

# Строение нейрона. Синапс.

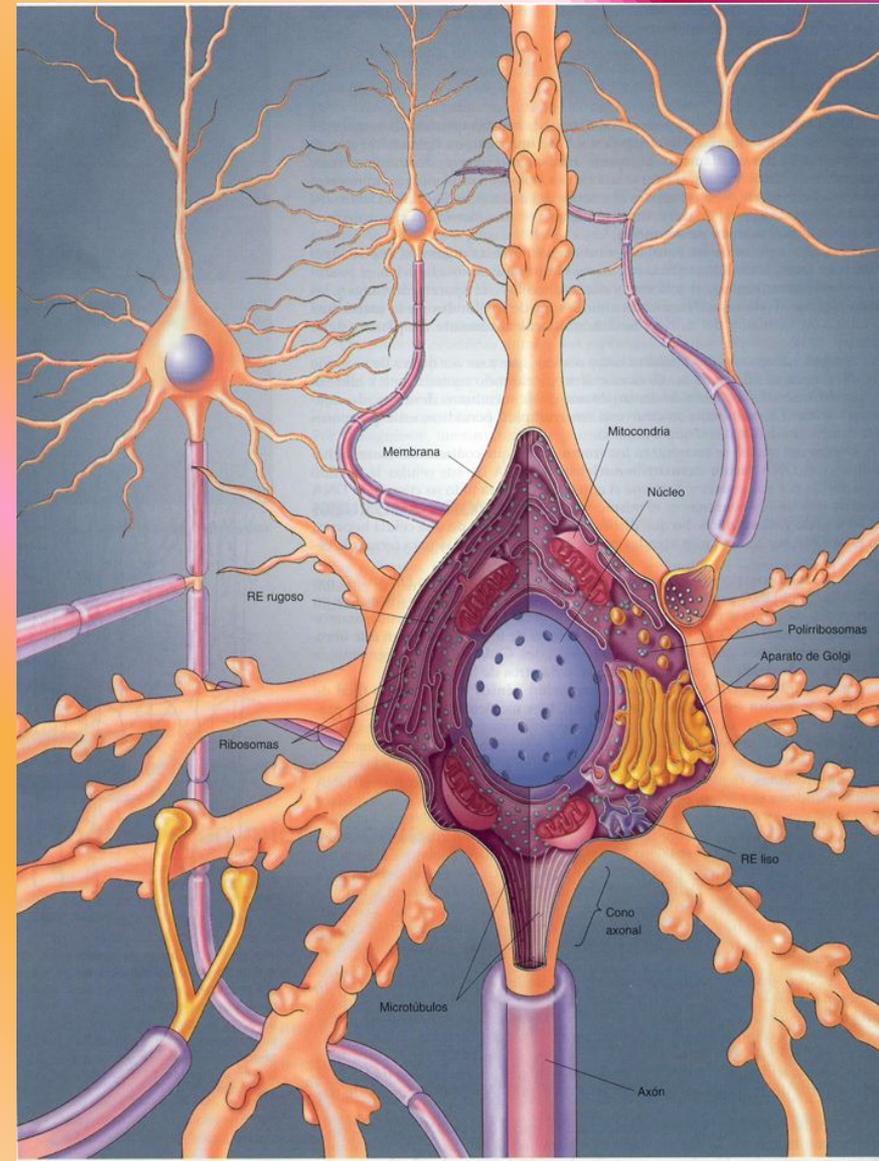


# Динамометр кистевой

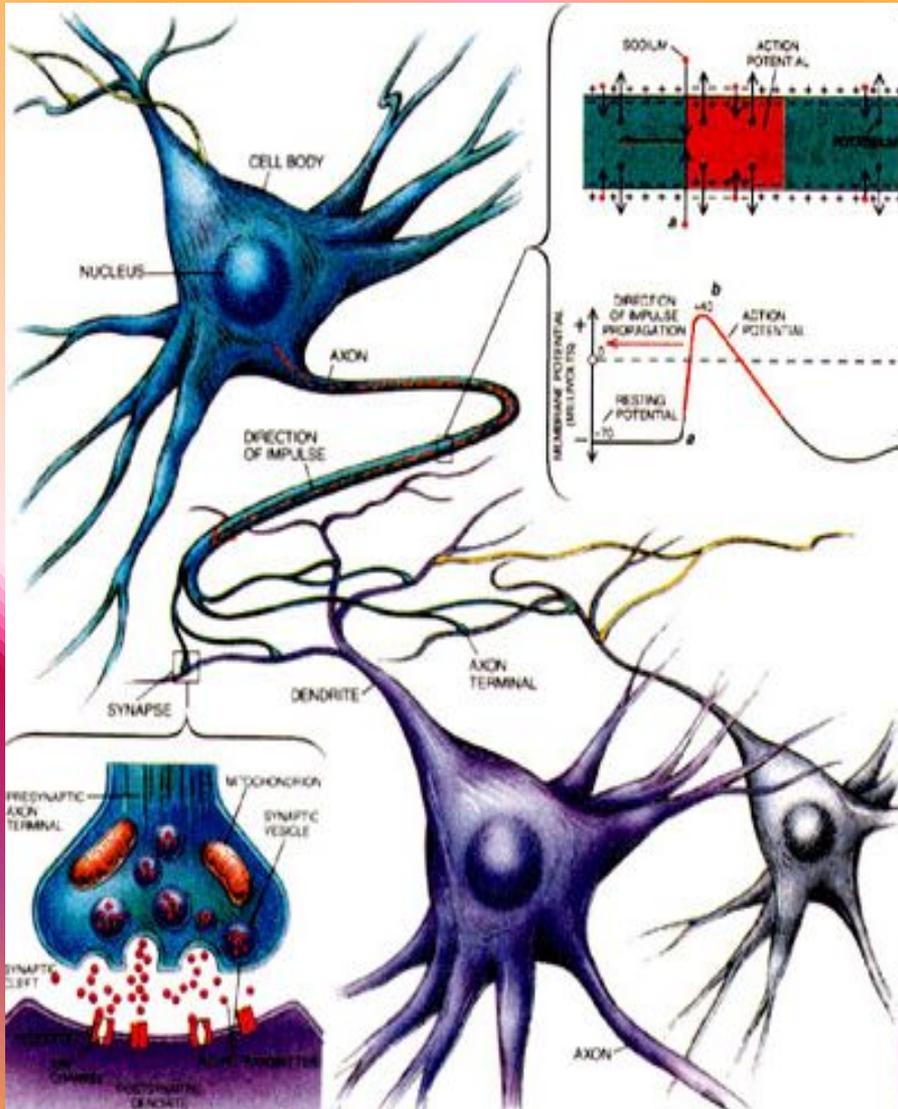


# Что такое нейрон?

- **Нейрон** — это структурно-функциональная единица нервной системы.
- Эта клетка имеет сложное строение, высоко специализирована и по структуре содержит ядро, тело клетки и отростки.
- В организме человека насчитывается более ста миллиардов нейронов.



# 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), а также из отростков.
- Выделяют два вида отростков: дендриты и аксоны.

# Отростки нейронов

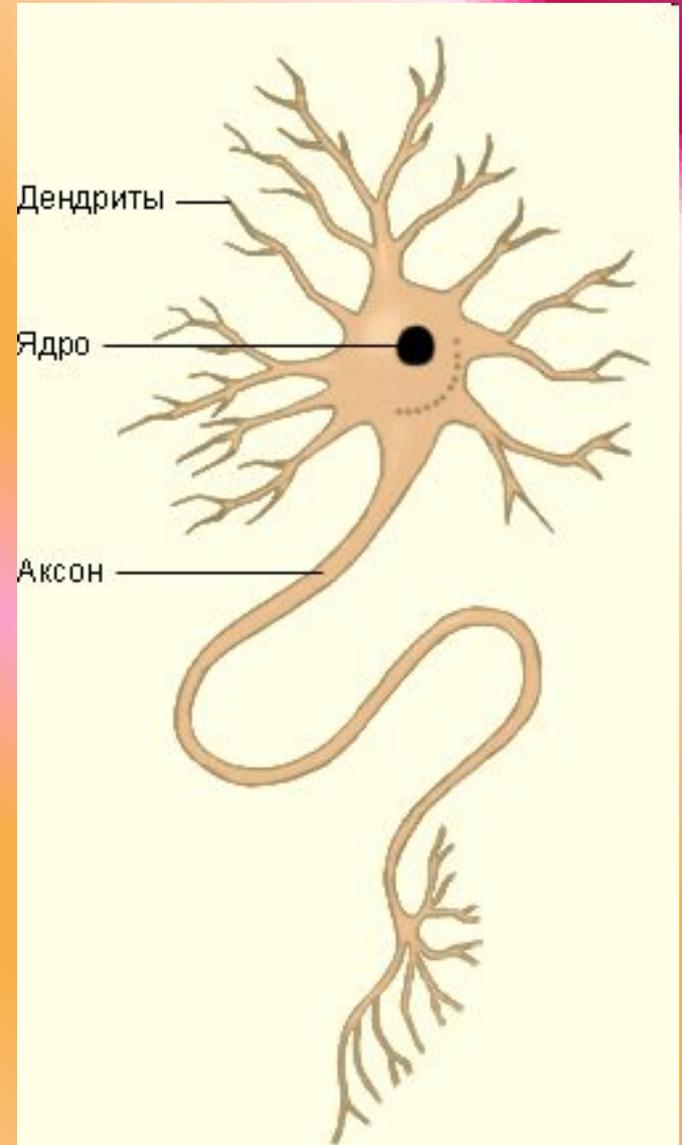
## Типичная структура нейрона



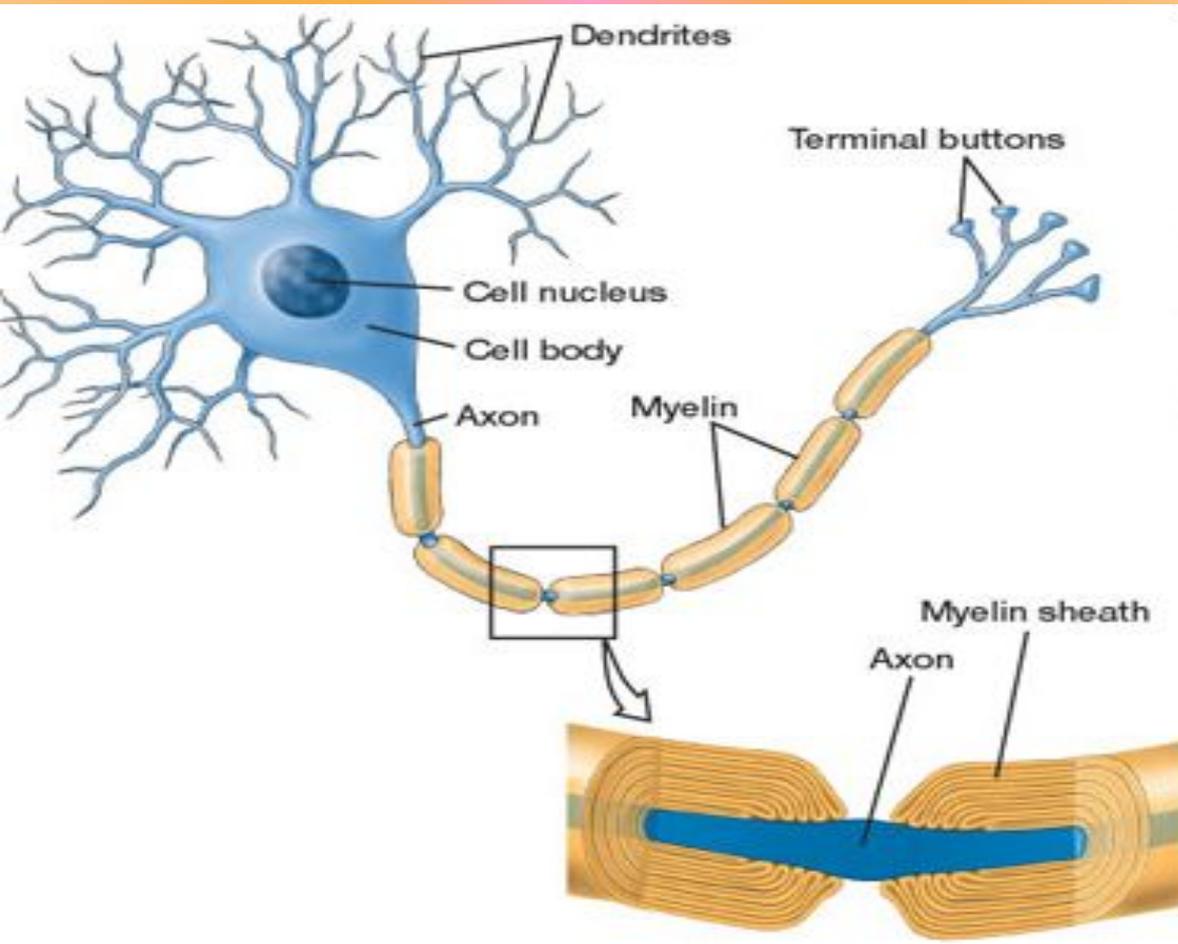
**Аксон** — обычно длинный отросток, приспособленный для проведения возбуждения от тела нейрона. **Дендриты** — как правило, короткие и сильно разветвлённые отростки, служащие главным местом образования влияющих на нейрон возбуждающих и тормозных синапсов (разные нейроны имеют различное соотношение длины аксона и дендритов).

# Отростки нейронов

- Дендриты делятся дихотомически, аксоны же дают коллатерали.
- В узлах ветвления обычно сосредоточены митохондрии.
- Дендриты не имеют миелиновой оболочки, аксоны же могут её иметь.
- Местом генерации возбуждения у большинства нейронов является аксонный холмик — образование в месте отхождения аксона от тела.
- У всех нейронов эта зона называется триггерной.



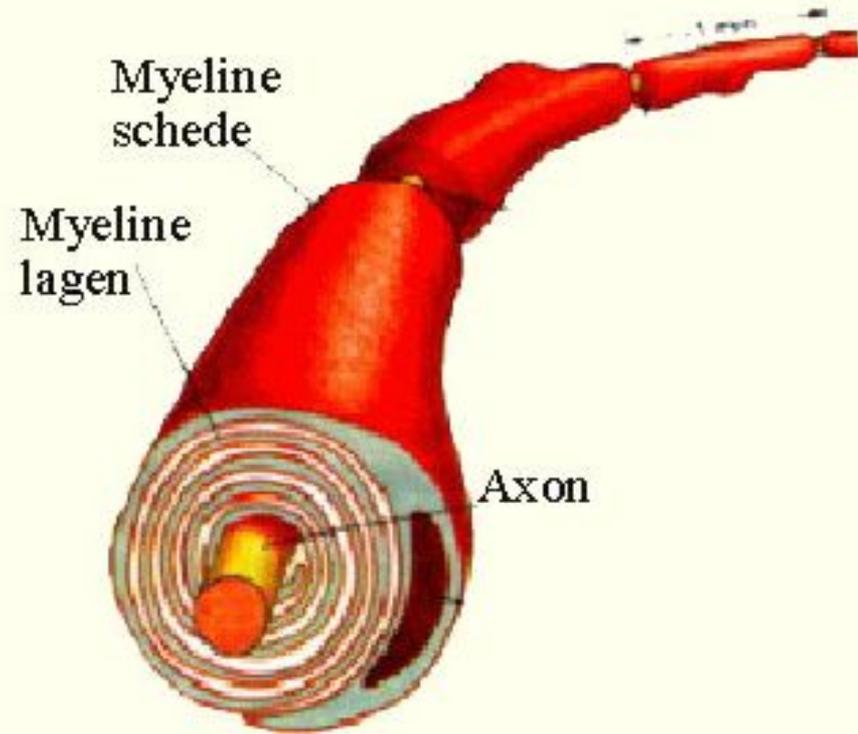
# Миелинизированное нервное ВОЛОКНО



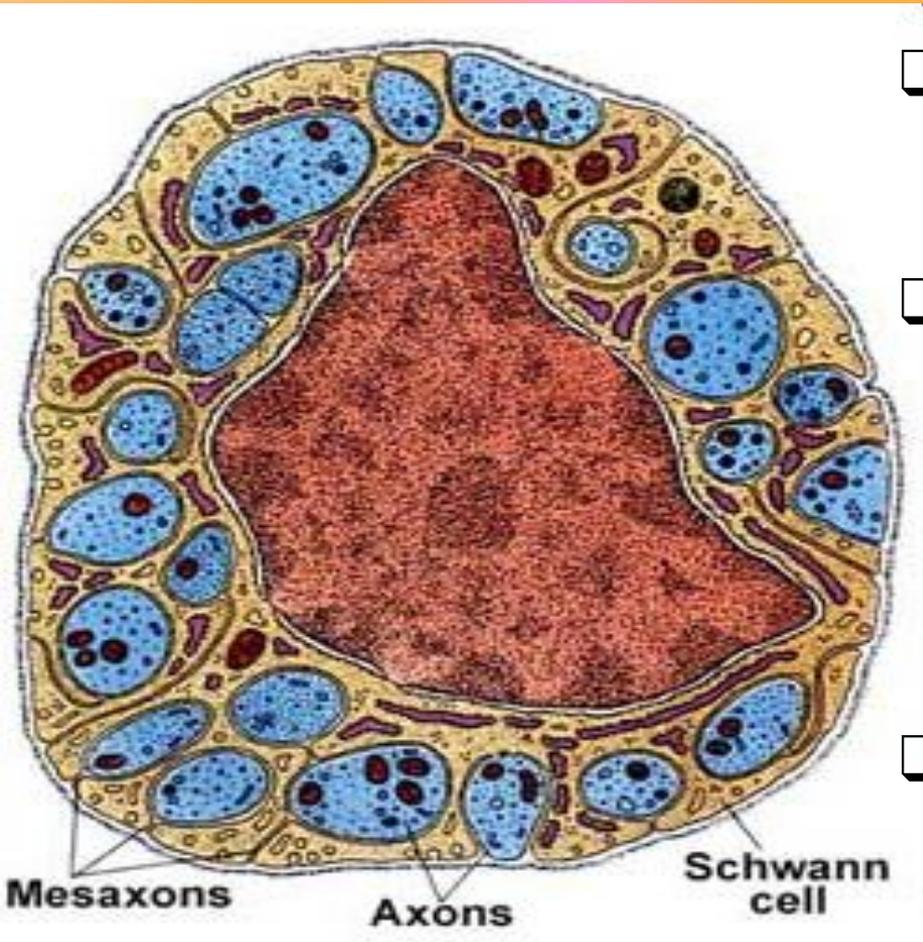
Миелиновая оболочка — электроизолирующая оболочка, покрывающая аксоны многих нейронов. Миелиновую оболочку образуют глиальные клетки: в периферической нервной системе — Шванновские клетки, в центральной нервной системе — олигодендроциты.

# Формирование миелиновой оболочки

- Миелиновая оболочка формируется из плоского выроста тела глиальной клетки, многократно оборачивающего аксон подобно изоляционной ленте.
- Цитоплазма в выросте практически отсутствует, в результате чего миелиновая оболочка представляет собой, по сути, множество слоёв клеточной мембраны.



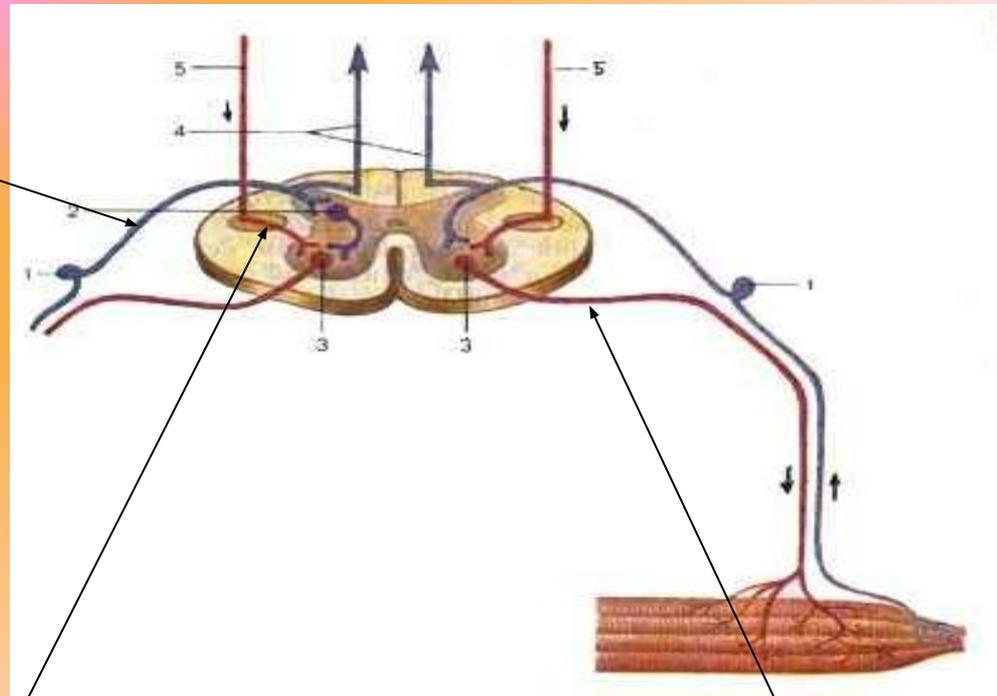
# Немиелиновое волокно



- ❑ Безмякотные нервные волокна построены примитивнее, нежели мякотные нервные волокна.
- ❑ В состав безмякотного нервного волокна входят от 7 до 12 отростков нервных клеток, которые вдавлены в шванновскую клетку и окружены плазмалеммой последней.
- ❑ Снаружи безмякотное нервное волокно покрыто тонкой соединительнотканной базальной мембраной.

# Классификация нейронов

Чувствительные  
нейроны

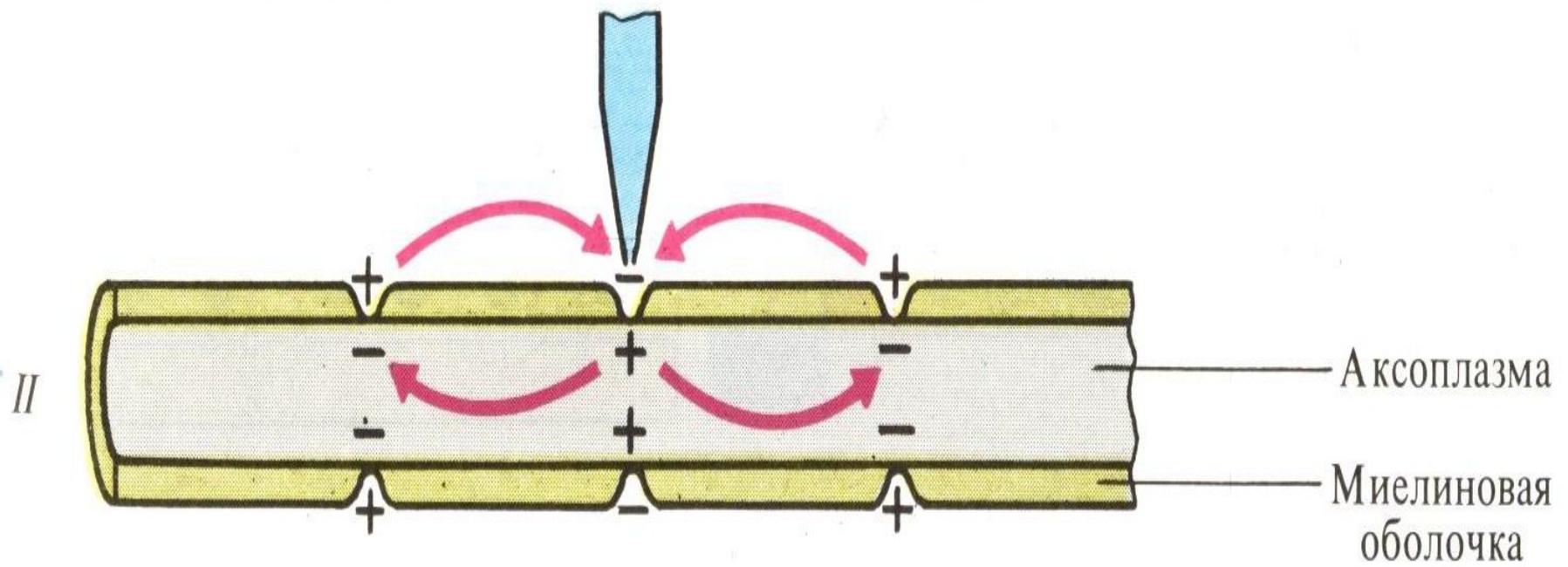
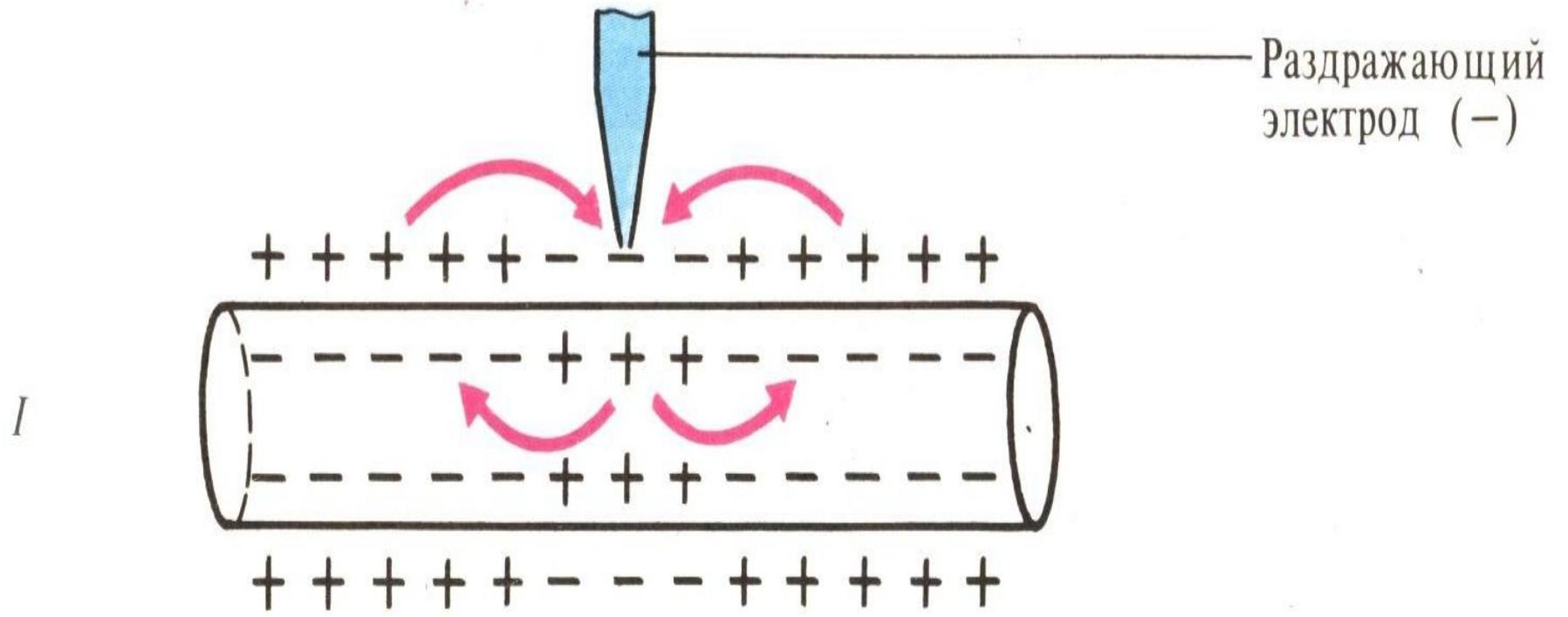


Вставочные  
нейроны

Двигательные  
нейроны

Возникновение ПД в нейронах и НВ аналогично ранее описанным, но имеют свои особенности :

Возбудимость НВ высока в аксонном холмике). Поэтому ПД в нейронах легко возникает в аксонном холмике и распространяется орто и антидромно.



2 способа проведения возбуждения:

В безмякотных НВ возбуждения (ПД) проводятся непрерывно, декрементно (затухая).

По мякотным НВ – сальтаторно, перепрыгивая по перехватам Ранвье (иногда через 5-6 перехватов). Чем больше диаметр НВ, тем больше межперехватное расстояние и соответственно скорость проведения.

Проведение возбуждение по НВ  
осуществляется по 3-законам:

1. Анатомическая и физиологическая целостность.
2. Двустороннее проведение.
3. Изолированное проведение
4. Относительной неутомляемости нервов

Проведение возбуждения (ПД) в НВ осуществляется посредством электротонического распространения ПД вдоль волокна от возбужденного (-) к невозбужденному (+) участку в обоих направлениях. При этом ПД возбужденного участка равен 120 мВ, который превышает порог возбуждения соседнего участка в 5-6 раз. Это особенность ПД / КУД называют фактором надежности проведения.

Скорость проведения возбуждения по НВ  
зависит от :

- Скорости нарастания ПД
- Константы длины НВ.
- Диаметра НВ.
- Наличия оболочки НВ.

Амплитуда ПД НВ не зависит от силы раздражения, она определяется биологическими особенностями мембраны. Амплитуда ПД нерва пропорциональна силе раздражения (до определенного предела), что объясняется все большим вовлечением менее возбудимых НВ в возбуждение. Это напоминает пороговое, субмаксимальные и максимальные сокращения мышц.

При регистрации возбуждений нервного ствола на определенном расстоянии от места раздражения наблюдается ряд последовательных ПД с различной амплитудой. Это обусловлено наличием в нервном стволе различных (по диаметру, оболочки) НВ и их скоростью проведения. На этом основании классифицируются типы НВ .

# Функциональная классификация нервных

## ВОЛОКОН

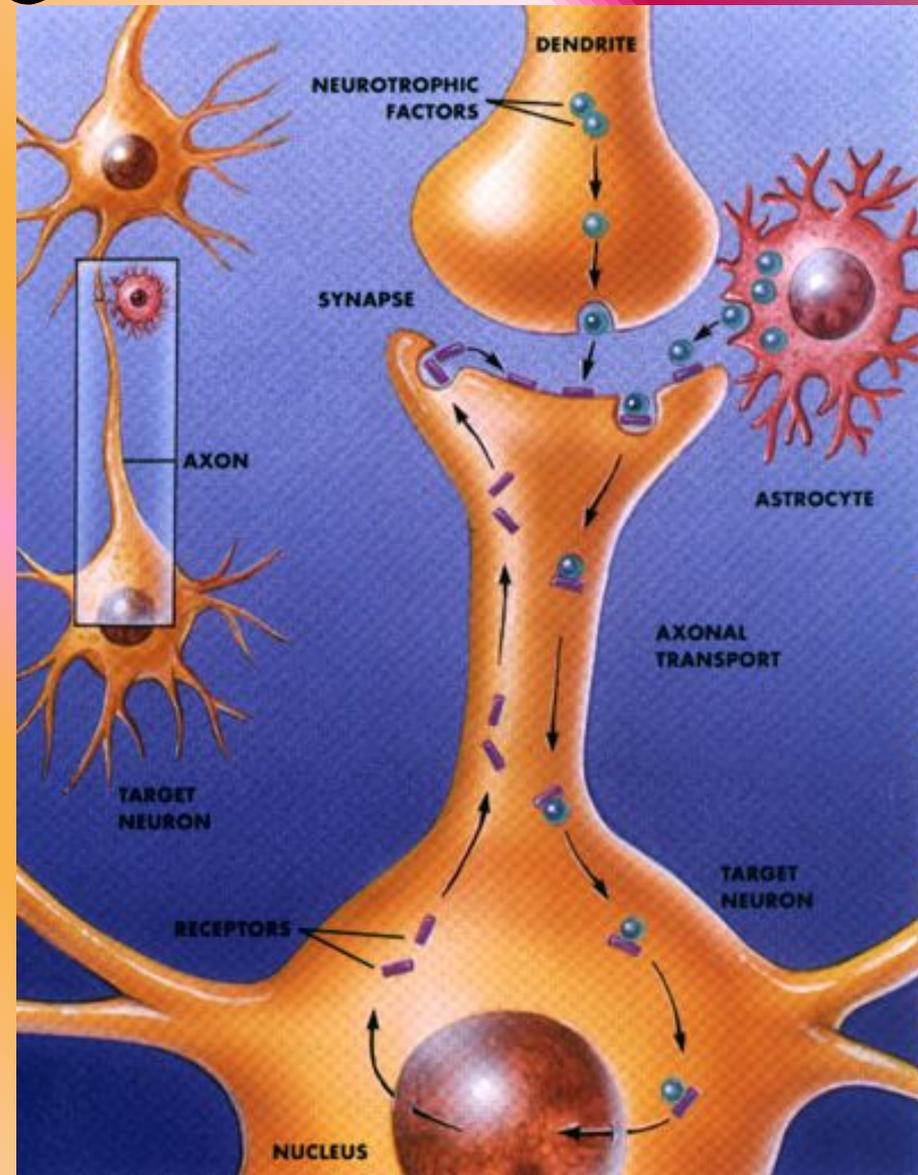
- Волокна A $\alpha$  (толстые миелиновые);
- A $\beta$ ;
- A $\gamma$ ;
- A $\delta$ ;
- B (миелин, преганглионарные);
- C (безмиел. постганглионарные).

При проведении возбуждении утомление НВ практически не наблюдается, так как обмен веществ в них очень низок и расход энергии происходит только для работы «К – Na насоса». При максимальной деятельности НВ расход энергии повышается только в 2 раза. Считается, что НВ не утомляемо.

**Парабиоз нерва (около жизни) –**  
состояние, возникающее при  
воздействии на НВ химических агентов  
(аммиак, спирт, новокаин),  
характеризующееся динамическими  
изменениями проведения возбуждения.  
Механизм парабиоза обусловлен  
рефрактерными свойствами участка  
НВ, воздействием химических веществ.

# Синапс

- ❖ **Синапс** — место контакта между двумя нейронами или между нейроном и получающей сигнал эффекторной клеткой.
- ❖ Служит для передачи нервного импульса между двумя клетками, причём в ходе синаптической передачи амплитуда и частота сигнала могут регулироваться.



# Классификация синапсов

## 1. По морфологическому принципу:

- нейро-мышечные
- нейро-секреторные
- нейро-нейрональные
- аксо-соматические
  - аксо-аксональные
  - аксо-дендритические

## 2. По способу передачи возбуждения:

- электрические
- химические (медиаторы)

## 3. По медиатору:

- адренергические
- холинергические
- пептидергические, NO -ергические, пуринергические и т. п.
- серотонинергические, глицинергические и т. д

## 4. По физиологическому эффекту:

- • возбуждающие
- • тормозные



Конец *аксона* теряет миелиновую оболочку и образует небольшое утолщение (*синаптическую бляшку*).

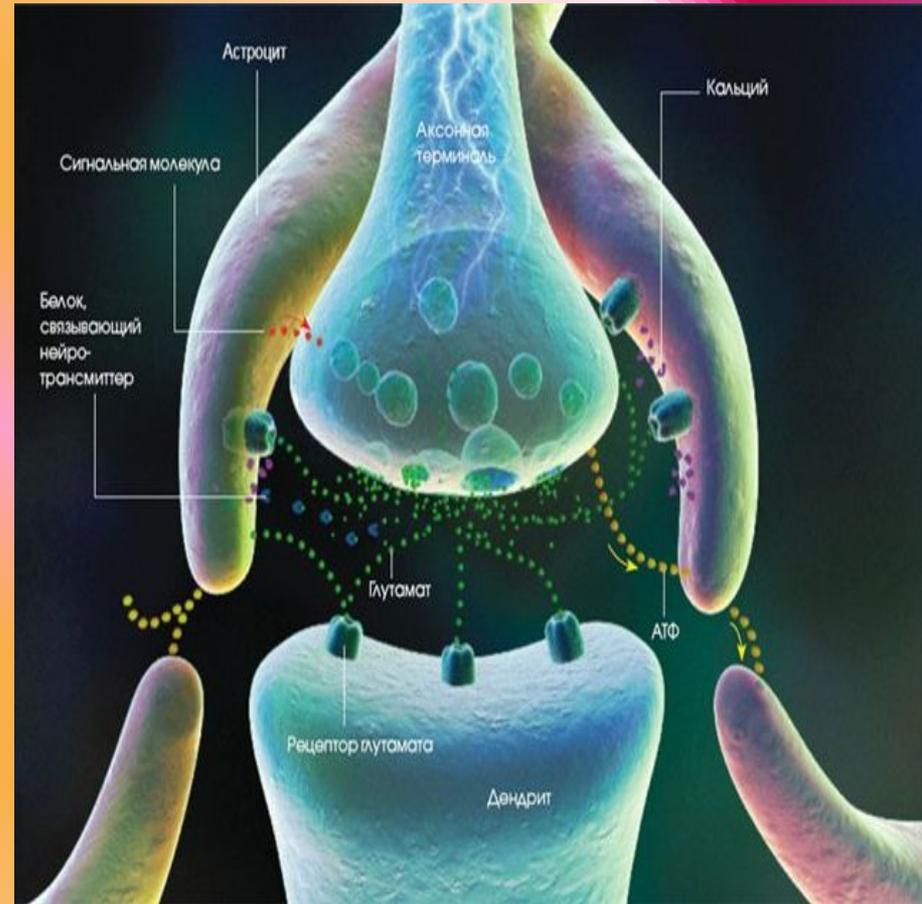
Часть, контактирующая с иннервируемой клеткой, наз. *пресинаптическая мембрана*.

*Синаптическая щель* – узкое пространство между пресинаптической мембраной и мембраной иннервируемой клетки.

*Постсинаптическая мембрана* – участок мембраны иннервируемой клетки, контактирующий с пресинаптической мембраной через синаптическую щель.

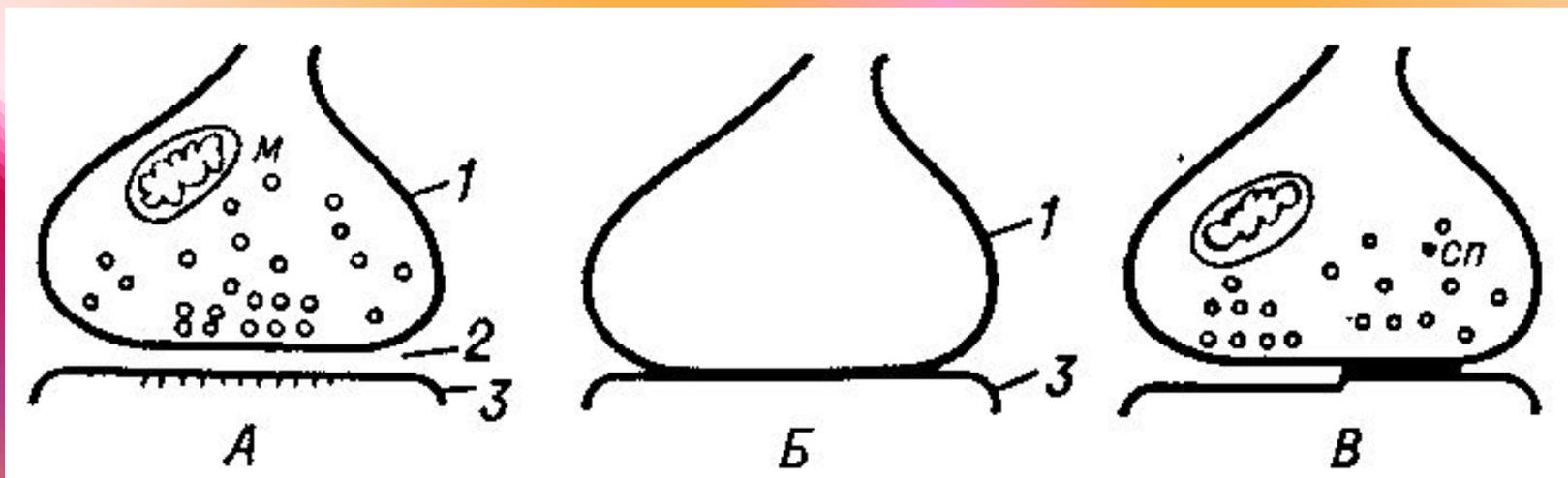
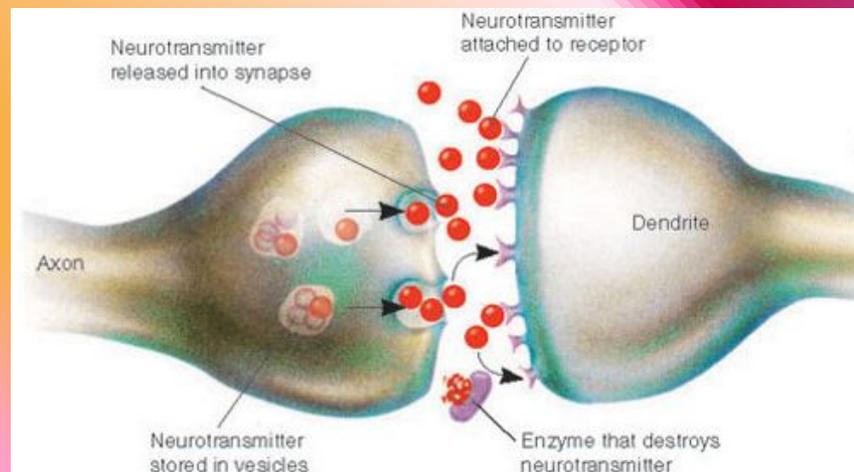
# Строение синапса

- В синаптическом расширении имеются мелкие везикулы, так называемые синаптические пузырьки, содержащие либо медиатор (вещество-посредник в передаче возбуждения), либо фермент, разрушающий этот медиатор.
- На постсинаптической, а часто и на пресинаптической мембранах присутствуют рецепторы к тому или иному медиатору.



# Классификация синапсов в зависимости от механизма передачи нервного импульса:

- химические;
- электрические;
- смешанные синапсы;



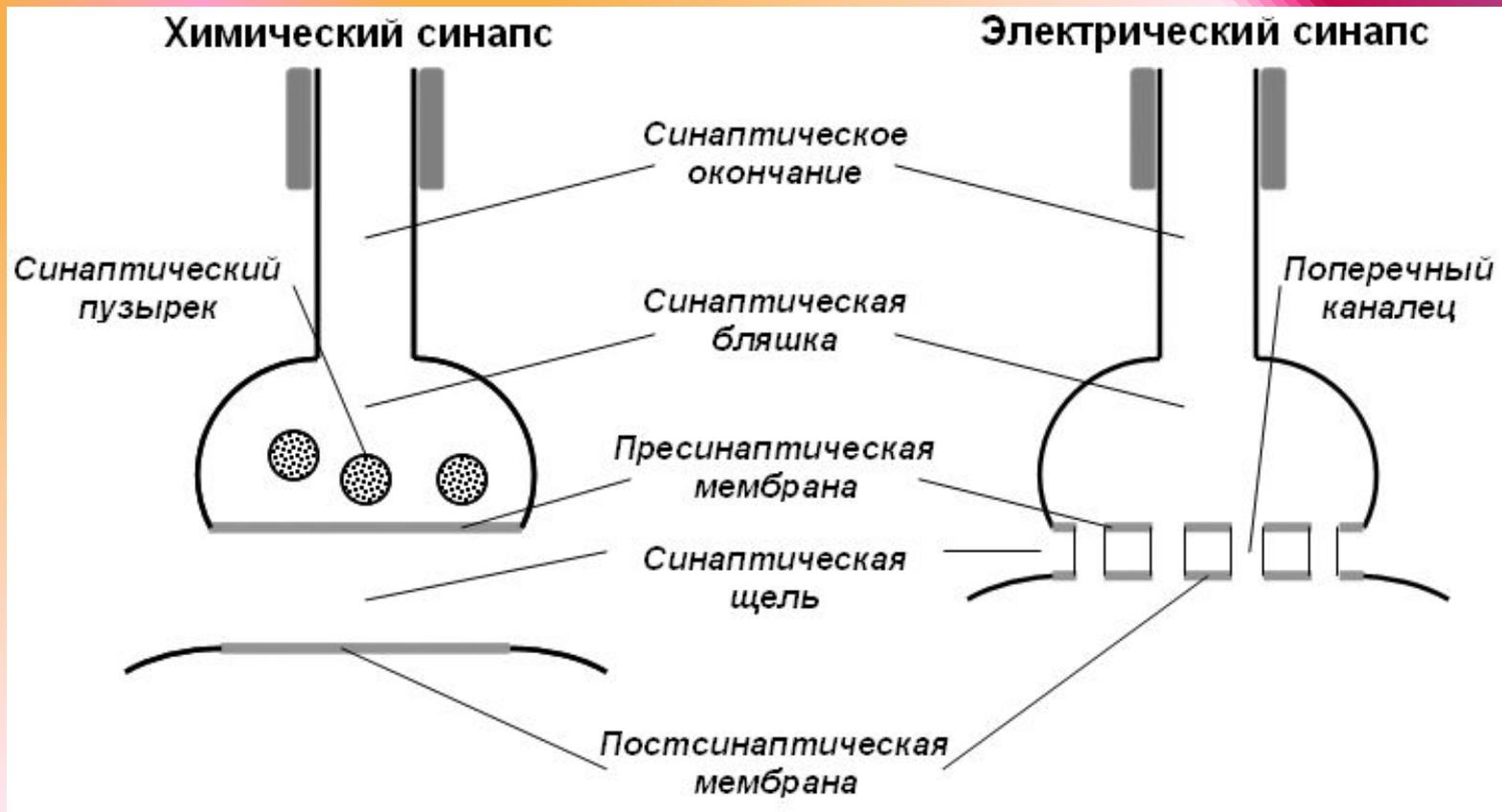


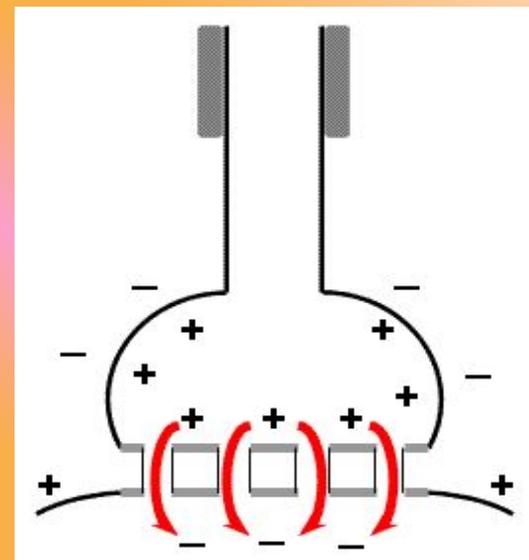
Рис. 1 Особенности ультраструктуры электрического синапса и химического синапса

# Основные характеристики, отличающие химическую синаптическую передачу от электрической

- В химическом синапсе постсинаптический ток генерируется за счет открывания каналов в постсинаптической мембране и обусловлен ионными градиентами постсинаптической клетки.
- В электрическом синапсе источник постсинаптического тока – мембрана постсинаптической клетки

- ***Механизм передачи возбуждения в электрическом синапсе***

Аналогичен механизму проведения возбуждения в НВ. Во время развития ПД происходит реверсия заряда пресинаптической мембраны. Электрический ток, возникающий между пресинаптической и постсинаптической мембраной, раздражает постсинаптическую мембрану и вызывает генерацию в ней ПД ([рис. 2](#))



# Свойства электрических и химических синапсов

Свойство	Электрические синапсы	Химические синапсы
Проведение ПД	двустороннее	одностороннее
Утомляемость	низкая	высокая
Лабильность	высокая	низкая
Синаптическая задержка	короткая	длинная
Трансформация ритма ПД	не происходит	происходит
Чувствительны к действию	электромагнитных излучений	химических агентов
Скорость проведения	быстрая	медленная

Мионевральный синапс — эффекторное нервное окончание на скелетном мышечном волокне; зона контакта двигательного окончания и мышечного волокна, которое иннервируется им. Каждое мышечное волокно иннервируется веточкой аксона двигательного нейрона, который, оканчиваясь на волокне, образует двигательную концевую пластинку.

***Медиатором*** (посредником) называют химическое вещество, которое обеспечивает одностороннюю передачу возбуждения в химическом синапсе.

По химической структуре медиаторы подразделяют на:

- моноамины (адреналин, норадреналин, ацетилхолин и др.);
- аминокислоты (гамма - аминomásляная кислота (ГАМК), глутамат, глицин, таурин);
- пептиды (эндорфин, нейротензин, бомбезин, энкефалин и др.);
- прочие медиаторы (NO , АТФ).

# Факторы, определяющие концентрацию нейромедиатора в синаптической щели:

- Количество нейромедиатора, высвобождаемого пресинаптическим нервным окончанием.
- Пассивная диффузия медиатора по градиенту концентрации из синаптической щели в соседние участки внеклеточной жидкости.
- Активный захват нейромедиатора транспортными белками, находящимися на плазматической мембране соседних нейронов.
- Расщепление нейромедиатора ферментами, находящимися в пресинаптической щели или на плазматической мембране пресинаптического или постсинаптического нейронов.

# Синаптическая задержка

- Время от прихода нервного импульса до развития постсинаптического ответа в химическом синапсе составляет около 0,2 – 0,5, причем основная часть этого времени тратится на процесс секреции медиатора.

Медиаторы могут (ацетилхолин) синтезоваться в цитоплазме синаптического окончания, и депонируются в синаптических пузырьках.

Ферменты, для синтеза медиатора, образуются в теле нейрона и доставляются в синаптическое окончание путем аксонного транспорта (1–3 мм/сут).

Другие медиаторы (пептиды и др.) синтезируются в теле нейрона, доставляются в синаптическую бляшку за счет быстрого (400 мм/сут) аксонного транспорта.

Синтез медиатора и пузырьков осуществляется непрерывно.

Медиатора могут выбрасываться в синаптическую щель путем экзоцитоза. При опорожнении пузырька в синаптическую щель выбрасывается порция (*квант*) медиатора, которая включает около 10000 молекул. Экзоцитоз медиатора активируется ионии  $Ca^{++}$ . В покое  $Ca^{++}$  в синаптическом окончании отсутствует медиатор не выделяется. Возбуждение пресинаптической мембраны приводит открытию  $Ca^{++}$ -каналов. Ионы  $Ca^{++}$  поступают в цитоплазму синаптического окончания и активируют опорожнение синаптических пузырьков в синаптическую щель.

Молекулы медиатора диффундируют через синаптическую щель и достигают постсинаптической мембраны, где связываются с рецепторами хемочувствительных  $\text{Na}^+$ -каналов. Присоединение медиатора к рецептору приводит к открытию  $\text{Na}^+$ -каналов, через которые в клетку входят ионы  $\text{Na}^+$ . В результате входа в клетку положительно заряженных ионов происходит локальная деполяризация постсинаптической мембраны, которую называют *возбуждающим постсинаптическим потенциалом (ВПСП)*.

# Возбуждающий постсинаптический потенциал (ВПСП)

- локальный потенциал, который электротонически распространяется по мембране. С помощью внутриклеточных микроэлектродов и методики фиксации потенциала можно изучить токи, проходящие через активируемую постсинаптическую мембрану. В подобных экспериментах, варьируя ионный состав среды, установили, что *Ax открывает в постсинаптической мембране каналы, пропускающие катионы  $Na^+$ ,  $K^+$ , но не пропускающие анионы  $Cl^-$ .*

# Синаптическим торможением

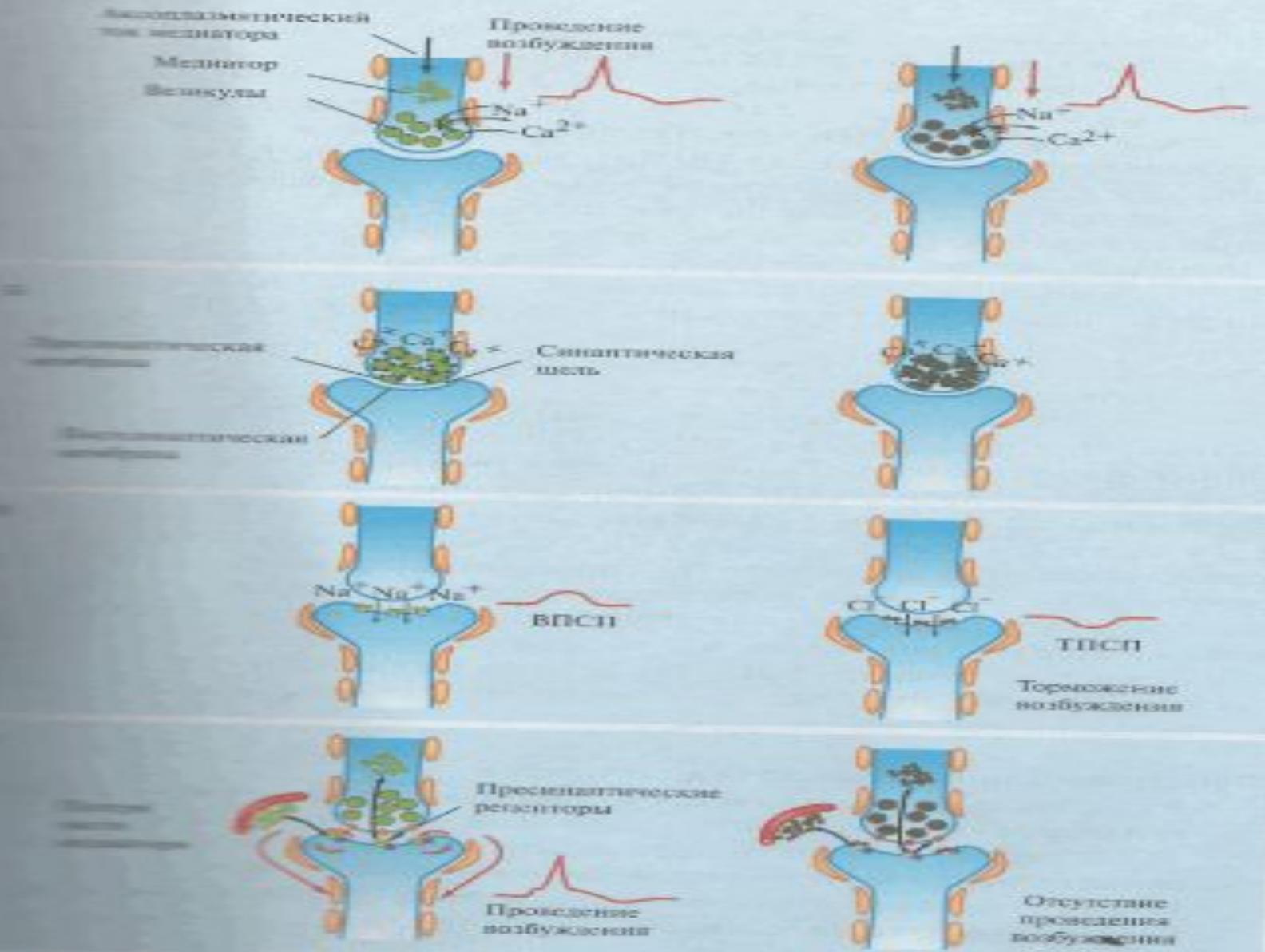
- обозначают влияние пресинаптической нервной клетки, прекращающее или предотвращающее возбуждение постсинаптической нервной клетки.

# Тормозной постсинаптический потенциал (ТПСП)

- имеет вид гиперполяризации
- развитие ТПСП связано со значительным увеличением ионной проводимости
- развивается при низком мембранном потенциале покоя и обычной внутриклеточной концентрации  $\text{Cl}^-$  (хлорный шунт)

Возбуждающий синапс

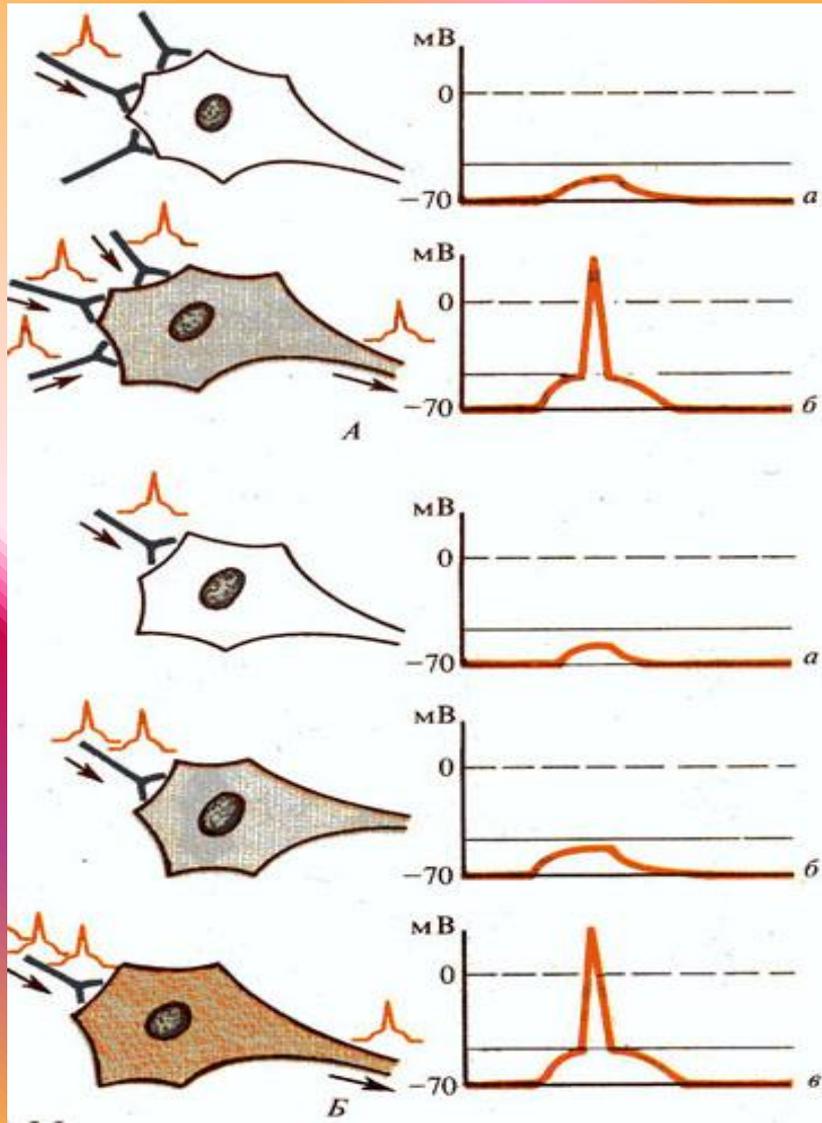
Тормозной синапс



- **Временная суммация** представляет собой суммарное воздействие нескольких ВПСП или ТПСП, исходящих из одного и того же пресинаптического нейрона, на мембранный потенциал постсинаптического нейрона. Например, повторное раздражение возбуждающего нейрона с последующей суммацией ВПСП может вызвать пороговую деполяризацию и генерацию потенциала действия. При этом между двумя ВПСП нет периода рефрактерности, поскольку каждый из них приводит лишь к небольшому увеличению деполяризации мембраны, недостаточному для активации  $\text{Na}^+$ -каналов. Это позволяет многочисленным ВПСП оказывать суммарное деполяризующее воздействие на мембранный потенциал постсинаптического нейрона.

- **Пространственная суммация** представляет собой суммарное воздействие нескольких ВПСП или ТПСП, поступающих одновременно из разных пресинаптических нейронов, на мембранный потенциал постсинаптического нейрона (т.е. химические сигналы исходят из разных пространственных источников). При физиологических условиях пространственная и временная суммация участвуют в регуляции мембранного потенциала постсинаптического нейрона одновременно.

# Явление суммации:

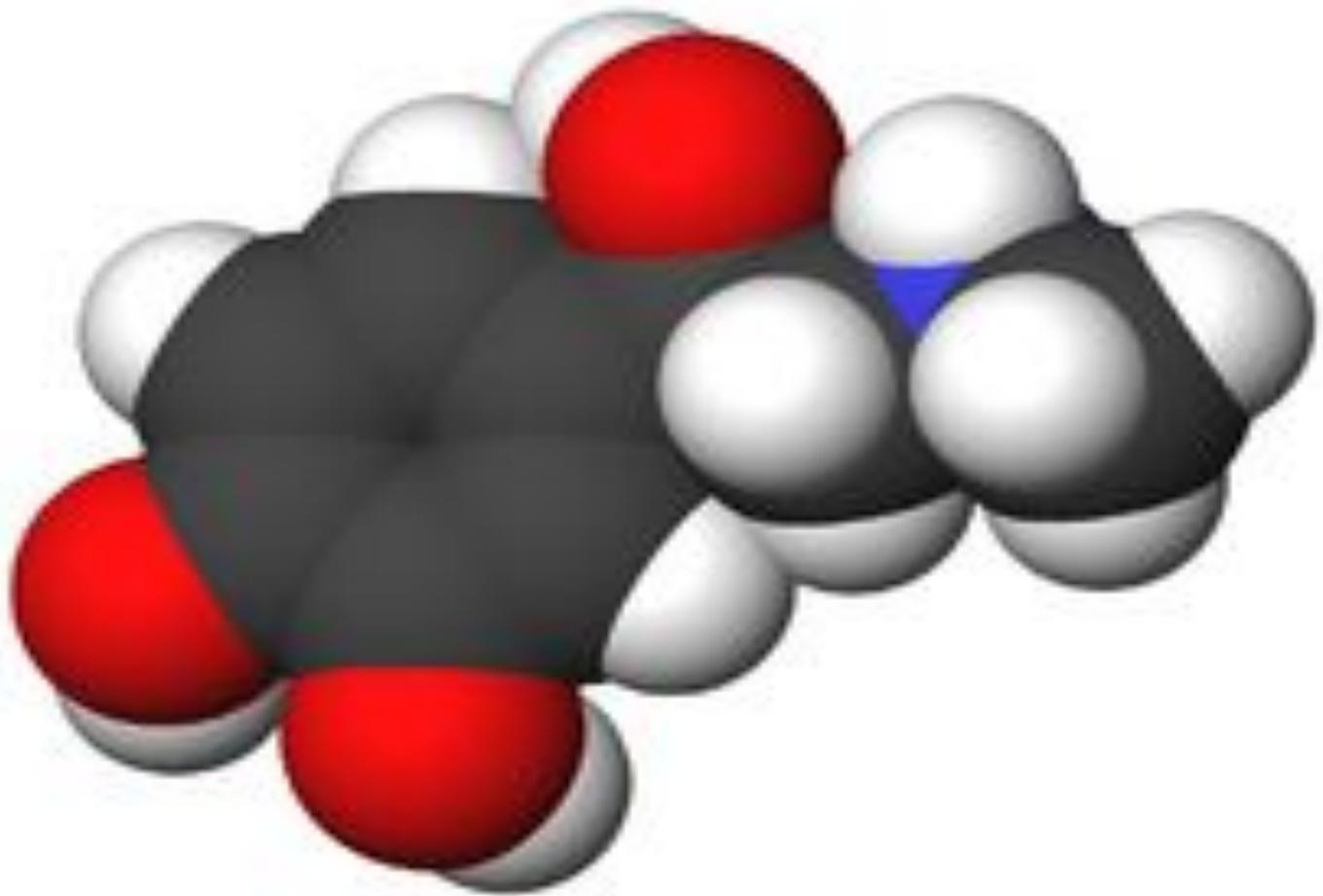


- **А** — пространственная суммация в результате одновременно наносимых раздражений: а — передача возбуждения с одного аксона (уменьшение мембранного потенциала), б — передача возбуждения с трех аксонов и генерация потенциала действия;
- **Б** — временная суммация в результате последовательно наносимых раздражений: а - одно раздражение, б - два раздражения, в - три раздражения и генерация потенциала действия.

# Ацетилхолин

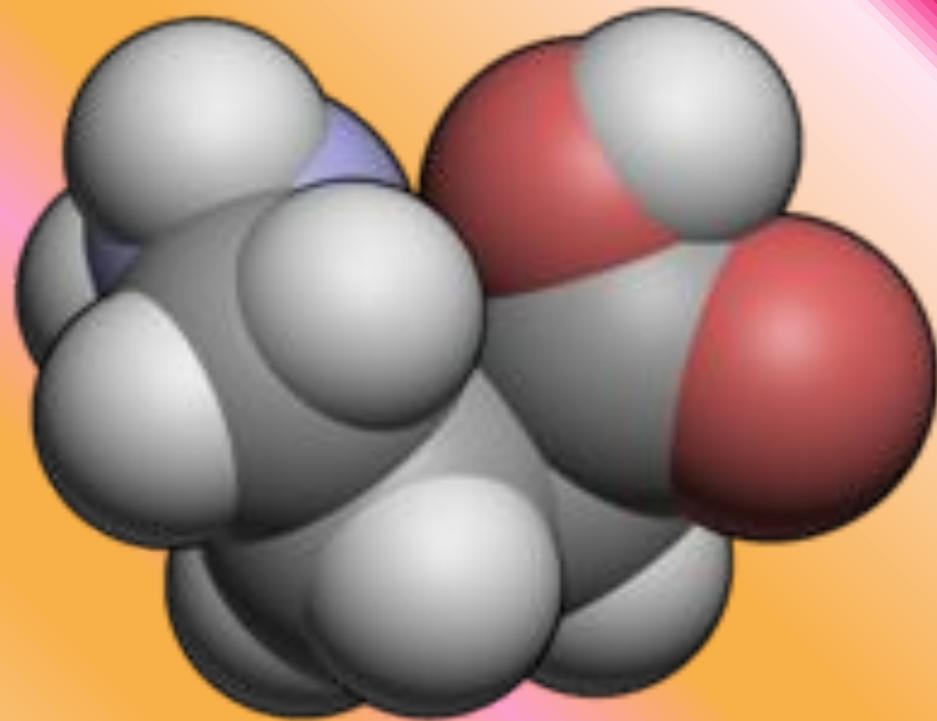
- Возбуждающий медиатор: медиатор  $\alpha$ -мотонейронов спинного мозга, иннервирующих скелетную мускулатуру, ретикулярной формации, гипоталамусе.
- Обнаружены M- и N- холинорецепторы.

# Адреналин (эпинефрин) (L-1(3,4-Диоксифенил)-2- метиламиноэтанол)



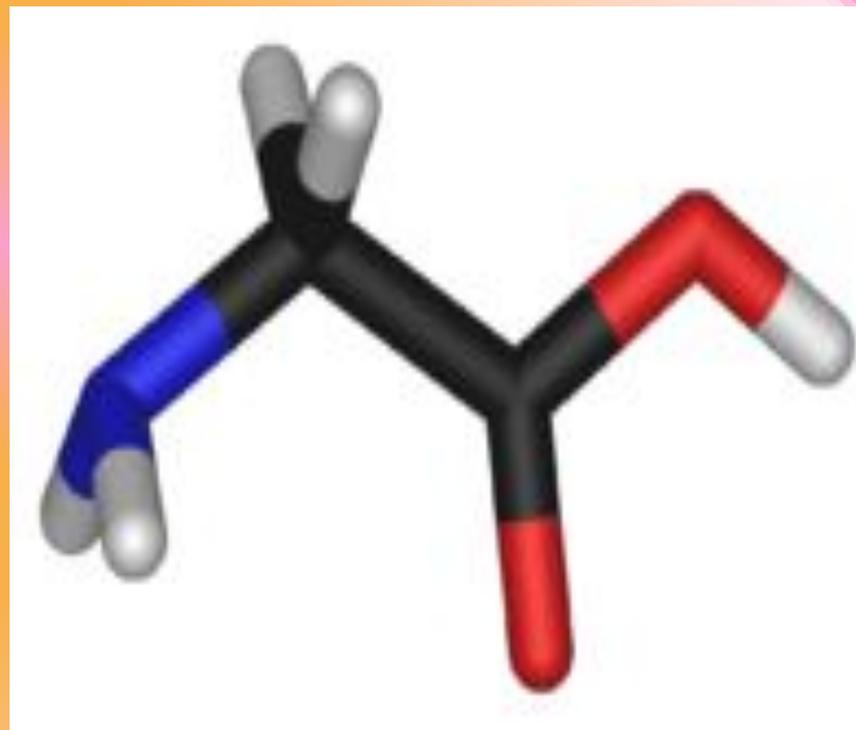
# γ-Аминомасляная кислота (ГАМК, GABA)

- Аминокислота, важнейший тормозной нейромедиатор центральной нервной системы человека и млекопитающих. Аминомасляная кислота является биогенным веществом. Содержится в ЦНС и принимает участие в нейромедиаторных и метаболических процессах в мозге.



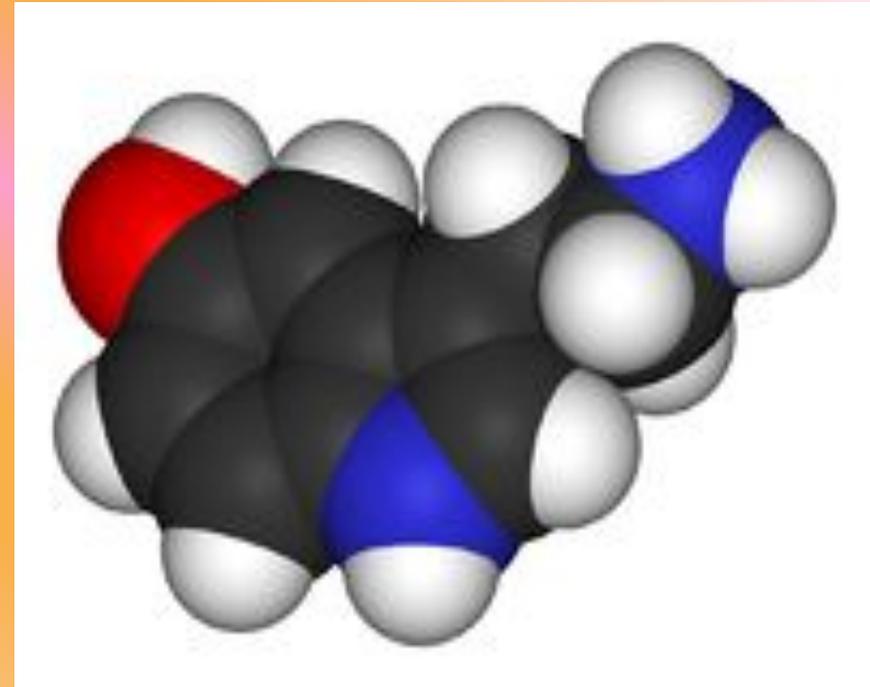
# Глицин (аминоуксусная кислота)

- является нейромедиаторной аминокислотой.
- Рецепторы к глицину имеются во многих участках головного мозга и спинного мозга и оказывают «тормозное» воздействие на нейроны, уменьшают выделение из нейронов «возбуждающих» аминокислот, таких как глутаминовая кислота и повышают выделение ГАМК



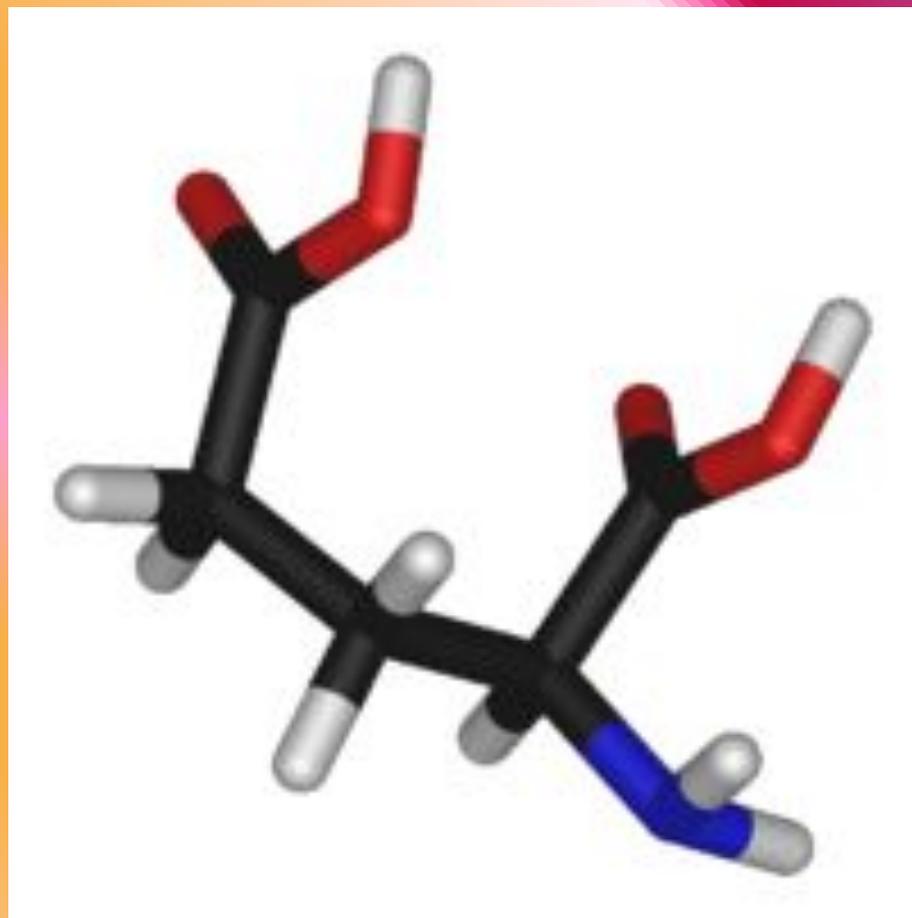
# Серотонин, 5- *гидрокситриптамин, 5-НТ*

- важный нейромедиатор и гормон. По химическому строению он относится к биогенным аминам, к классу триптаминов.



# Глутаминовая кислота

- является нейромедиаторной аминокислотой одним из важных представителей класса «возбуждающих аминокислот». Связывание аниона глутамата со специфическими рецепторами нейронов приводит к возбуждению нейронов.



# Лекарства и яды, вызывающие мышечную слабость и паралич

*Нейротоксин ботулин* – ингибирует высвобождение нейромедиатора из везикул

*$\alpha$ - бунгаротоксин из яда кобры* – блокирует открывание ионных каналов

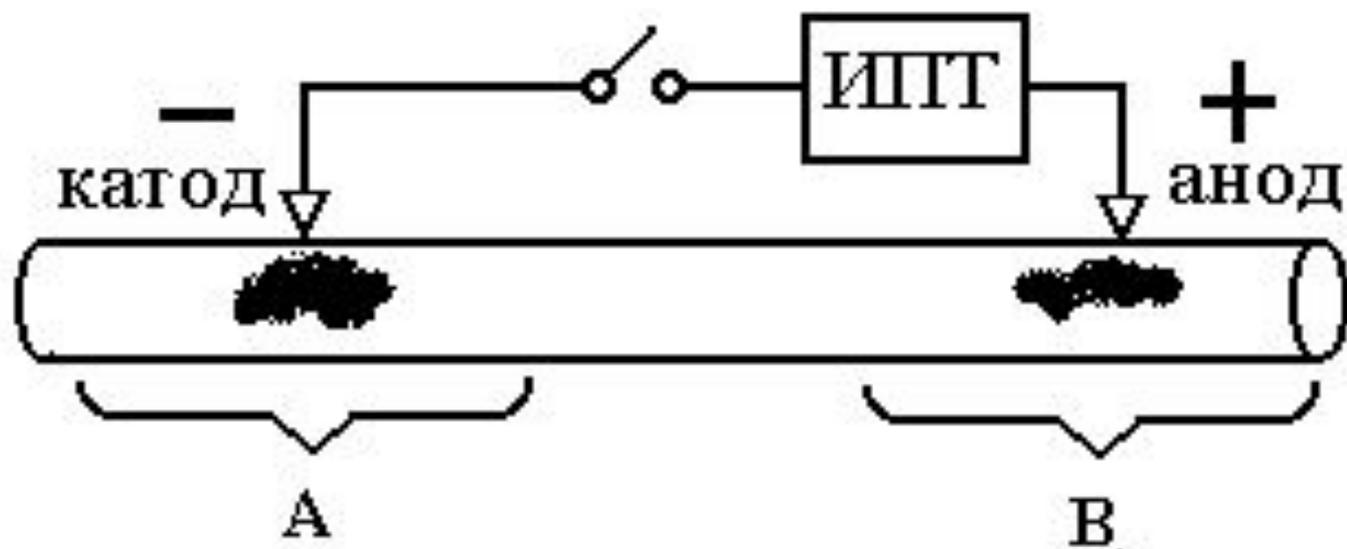
*D – тубокурарин* (миорелаксант при хирургических операциях) вытесняет АХ из центров связывания

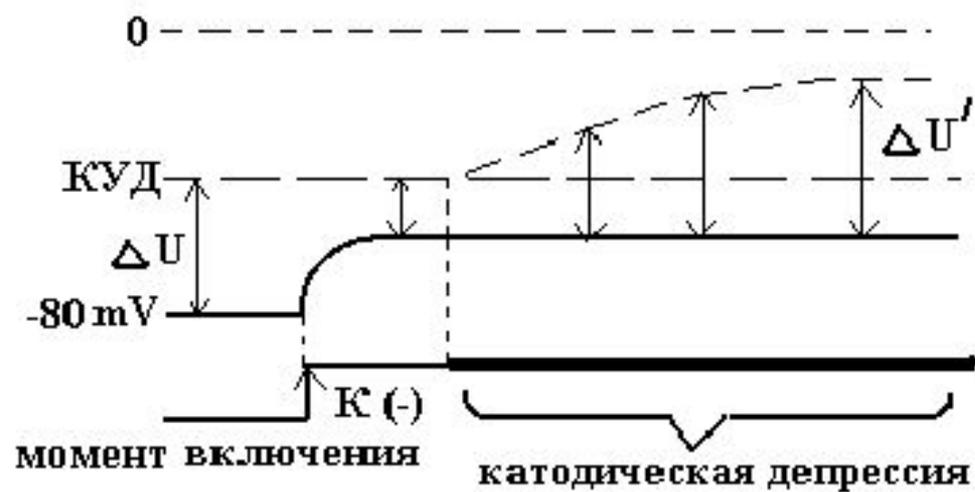
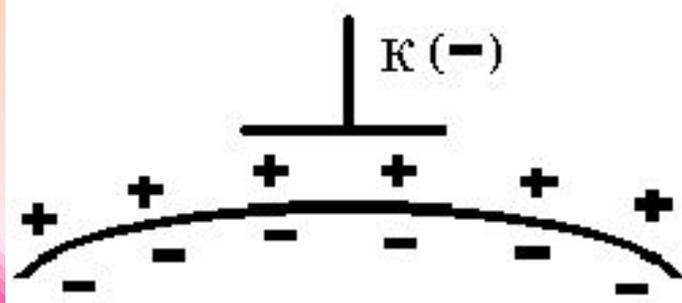
*Ингибиторы холинэстеразы (неостигмин)* – вызывают паралич из-за непрерывной деполяризации

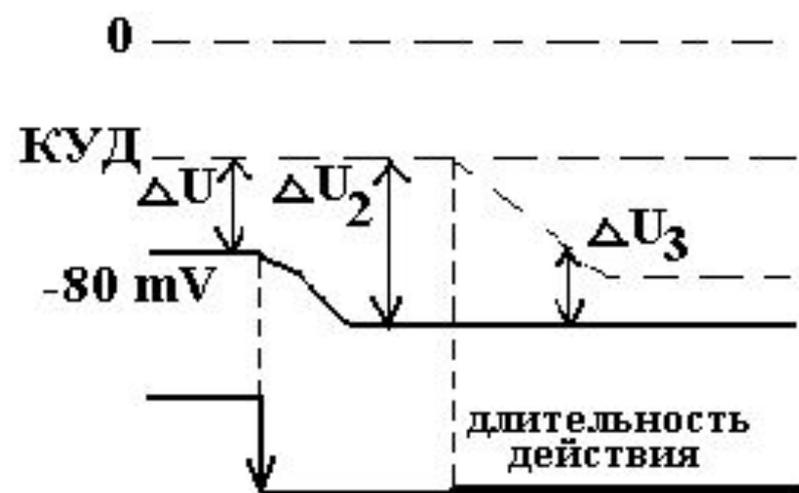
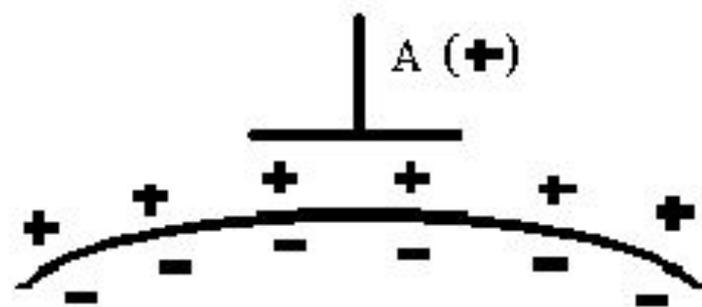
*Миастения гравис* – аутоиммунное заболевание: антитела к АХ-рецепторам

**ЭЛЕКТРОТОН** это пассивное  
изменение функциональных  
характеристик тканей (МПП) в  
области полюсов постоянного  
тока.

- **Закон физиологического электротона:** действие постоянного тока на ткань сопровождается изменением ее возбудимости. При прохождении постоянного тока через нерв или мышцу порог раздражения под катодом и соседних с ним участках понижается вследствие деполяризации мембраны - возбудимость повышается. В области приложения анода происходит повышение порога раздражения, т. е. снижение возбудимости вследствие гиперполяризации мембраны. Эти изменения возбудимости под катодом и анодом получили название *электротона* (электротоническое изменение возбудимости). Повышение возбудимости под катодом называется *катэлектротон*ом, а снижение возбудимости под анодом - *анэлектротон*ом.
- При дальнейшем действии постоянного тока первоначальное повышение возбудимости под катодом сменяется ее понижением, развивается так называемая *катодическая депрессия*. Первоначальное же снижение возбудимости под анодом сменяется ее повышением - *анодная экзальтация*. При этом в области приложения катода происходит инактивация натриевых каналов, а в области действия анода происходит снижение калиевой проницаемости и ослабление исходной инактивации натриевой проницаемости.







начало анодической  
поляризации