

**Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича**

Искусственный интеллект в сетях связи

Лекция 1. Биологические нейронные сети

Выборнова А.И., доц. каф. ССиПД

СПб ГУТ)))

Биологические и искусственные нейронные сети

Искусственные нейронные сети — математические модели, а также их программные или аппаратные реализации, построенные по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей.

Биологическая нейронная сеть — совокупность нейронов, которые связаны или функционально объединены в нервной системе, выполняют специфические физиологические функции.

Нейроны и биологические нейронные сети

Нервная система человека построена из **нейронов** — клеток, способных (помимо прочего) принимать, обрабатывать и передавать электрохимические импульсы.

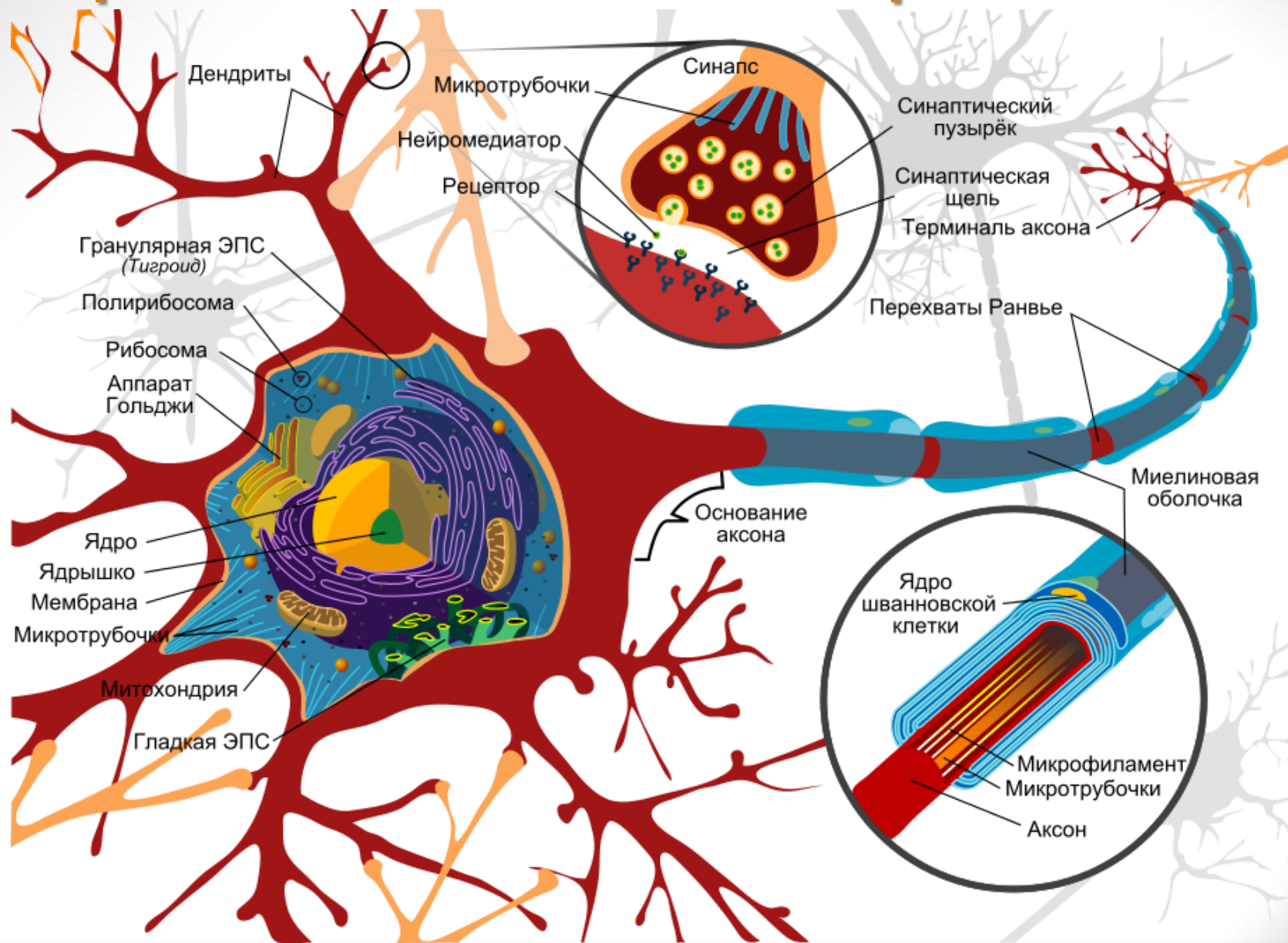
В организме человека находится более 85 миллиардов нейронов.

Нейроны и биологические нейронные сети

Нейрон является клеткой и как большинство клеток состоит из:

- Ядра (хранение и передача информации).
- Цитоплазмы — жидкости внутри клеток и органелл:
 - Эндоплазматического ретикулума и рибосом (синтез белка).
 - Митохондрий (производство энергии).
 - Аппарат Гольджи (сортировка и преобразование белков).
- Мембраны.
- Цитоскелета
- Отростков.

Нейроны и биологические нейронные сети



Нейроны и биологические нейронные сети

- **Афферентные нейроны** (чувствительные, сенсорные, рецепторные) — первичные клетки органов чувств, получают сигнал от клеток других типов, передают нейронам.
- **Эфферентные нейроны** (эффекторные, двигательные, моторные) — конечные нейроны, получают импульс через дендриты от других нейронов, передают через аксон клеткам органов-мишеней.
- **Ассоциативные нейроны** (вставочные или интернейроны) — осуществляют связь между эфферентными и афферентными.
- **Секреторные нейроны** — выделяют в кровь или межклеточное пространство нейрогормоны.

Нейроны и биологические нейронные сети

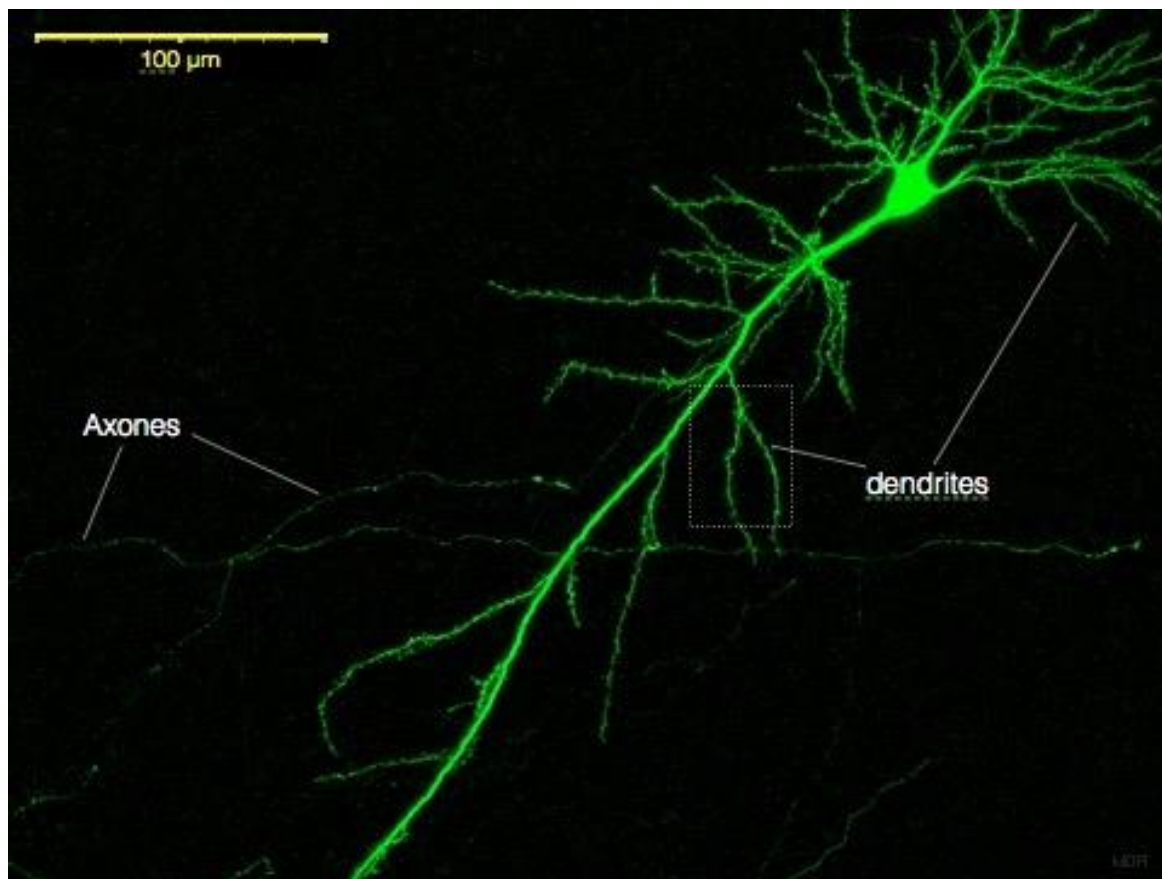
Сеть из нейронов в организме формируется при помощи отростков нейронов двух типов:

- **Дендриты** — короткие и разветвленные, принимают нервный импульс извне и передают телу нейрона.
- **Аксон** — обычно один, длинный отросток, проводит нервный импульс от тела нейрона и передает его другим нейронам или другим органам.

Один нейрон может связываться с большим числом (тысячи и десятки тысяч) других нейронов.

Нейроны и биологические нейронные сети

Дендриты могут быть очень разнообразны по структуре ветвления, в зависимости от функции клетки.



Нейроны и биологические нейронные сети

Аксоны — длинные (до одного метра у крупных животных), тонкие отростки с ветвлением на конце.



АКСОНЫ

Состав аксона:

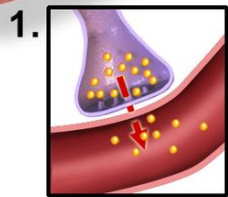
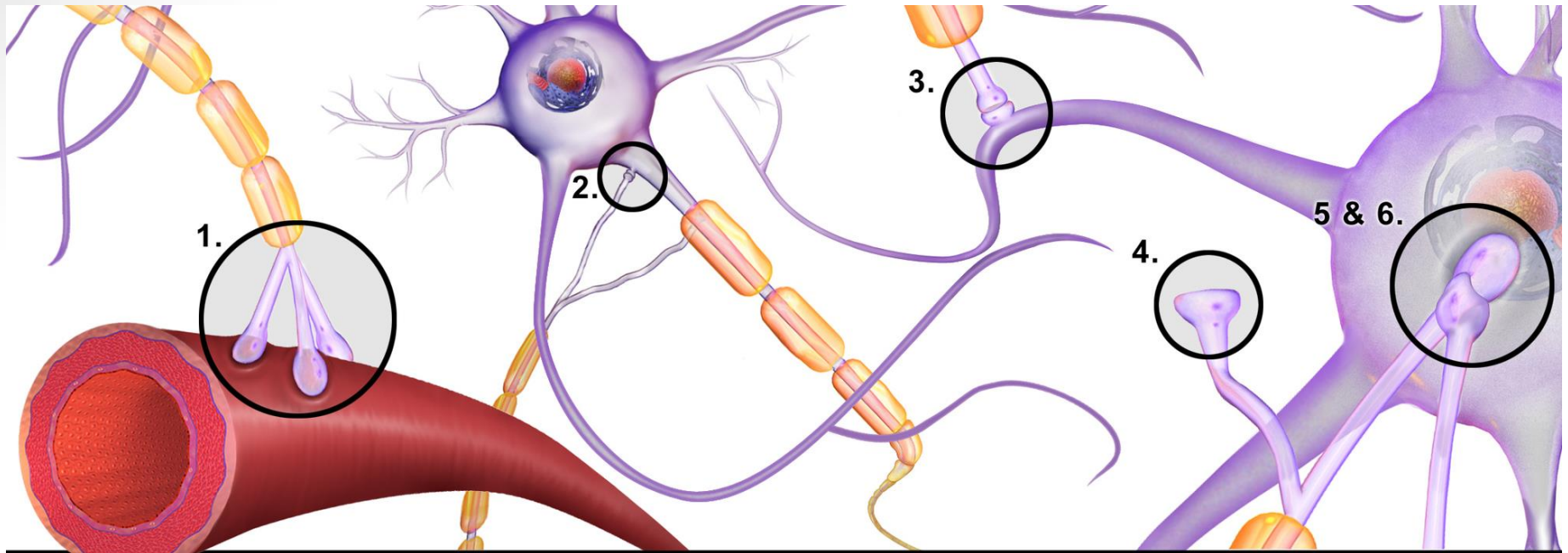
- Цитоскелет (волокна и микротрубочки).
- Аксоплазма.
- Митохондрии.
- Эндоплазматический ретикулум (без рибосом).
- У некоторых — оболочка из «накручивающихся» на аксон шванновских клеток (электроизоляция, дополнительная опора, питание).
- Промежутки между шванновскими клетками — перехваты Ранвье.
- На конце аксона находится разветвление — терминаль.

Аксоны

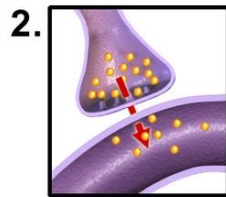


Скорость передачи импульса — до 100 м/с.

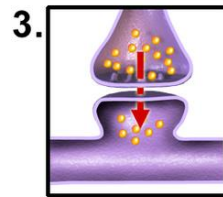
Типы соединений в биологических нейронных сетях



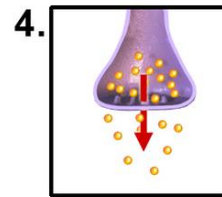
Axosecretory
Axon terminal secretes directly into bloodstream



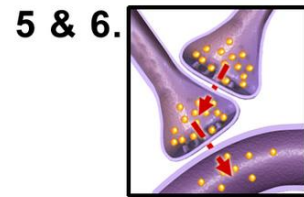
Axoaxonic
Axon terminal secretes into another axon



Axodendritic
Axon terminal ends on a dendrite spine



Axoextracellular
Axon with no connection secretes into extracellular fluid



Axosomatic
Axon terminal ends on soma
Axosynaptic
Axon terminal ends on another axon terminal

Типы соединений в биологических нейронных сетях

Синапс — место контакта между двумя нейронами или между нейроном и органом-мишенью.

Классификация синапсов:

- Возбуждающие – сигнал от передающей клетки увеличивает заряд принимающей.
- Тормозящие – сигнал от передающей клетки уменьшает заряд принимающей.

- Химические.
- Электрические.
- Смешанные.

Синапсы

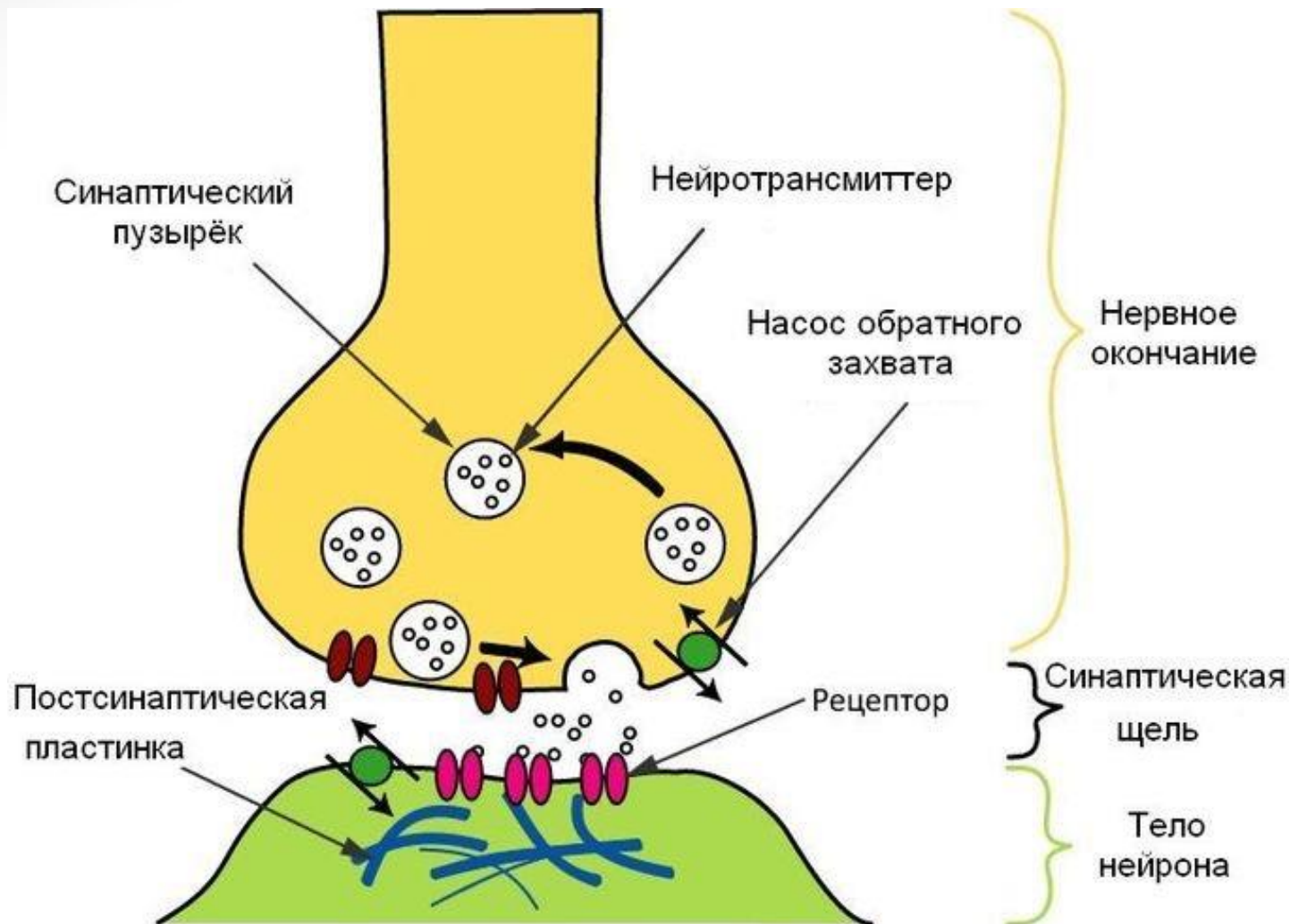
Химический синапс — синапс, роль переносчика сигнала в котором играет химическое вещество — **нейромедиатор** (ГАМК, глицин, глутаминовая кислота, аспарагиновая кислота, адреналин, дофамин, серотонин...)

Пресинаптическая часть — окончание аксона, содержащее синаптические пузырьки (40-50 нм) с нейромедиатором (или антагонистом нейромедиатора) и насосы обратного захвата.

Синаптическая щель — пространство 20-30 нм.

Постсинаптическая часть — мембрана с рецепторами к нейромедиаторам.

Синапсы



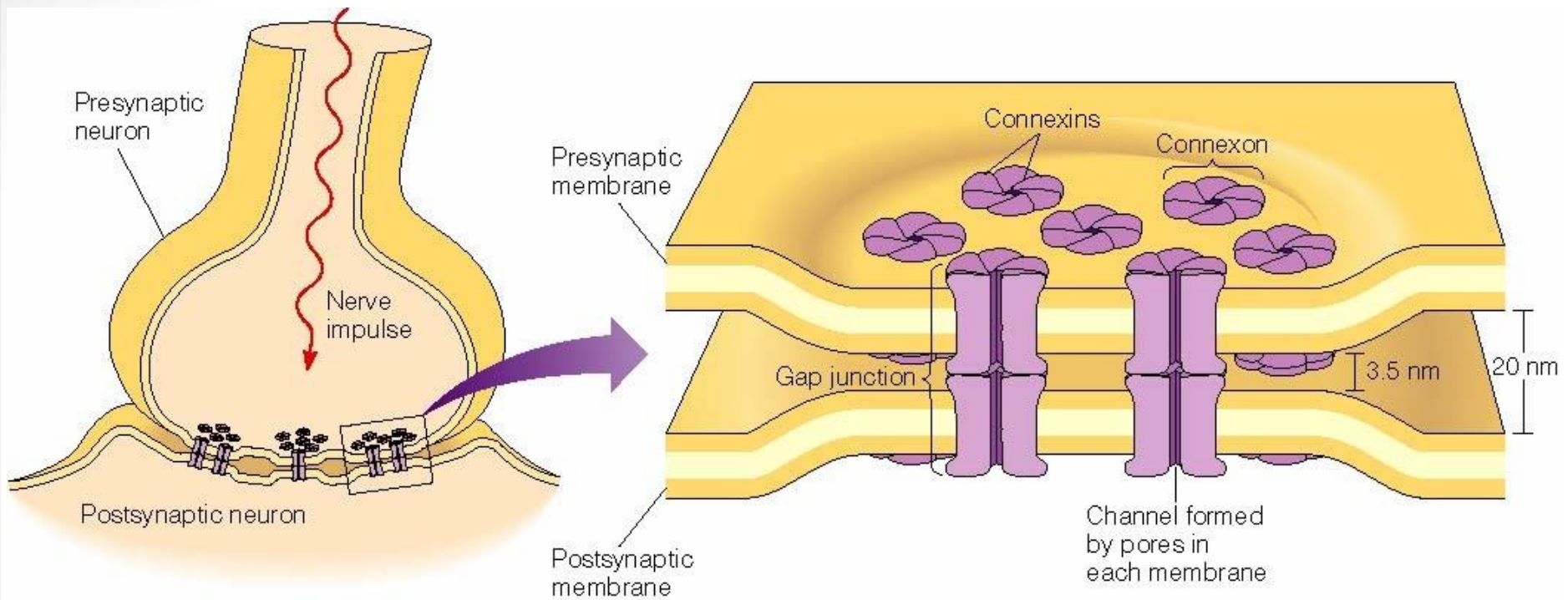
Синапсы

Электрический синапс — электрический щелевой контакт между двумя нейронами или нейроном и клеткой другого типа.

В отличие от химического синапса — могут быть и однонаправленными и двунаправленными.

Синаптическая щель 3-5 нм. Через нее проходят от двух соединяющихся частей коннексоны — упорядоченные белковые структуры, через которые могут проходить ионы и небольшие молекулы, обеспечивая перемещение электрического заряда.

Синапсы



(a) An electrical synapse

(b) Gap junctions

Синапсы

Смешанный синапс — совмещение химического и электрического синапса.

Большинство синапсов — химические.

Электрические синапсы — в мозге млекопитающих (вместе с химическими) и ЦНС низших позвоночных и беспозвоночных.

Электрический синапс — меньшая по сравнению с химическим задержка сигнала.

Нейроны и биологические нейронные сети

Возбуждение нейрона — генерация нейроном потенциала действия.

Мембрана нейрона содержит насосные каналы, создающие различные концентрации ионов Na^+ и K^+ вне клетки и внутри нее.

Мембрана также содержит натриевые и калиевые каналы, которые могут быть закрыты и препятствовать выравниванию концентраций Na^+ и K^+ или открытыми и обеспечивать это выравнивание.

Открытие или закрытие натриевых и калиевых каналов зависит от заряда мембраны.

Нейроны и биологические нейронные сети

Открытие или закрытие натриевых и калиевых каналов зависит от заряда мембраны.

Заряд мембраны может меняться под действием заряда или нейромедиаторов от аксона другого нейрона.

Таким образом, через синапсы осуществляется передача данных от нейрона к нейрону, формирующая биологическую нейронную сеть.

Нейроны и биологические нейронные сети

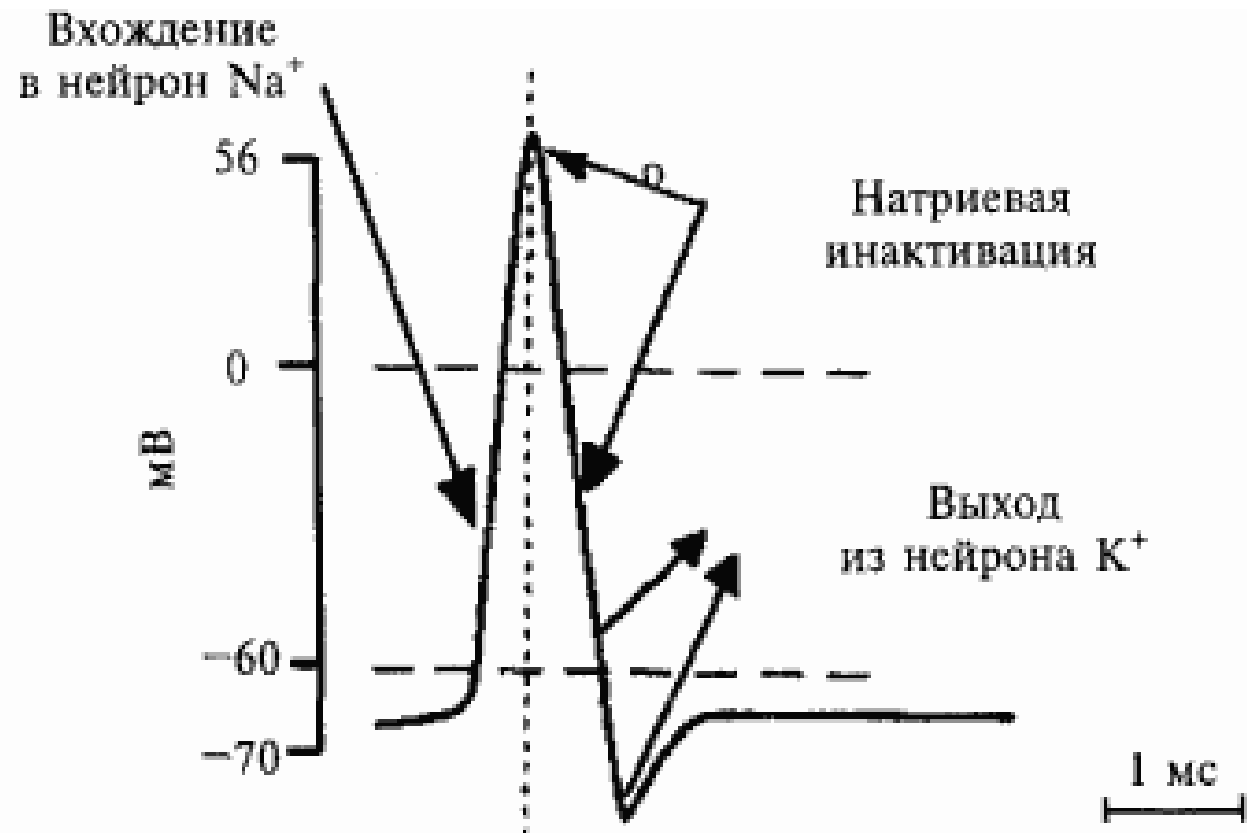
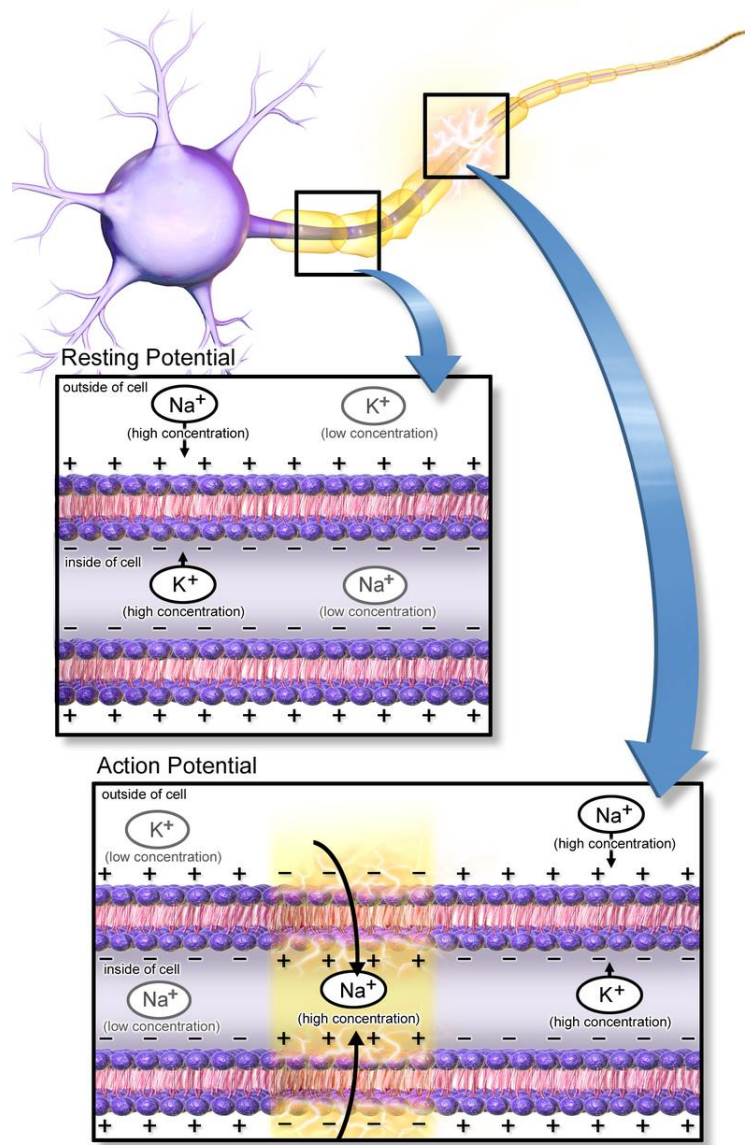


Рис. 2.7. Схема событий при возбуждении нейрона.

Нейроны и биологические нейронные сети



Нейроны и биологические нейронные сети

Потенциал действия возникает на одном участке нейрона и за счет разности потенциалов между возбужденным и соседним, невозбужденным участком образуется электрический ток, который «переносит» потенциал далее по клетке.

Наличие **миелиновых оболочек (шванновских клеток)** приводит к ускорению передачи импульса, так как разности потенциалов возникают только между интервалами Ранвье.

Нейроны и биологические нейронные сети

Для понимания прогресса человечества в области моделирования мозга.

Швейцарские нейрофизиологи решили смоделировать часть мозга:

- работали 10 лет,
- использовали суперкомпьютер Blue Brain IV, входящий в топ-100 самых мощных суперкомпьютеров,
- исследовали и описали 207 типов нервных клеток,
- создали модель, включающую в себя суммарно 31 тысячу моделей нервных клеток и 37 миллионов моделей синапсов.

Нейроны и биологические нейронные сети

Данная модель соответствует $0,3 \text{ мм}^3$ мозга крысы.

мыш



(кродеться)

Биологические и искусственные нейронные сети

Модели искусственных нейронных сетей были вдохновлены биологическими нейронными сетями, хотя биологические нейронные сети в настоящий момент являются заметно более сложными и масштабными системами.

При этом в области искусственного интеллекта используются не только идеи из биологических НС, но и другие математические модели.