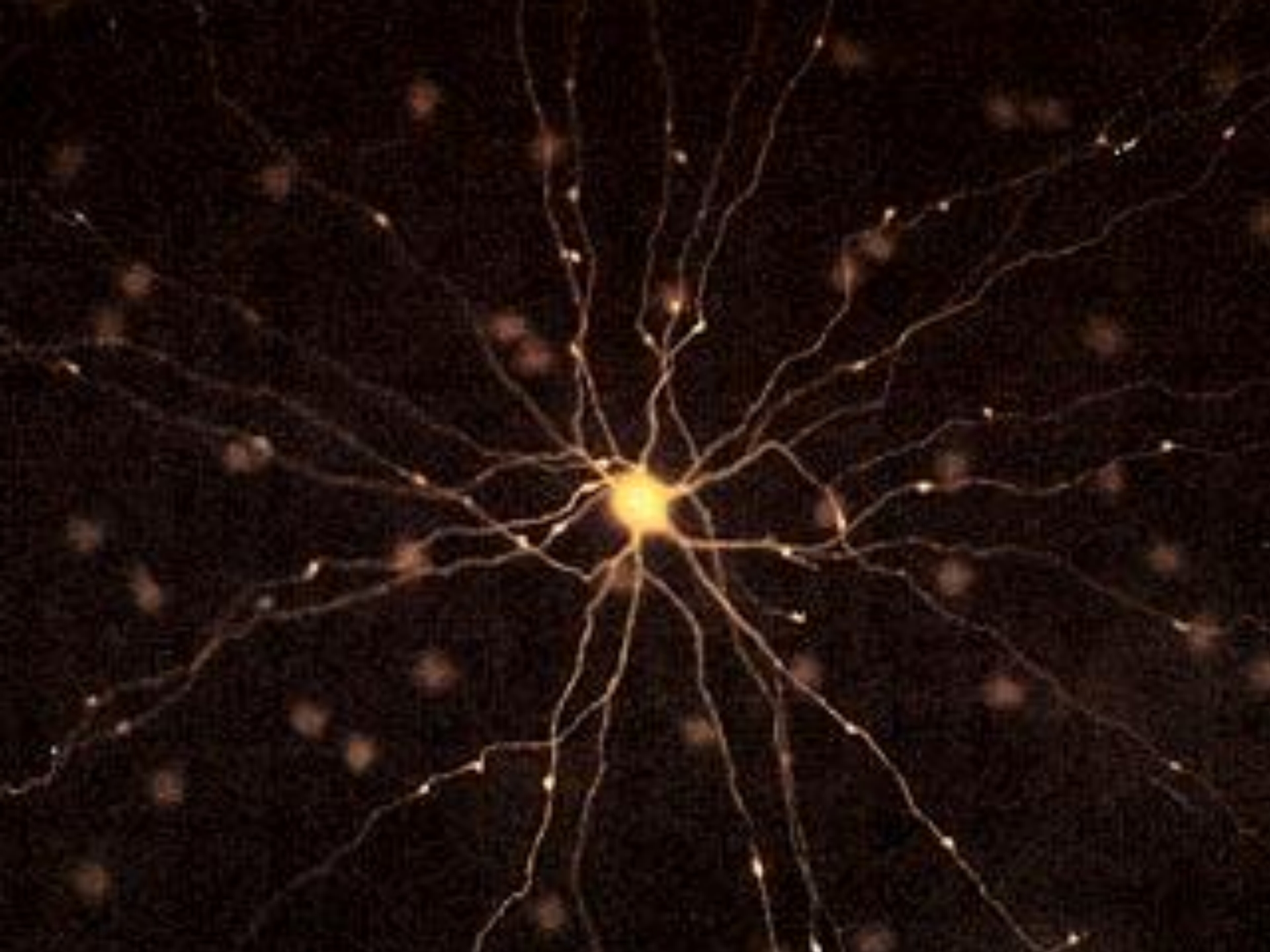


Срез затылочной доли мозга человека. Окрашены только тела нейронов.

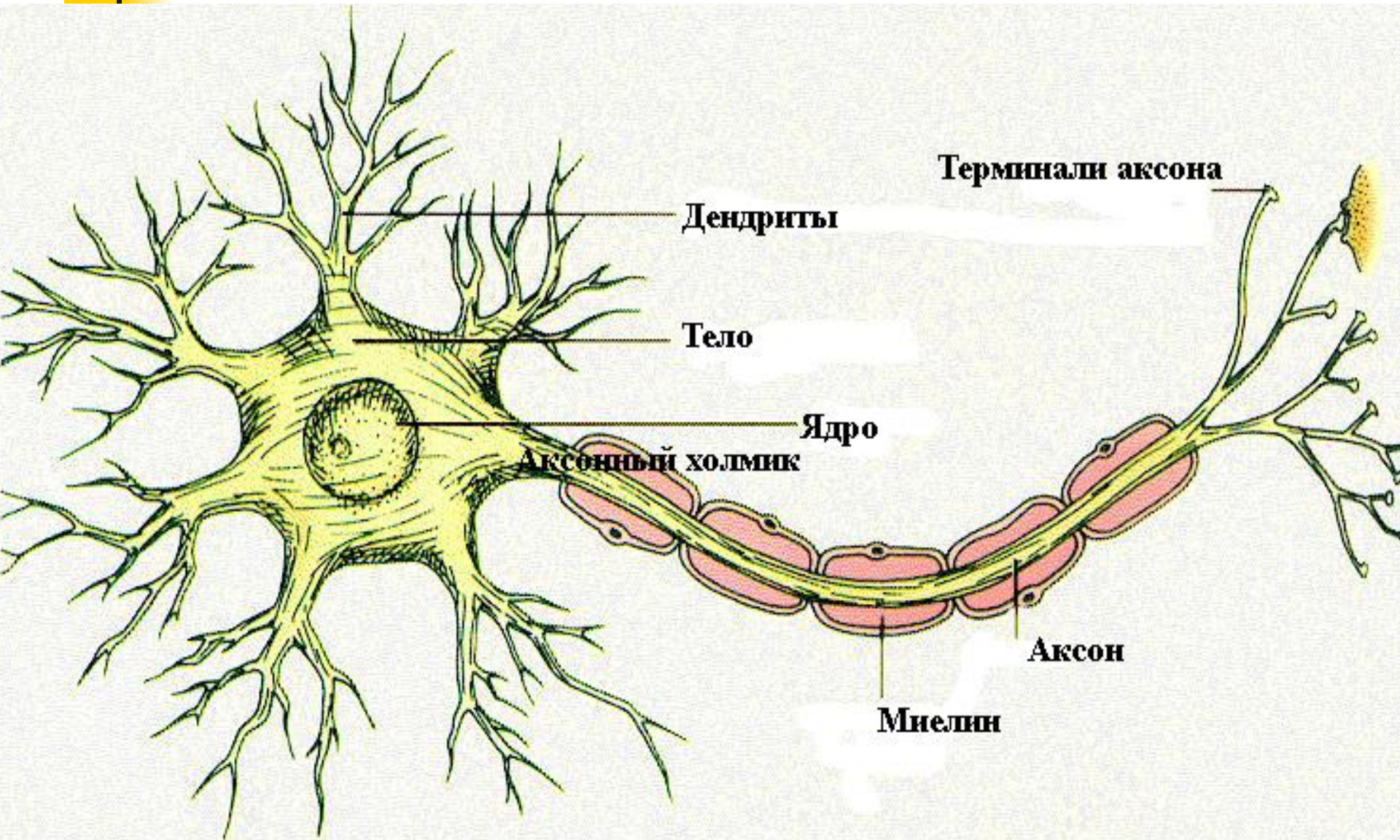
В центральной нервной системе (ЦНС) по разным оценкам насчитывается **20-100 млрд. нейронов**.

Их работа существенно отличается от работы многих других клеток организма. Нейроны не могут выполнять свои функции в одиночку; они объединены в **цепи** или **сети**.





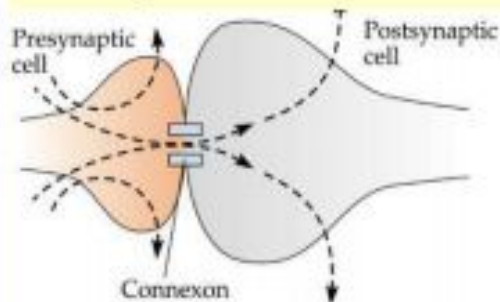
Нейрон и его элементы



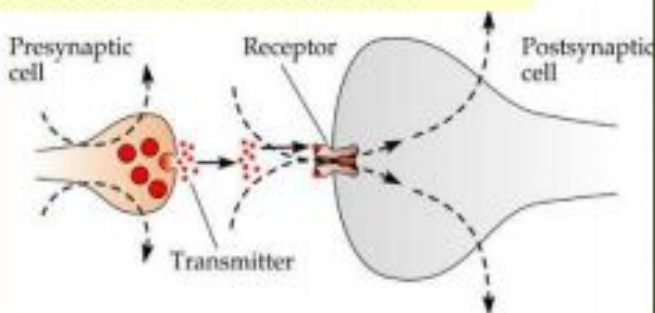
Нейроны объединены в сети

Схема фрагмента нейронной сети

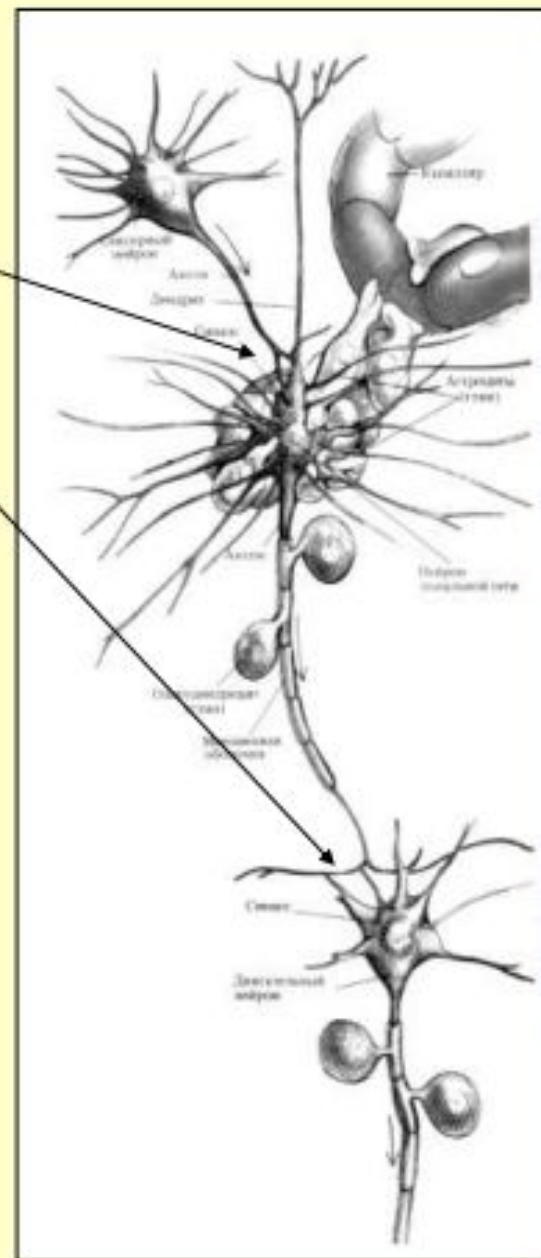
Электрический контакт



Химический контакт



контакты (синапсы)
между нейронами



Один нейрон может посылать информацию большому числу других нейронов и также получать информацию от большого числа нейронов (от **1** до **100 000**, в среднем от **10 000**).

Структурно-функциональная организация нервной системы

- **Нейрон** – структурно-функциональная единица центральной-нервной системы.



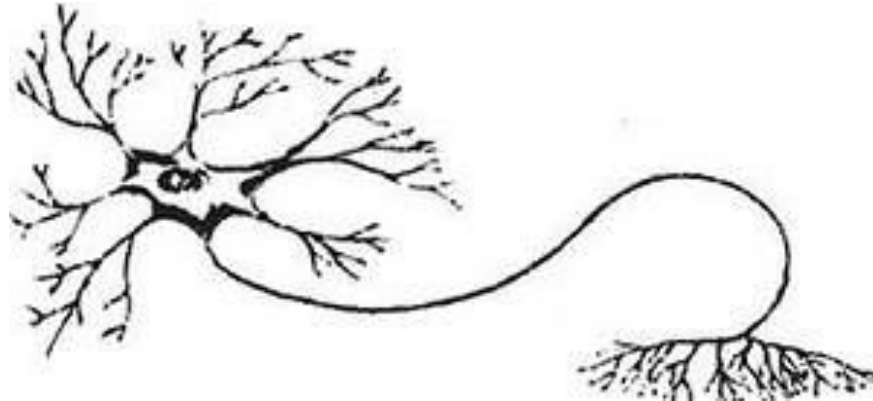
Строение нейрона

Тело (сома)

нейрона - центральная часть нейрона, обеспечивающая питанием все остальные части клетки.

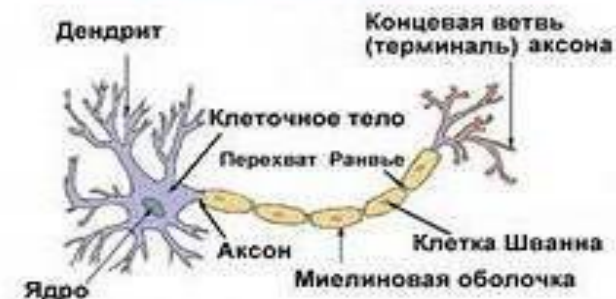


■ По отношению к отросткам тело клетки выполняют трофическую функцию - регулирует в них уровень обмена веществ. Вот почему отделение аксона от тела нервной клетки или гибель сомы приводят к гибели аксона. Тело нейрона, лишённое аксона, может вырастить вместо него новый аксон.



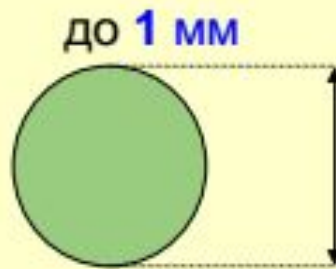
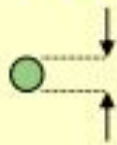
Строение нейрона

- **Аксон** – одиночный, обычно длинный выходной отросток нейрона, служащий для быстрого проведения возбуждения.
- По аксону транспортируются вещества, необходимые для синаптической передачи, пептиды, продукты нейросекреции.
- Начальный сегмент аксона нейронов (аксональный холмик) является триггерной зоной – местом первоначальной генерации возбуждения.



Размеры нейронов

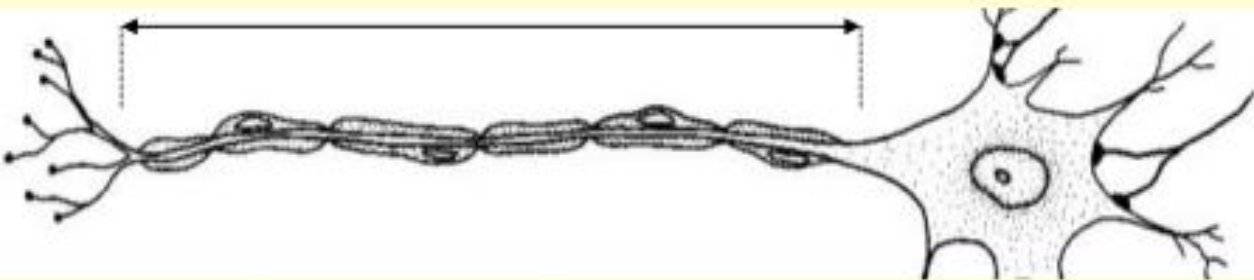
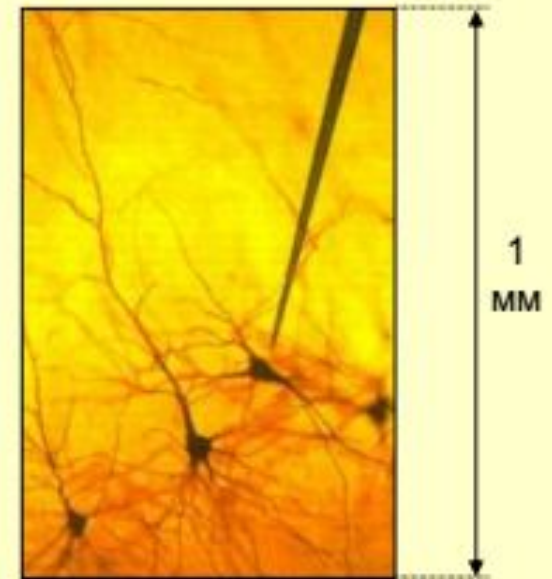
Размеры тел нейронов: от **20 мкм**



Диаметр аксонов: от **1 мкм**



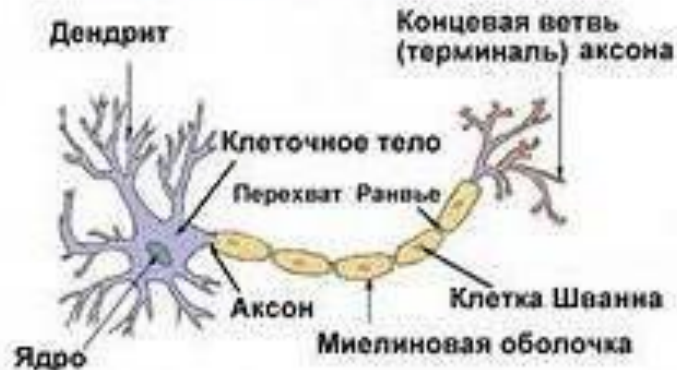
Длина: до **1 м** (у человека) и больше в зависимости от размеров тела животных



Строение нейрона

Дендриты – древовидно-ветвящиеся отростки нейрона, его главное рецептивное поле, обеспечивающее сбор информации, которая поступает через синапсы от других нейронов или прямо из среды.

От одной клетки может отходить от 1 до 1000 дендритов.



Строение нейрона

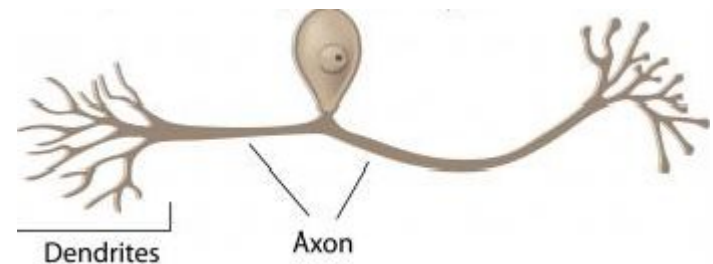
- На дендритах имеются микроскопических размеров выросты (шипики), которые значительно увеличивают поверхность соприкосновения с другими нейронами.
- Особого развития шипики достигают на клетках больших полушарий головного мозга.
- На каждом шипике может быть до 8 синапсов (межклеточных контактов).



Виды нейронов

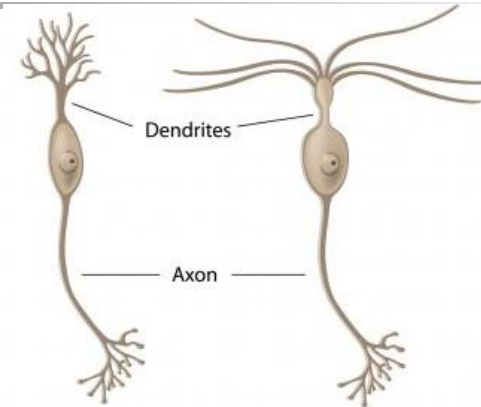
А – униполярные: имеют один отросток – аксон. Может быть на промежуточной стадии дифференцировки (нейробласты).

Б – псевдоуниполярные: места отхождения аксона и дендрита очень близки, затем Т-образно делится на два отростка.

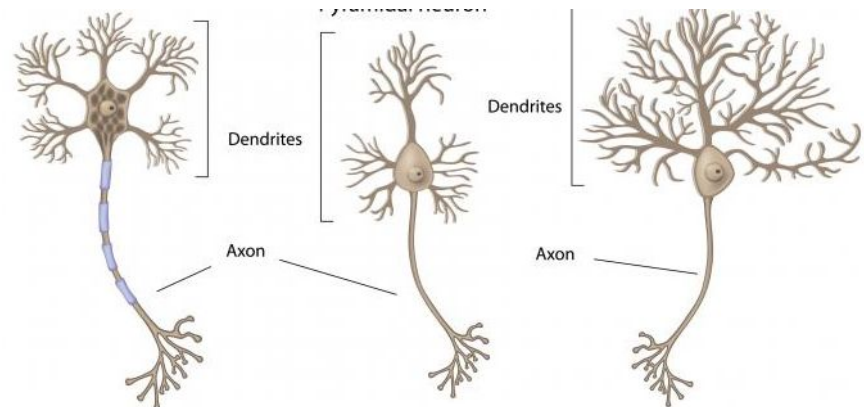


Виды нейронов

В – биполярные клетки:
имеют два отростка –
аксон и дендрит.



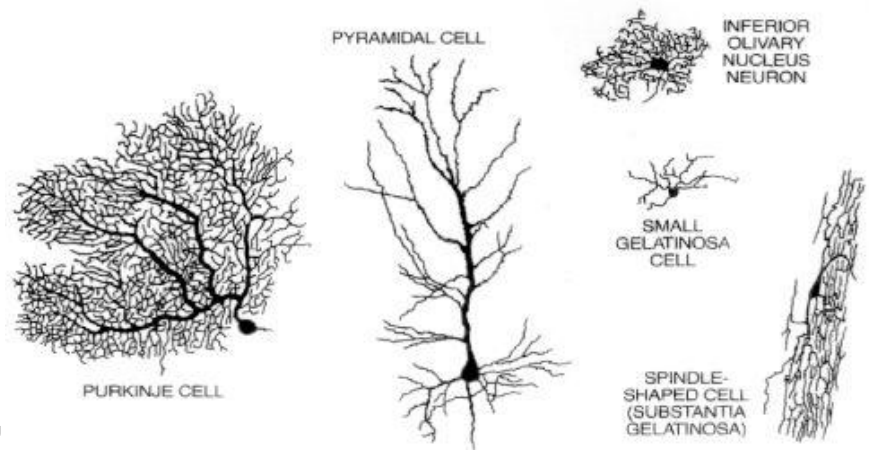
Г – мультиполярные: один
аксон и несколько
дендритов. Такие клетки
встречаются чаще всего.



Виды нейронов

По форме:

- ✓ Пирамидные,
- ✓ Веретенообразные,
- ✓ Звездчатые,
- ✓ Корзинчатые.



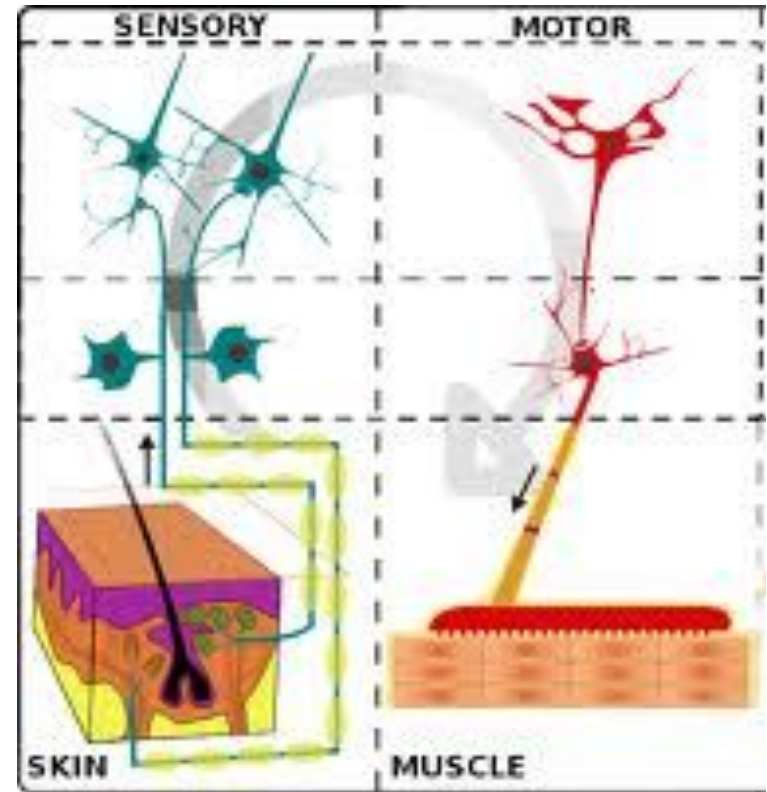
Виды нейронов

По локализации:

- **Центральные** - лежат в пределах ЦНС.
- **Периферические** нейроны принадлежат периферической нервной системе. Они могут залегать в спинно-мозговых ганглиях, в ганглиях черепно-мозговых нервов, в ганглиях вегетативной нервной системы.

Виды нейронов по выполняемой функции

- **Афферентные (чувствительные)** нейроны обеспечивают восприятие раздражения и передачу информации в ЦНС.
- **Эфферентные (двигательные)** нейроны обеспечивают передачу информации от ЦНС на периферию.

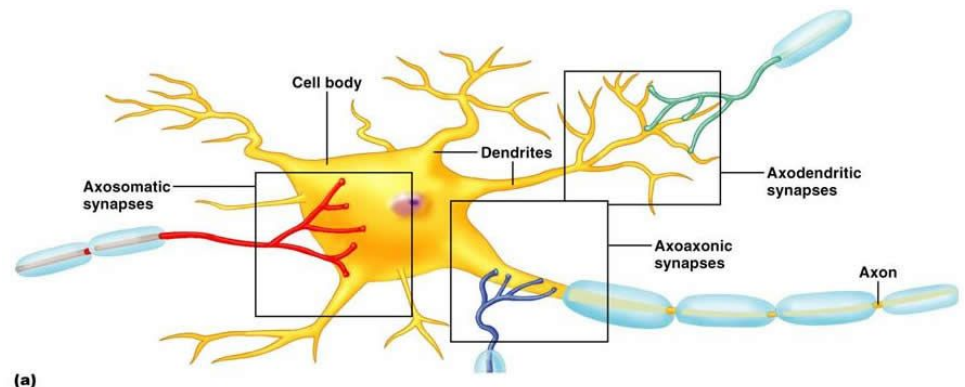


Виды нейронов по выполняемой функции

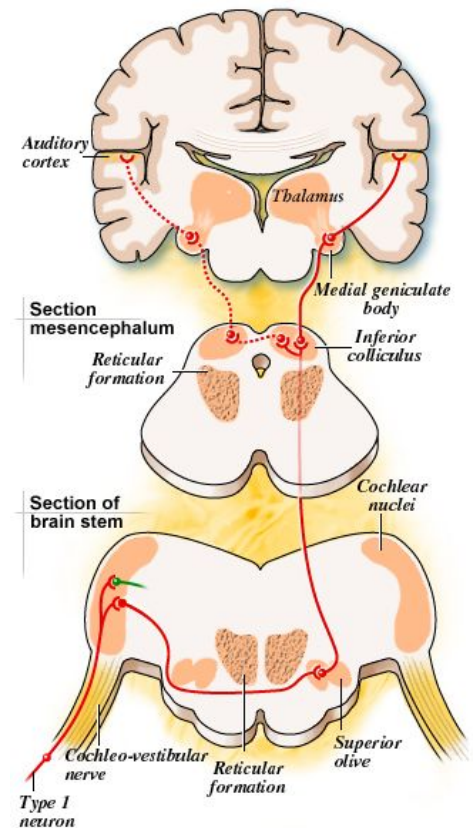
- **Вставочные нейроны** обеспечивают передачу информации внутри ЦНС.

В зависимости от эффекта вставочные нейроны подразделяются на:

- возбуждающие – оказывают возбуждающее влияние на эфферентные нейроны.
- тормозные – оказывают тормозное влияние на эфферентные нейроны.

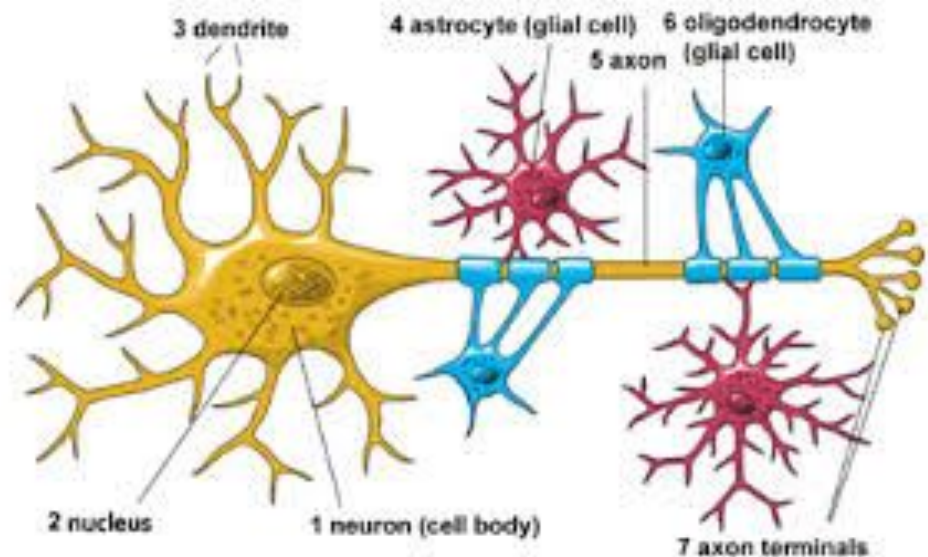
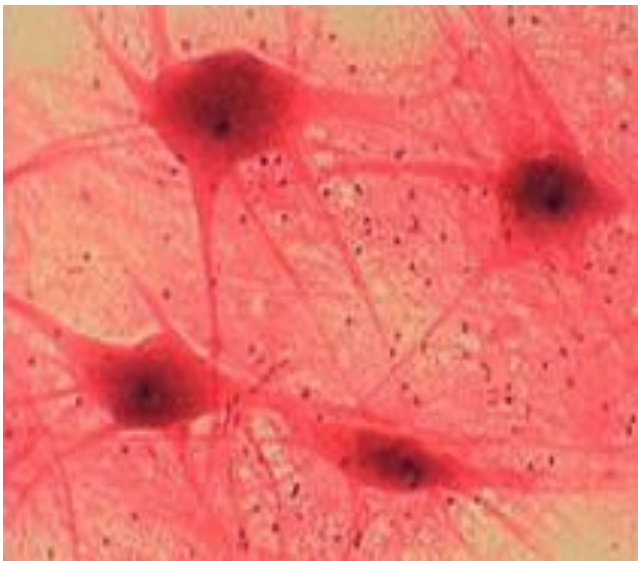


- **Тела нейронов** образуют серое вещество головного мозга: кора, подкорковые ядра
- **Отростки нейронов** – белое вещество головного мозга: проводящие пути



Глиальные клетки

- **Глиальные клетки** в совокупности называют нейроглией. Это клетки, окружающие нейроны и входящие вместе с ними в состав центральной и периферической нервной системы.

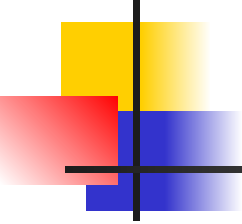




Анатомическое расположение

- клетки нейроглии в головном мозге;
- шванновские клетки в периферической нервной системе.

Функции нейроглии

- 
-
- **Опорная** – поддерживает нервные клетки
 - **Изолирующая** – препятствует переходу нервных импульсов с тела одного нейрона на тело другого
 - **Регуляторная** – участвует в регуляции работы ЦНС, в частности, обеспечивая передачу импульсов в нужном направлении
 - **Трофическая** – участвует в обменных процессах нейронов



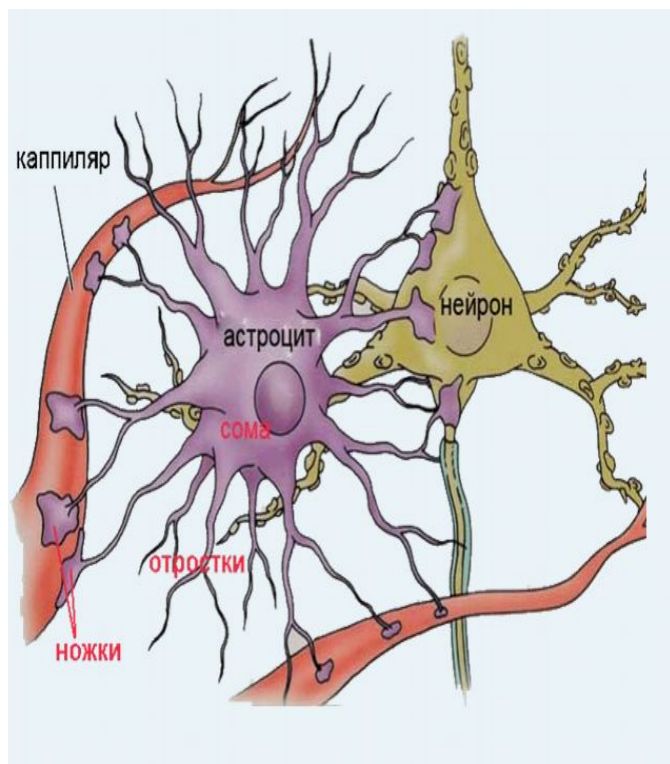
Функции нейроглии

- **Участие в регенерации.** В отличие от нейронов, глиальные клетки сохраняют способность к делению в течение всей жизни. Когда нейроны исчезают в результате старения или после повреждения, клетки глии делятся и занимают освободившееся место. Кроме того, эти клетки участвуют в образовании рубцовой ткани и обладают фагоцитарной активностью.

Виды глиальных клеток

- **Эпиндемоциты** - выстилают полости внутри мозга и имеют цилии помогающие циркуляции спинномозговой жидкости.
- **Астроциты** - самые многочисленные глиальные клетки.
- **Плазматические** (в сером веществе)
- **Волокнистые** (в белом веществе)
- **Олигодендроциты** - формируют миелин – электрическая изоляция аксонов.
- **Радиальная глия** - играет роль в миграции нейронов при развитии мозга.

Астроциты

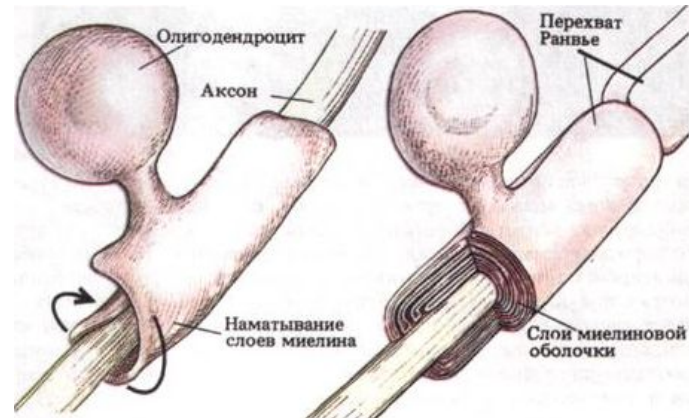
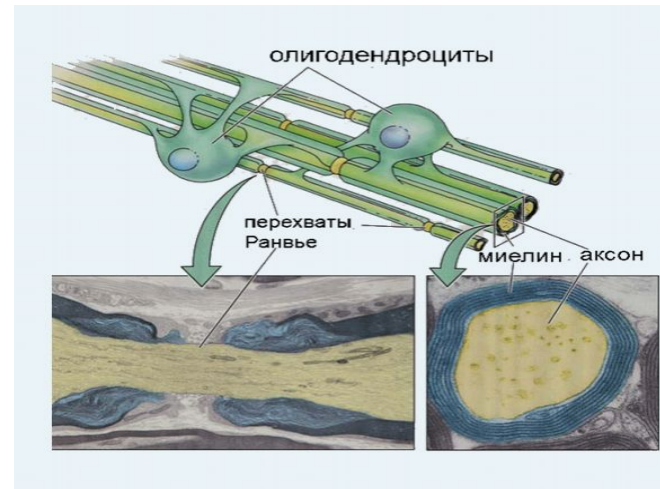


Функции

- Гомеостатическая (поддержание ионного и химического состава среды)
- Метаболическая (синтез и разложение веществ)
- Трофическая (влияние на рост и развитие нейронов)

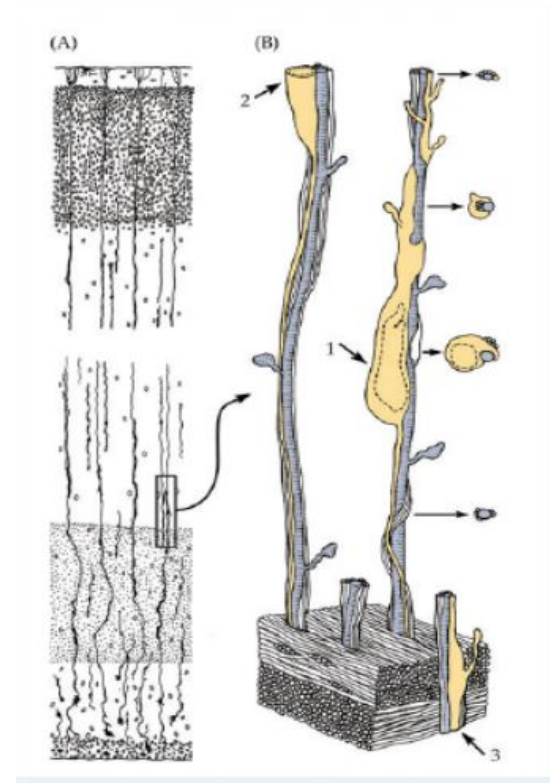
Олигодендроциты

Находятся преимущественно в белом веществе мозга, где они образуют миелин вокруг крупных аксонов.



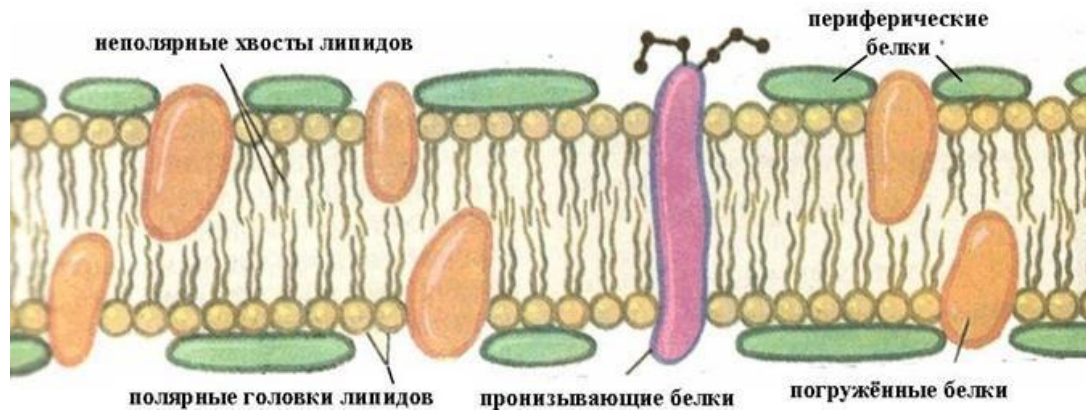
Радиальная глия

Участвует в миграции
нейронов во время
внутриутробного развития
плода

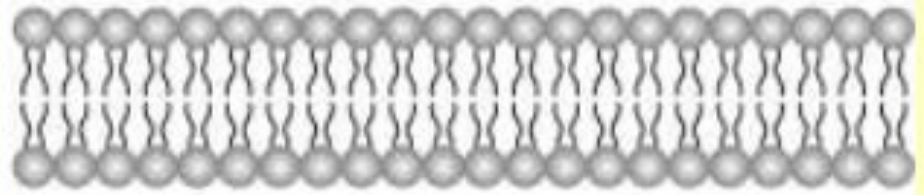


Строение нейрона

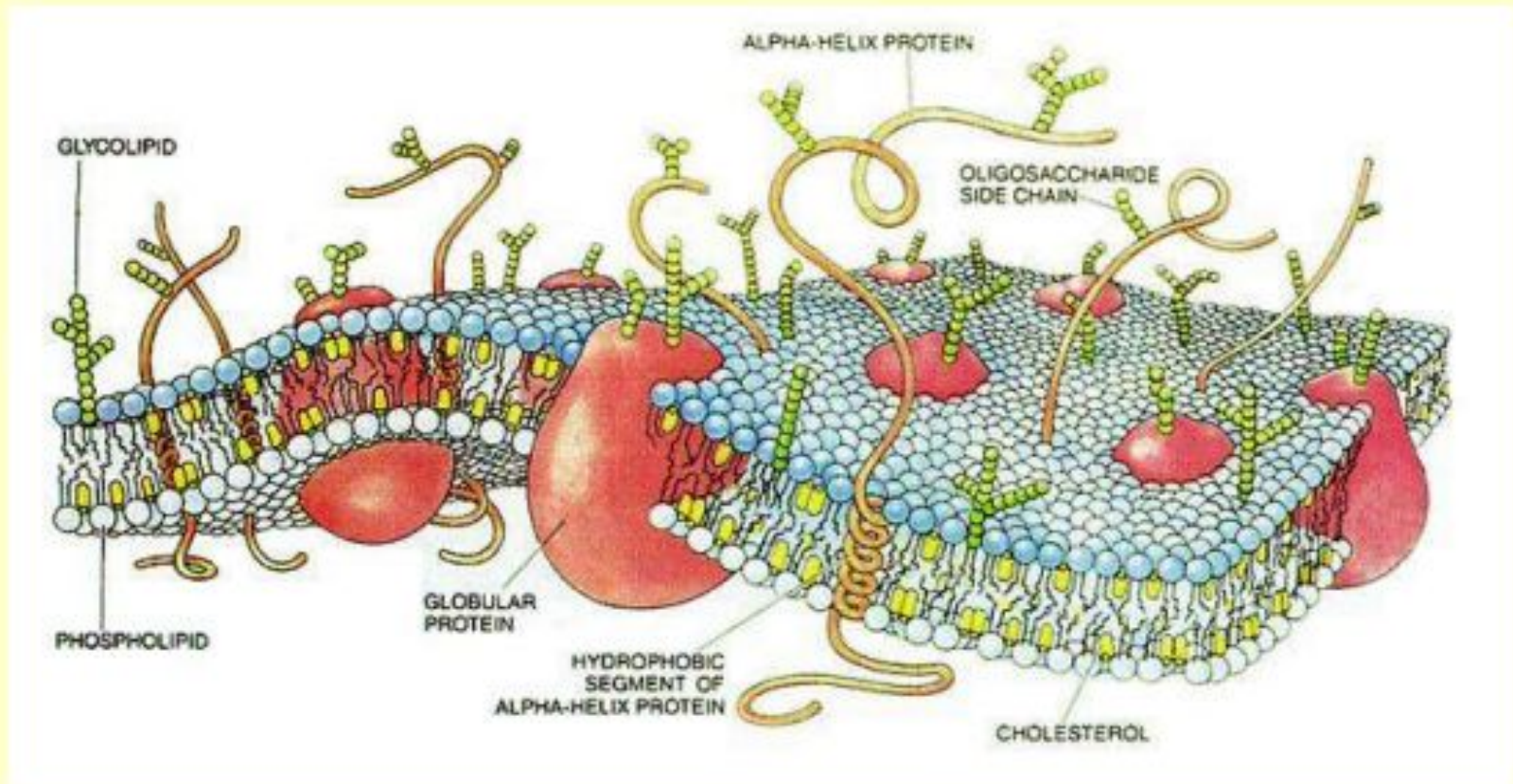
Тело нейрона покрыто слоистой мембраной, которая представляет собой два слоя липидов с противоположной ориентацией, образующих матрикс, в которой заключены белки.



Мембрана нейронов



В липидный бислойный матрикс погружены белковые молекулы: одни - частично; другие пронизывают насквозь.

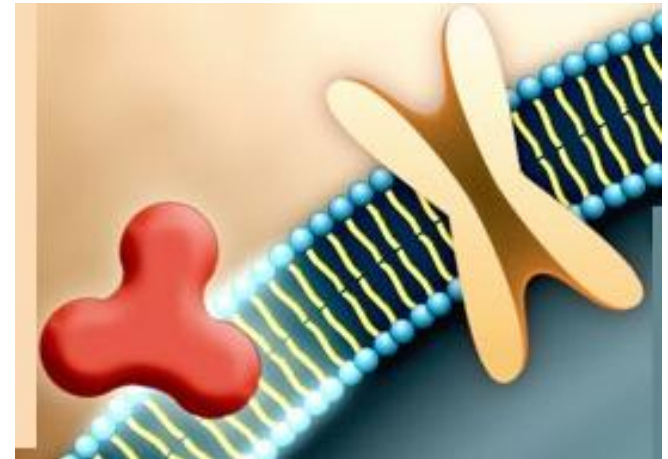


Состоит из двух слоев липидных (жировых) молекул.
Толщина мембраны - до 10-20 нм.

Строение нейрона

Белки мембраны:

- Интегральные – ионные каналы
- Поверхностные - рецепторы

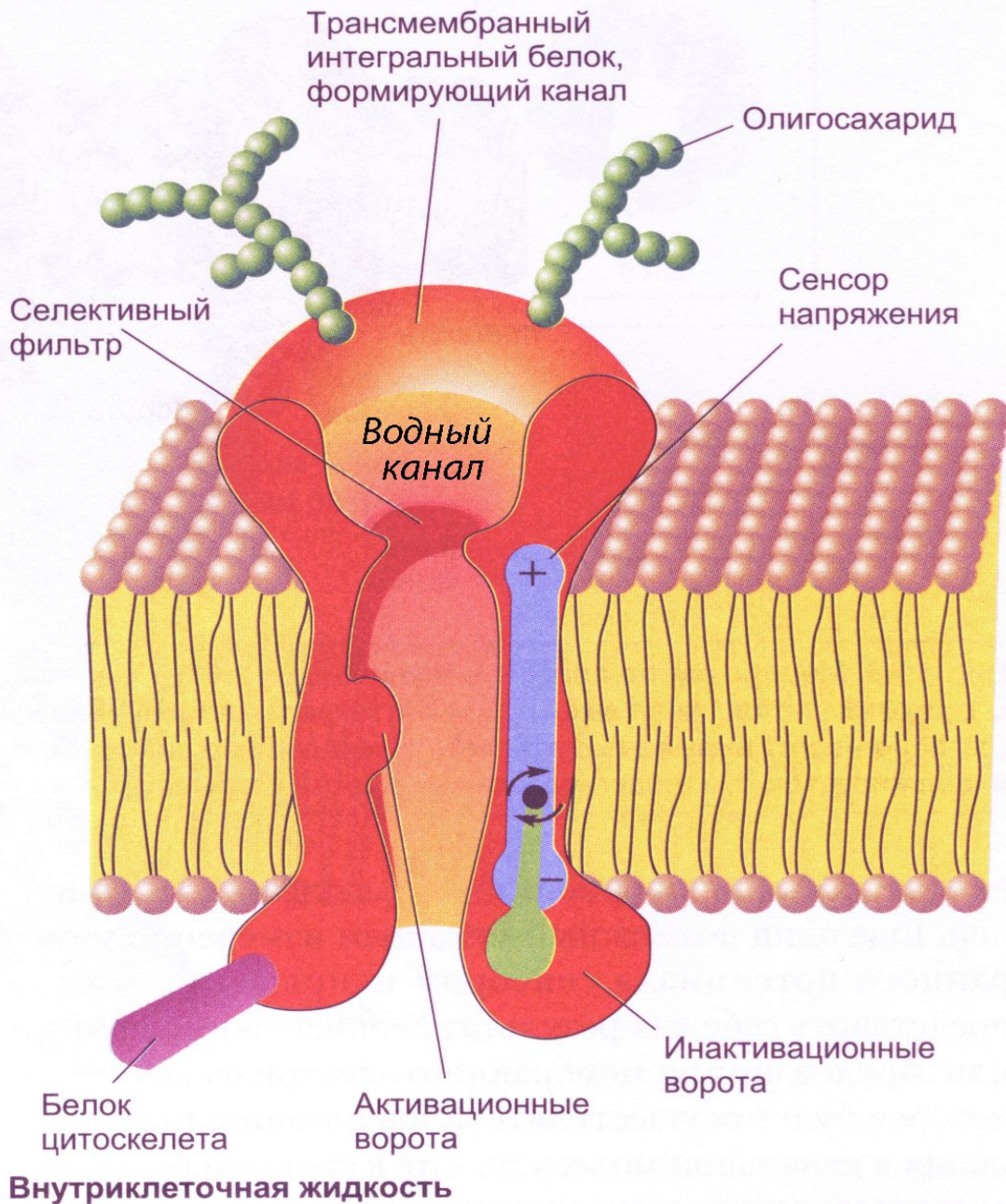


Структуры, поддерживающие гомеостаз нейрона:

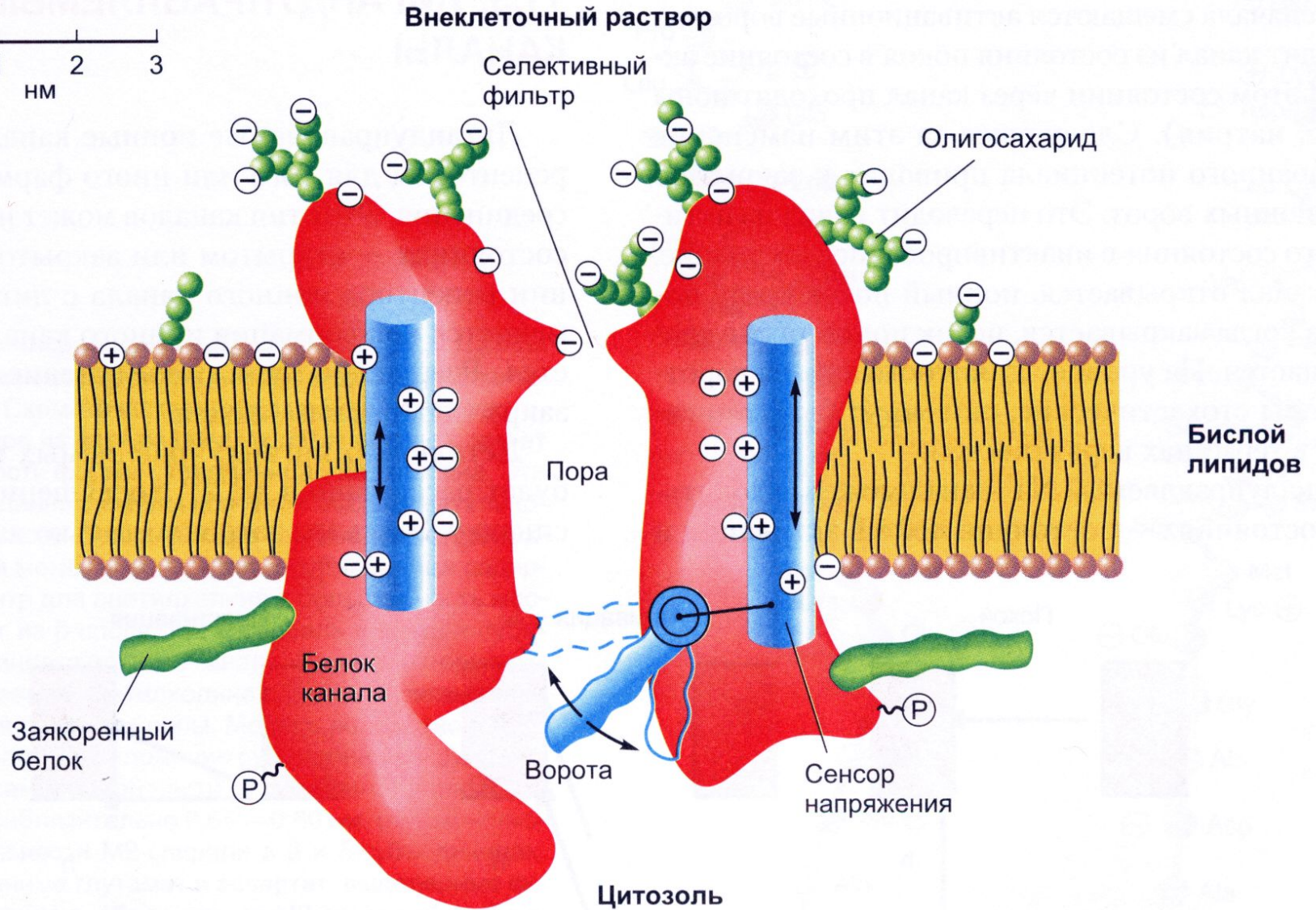
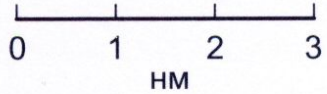
- **Мембрана** – отделяет внутриклеточную среду от внеклеточной и разделяет клетку на функциональные отделы
- **Ионные каналы** – пассивный транспорт ионов по градиенту концентрации
- **Ионные каналы насосы** – активный транспорт ионов против градиента концентрации с затратой энергии АТФ

Схема ионного канала

Внеклеточная жидкость



Функция канала



Основные функции мембраны

- Образует полупроницаемый, избирательный **барьер между цитоплазмой и внешней средой**
- **Проницаемость мембраны** управляется ее функциональным состоянием (**покой или работа**) и сигналами из внешней среды.
- Регулирует обмен веществ между клеткой и окружающей средой.
- Уникальный детектор и трансдуктор, приходящих стимулов.
- Соединяет между собой клетки (межклеточные контакты) и прикрепляет клетки к внеклеточному матриксу.

Ионные каналы



- 1. Пассивные (для калия)
- 2. Управляемые:
 - **потенциалзависимые;**
 - **хемозависимые;**
 - **механические**

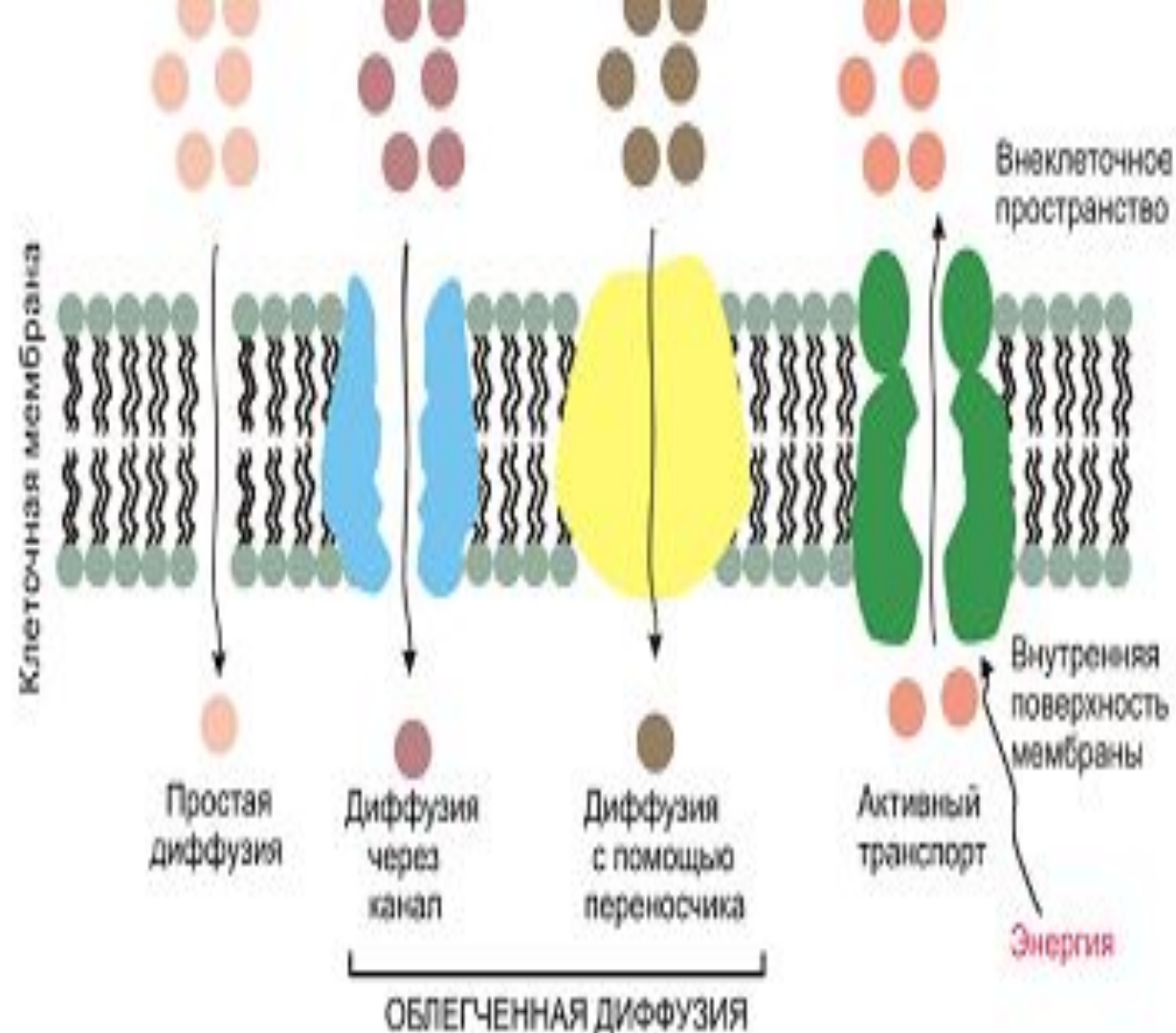


Рис. 4. Транспорт веществ через плазматическую мембрану

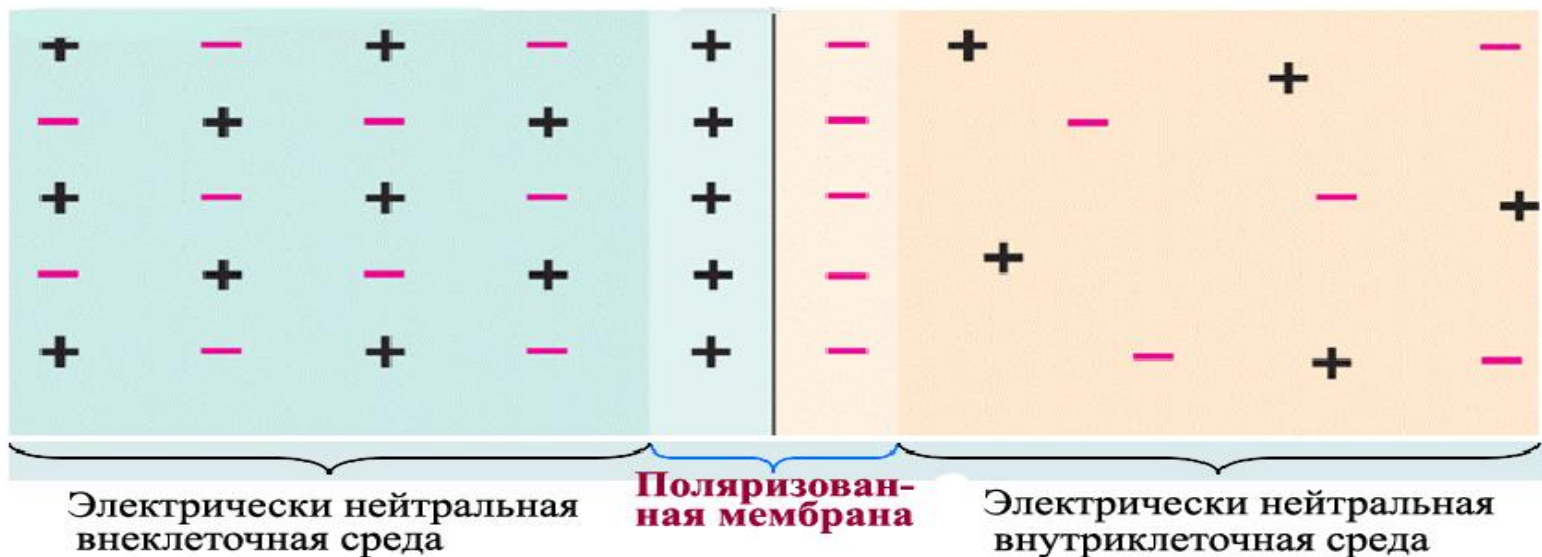
Мембрана называется

полупроницаемой, потому что:

- Мембрана ограничивает движение ионов какого-либо вида, т.е. одни ионы проходят через нее, а другие – нет.
- В результате этого возникает асимметрия в распределении ионов по обе стороны мембраны и (химический) **градиент концентраций ионов**

Благодаря этим свойствам мембрана создает и поддерживает

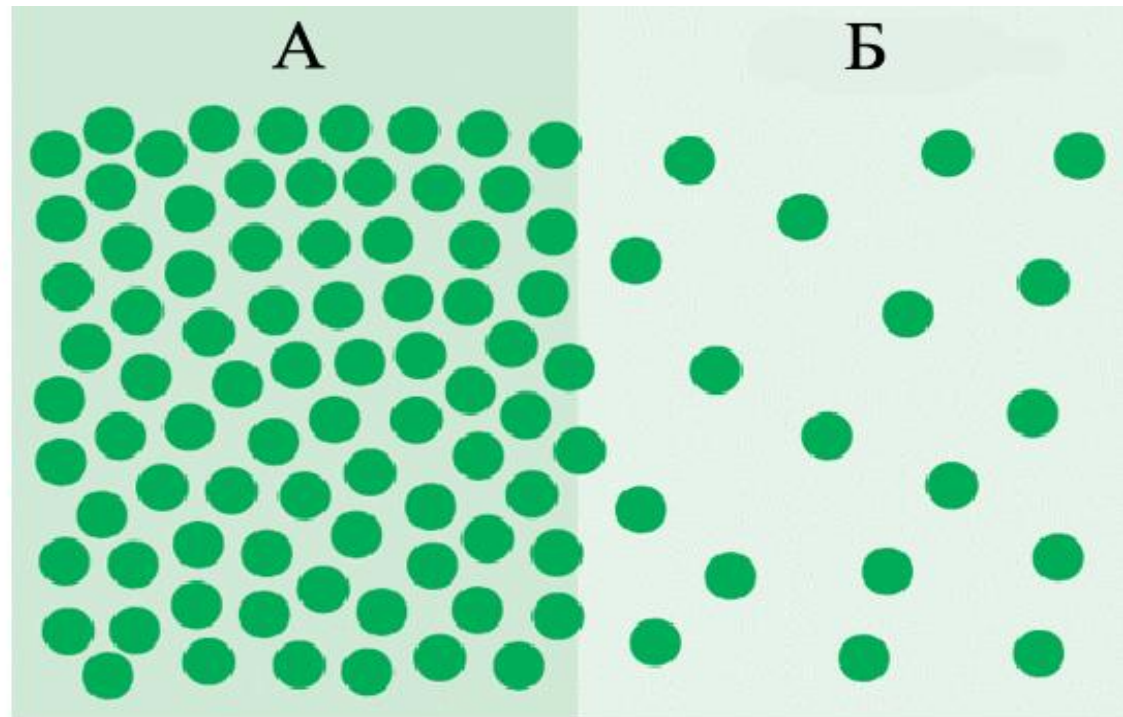
- Химическую (концентрационную) асимметрию ионов по обе стороны мембраны.
- Электрический градиент зарядов.
- Поляризацию мембраны (диполи).



В покое мембрана более проницаема для ионов K^+

Концентрационный
градиент

Мембрана проницаема
для растворенного ве-
щества



→ диффузия из А в Б

← диффузия из Б в А

→ нетто диффузия

● = растворенное вещество

Концентрационный градиент

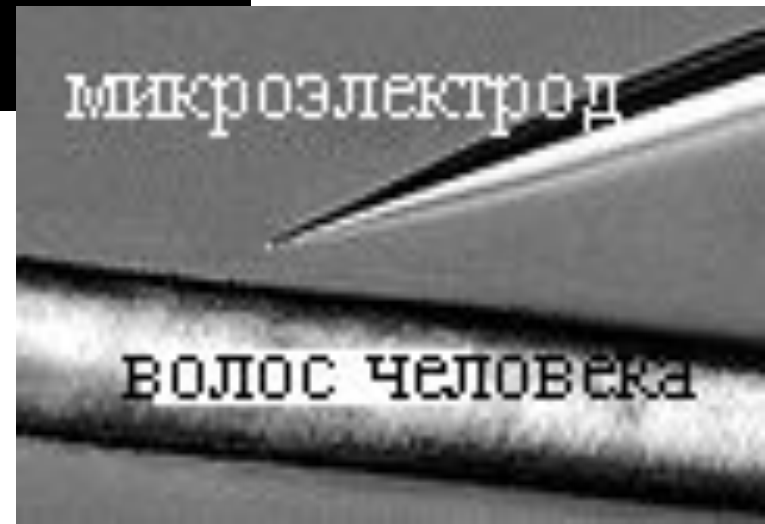
- **Различная концентрация ионов** является движущей силой для их диффузии в область меньшей концентрации.
- **Катионы калия** диффундируют из клетки во внеклеточную жидкость (постоянно).
- **Катионы натрия и хлора** диффундируют из внеклеточной жидкости в клетку (особенно интенсивно при открытии каналов в момент возбуждения нейрона).

Возникает и поддерживается МП

- *МП = ПП = Пассивный K+ ток.*
- *МП регистрируют с помощью микроэлектродной техники.*

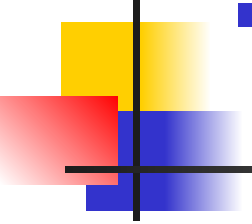


Линг и Джерард впервые так сделали микроэлектрод





ГЕНЕРАЦИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ В НЕРВНОЙ СИСТЕМЕ

- 
- Основной принцип функционирования центральной нервной системы – **способность мембраны нейронов генерировать и передавать возбуждение.**
 - В формировании мембранного потенциала основную роль играет различная проницаемость мембраны нейрона для ионов калия и натрия.

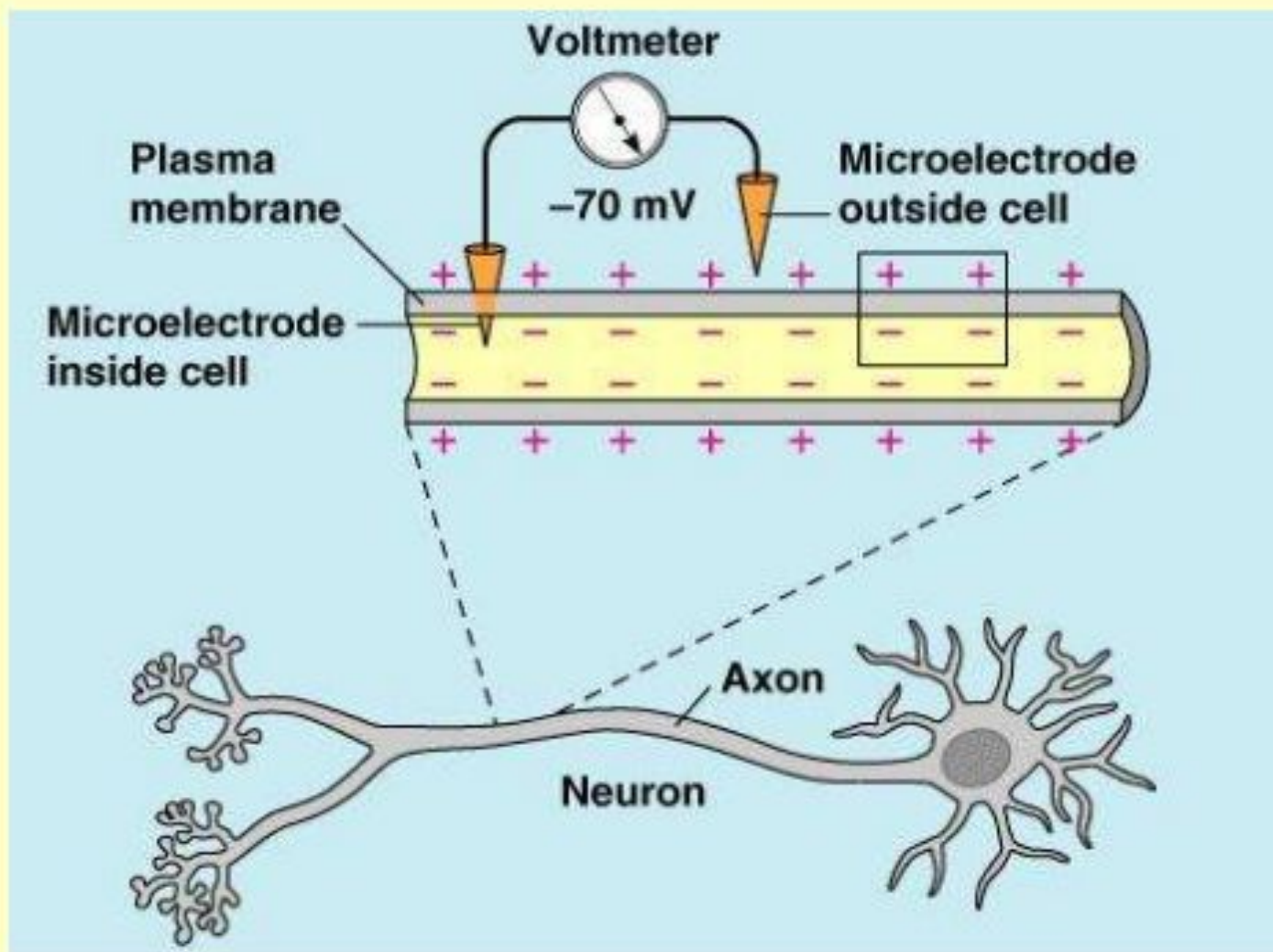


Мембранный потенциал

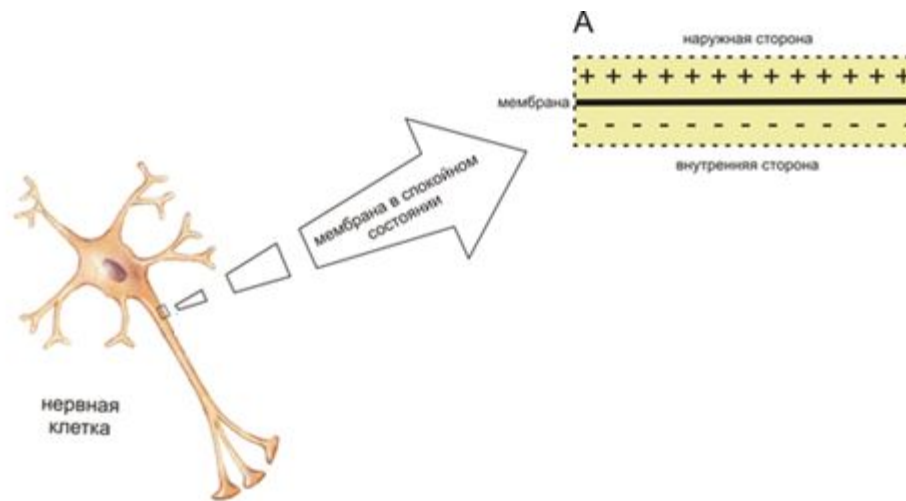
- это разность электрических потенциалов (напряжение) между внутренней и наружной поверхностью мембраны.

- 
- **Мембрана живой клетки поляризована** — её внутренняя поверхность заряжена отрицательно по отношению к внешней благодаря тому, что в растворе возле её внешней поверхности находится бóльшее количество положительно заряженных частиц (катионов), а возле внутренней поверхности — большее количество отрицательно заряженных частиц (анионов).
 - **Мембрана обладает избирательной проницаемостью** — её проницаемость для различных частиц (атомов или молекул) зависит от их размеров, электрического заряда и химических свойств.
 - **Мембрана возбудимой клетки способна быстро менять свою проницаемость** для определённого вида катионов, вызывая переход положительного заряда с внешней стороны на внутреннюю.

Потенциал покоя – это разность потенциалов между цитоплазмой клетки и окружающей средой.



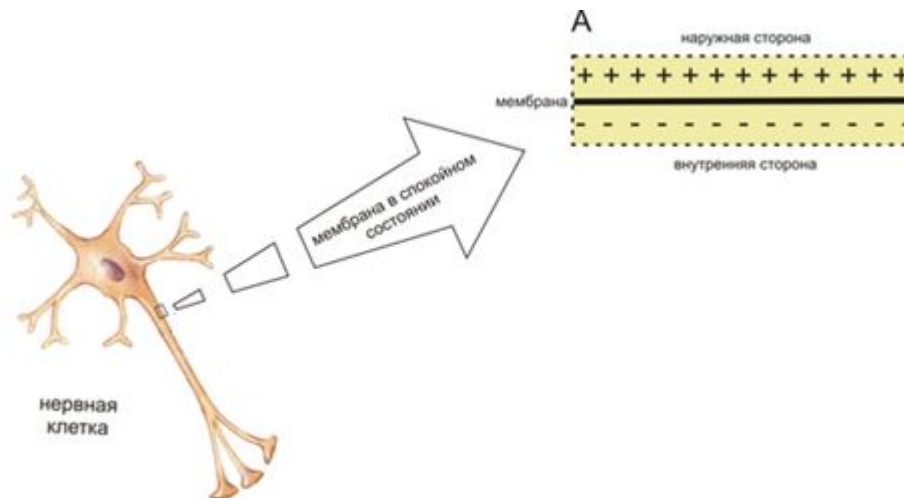
Потенциал покоя нейрона



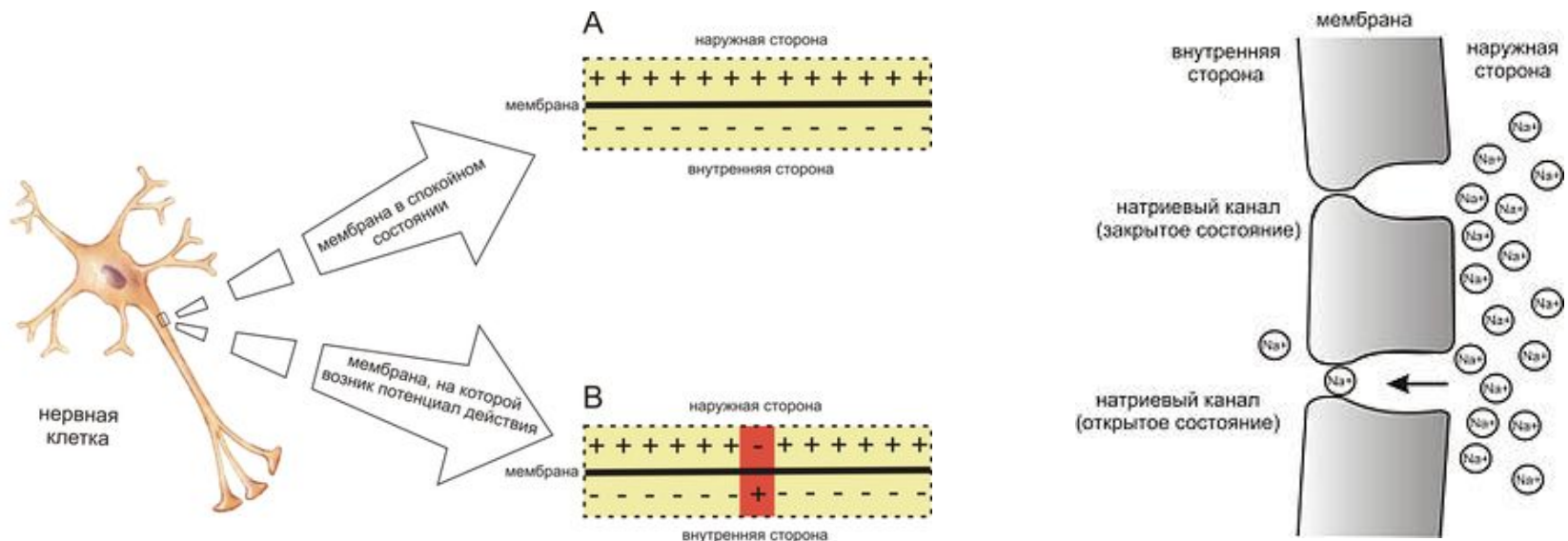
- Если ввести внутрь живой клетки электрод и измерить мембранный **потенциал покоя**, он будет иметь отрицательное значение (порядка -70 — -90 мВ). Это объясняется тем, что суммарный заряд на внутренней стороне мембраны существенно меньше, чем на внешней.

Потенциал покоя нейрона

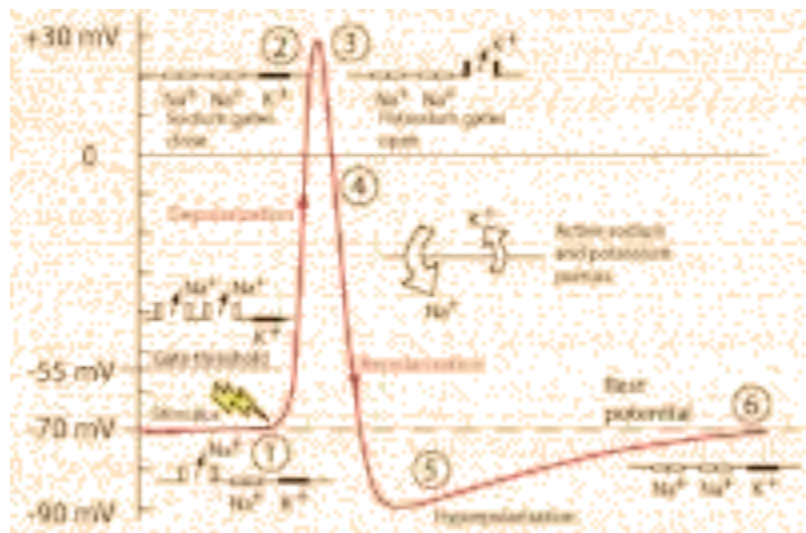
- **Снаружи** — преобладают ионы натрия, кальция и хлора, **внутри** — ионы калия и отрицательно заряженные белковые молекулы, аминокислоты, органические кислоты, фосфаты, сульфаты.



- **Под воздействием стимула происходит открытие натриевых каналов.** По градиенту концентраций положительно заряженные ионы натрия устремляются на внутреннюю сторону мембраны. Происходит уменьшение разности потенциалов с -70 мВ до -40 мВ.
- Открытие потенциал-зависимых натриевых каналов – активный ток ионов натрия внутрь клетки и смещение мембранного потенциала до $+20$ мВ, **что обеспечивает генерацию ПД.**



Потенциал действия нейрона




Исходную концентрацию ионов восстанавливает натрий-калиевый насос.

Длительность ПД составляет около 1 мс.

Амплитуда ПД составляет 110-130 мВ.

Как распространяется возбуждение (потенциал действия) в нервной ткани?

- *Развития современных представлений о биоэлектрических явления способствовали исследования **А. Ходжкина, Б.Катца, А. Хаксли**, которые экспериментально обосновали и развили **мембранно-ионную теорию***

- 
-
- ***Согласно этой теории биоэлектрических потенциалы обусловлены неодинаковой различной проницаемостью для них поверхностной мембраны***

Нервный импульс (потенциал действия)

В 1939 г. *А. Ходжкин* и *А. Хаксли* впервые зарегистрировали ПД от гигантского аксона кальмара.

А. Ходжкин (*A. Hodgkin*, 1949 г.)



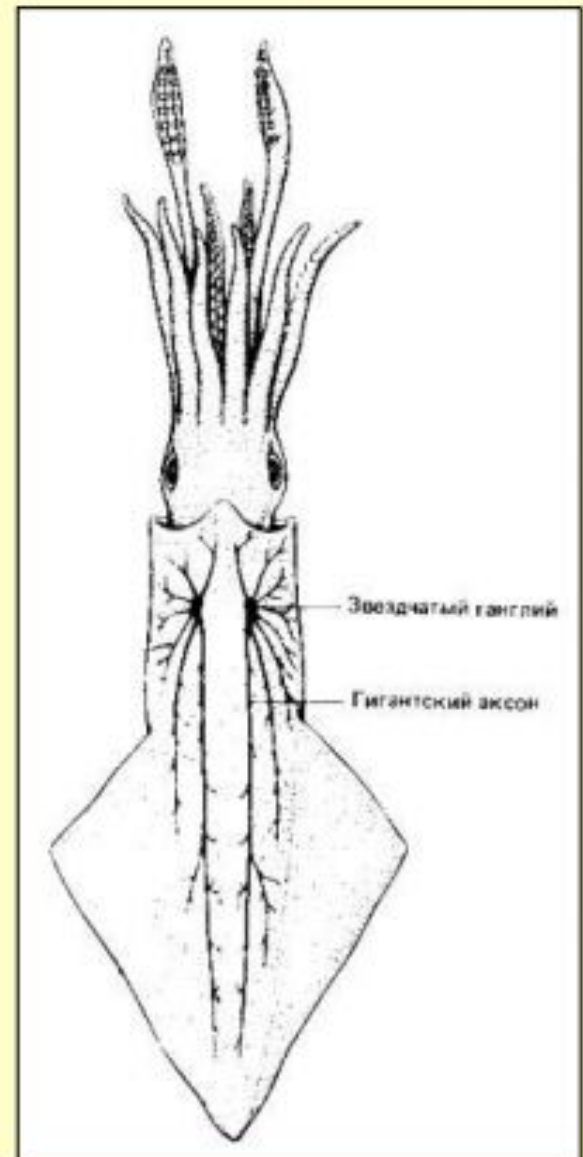
А. Хаксли (*A. Huxley*, 1974 г.)



Нобелевскую премию кальмару за его гигантский аксон !!!

В 1936 г. английский зоолог **Дж. Янг** описал особые длинные тяжи у **кальмаров** и **каракатиц**, которые оказались необычайно **толстыми аксонами**, а не кровеносными сосудами, как считалось ранее. Они получили название **гигантских аксонов** и стали излюбленным объектом для изучения **функций мембран**.

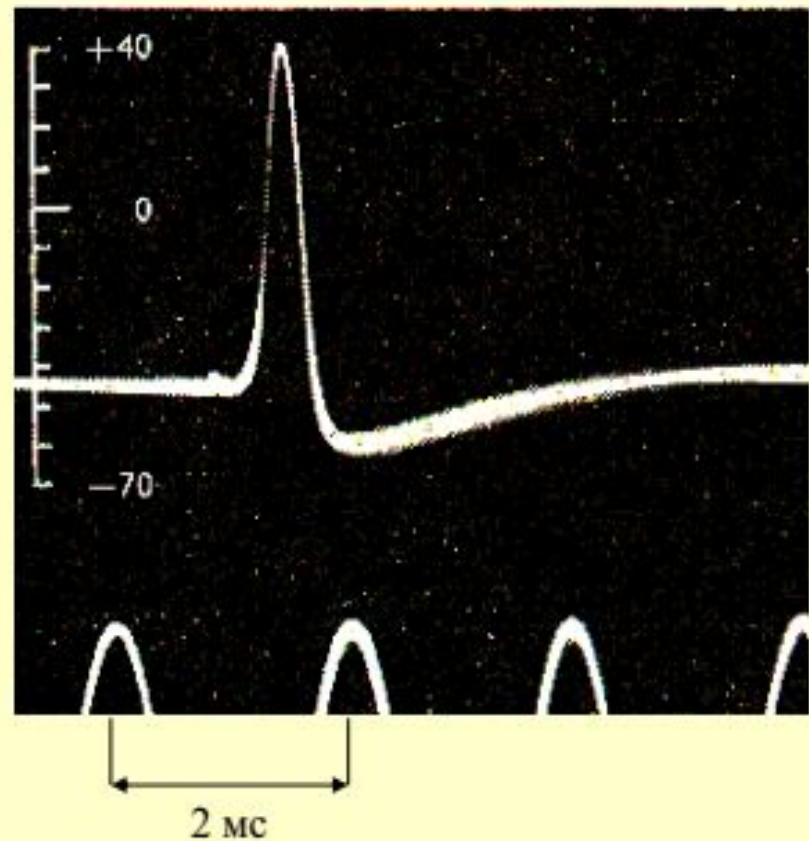
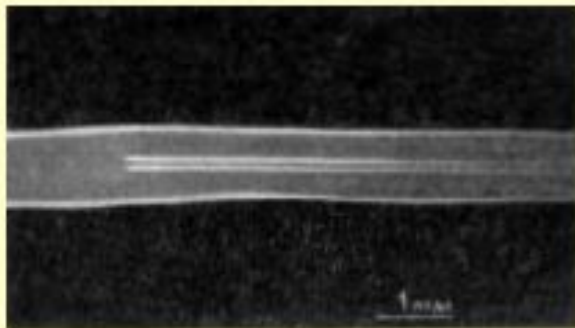
Кальмар **Loligo** и его **гигантские аксоны**. Благодаря своим крупным размерам эти аксоны быстро проводят возбуждение, обеспечивают тем самым синхронную активацию мышц мантии. Сокращаясь, эти мышцы вызывают резкий выброс воды, благодаря чему кальмар делает бросок назад.



Нервный импульс (потенциал действия, ПД)

В 1939 г. *А. Ходжкин* и *А. Хаксли* зарегистрировали внутриклеточными электродами потенциал действия **гигантских аксонов кальмаров**.

Аксон с микроэлектродом



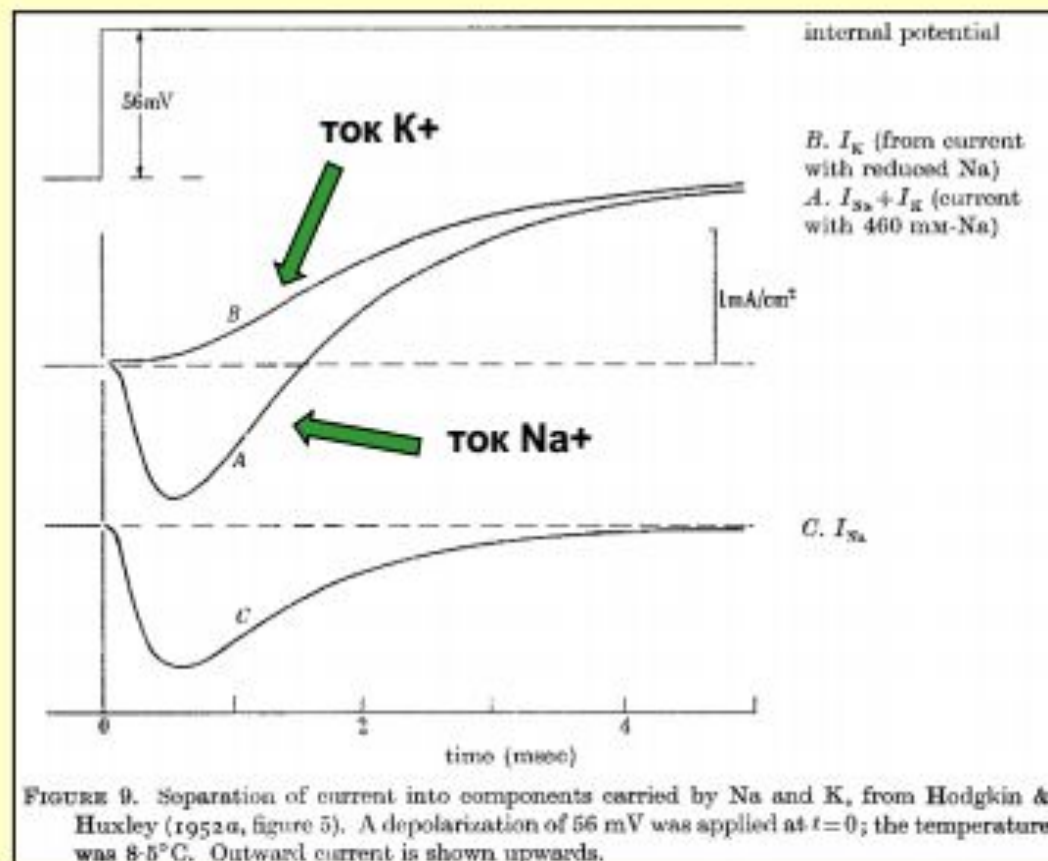
Ионные токи во время генерации ПД в аксоне кальмара

Методика фиксации потенциала позволяет регистрировать ионные токи, проходящие через возбудимую мембрану во время генерации ПД. Таким образом можно получить «вольт-амперные» характеристики мембраны аксона. С использованием этого метода в 1952 г. А. Ходжкин, А. Хаксли и Б. Катц впервые измерили ионные токи, проходящие через мембрану во время возбуждения.

Hodgkin AL, Huxley AF, Katz B (1952)

Measurement of current-voltage relations in the membrane of the giant axon of Loligo.

J Physiol (Lond) 116:424-448



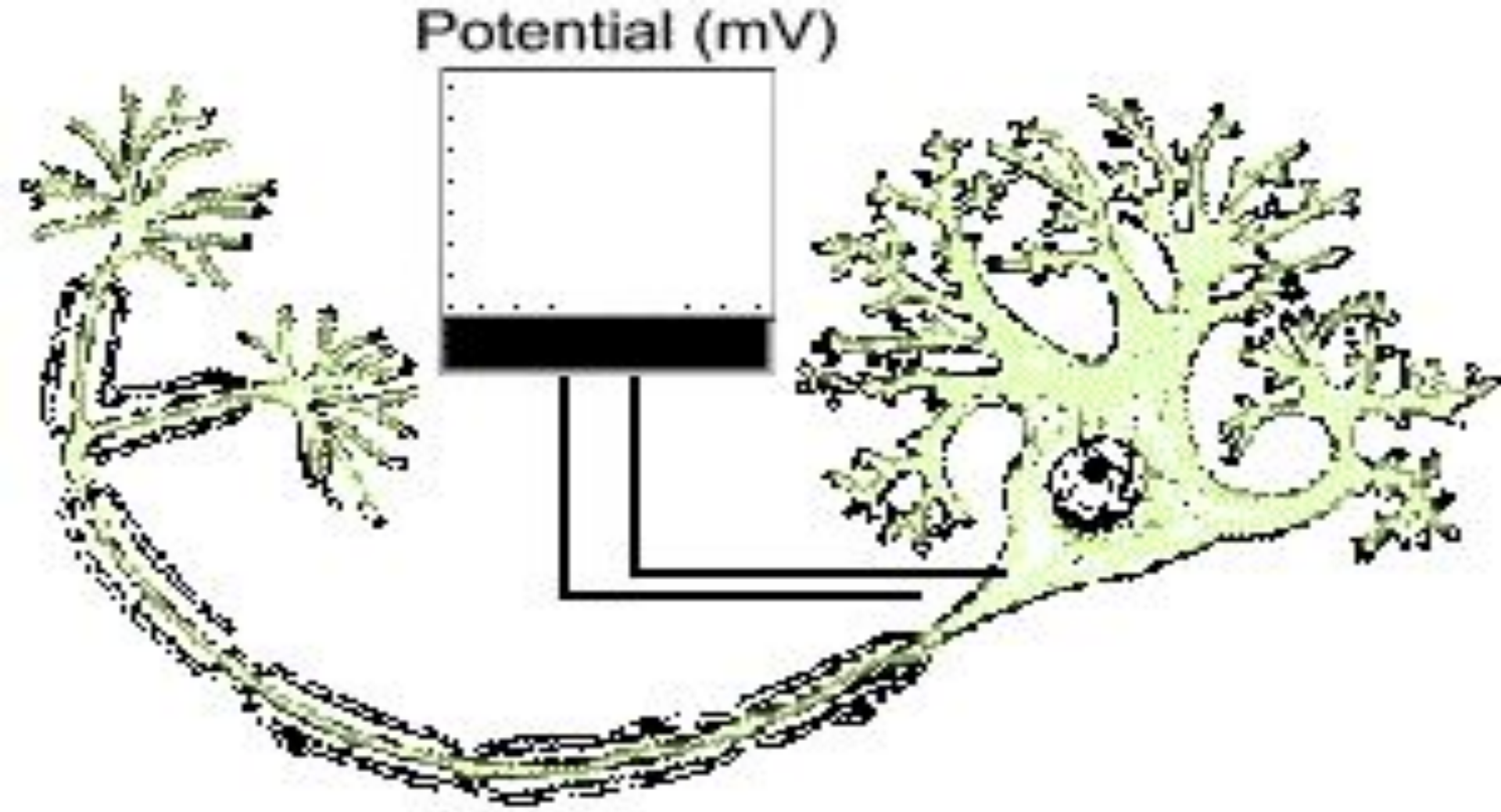


Потенциал действия (ПД)

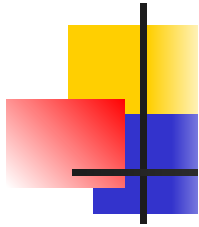
или

Нервный импульс

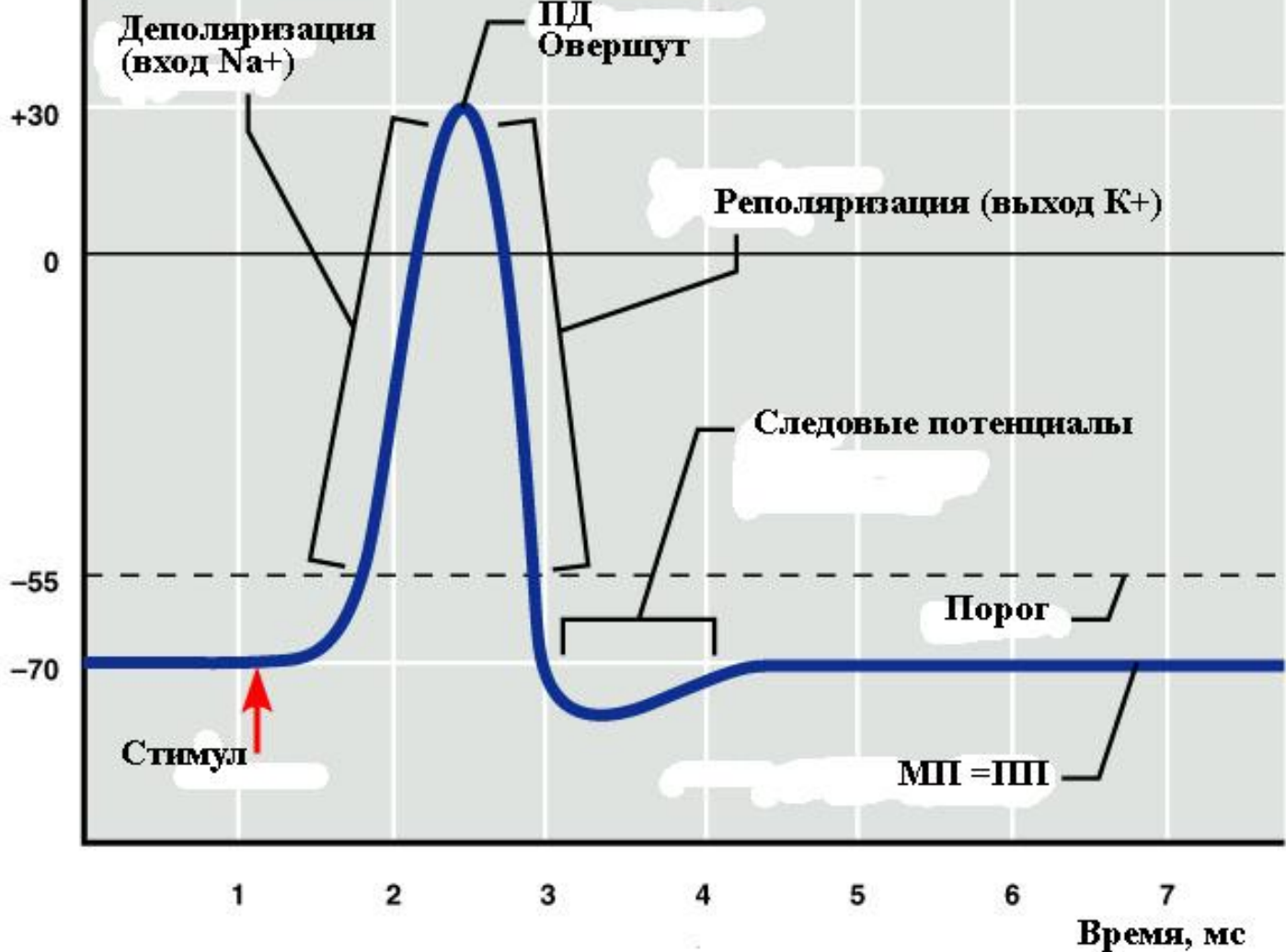
Потенциал действия нейрона



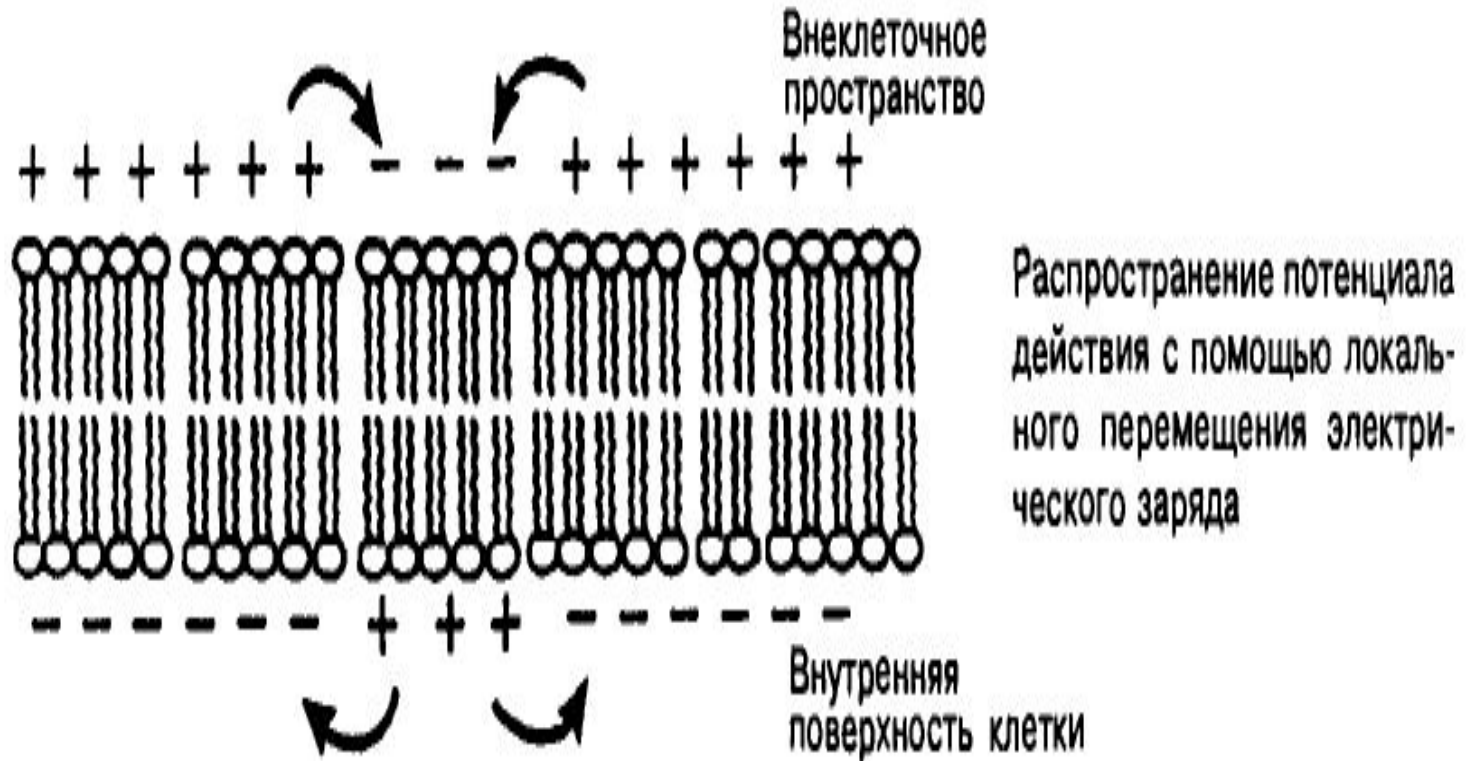
ПД и фазы



МП, мВ



Распространение ПД по волокну



Распространение ПД по волокну

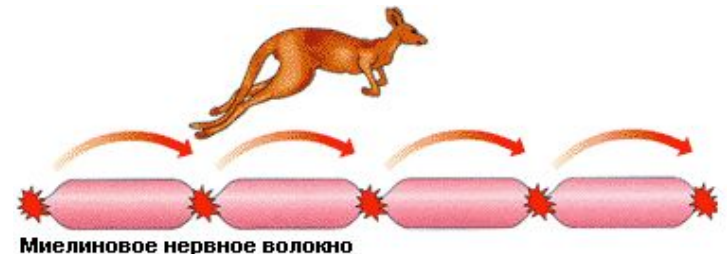
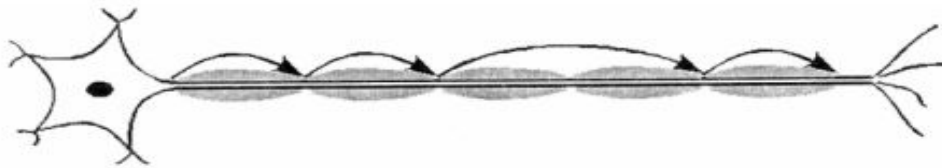
- В **немиелинизированных** нервных волокнах возбуждение распространяется посредством локальных токов очень маленькими шажками. Для немиелинизированных волокон средняя скорость проведения составляет 0,5-2 м/с.



Безмиелиновое
нервное волокно

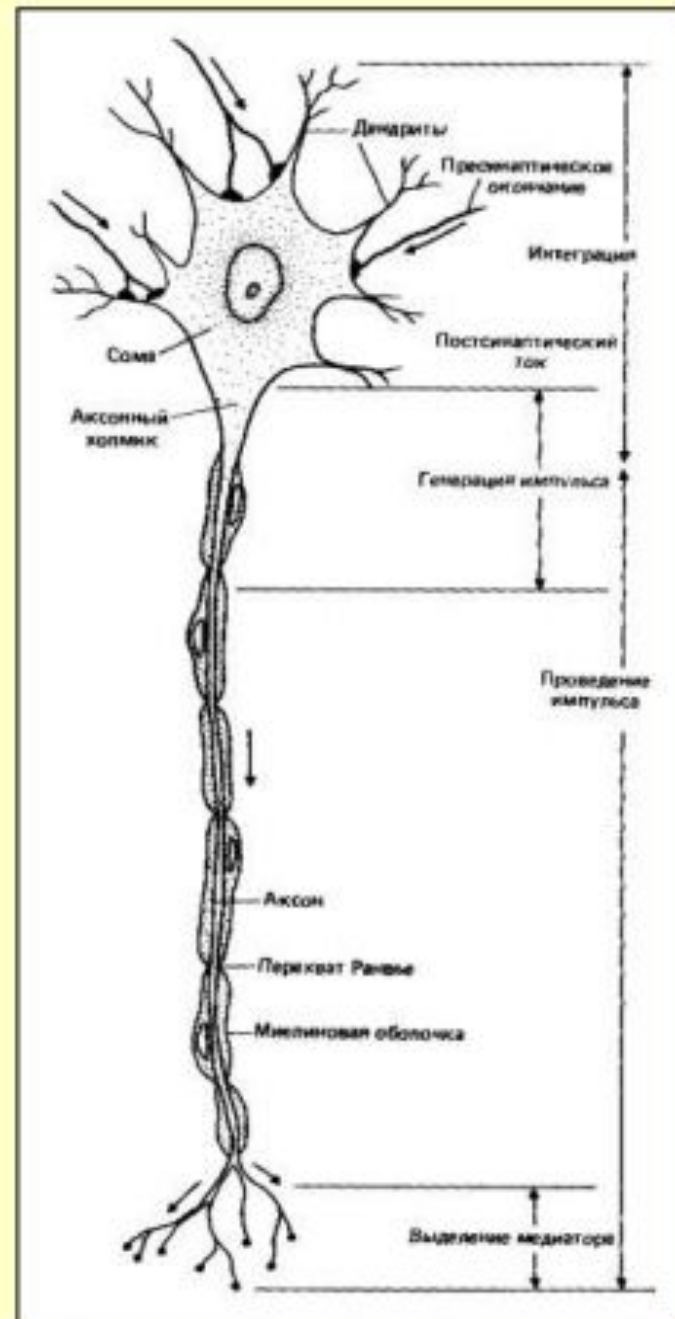
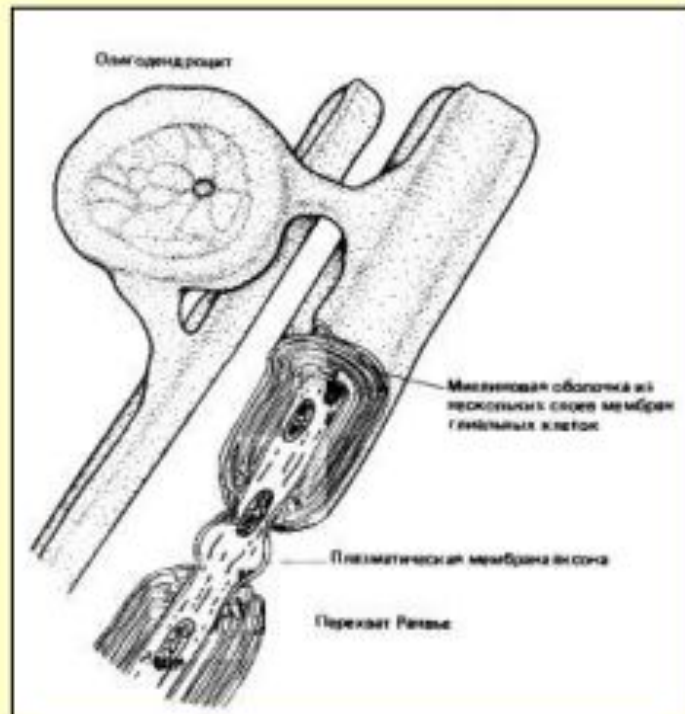
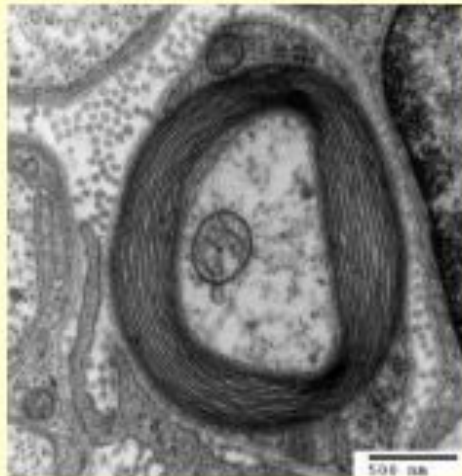
Распространение ПД по волокну

- В миелинизированных волокнах, где поперечное сопротивление увеличивается за счет наличия дополнительной миелинизированной муфты с высоким сопротивлением, импульс перепрыгивает скачком от одного перехвата Ранвье к другому, что приводит к значительному увеличению скорости проведения и составляет 10-100 м\с.



Распространение нервного импульса по миелинизированному волокну

Другой способ **увеличения** скорости проведения состоит в **изоляции** участков аксона **миелиновой оболочкой**. В периферической нервной системе **миелин** образован отростками **шванновских клеток**, а в **центральной** - отростками **олигодендроцитов**.



Потенциал действия

■ Возникновению потенциала действия предшествуют *активные изменения мембранного потенциала*, которые обусловлены повышением натриевой проницаемости мембраны.

■ *Катионы натрия* устремляются в клетку и уменьшают до нуля мембранный потенциал. На время возникает даже разность потенциалов с обратным знаком.

■ *Внутренняя поверхность* мембраны теряет отрицательный заряд и становится положительно заряженной, а *внешняя*, наоборот, теряет положительный заряд и зарядается отрицательно. *Это фаза деполяризации*.

Распространение нервных импульсов

Немиелинизированные волокна

При активации нейрона возникает электрический импульс (потенциал действия), который распространяется вдоль волокна. Потенциал действия определяется входом внутрь аксона Na^+ по специальным ионным каналам.

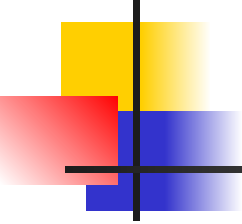


Скорость распространения нервного импульса увеличивается с диаметром нервного волокна (аксона).

В практической медицине используют эти фундаментальные знания

- Местные анестетики блокируют **натриевые каналы**.
- Натрий не входит в нервные волокна, **значит возбуждение не возникает** (боль не распространяется).
- Кардиологи управляют входом Кальция (лечение аритмий, гипертонии)

Закономерности проведения возбуждения по нервным волокнам



- Двустороннее проведение возбуждения.
- Изолированное проведение возбуждения в отдельных нервных волокнах.
- Большая скорость проведения возбуждения.
- Неутомляемость нервного волокна.
- Возможность функционального блока проведения возбуждения при морфологической целостности нервных волокон.

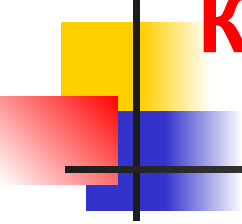


Контрольные вопросы





I watch you!

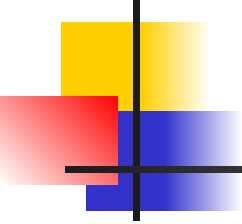


Кто впервые определил наличие токов в ЦНС

А – Бергер

Б – Декарт

В – Кэтон



Чему равен потенциал покоя мембраны нейрона?

А. -70 мВ

Б. +20 мВ



Благодарю за внимание!
