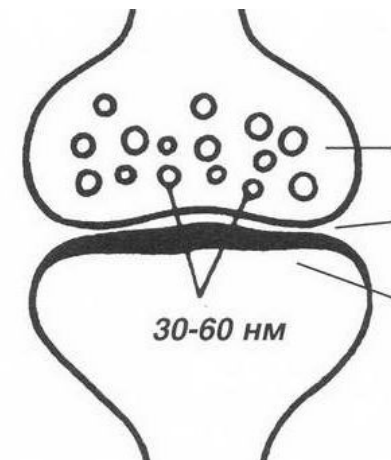
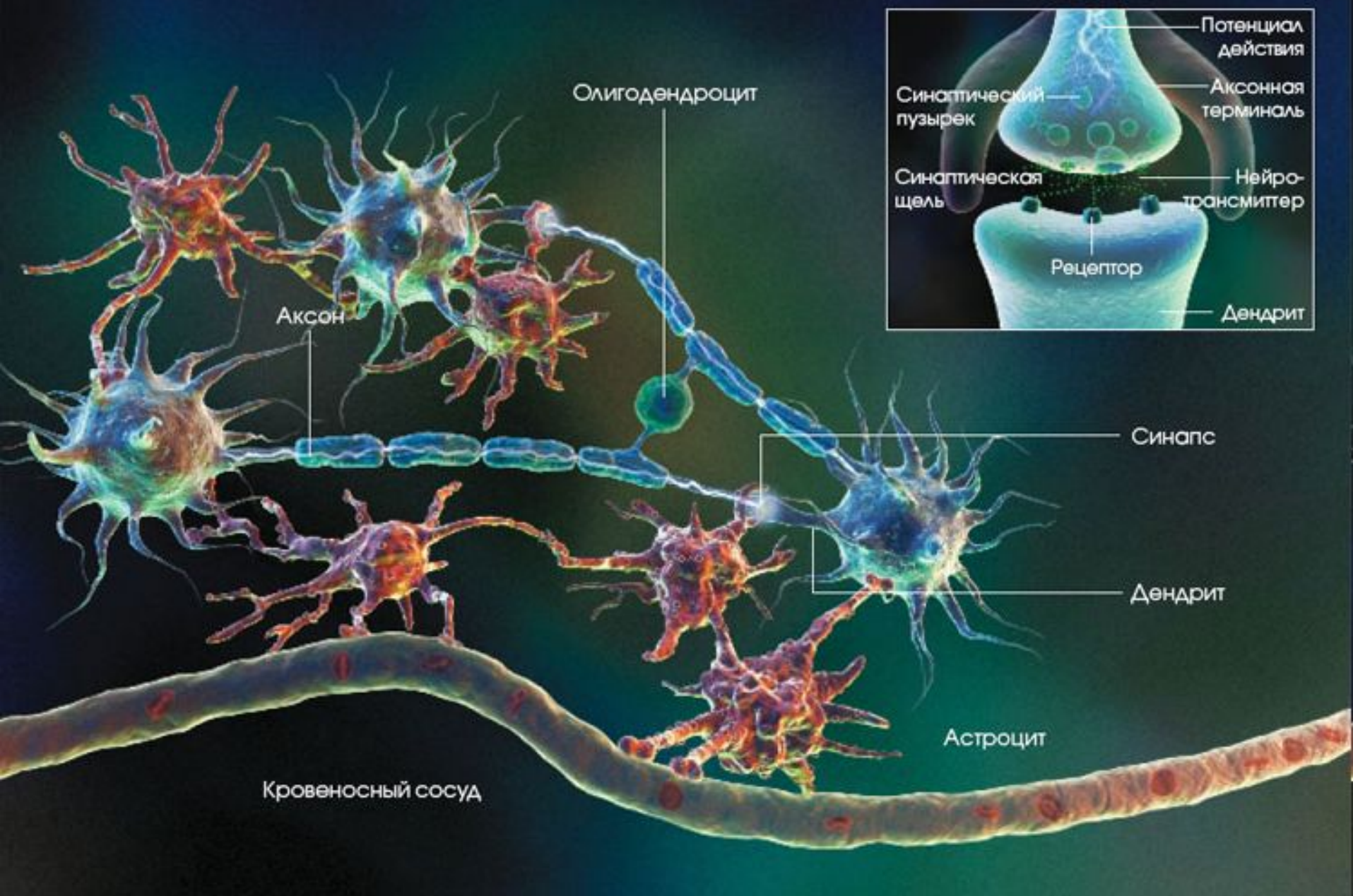




Synaptic terminal
mag ~ 88,000 X

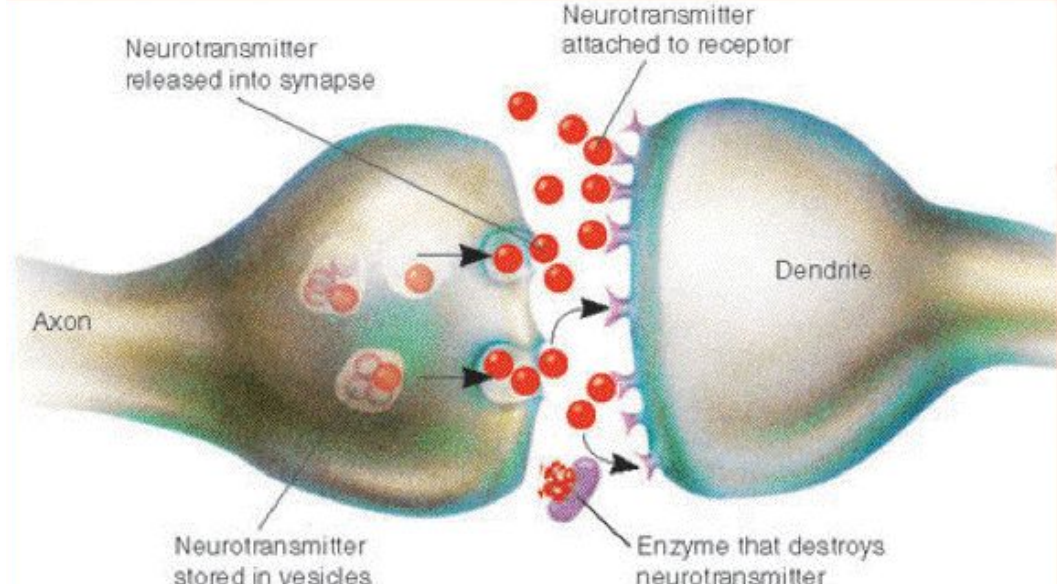
Синапсы





Аксоны (выносящие возбуждение отростки) у большинства нейронов подходя к другим нервным клеткам ветвятся и образуют многочисленные окончания на этих клетках и их отростках (дендритах и аксонах). Такие места контактов называют **синапсами**. Аксоны также образуют **синаптические окончания** и на мышечных волокнах, и на клетках желёз. А аксоны нейронов гипоталамуса могут образовывать контакты также на кровеносных капиллярах, для того чтобы выделять свои химические управляющие вещества (нейротрансмиттеры) в кровь.

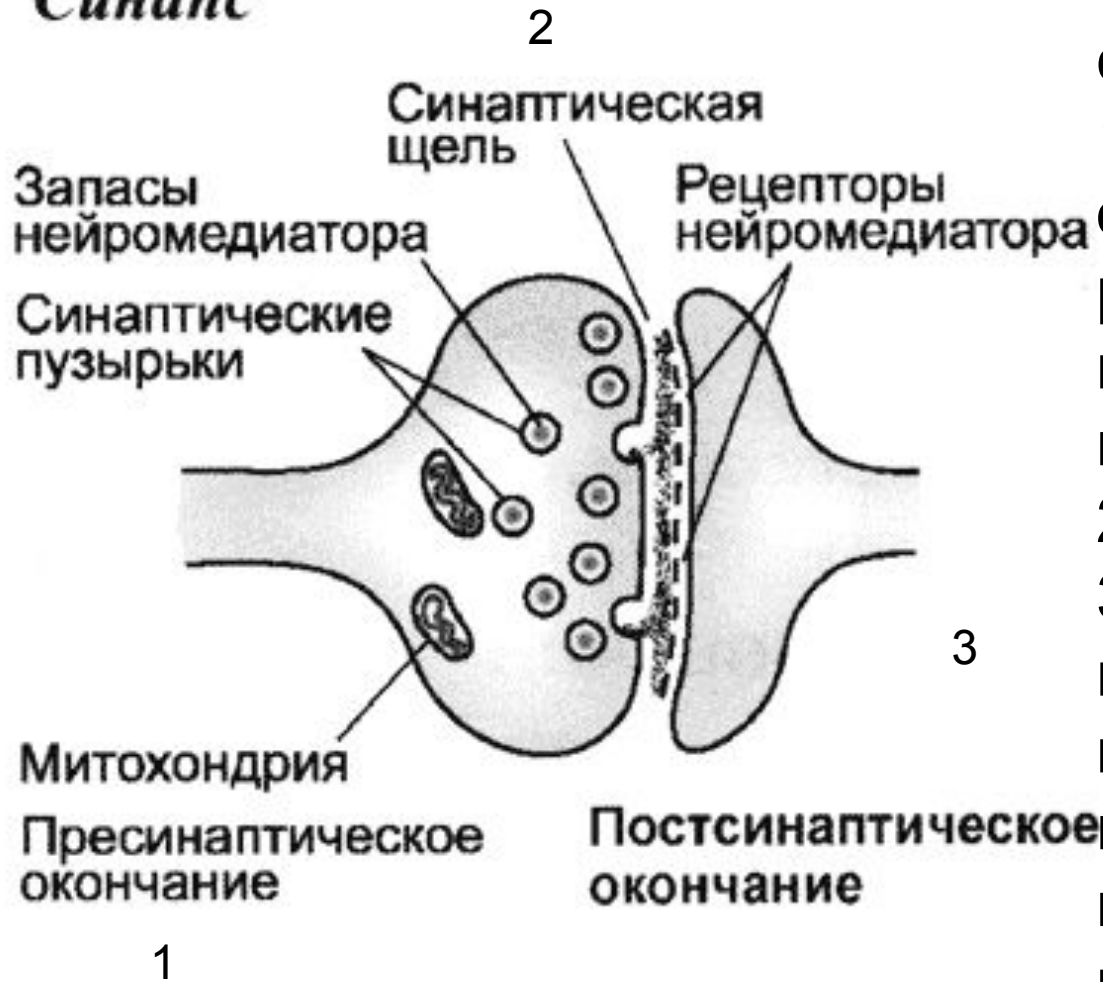
Синапсы - это специализированные контакты между нервными клетками (нейронами), через которые передаётся нервное возбуждение или торможение.



Синапс - это специализированный контакт между нервной клеткой и её мишенью, через который контактирующие клетки влияют друг на друга.

Таким образом, синапсы - это управляющие и управляемые структуры, связывающие нейроны между собой и с другими клетками.

Синапс



Составные части синапса:

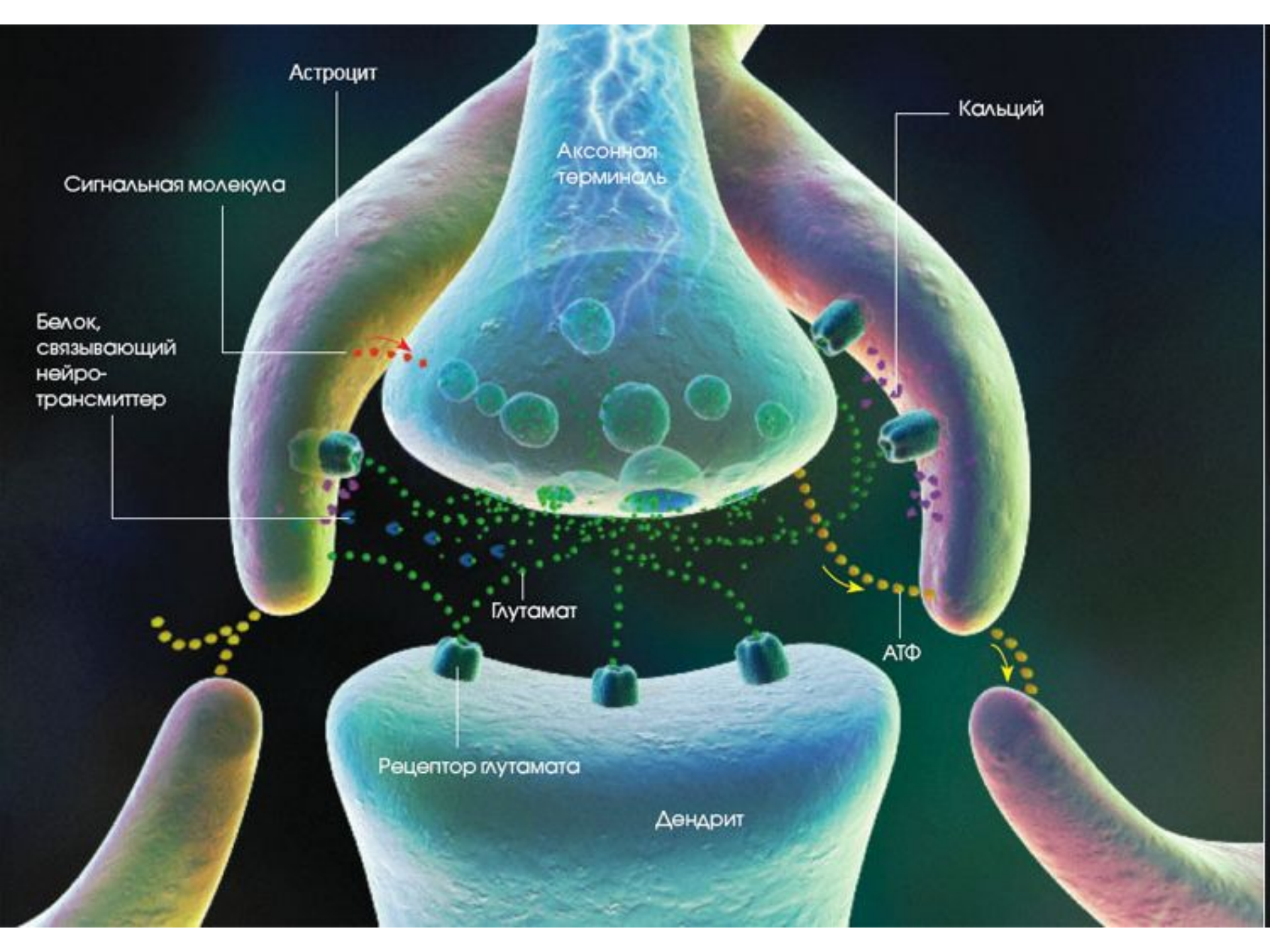
1 — пресинаптическое окончание: обычно расширено и содержит пресинаптические пузырьки с медиатором;
2 — синаптическая щель;
3 — постсинаптическая мембрана: это прилегающая часть мембраны постсинаптической клетки, где имеются рецепторы к медиатору.

Окончания аксонов вблизи дендритов или тела другого нейрона образуют луковичеобразные утолщения, называемые синаптическими бляшками.

Синапс образуют две разные клетки, то в его состав входят две мембраны - **пресинаптическая** (от передающего возбуждение нейрона) и **постсинаптическая** (от воспринимающего возбуждение нейрона). Между ними есть **синаптическая щель** с межклеточной жидкостью.

Пресинаптическая часть синапса принадлежит аксону и содержит пузырьки-**везикулы**, заполненные **нейротрансммитером** - управляющим веществом, влияющим на постсинаптическое окончание.

Постсинаптическая часть синапса отличается уплотнённой постсинаптической (субсинаптической) мембраной. На ней расположены **молекулярные рецепторы**, с которыми соединяется **нейротрансммитер**, выделяющийся из пресинаптического окончания. Постсинаптическая мембрана находится на теле или дендритах нейрона, на который передаётся нервный импульс. Но существуют также и "аксо-аксональные синапсы", образованные двумя аксонами.



Астроцит

Кальций

Аксонная
терминаль

Сигнальная молекула

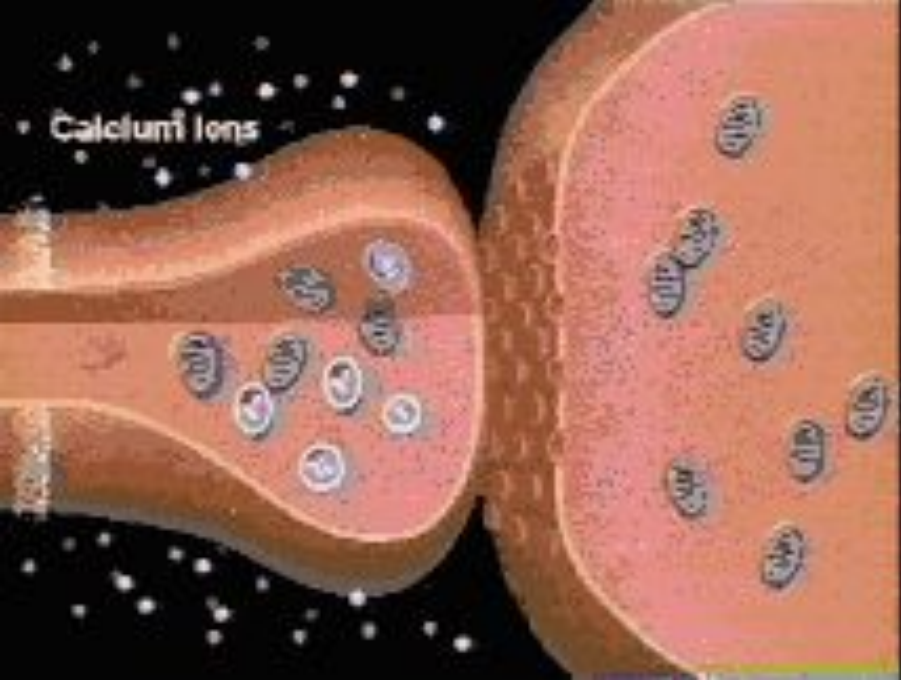
Белок,
связывающий
нейро-
трансмис-
тер

Глутамат

АТФ

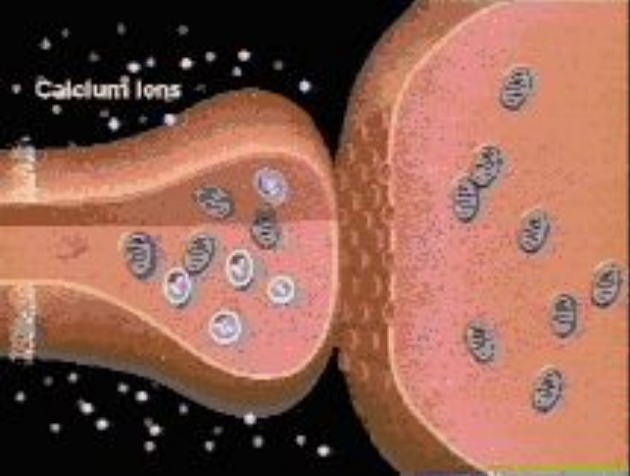
Рецептор глутамата

Дендрит



Бегущая в виде колечка волна возбуждения (она же - нервный импульс, она же - деполяризация) открывает на своём пути натриевые ионные каналы. Ионы Na^+ входят в клетку и обеспечивают деполяризацию следующего участка на пути движения волны возбуждения.

На **пресинаптическом окончании** открываются уже другие ионные каналы - кальциевые. Через них более крупные ионы Ca^{2+} входят в это окончание и побуждают пузырьки с **нейротрансмиттером** переместиться к синаптической щели и выбросить в неё своё содержимое.



Выброшенный наружу медиатор движется через щель к постсинаптическому окончанию и садится на его молекулярные рецепторы.

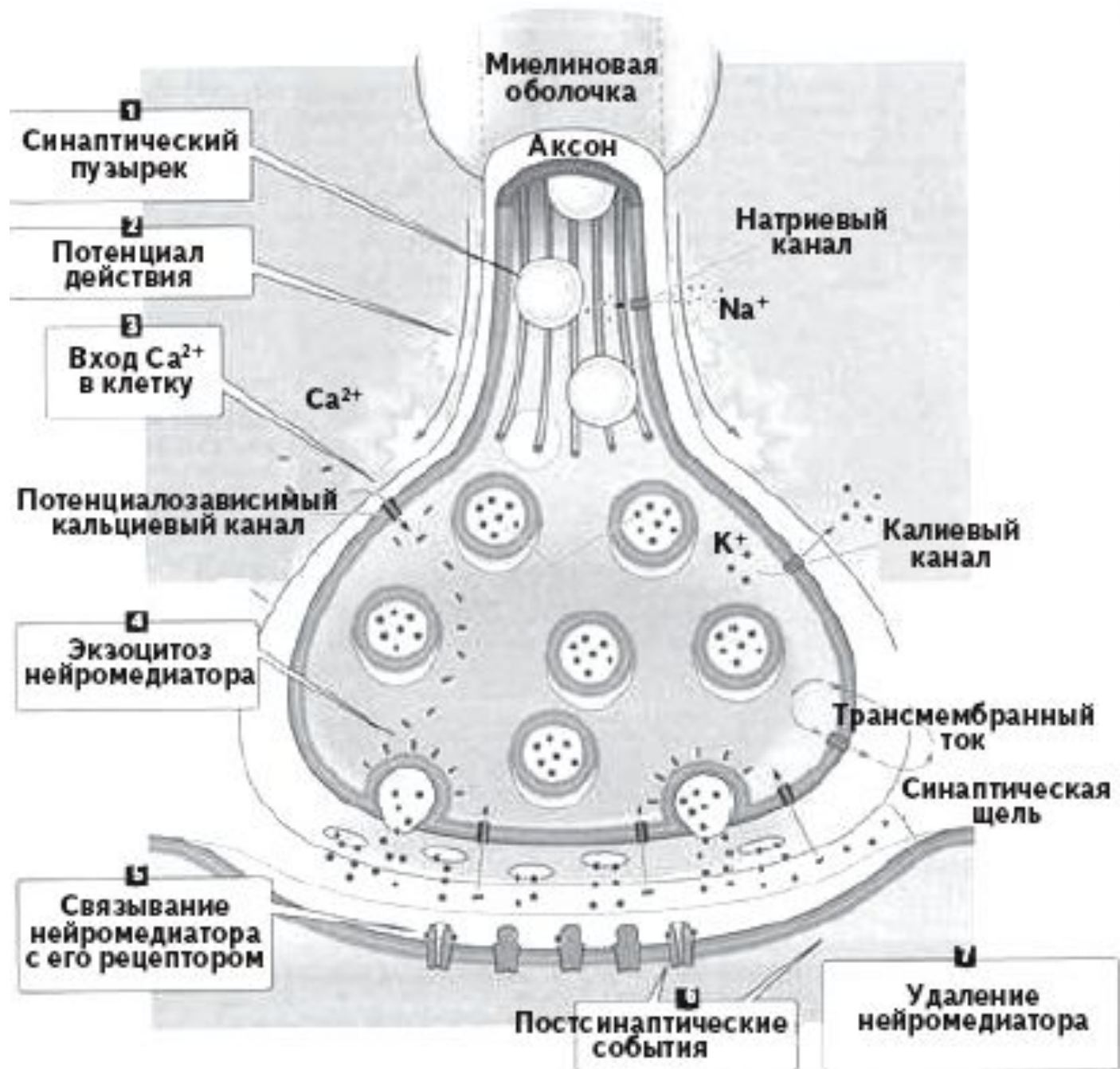
Рецепторы, связавшись с нейротрансмиттером (медиатором), открывают свои хемозависимые ионные каналы на постсинаптической мембране. Через них в это постсинаптическое окончание в дендрит воспринимающего нейрона входят ионы натрия Na^+ . Возникает деполяризация, которая и является ВПСП - возбуждающим постсинаптическим потенциалом.

Это - *локальное возбуждение*, которое было передано передающим нейроном на воспринимающий нейрон. Так работает возбуждающий синапс. Нужно, как минимум, получить 5 ВПСП подряд или одновременно, чтобы был достигнут КУД (критический уровень деполяризации) и был рождён потенциал действия, превращающийся в нервный импульс.

Постсинаптическая мембрана - утолщенный участок мембраны дендрита в области синапса, содержит крупные белковые молекулы, действующие как рецепторы медиаторов, и многочисленные **лиганд-зависимые** каналы и поры, обычно закрытые, через которые в постсинаптический нейрон могут поступать ионы.

В зависимости от природы проходящих через синапсы сигналов, синапсы делятся на **химические синапсы** и **электрические синапсы**.

Строение химических синапсов



Передача информации в химических синапсах осуществляется через синаптическую щель - область внеклеточного пространства шириной 10-50 нм, разделяющую мембраны пре- и постсинаптических клеток.



В пресинаптическом окончании содержатся синаптические везикулы - мембранные пузырьки диаметром около 50 нм., в каждом из которых заключено 1×10^4 - 5×10^4 молекул медиатора. Общее количество таких пузырьков в пресинаптических окончаниях составляет несколько тысяч. Цитоплазма синаптической бляшки содержит митохондрии, гладкий эндоплазматический ретикулум, микрофиламенты.

Синаптическая щель заполнена мукополисахаридом, "склеивающим" пре- и постсинаптическую мембраны.

Постсинаптическая мембрана содержит крупные белковые молекулы, выполняющие функции рецепторов, чувствительных к медиатору, а также многочисленные каналы и поры, через которые в постсинаптический нейрон могут поступать ионы.

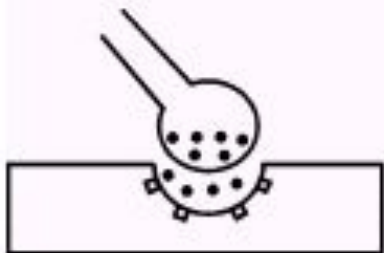
При поступлении потенциала действия к пресинаптическому окончанию происходит деполяризация пресинаптической мембраны и повышается ее проницаемость для ионов Ca^{2+} (рис. 5.3). Повышение концентрации ионов Ca^{2+} в цитоплазме синаптической бляшки инициирует экзоцитоз везикул наполненных медиатором



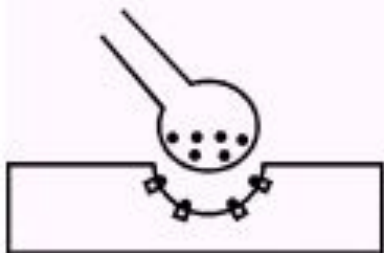
ПД в пресинаптическом
волокне



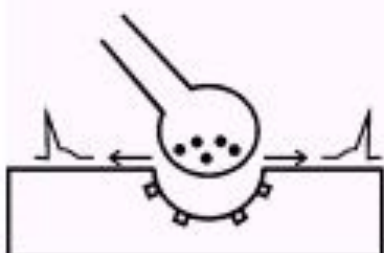
Увеличение проницаемости
для Ca^{2+} ; вход Ca^{2+}



Высвобождение медиатора
путем экзоцитоза

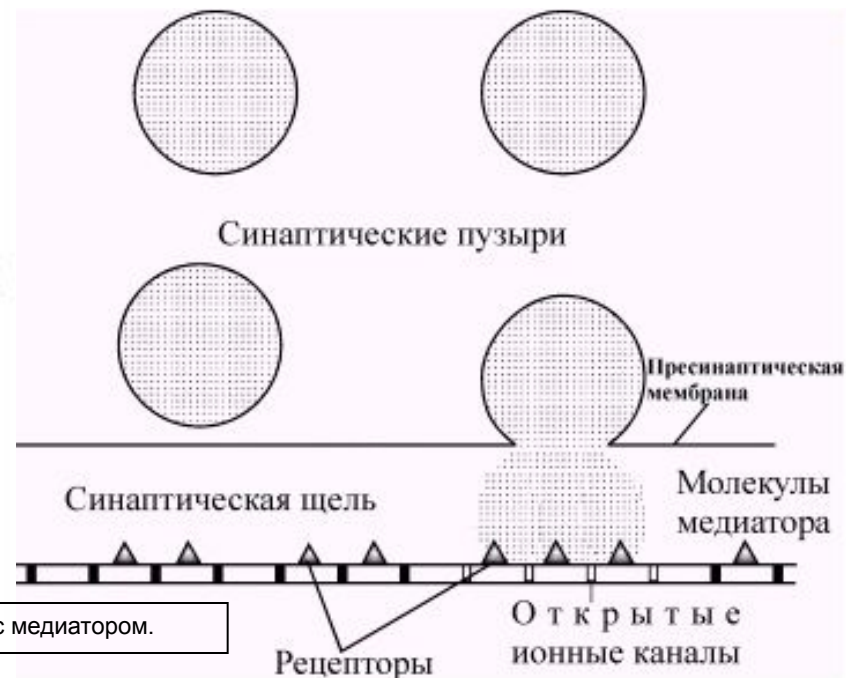


Связывание медиатора с
постсинаптическими рецепторами

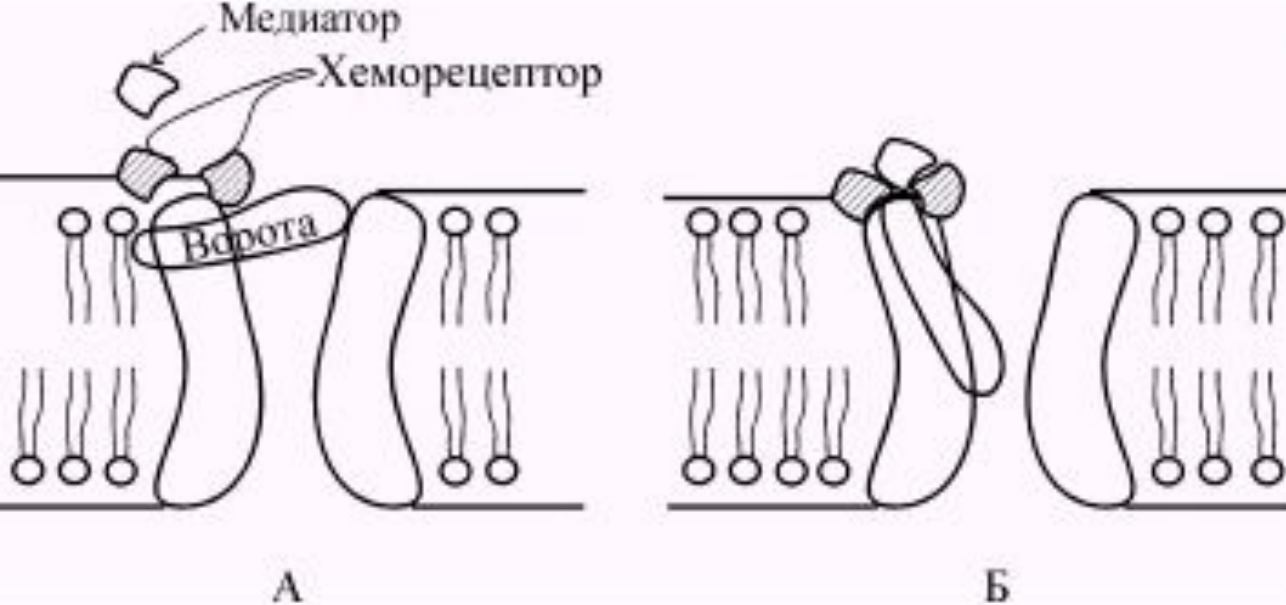


ПД в постсинаптической клетке

Содержимое везикул
высвобождается в синаптическую
щель, и часть молекул медиатора
диффундирует, связываясь с
рецепторными молекулами
постсинаптической мембраны. В
среднем каждая везикула
содержит около 3000 молекул
медиатора, а диффузия
медиатора до постсинаптической
мембраны занимает около 0,5 мс.



Экзоцитоз синаптических пузырьков с медиатором.



Строение и работа хемовозбудимого ионного канала.

Канал образован макромолекулой белка, погруженной в липидный бислой мембраны. До взаимодействия молекулы медиатора с рецептором ворота закрыты (А). Они открываются при связывании медиатора с рецептором (Б).

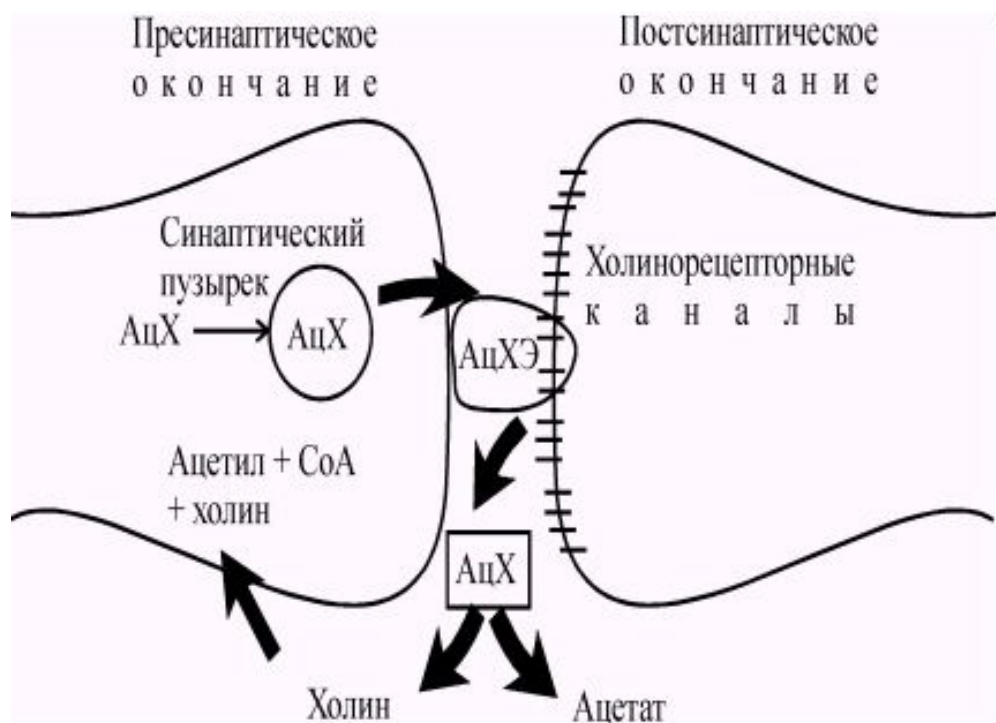
Процесс передачи возбуждения через химический синапс :

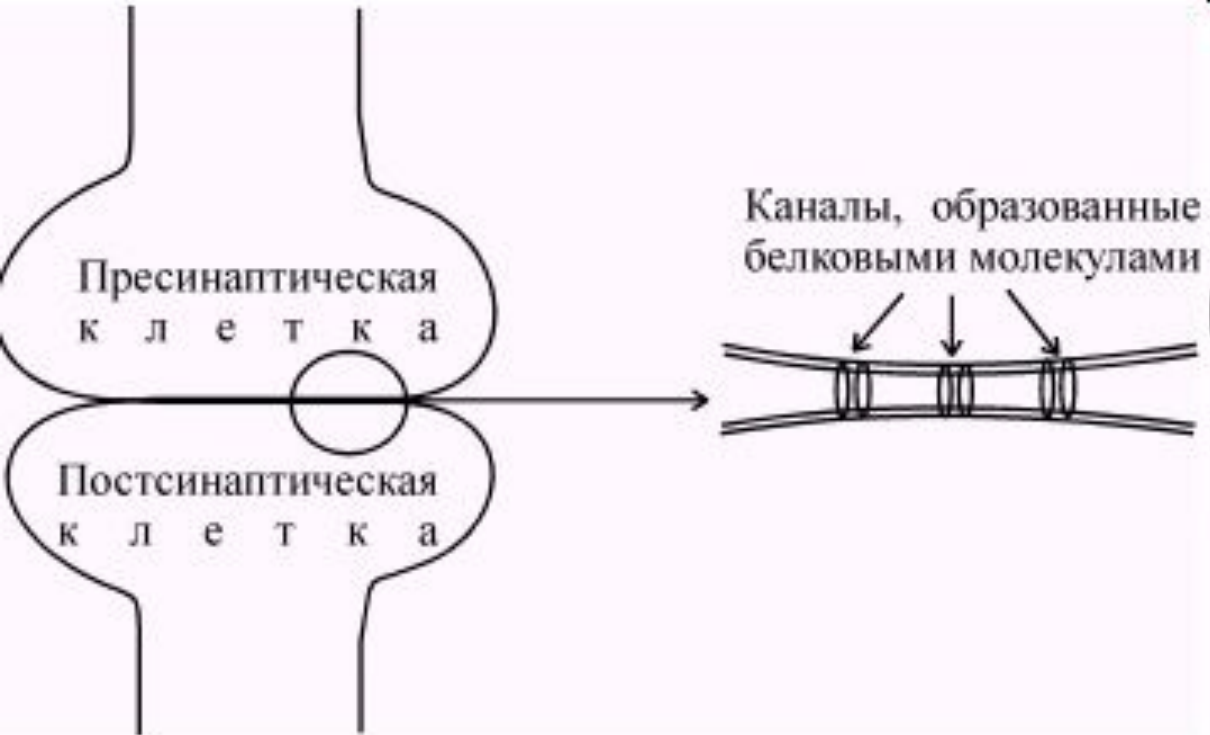
- потенциал действия на пресинаптической мембране;
- поступление ионов Ca^{2+} внутрь нервного окончания;
- освобождение медиатора;
- диффузия медиатора через синаптическую щель к постсинаптической мембране;
- взаимодействие медиатора с рецептором активация хемовозбудимых каналов постсинаптической мембраны;
- возникновение потенциала концевой пластинки;
- критическая деполяризация постсинаптической электровозбудимой мембраны;
- генерация потенциала действия.

Химические синапсы имеют два общих свойства:

1. Возбуждение через химический синапс передается только в одном направлении - от пресинаптической мембраны к постсинаптической мембране (одностороннее проведение).

2. Возбуждение проводится через синапс значительно медленнее, чем по нервному волокну синаптическая задержка.





Особенности строения и функционирования электрических синапсов

Электрические синапсы широко распространены в нервной системе беспозвоночных, а у млекопитающих встречаются крайне редко. Вместе с тем электрические синапсы у высших животных широко распространены в сердечной мышце, гладкой мускулатуре внутренних органов печени, эпителиальной и железистых тканях.

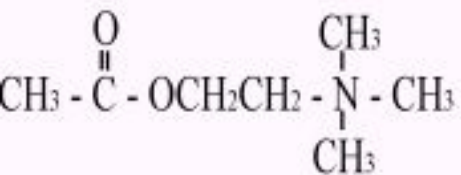
Ширина синаптической щели в электрических синапсах составляет всего 2-4 нм, что значительно меньше чем в химических синапсах. Важной особенностью электрических синапсов является наличие между пресинаптической и постсинаптической мембранами своеобразных мостиков, образованных белковыми молекулами. Они представляют собой каналы шириной 1-2 нм.

Благодаря наличию каналов, размеры которых позволяют переходить из клетки в клетку неорганическим ионам и даже небольшим молекулам, электрическое сопротивление такого синапса, получившего название щелевого или высокопроницаемого контакта оказывается очень низким. Такие условия позволяют пресинаптическому току распространяться на постсинаптическую клетку практически без угасания. Электрический ток течет от возбужденной области к невозбужденной и там вытекает наружу, вызывая ее деполяризацию.

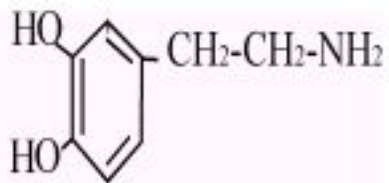
В зоне сближения мембран, называемой щелевым контактом (gap junction), в каждой из них имеются специфические белковые комплексы. Они состоят из шести субъединиц (коннексинов) и располагаются в таком порядке, что в их центре образуется пора, заполненная водой, которая проходит через бислой клеточной мембраны.

Электрические синапсы обладают рядом специфических функциональных свойств:

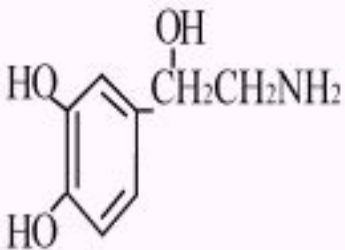
- Синаптическая задержка практически отсутствует, т.е. интервал между приходом импульса в пресинаптическое окончание и началом постсинаптического потенциала, отсутствует.
- В электрических синапсах двустороннее проведение, хотя геометрические особенности синапса делают проведение в одном направлении более эффективным.
- Электрические синапсы в отличие от химических могут обеспечить передачу только одного процесс - возбуждения.
- Электрические синапсы менее подвержены воздействию различных факторов (фармакологических, термических и т.д.)



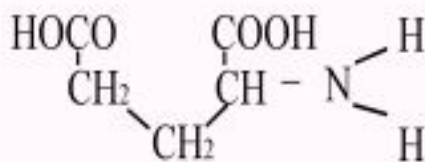
Ацетилхолин



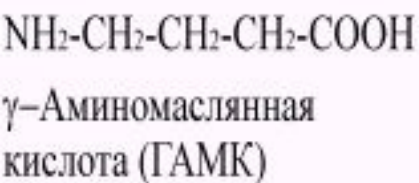
Дофамин



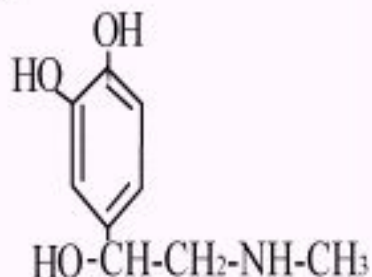
Норадреналин



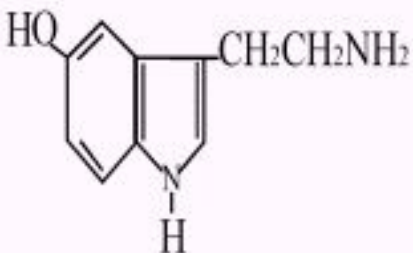
Глутаминовая кислота



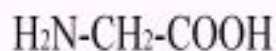
γ-Аминomásлянная
кислота (ГАМК)



Адреналин



Серотонин



Глицин

Структурные формулы некоторых медиаторов.

Химические медиаторы

Медиаторы (от латинского - mediator - проводник) - биологически активные вещества, посредством которых осуществляются

межклеточные взаимодействия

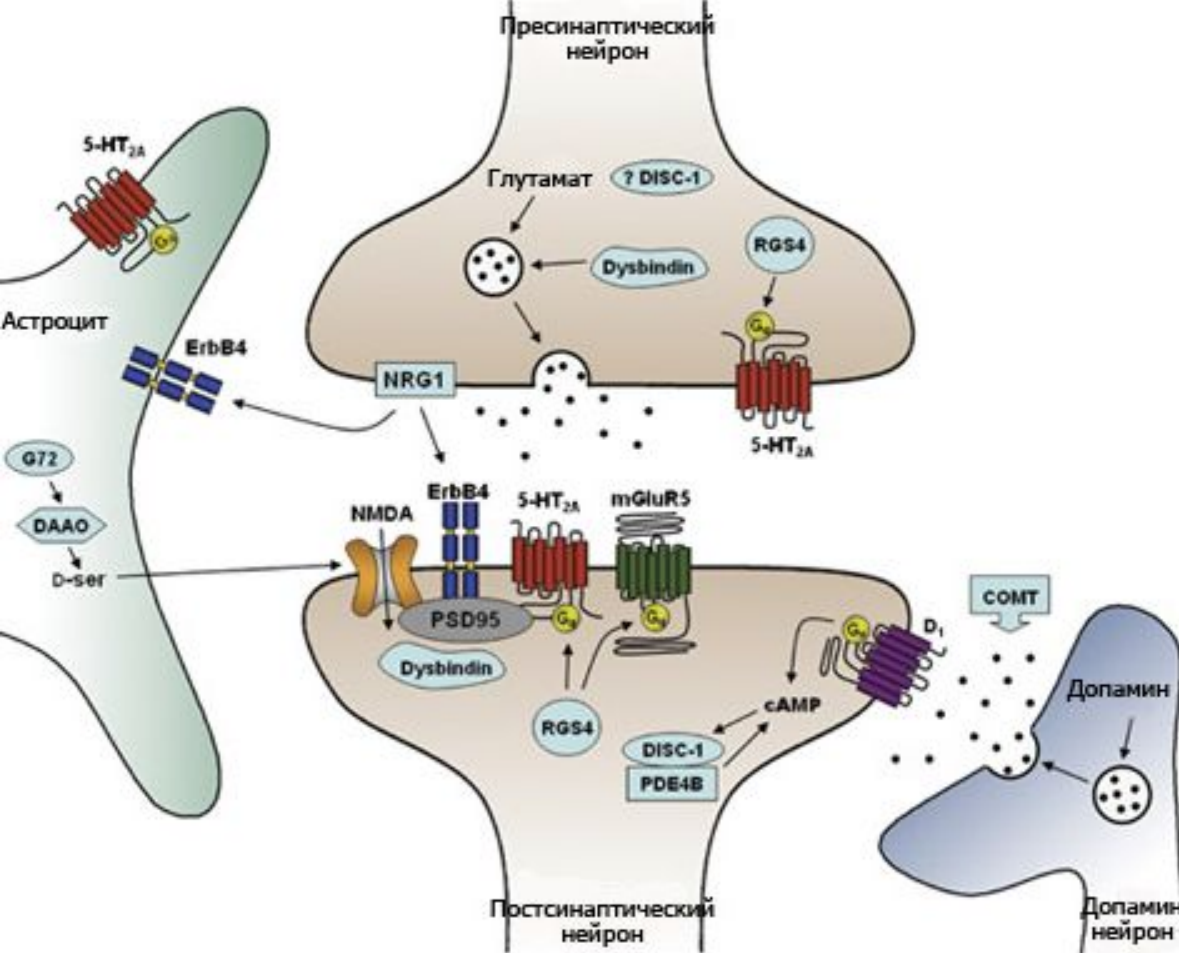
в синапсах. Функцию медиаторов могут выполнять и такие соединения как АТФ, гистамин, простагландины.

В 1935 году Г.Дейлом было сформулировано правило (принцип Дейла), согласно которому

каждая нервная клетка выделяет только один определенный медиатор. Поэтому

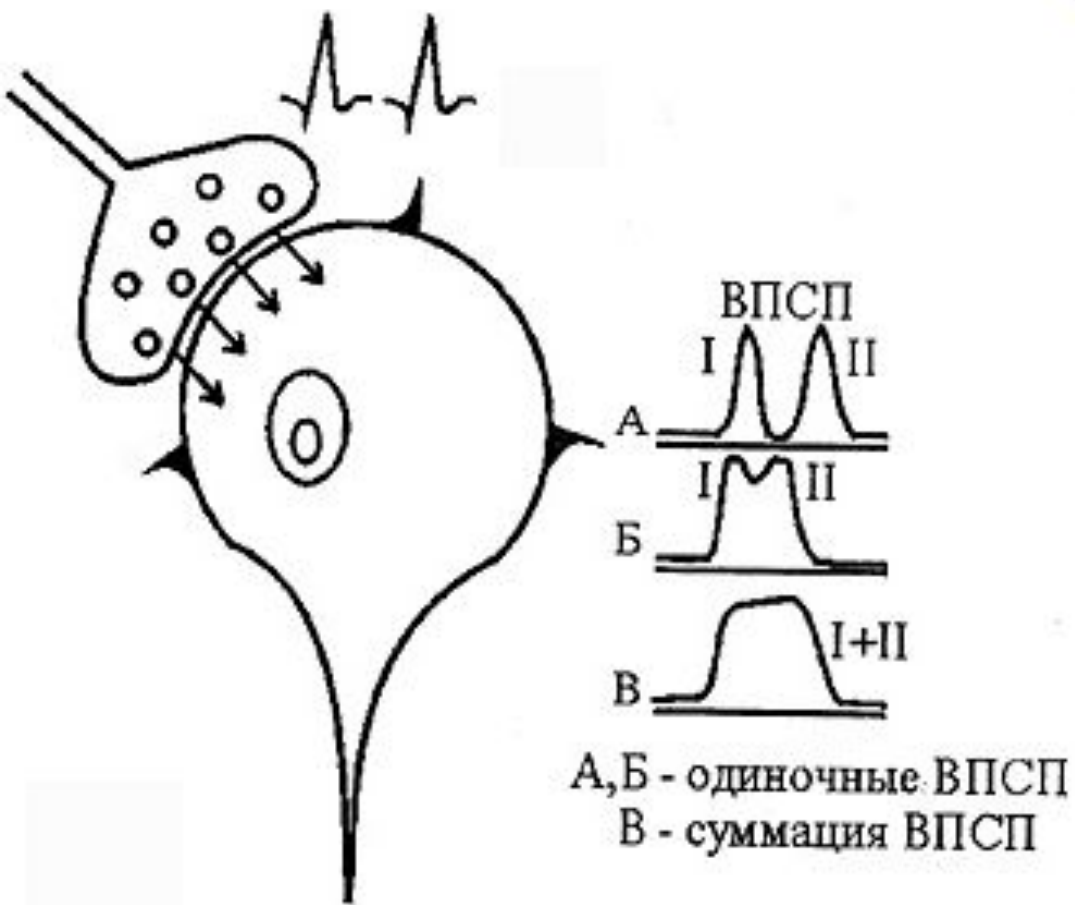
нейроны обозначают по типу медиатора, который они выделяют. Так, нейроны, освобождающие ацетилхолин, называется

холинергическими, норадреналин - *адренергическими*, серотонин - *серотонинергическими*, амины - *аминергическими* и т.д.



Квантовое выделение медиаторов

«Квант» медиатора представляет собой "пакет" молекул медиатора в синаптическом пузырьке пресинаптической мембраны. По расчетам, каждый МПСР соответствует выбросу кванта медиатора, состоящего из 10000 - 40000 молекул медиатора, что приводит к активации около 2000 постсинаптических ионных каналов. Для возникновения потенциала концевой пластинки (ПКП) или возбуждающего постсинаптического потенциала (ВПСП) необходимо выделение 200-300 квантов медиатора.

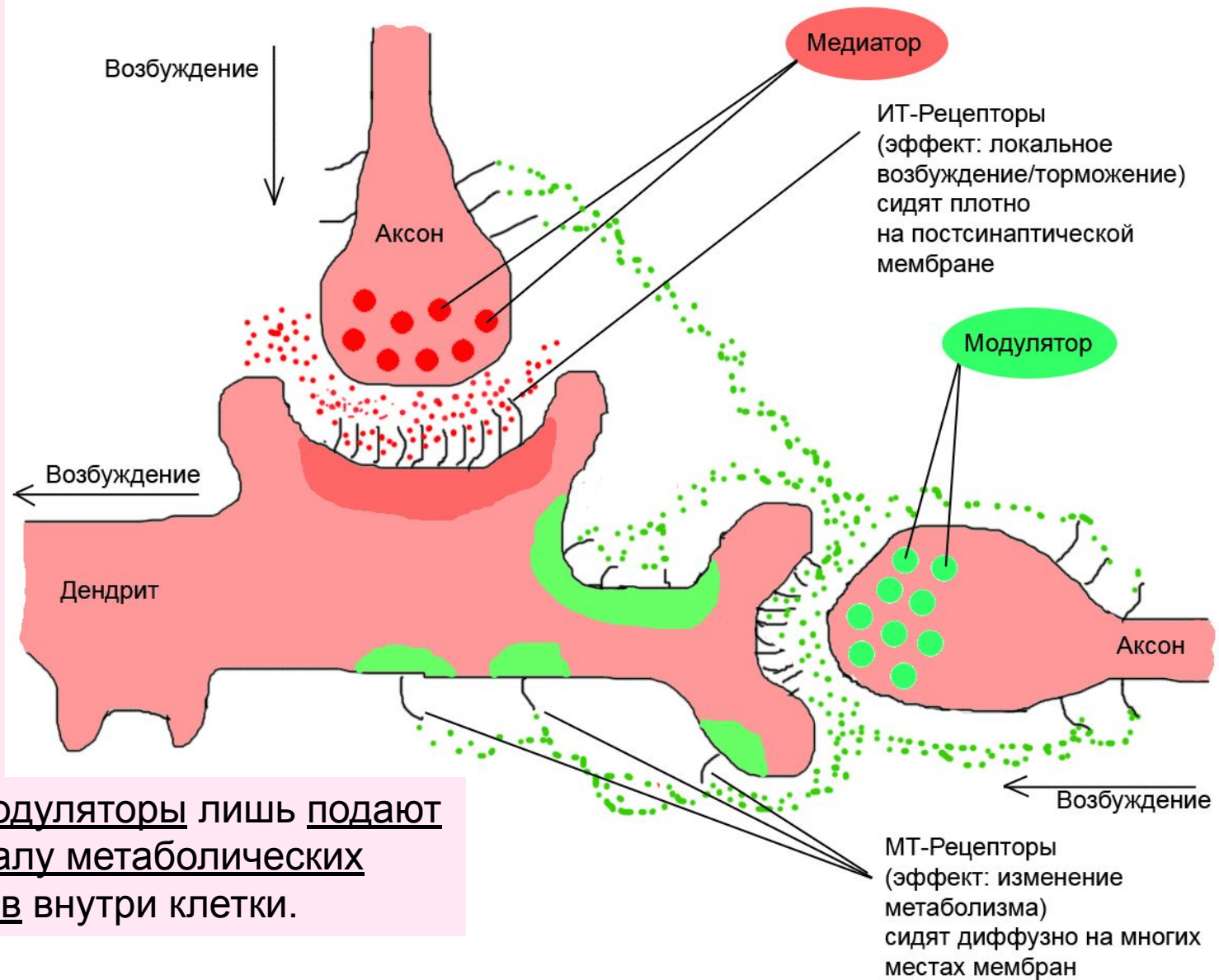


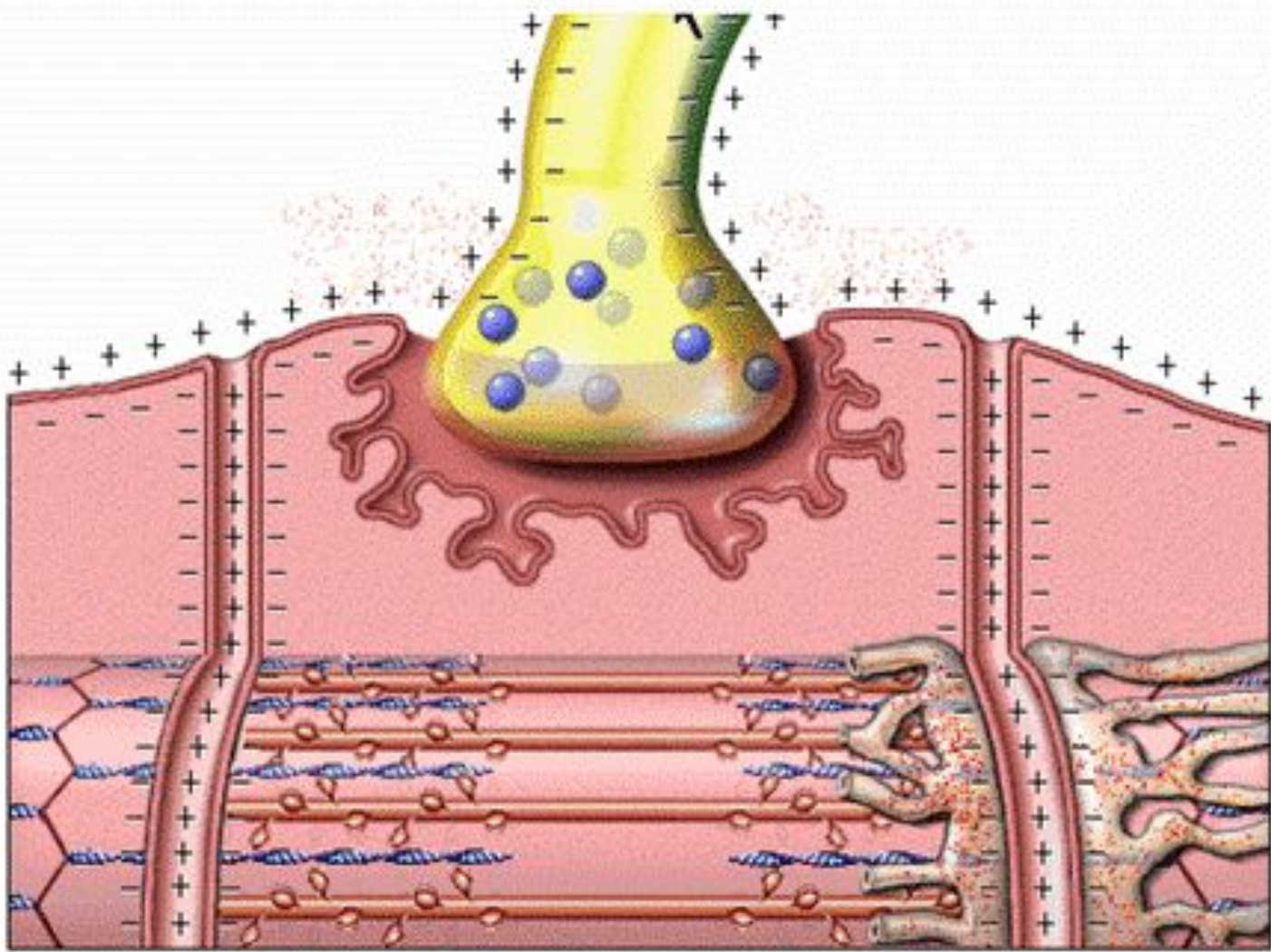
Кроме **возбуждающих** синапсов, через которые передается возбуждение, имеются **тормозные** синапсы, в которых медиаторы (в частности, ГАМК) вызывают торможение на постсинаптической мембране. В таких синапсах возбуждение пресинаптической мембраны приводит к выделению тормозного медиатора, который действуя на постсинаптическую мембрану, обуславливает развитие ТПСП (тормозного постсинаптического потенциала). Механизм его возникновения связан с увеличением проницаемости постсинаптической мембраны для K^+ и Cl^- , в результате чего происходит ее гиперполяризация.

Различия между медиаторами и модуляторами

Важнейшим отличием медиаторов от модуляторов считается то, что медиаторы способны передавать возбуждение или наводить торможение на клетку-мишень,

в то время как модуляторы лишь подают сигнал к началу метаболических процессов внутри клетки.





Мионевральный синапс.

