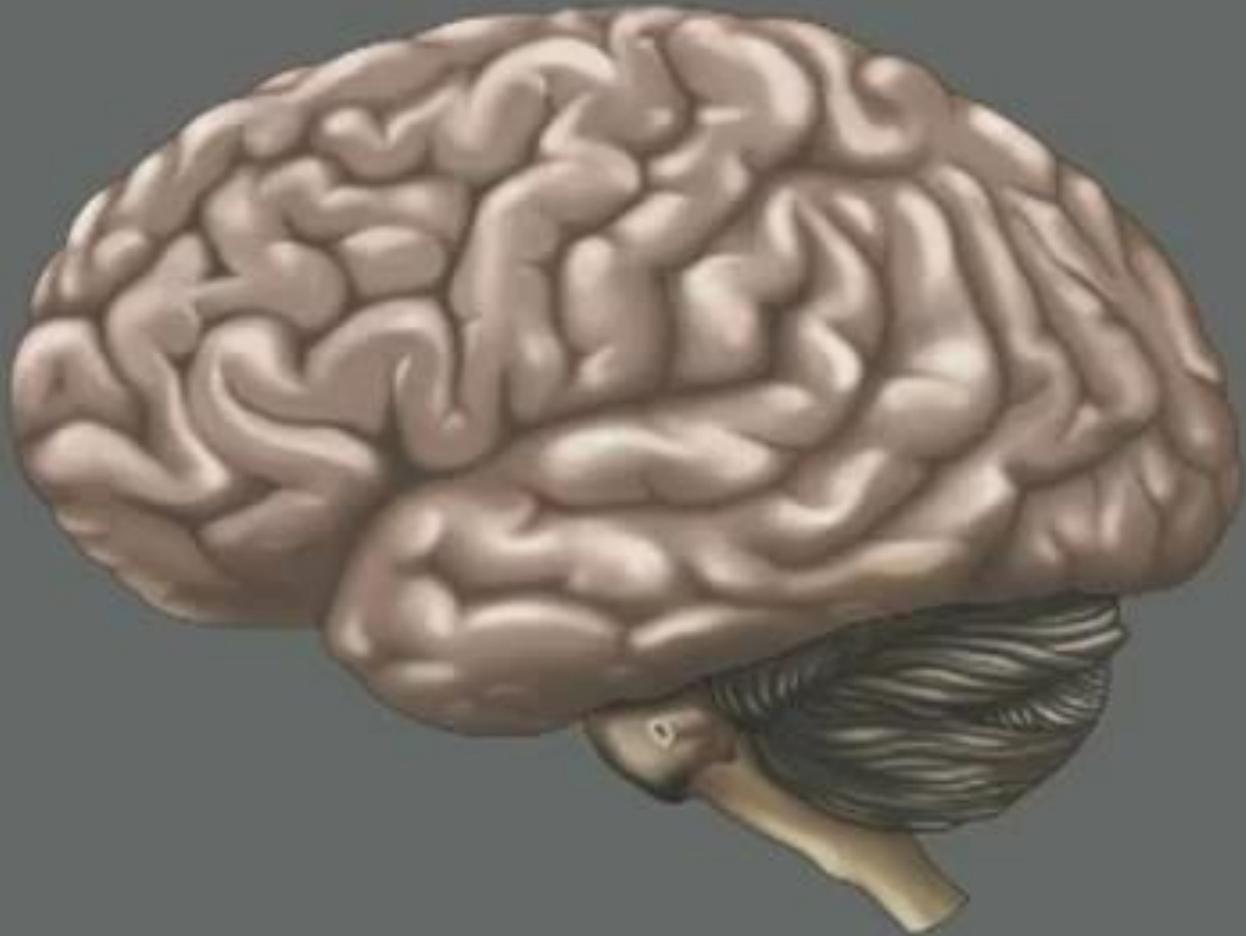
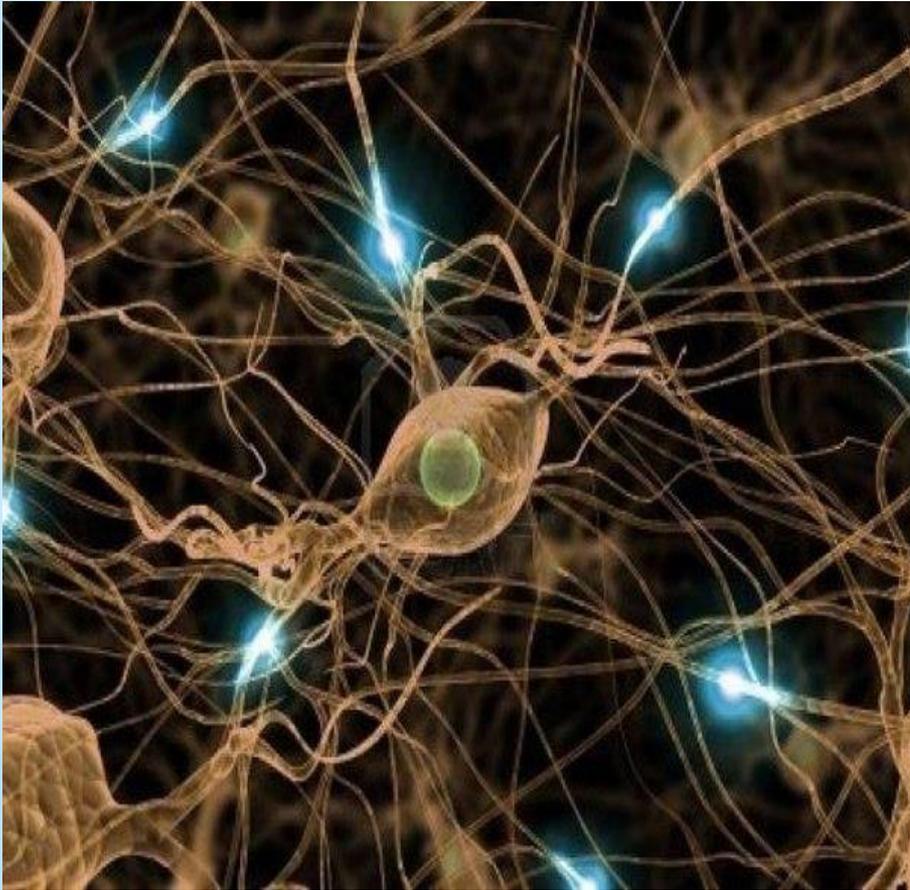


Биофизика нейрона

Сложность и многообразие функций нервной системы определяются взаимодействием между нейронами, которое, в свою очередь, представляет собой набор различных сигналов, передаваемых в рамках взаимодействия нейронов с другими нейронами или мышцами и железами. Сигналы испускаются и распространяются с помощью ионов, генерирующих электрический заряд (потенциал действия), который движется по телу нейрона



Что такое нейрон?



Нейрон — это структурно-функциональная единица нервной системы, специализирующаяся на восприятии, хранении, воспроизведении и передаче информации.

Виды нейронов

Структурная классификация

На основании числа и расположения дендритов и аксона нейроны делятся на:

- Униполярные нейроны .
- Биполярные нейроны
- Мультиполярные нейроны

Униполярные нейроны – нейроны с одним отростком, присутствуют, например в сенсорном ядре тройничного нерва в среднем мозг.



Псевдоуниполярные нейроны — являются уникальными в своём роде. От тела отходит один отросток, который сразу же Т-образно делится. Весь этот единый тракт покрыт миелиновой оболочкой и структурно представляет собой аксон, хотя по одной из ветвей возбуждение идёт не от, а к телу нейрона. Структурно дендритами являются разветвления на конце этого (периферического) отростка. Триггерной зоной является начало этого разветвления (то есть находится вне тела клетки). Такие нейроны встречаются в спинальных ганглиях

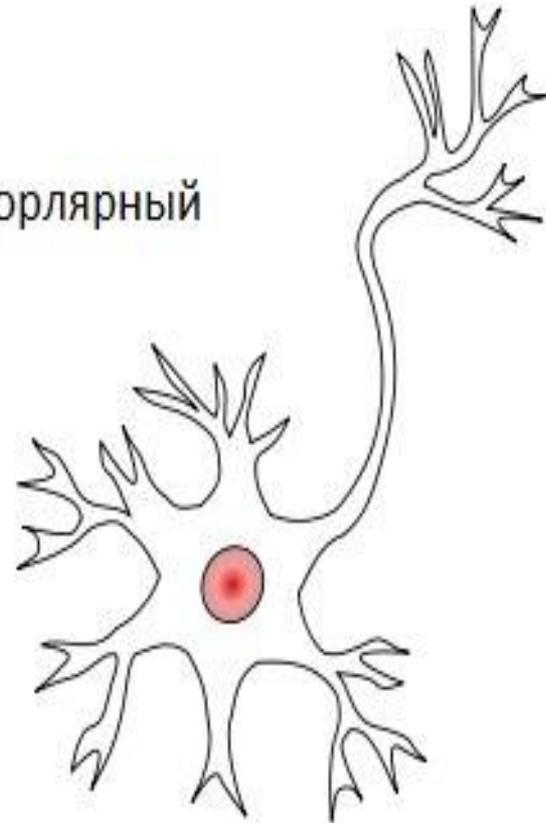


Биполярные нейроны – нейроны, имеющие один аксон и один дендрит, расположенные в специализированных сенсорных органах – сетчатке глаза, обонятельном эпителии и луковице, слуховом и вестибулярном ганглиях.



Мультиполярные нейроны — нейроны с одним аксоном и несколькими дендритами. Данный вид нервных клеток преобладает в ЦНС.

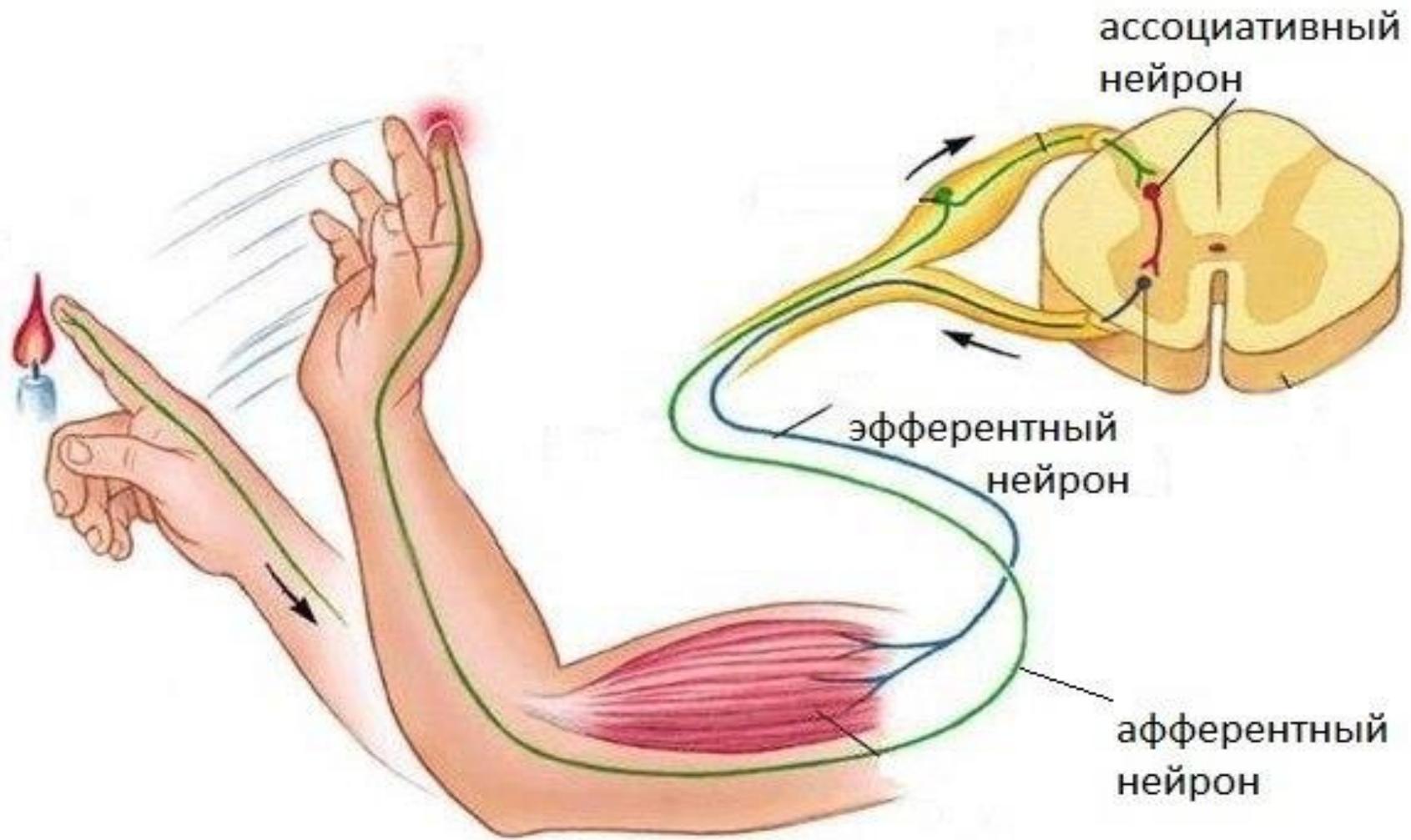
мультиполярный

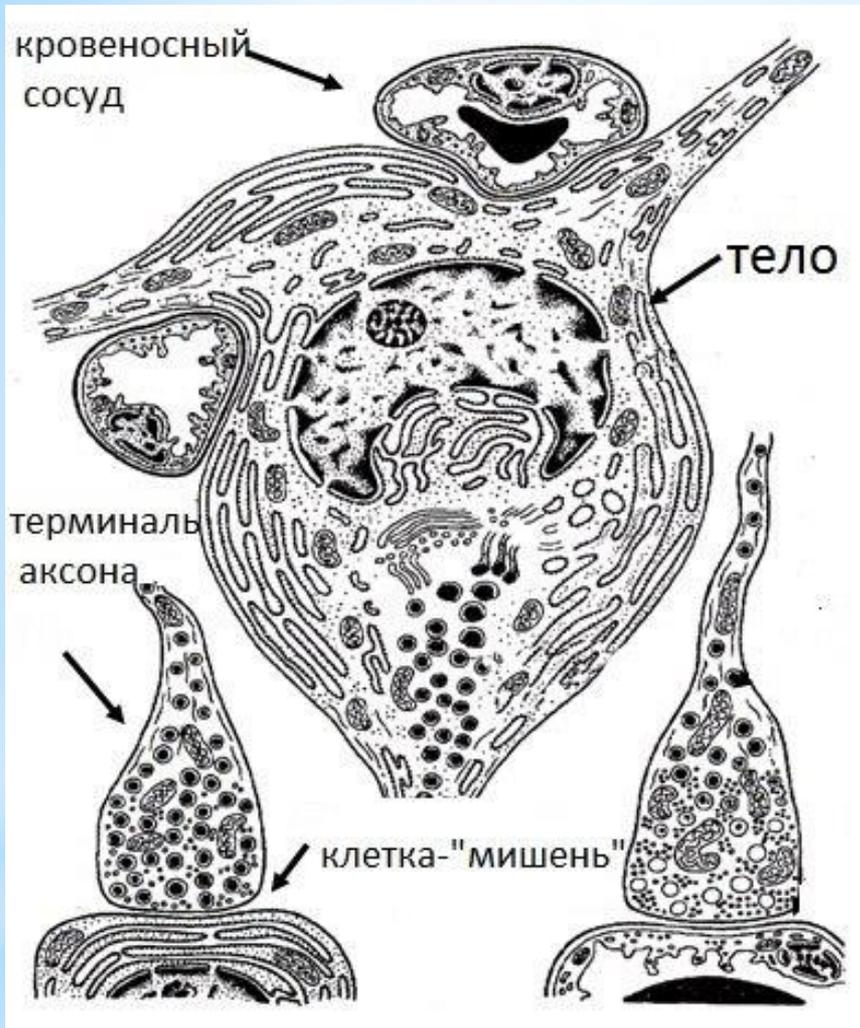


Функциональная классификация

По положению в рефлекторной дуге различают:

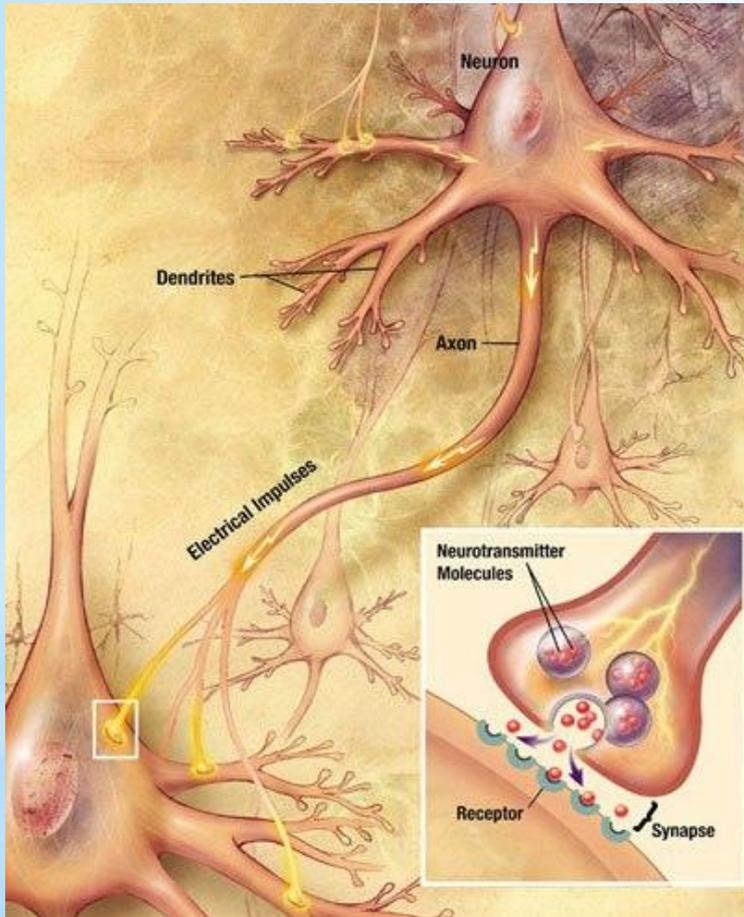
- **Афферентные нейроны** (чувствительный, сенсорный, рецепторный или центростремительный). К нейронам данного типа относятся первичные клетки органов чувств и псевдоуниполярные клетки, у которых дендриты имеют свободные окончания.
- **Эфферентные нейроны** (эффекторный, двигательный, моторный или центробежный). К нейронам данного типа относятся конечные нейроны – ультиматные и предпоследние – не ультиматные.
- **Ассоциативные нейроны** (вставочные или интернейроны) – группа нейронов осуществляет связь между эфферентными и афферентными, их делят на интризитные, комиссуральные и проекционные.



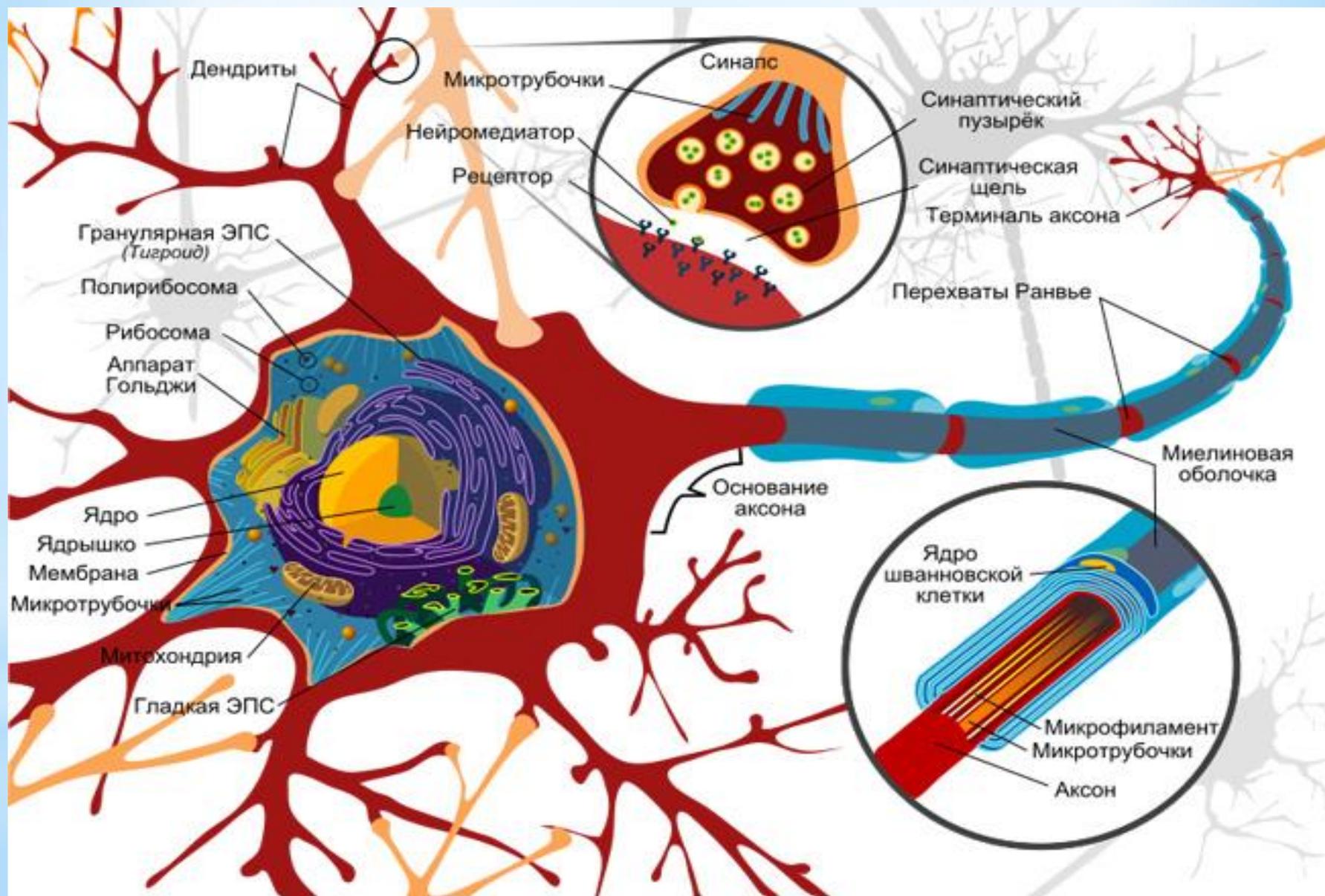


- **Секреторные нейроны** — нейроны, секретирующие высокоактивные вещества (нейрогормоны). Секреторные нейроны имеют крупные размеры, базофильные глыбки располагаются по периферии тела клеток, в цитоплазме и в аксонах находятся гранулы нейросекрета, содержащие белки, липиды или полисахариды.

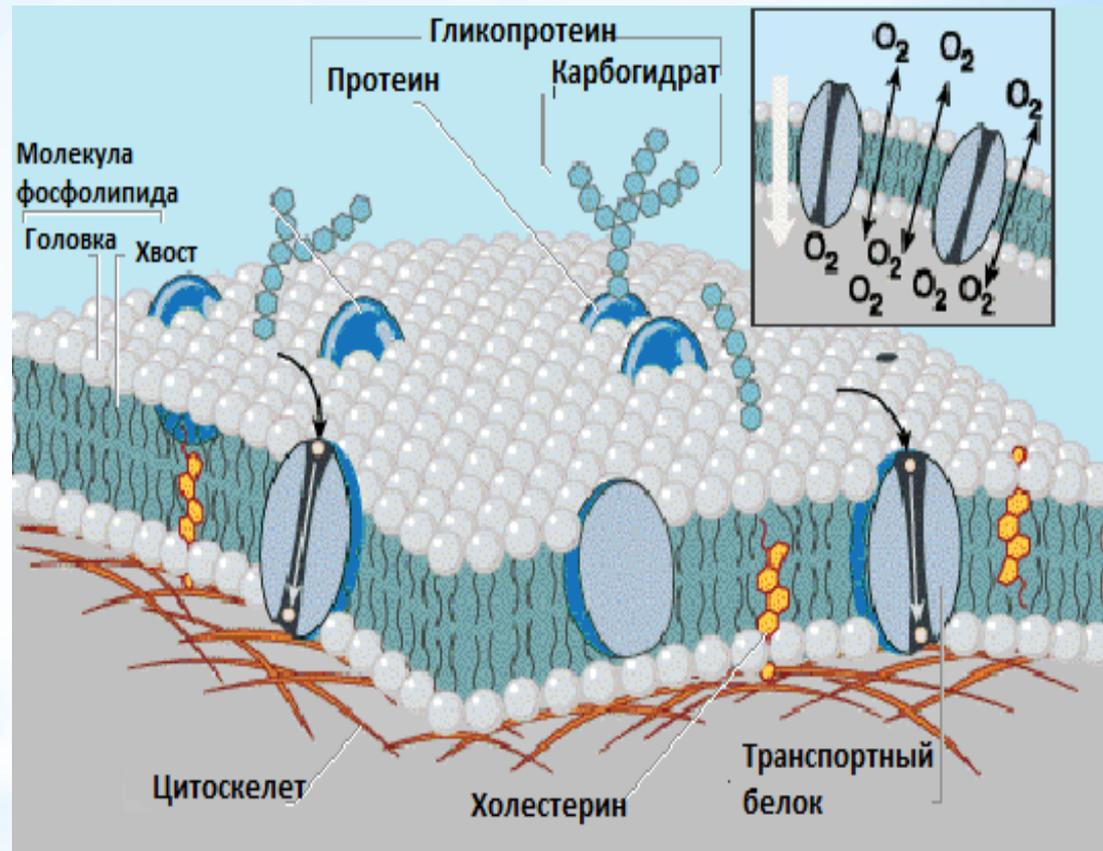
Строение нейрона



Нейрон состоит из тела диаметром от 3 до 130 мкм, содержащего ядро (с большим количеством ядерных пор) и органеллы (в том числе сильно развитый шероховатый ЭПР с активными рибосомами, аппарат Гольджи).



Тело нервной клетки состоит из цитоплазмы, снаружи ограничена мембраной из билипидного слоя. Липиды состоят из гидрофильных головок и гидрофобных хвостов, расположены гидрофобными хвостами друг к другу, образуя гидрофобный слой, который пропускает только жирорастворимые вещества (напр. кислород и углекислый газ). На мембране находятся белки: на поверхности (в форме глобул), на которых можно наблюдать наросты полисахаридов (гликокаликс), благодаря которым клетка воспринимает внешнее раздражение, и интегральные белки, пронизывающие мембрану насквозь, в которых находятся ионные каналы.



Нейрон имеет развитый и сложный цитоскелет, проникающий в его отростки. Цитоскелет поддерживает форму клетки, его нити служат «рельсами» для транспорта органелл и упакованных в мембранные пузырьки веществ (например, нейромедиаторов). Цитоскелет нейрона состоит из фибрилл разного диаметра: Микротрубочки — состоят из белка тубулина и тянутся от нейрона по аксону, вплоть до нервных окончаний.

Нейрофиламенты — вместе с микротрубочками обеспечивают внутриклеточный транспорт веществ. Микрофиламенты — состоят из белков актина и миозина, особенно выражены в растущих нервных отростках и в нейроглии.

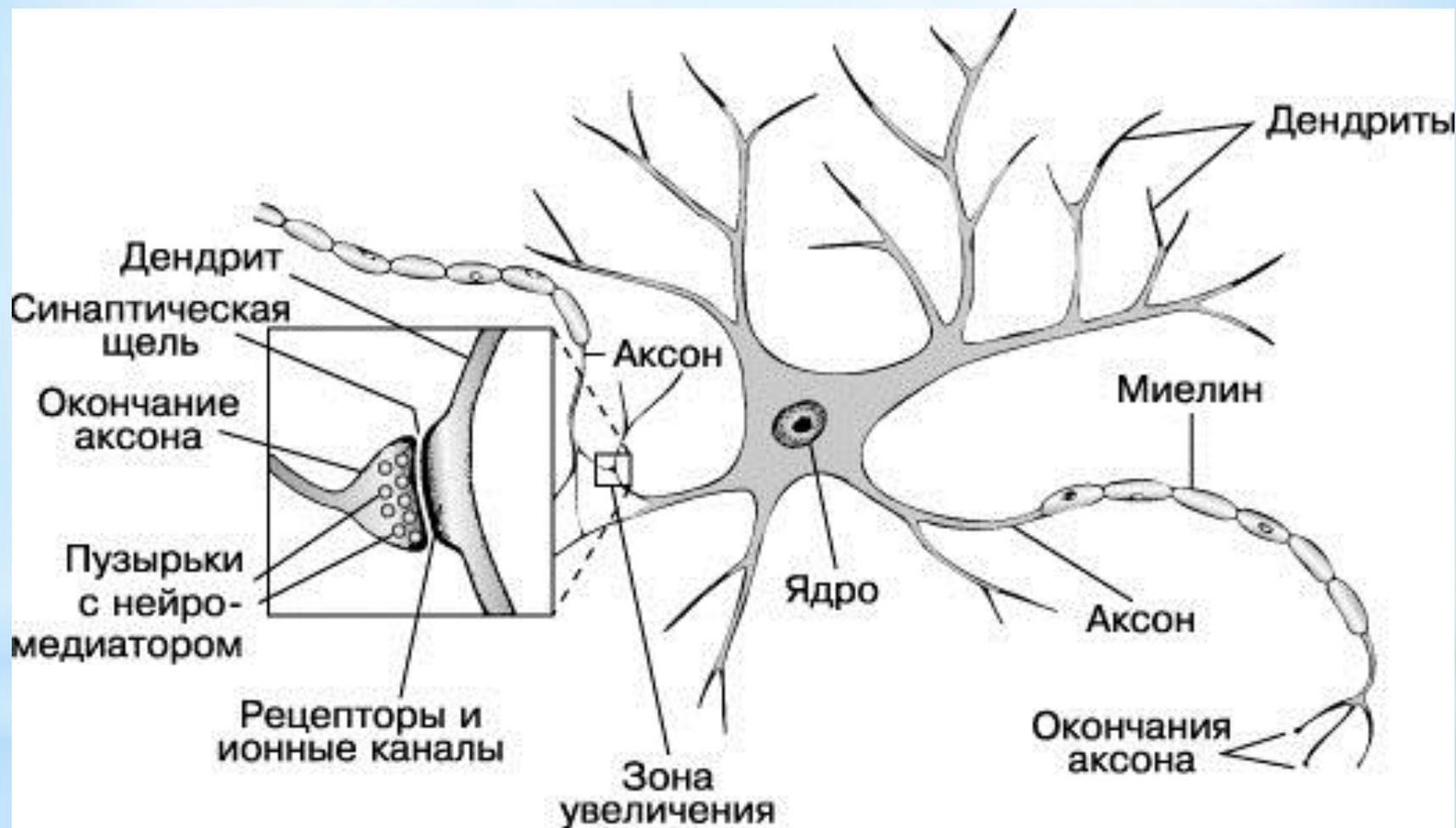


АКСОН И ДЕНДРИТЫ

Отростки нейрона представляют собой выпячивания и разветвления его цитоплазмы различной длины, покрытые плазматической мембраной и заканчивающиеся специализированными нервными окончаниями.

По функциональному значению отростки нейронов делятся на *аксоны*, по которым потенциал действия передается другим нервным клеткам, и *дендриты*, которые проводят импульс к телу нейрона.

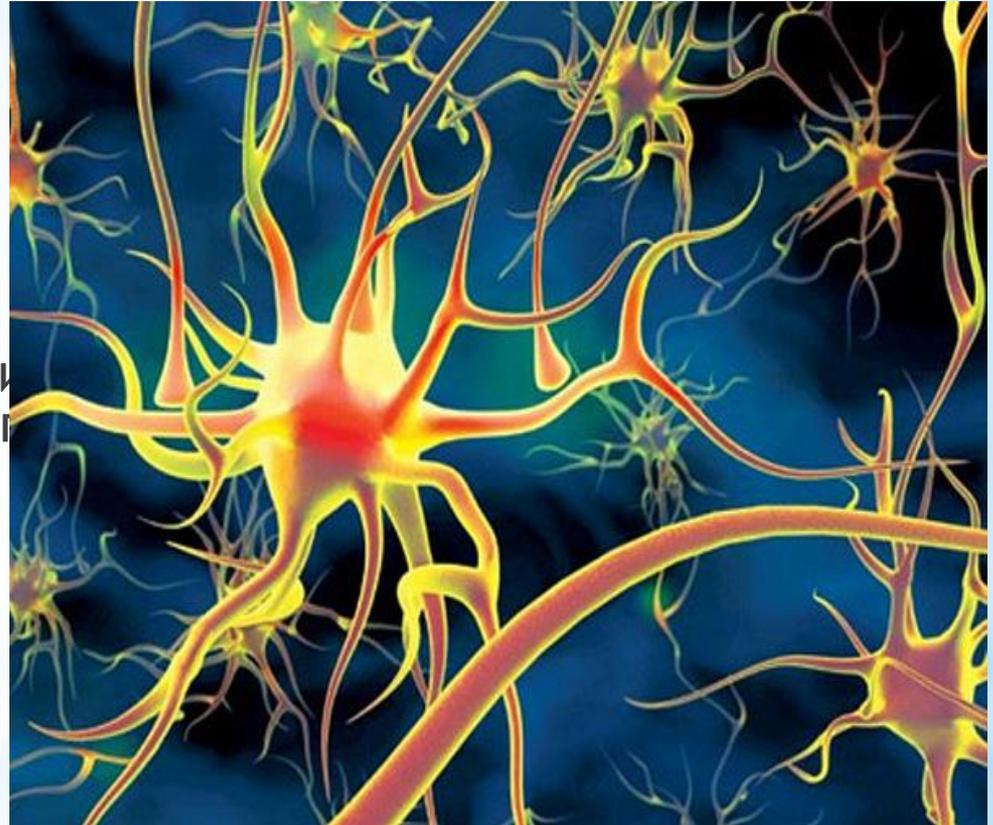
Нервная клетка может иметь различное количество дендритов и только один аксон.



Дендрит

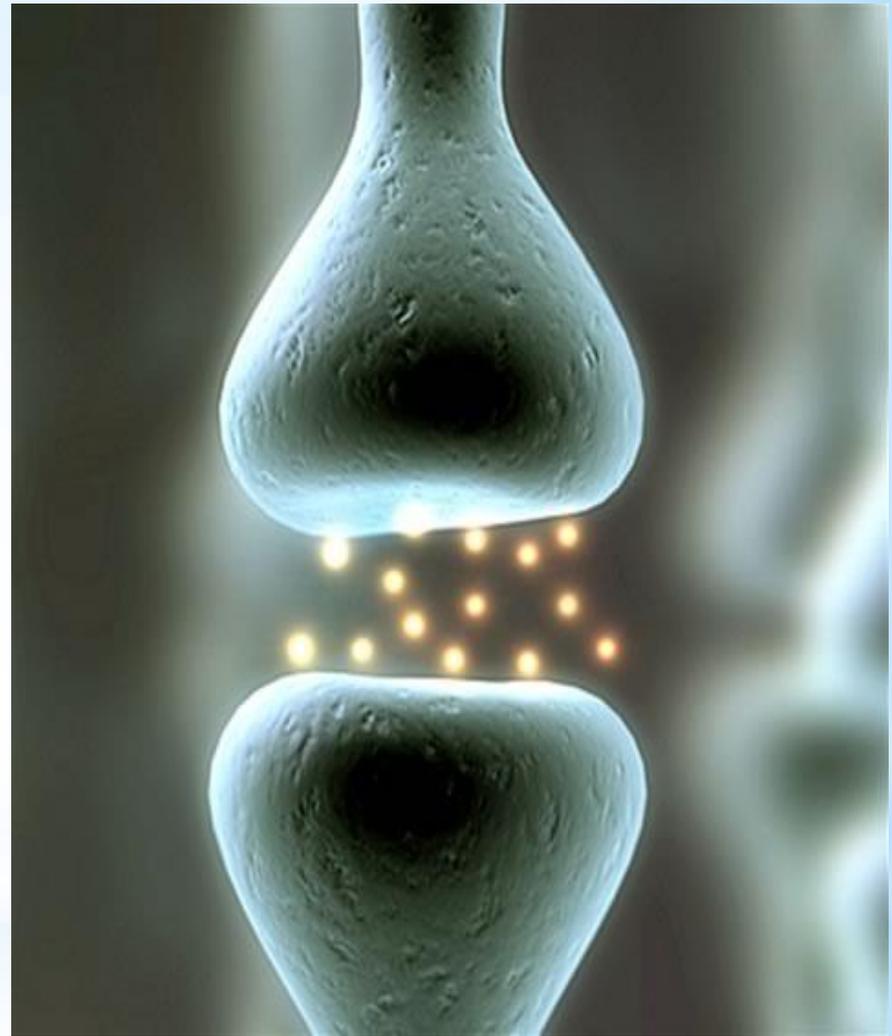
Дендрит — разветвлённый отросток нейрона, который получает информацию через химические (или электрические) синапсы от аксонов (или дендритов и сомы) других нейронов и передаёт её через электрический сигнал телу нейрона, из которого вырастает.

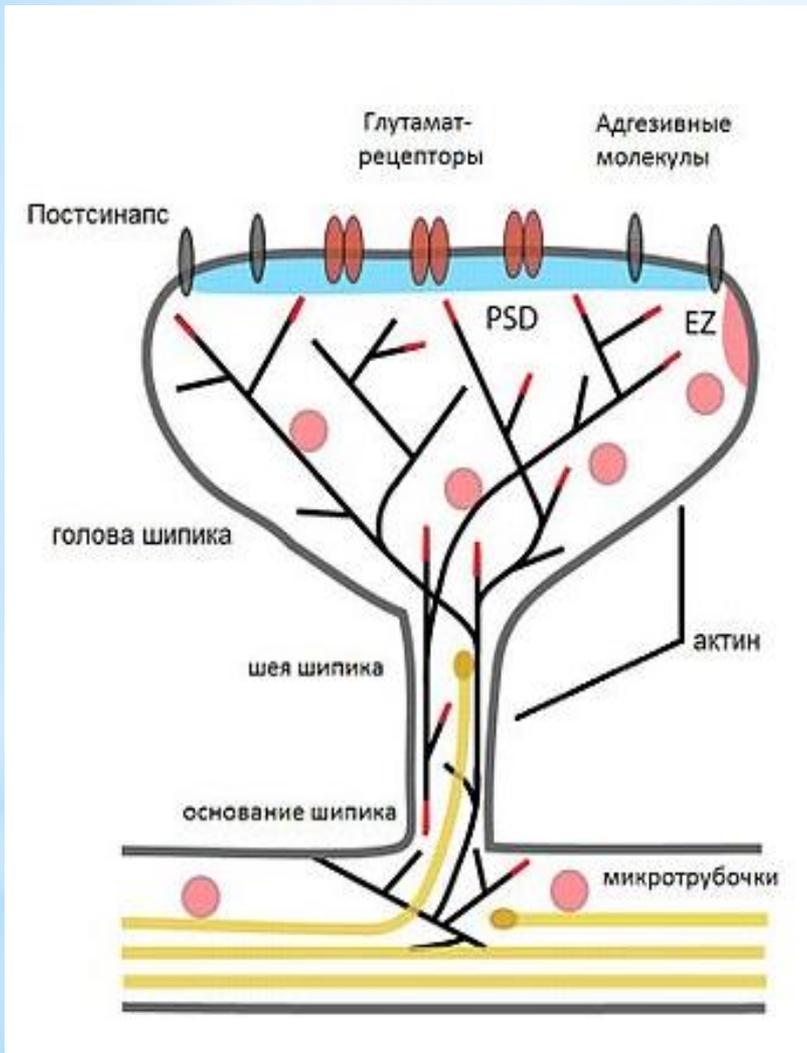
Совокупность всех дендритов называют дендритным деревом нейрона, оно образует воспринимающую поверхность нейрона



Сложность и разветвлённость дендритного дерева определяет то, сколько входных импульсов может получить нейрон. Поэтому одно из главных назначений дендритов заключается в увеличении поверхности для синапсов, что позволяет им интегрировать большое количество информации, которая поступает к нейрону.

На дендритах находятся тысячи синапсов, мембрана которых содержит специализированные белковые макромолекулы, рецепторы, реагирующие на появление нейромедиаторов от пресинаптического нейрона в синаптическом пространстве. Благодаря такой уникальной и сложной морфологии дендриты увеличивают рецептивное поле нейрона в 10-20 раз, что позволяет значительно большее количество синаптических контактов (а следовательно, и увеличивает пропускную способность) между нейронами.





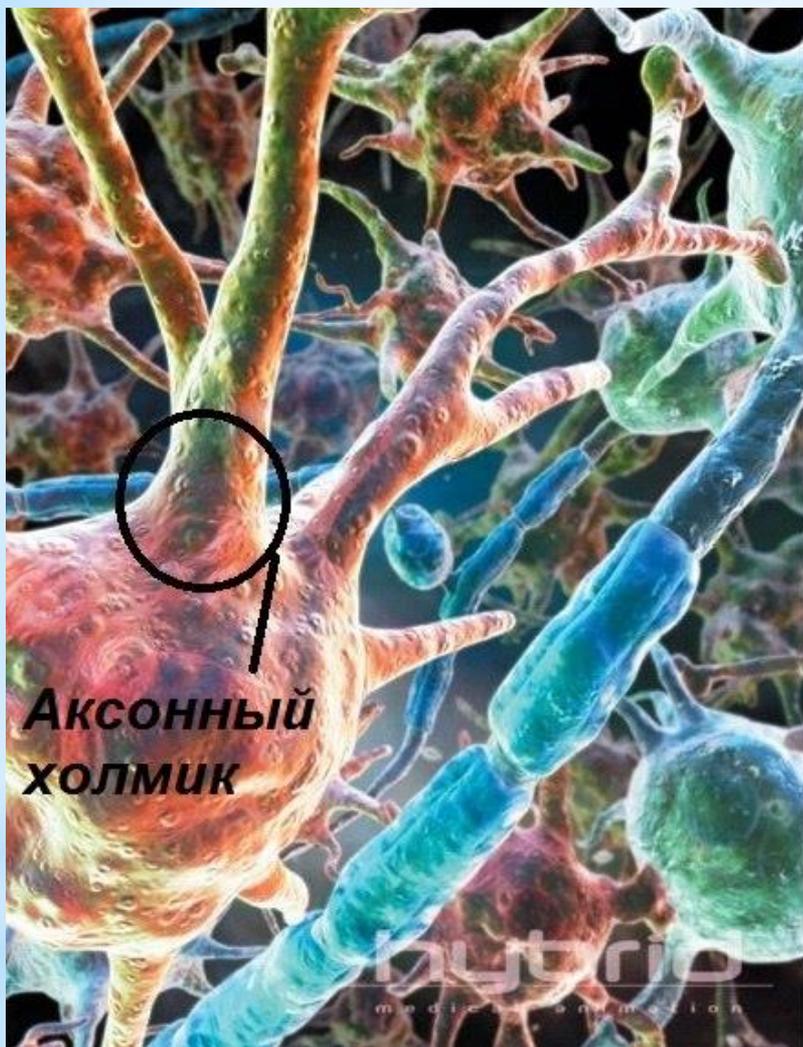
Решающий фактор для способности нейронной сети хранить информацию — количество различных нейронов, которые могут быть соединены синаптически. Одним из главных факторов увеличения разнообразия форм синаптических связей в биологических нейронах является существование дендритных шипиков. Синаптические контакты, образованные на них, называются аксошипиковыми. Шипики объединяются в кластеры шипиков

АКСОН



Аксон — нейрит, осевой цилиндр, отросток нервной клетки, по которому нервные импульсы идут от тела клетки (сомы) к иннервируемым органам и другим нервным клеткам.

Если аксон в нервной ткани соединяется с телом следующей нервной клетки, такой контакт называется аксо-соматическим, с дендритами — аксо-дендритический, с другим аксоном — аксо-аксональный.



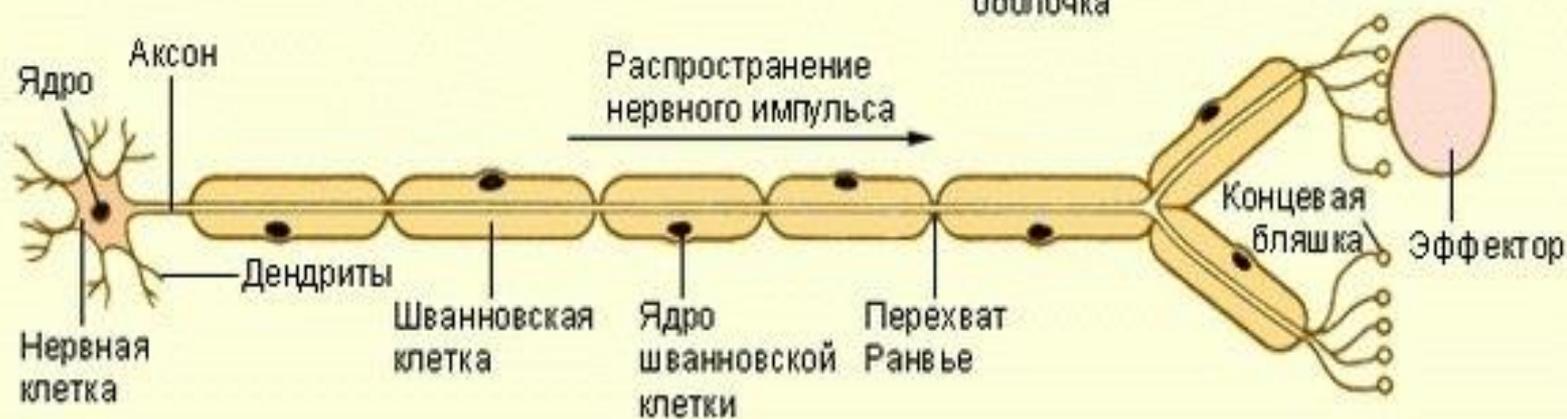
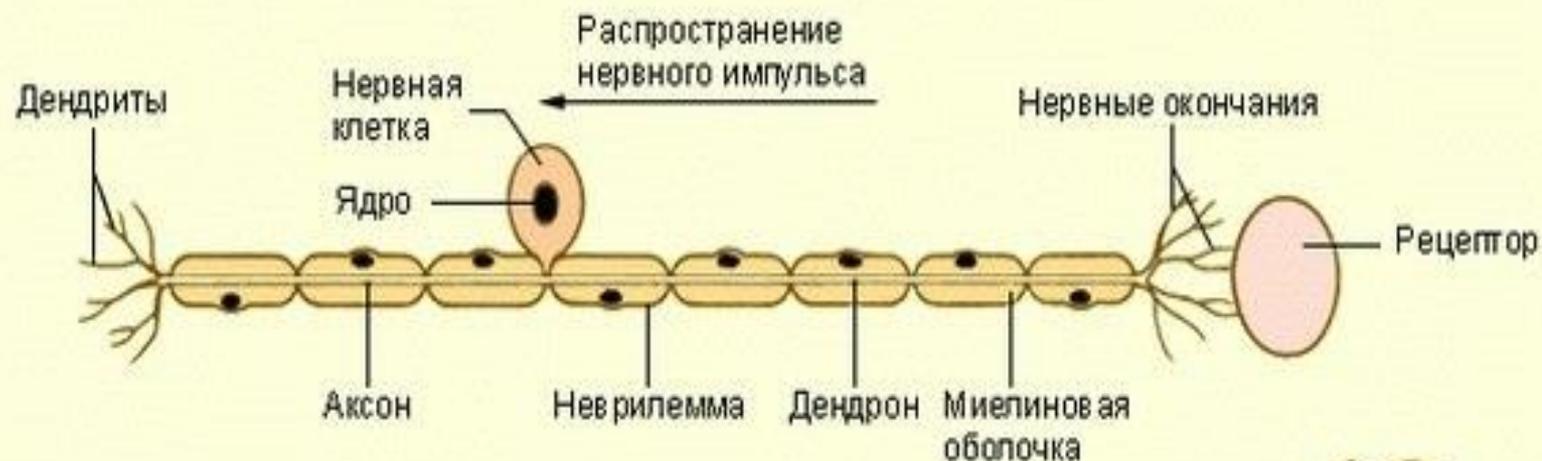
В месте соединения аксона с телом нейрона находится аксонный холмик (место генерации потенциала действия) или триггерная зона (область нейрона, имеющая самый низкий порог для инициации потенциала действия)

Аксоны могут быть покрыты миелиновой оболочкой. В частности миелиновая оболочка аксонов имеется только у позвоночных. Её образуют «накручивающиеся» на аксон специальные шванновские клетки, между которыми остаются свободные от миелиновой оболочки участки — перехваты Ранвье. Только на перехватах присутствуют потенциал-зависимые натриевые каналы и заново возникает потенциал действия.

В связи с тем, что ионные токи не могут проходить сквозь миелин, вход и выход ионов осуществляется лишь в области перехватов. Это ведёт к увеличению скорости проведения нервного импульса. Таким образом, по миелинизированным волокнам импульс проводится приблизительно в 5—10 раз быстрее, чем по немиелинизированным.



Концевые участки аксона — терминали — ветвятся и контактируют с другими нервными, мышечными или железистыми клетками. На конце аксона находится синаптическое окончание — концевой участок терминали, контактирующий с клеткой-мишенью. Вместе с постсинаптической мембраной клетки-мишени синаптическое окончание образует синапс. Через синапсы передаётся в возбуждение.





Потенциал покоя и потенциал действия



Указанное различие обусловлено присутствием в возбудимых мембранах потенциалзависимых ионных каналов. В невозбудимых мембранах находятся только потенциалнезависимые ионные каналы.

Потенциал покоя

Потенциал покоя (ПП) – мембранный потенциал возбудимой клетки (нейрона, миокардиоцита) в невозбужденном состоянии. Он представляет собой разность электрических потенциалов, имеющих на внутренней и наружной сторонах мембраны и составляет у теплокровных от -55 до -100 мВ. У нейронов и нервных волокон обычно составляет -70 мВ.

Мембранный потенциал покоя - это дефицит положительных электрических зарядов внутри клетки, возникающий за счёт утечки из неё положительных ионов калия и электрогенного действия натрий-калиевого насоса.

Для того, чтобы на мембране поддерживалась разность потенциалов, необходимо, чтобы была определенная разность концентрации различных ионов внутри и снаружи клетки.

ПП формируется в два этапа:

* **Первый этап:** создание незначительной (-10 мВ) отрицательности внутри клетки за счёт неравного асимметричного обмена Na^+ на K^+ в соотношении 3 : 2. В результате этого клетку покидает больше положительных зарядов с натрием, чем возвращается в неё с калием. Такая особенность работы натрий-калиевого насоса, осуществляющего взаимообмен этих ионов через мембрану с затратами энергии [АТФ](#), обеспечивает его электрогенность.

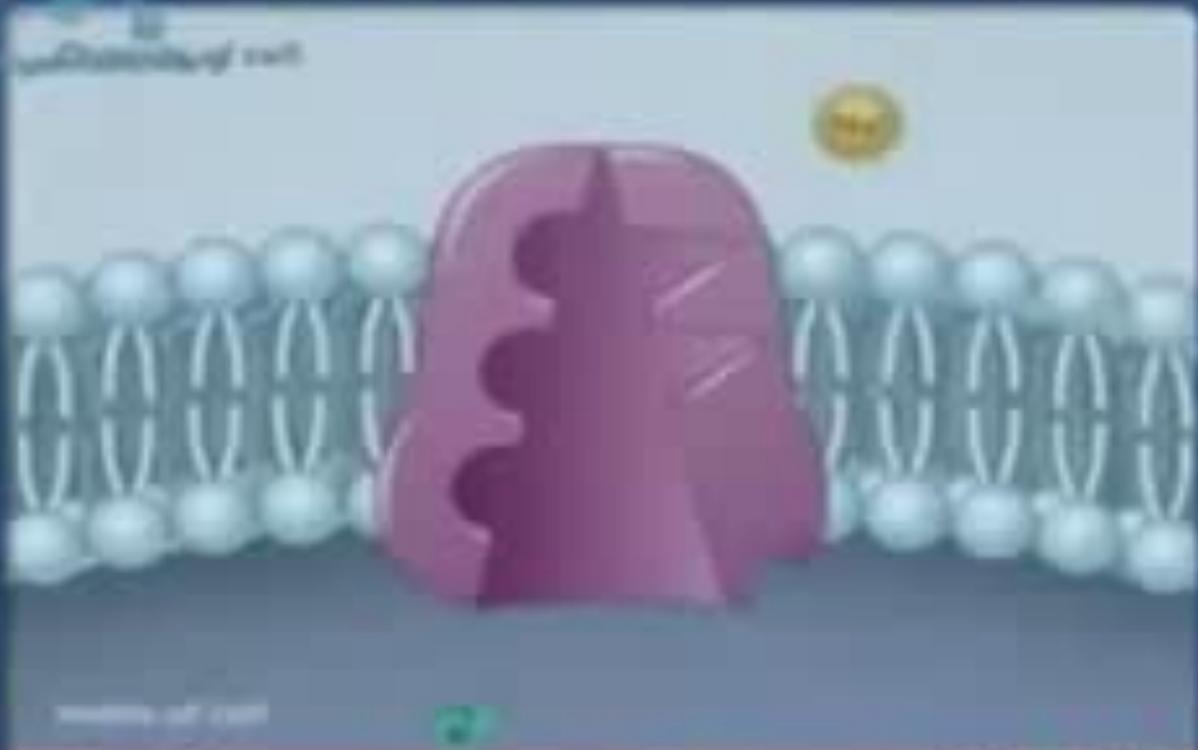
Результаты деятельности мембранных ионных насосов-обменников на первом этапе формирования ПП таковы:

1. Дефицит ионов натрия (Na^+) в клетке.
2. Избыток ионов калия (K^+) в клетке.
3. Появление на мембране слабого электрического потенциала (-10 мВ).

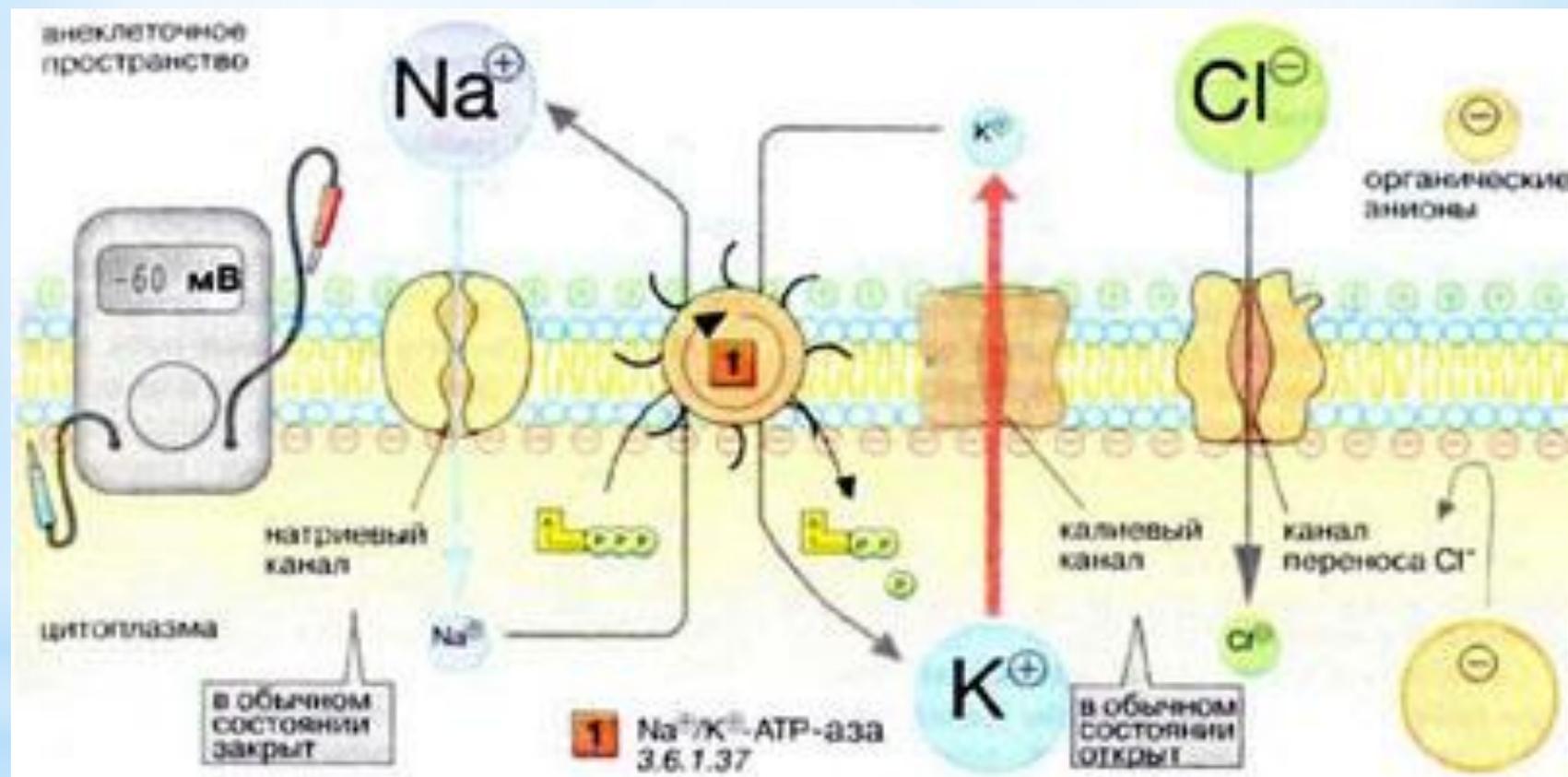
* **Второй этап:** создание значительной (-60 мВ) отрицательности внутри клетки за счёт утечки из неё через мембрану ионов K^+ . Ионы калия K^+ покидают клетку и уносят с собой из неё положительные заряды, доводя отрицательность до -70 мВ.



How the Sodium-Potassium Pump Works



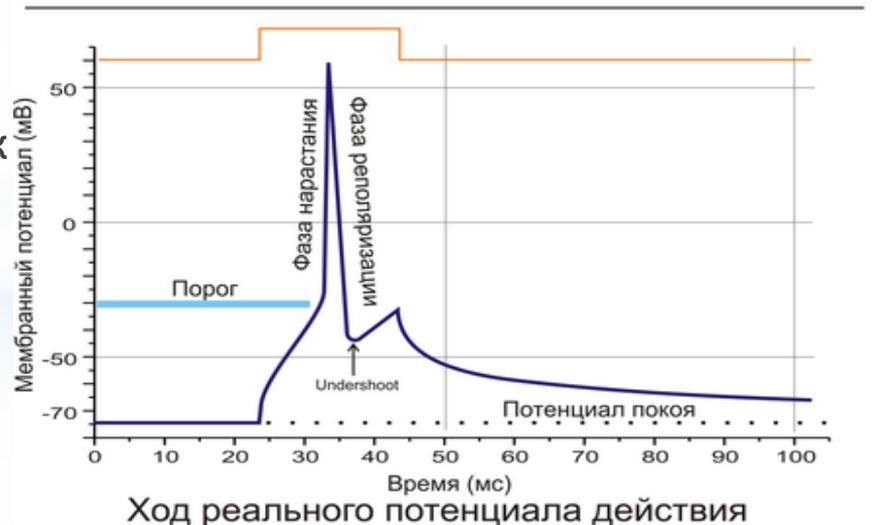
The sodium-potassium pump is an active transport mechanism.



Потенциал действия

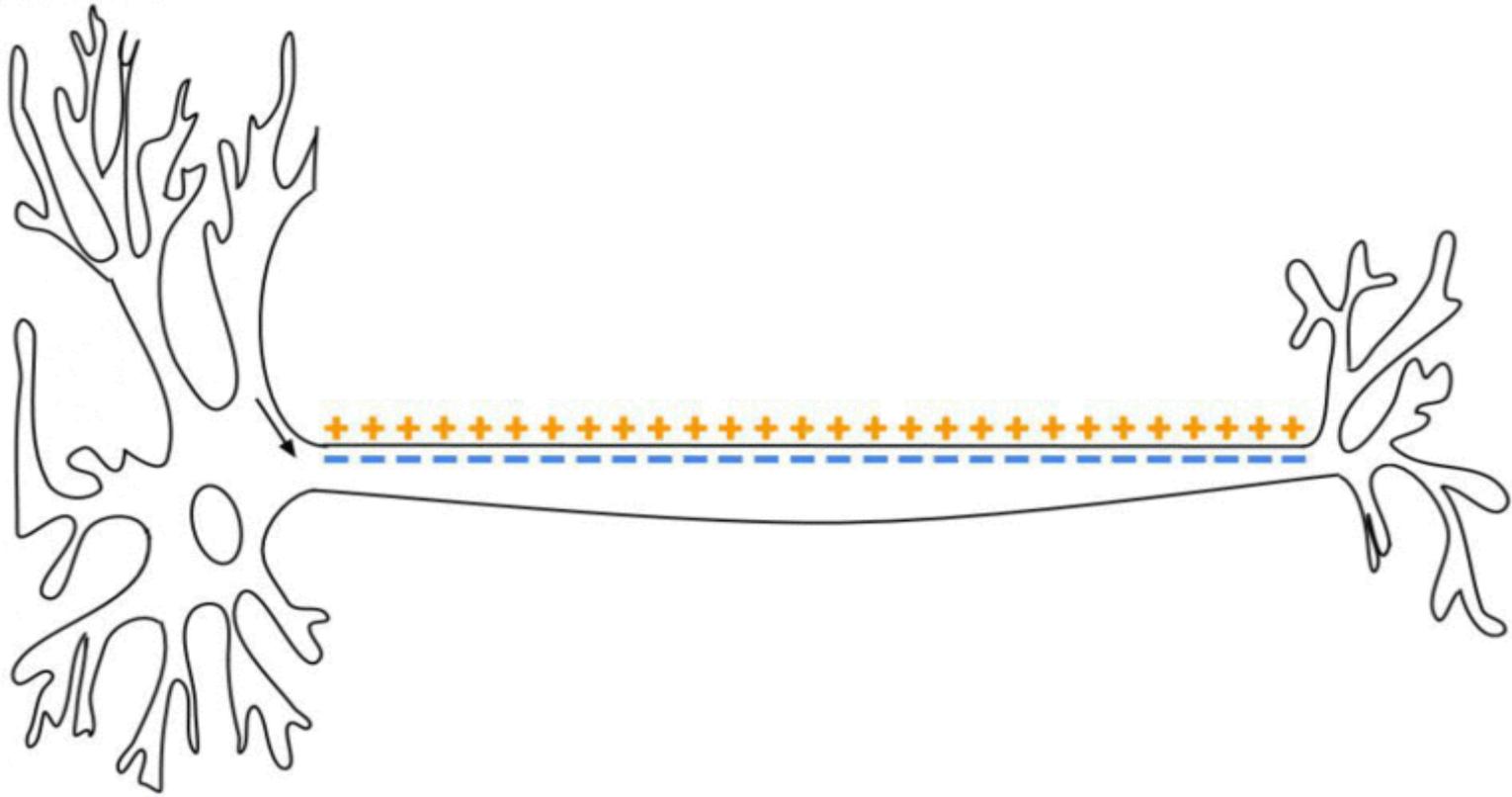
Потенциал действия – волна возбуждения, перемещающаяся по мембране живой клетки в процессе передачи нервного сигнала.

По сути своей представляет электрический разряд – быстрое кратковременное изменение потенциала на небольшом участке мембраны возбудимой клетки, в результате которого наружная поверхность этого участка становится отрицательно заряженной по отношению к соседним участкам мембраны, тогда как его внутренняя поверхность становится положительно заряженной по отношению к соседним участкам мембраны. Потенциал действия является физической основой нервного или мышечного импульса.



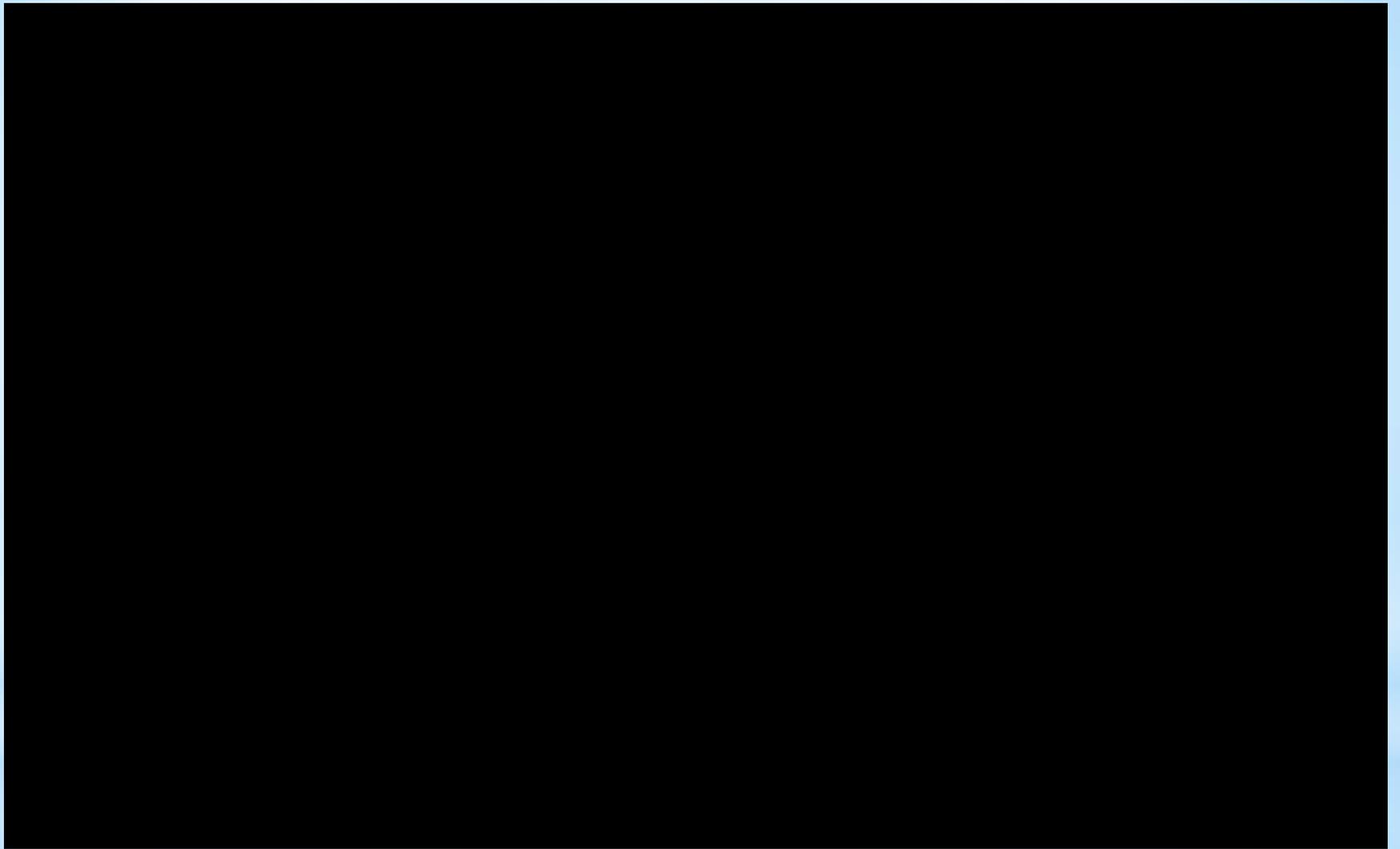
В нервной ткани потенциал действия, как правило, возникает при деполяризации — если деполяризация мембраны нейрона достигает некоторого порогового уровня или превышает его, клетка возбуждается, и от её тела к аксонам и дендритам распространяется волна электрического сигнала. Это обусловлено тем, что на мембране клетки находятся ионные каналы — белковые молекулы, образующие в мембране поры, через которые ионы могут проходить с внутренней стороны мембраны на наружную и наоборот.

Мембрана клеток возбудимых тканей (нервной и мышечной) содержит большое количество *потенциал-зависимых* ионных каналов, способных быстро реагировать на смещение мембранного потенциала. Деполяризация мембраны в первую очередь вызывает открытие потенциал-зависимых натриевых каналов. Когда одновременно открывается достаточно много натриевых каналов, положительно заряженные ионы натрия устремляются через них на внутреннюю сторону мембраны. Движущая сила в данном случае обеспечивается градиентом концентрации (с внешней стороны мембраны находится намного больше положительно заряженных ионов натрия, чем внутри клетки) и отрицательным зарядом внутренней стороны мембраны. Поток ионов натрия вызывает ещё большее и очень быстрое изменение мембранного потенциала, которое и называют *потенциалом действия*.

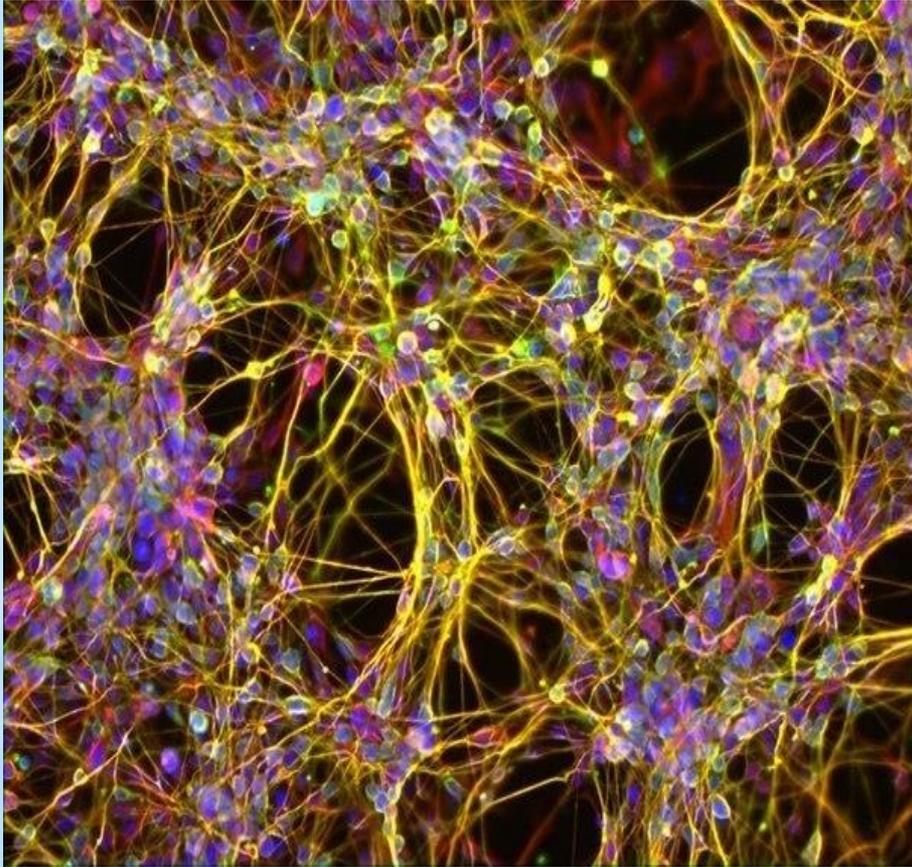




В нейронах потенциал действия передается благодаря синапсу - место контакта между двумя нейронами или между нейроном и получающей сигнал эффекторной клеткой.



Нейроглия



Нейроглия, или просто глия — совокупность вспомогательных клеток нервной ткани. Составляет около 40 % объёма ЦНС. Количество глиальных клеток в среднем в 10-50 раз больше, чем нейронов.

Составляют специфическое микроокружение для нейронов, обеспечивая условия для генерации и передачи потенциала действия, а также осуществляя часть метаболических процессов самого нейрона.

Типы нейроглии

- Микроглиальные клетки хоть и входят в понятие «глия», не являются собственно нервной тканью, так как имеют мезодермальное происхождение. Они представляют собой мелкие отростчатые клетки, разбросанные по белому и серому веществу мозга и способные к фагоцитозу.
- Эпендимальные клетки (некоторые ученые выделяют их из глии вообще, некоторые — включают в макроглию) выстилают желудочки головного мозга и центральный канал спинного мозга. Имеют на поверхности реснички, с помощью которых обеспечивают ток жидкости.
- Макроглия — производная глиобластов, выполняет опорную, разграничительную, трофическую и секреторную функции.
 - Олигодендроциты — локализуются в ЦНС, обеспечивают миелинизацию аксонов.
 - Шванновские клетки — распространены по периферической нервной системе, обеспечивают миелинизацию аксонов, секретируют нейротрофические факторы.
 - Клетки-сателлиты, или *радиальная глия*, — поддерживают жизнеобеспечение нейронов периферической нервной системы, являются субстратом для прорастания нервных волокон.
 - Астроциты исполняют все функции глии: физическая поддержка, восстановление, удаление излишка нейротрансмиттеров, поддержание гемато-энцефалического барьера.

Types of Neuroglia

Центральная нервная система

Эпендимальные клетки



Олигодендроциты



Периферическая нервная система

Радиальная глия



Астроциты



Микроглия



Шванновские клетки



Нейронные сети



Нейронная сеть — сеть, состоящая из биологических нейронов, которые связаны или функционально объединены в нервной системе.

Виды нейронных сетей

Нейронная сеть

```
graph TD; A[Нейронная сеть] --> B[Жесткая (врожденная)]; A --> C[Пластичная];
```

Жесткая
(врожденная)

Пластичная



Нейронная сеть

```
graph TD; A[Нейронная сеть] --> B[Конвергентные]; A --> C[Дивергентные];
```

The diagram consists of three blue hexagonal nodes with black outlines. The top node is centered and contains the text 'Нейронная сеть'. Two blue arrows point downwards from the bottom corners of this top node to the top corners of two separate bottom nodes. The left bottom node contains the text 'Конвергентные', and the right bottom node contains the text 'Дивергентные'. The background is a light blue gradient.

Конвергентные

Дивергентные