

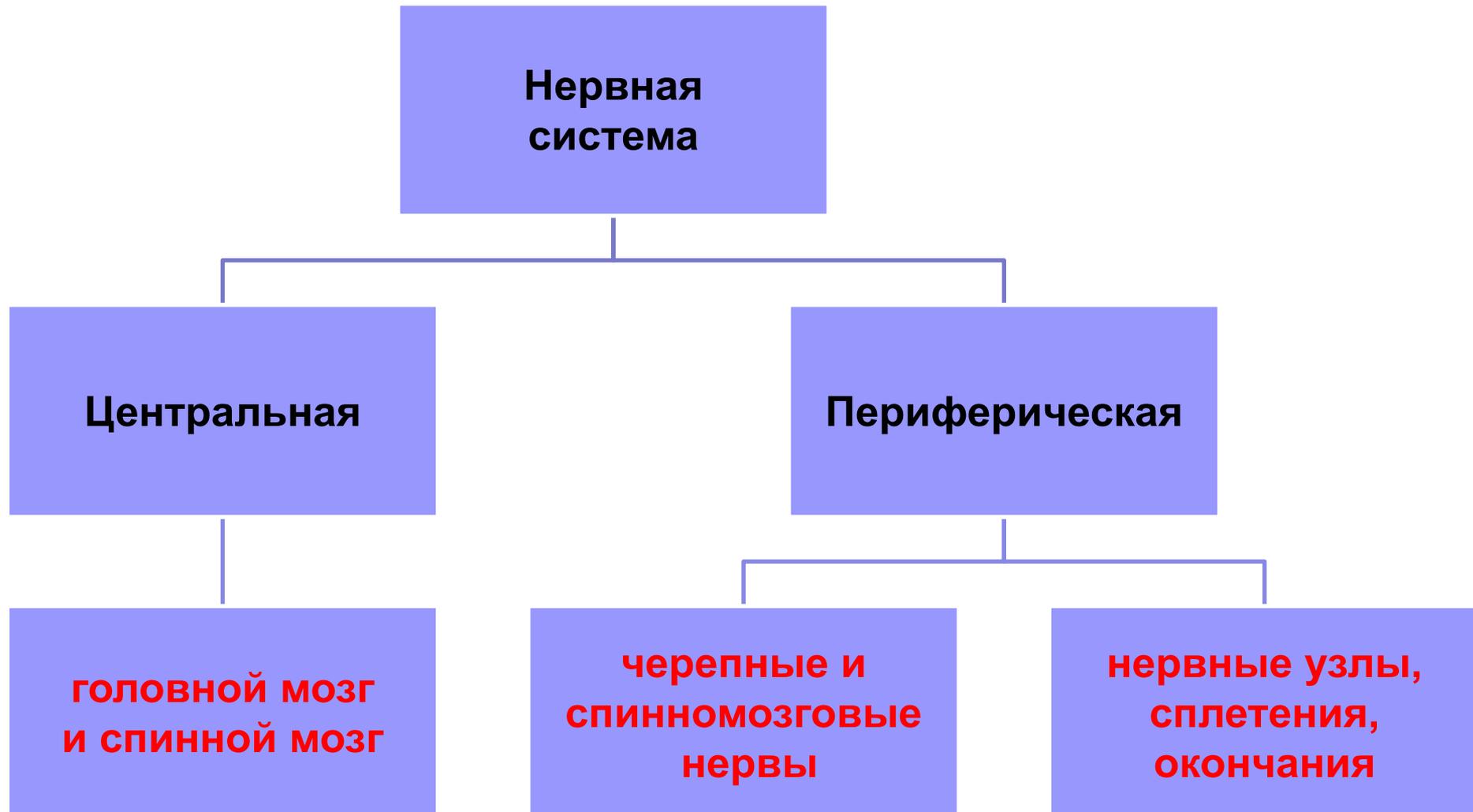


**Основные системы управления  
организма.  
Нервная система.**

# 1. Основные функции нервной системы.

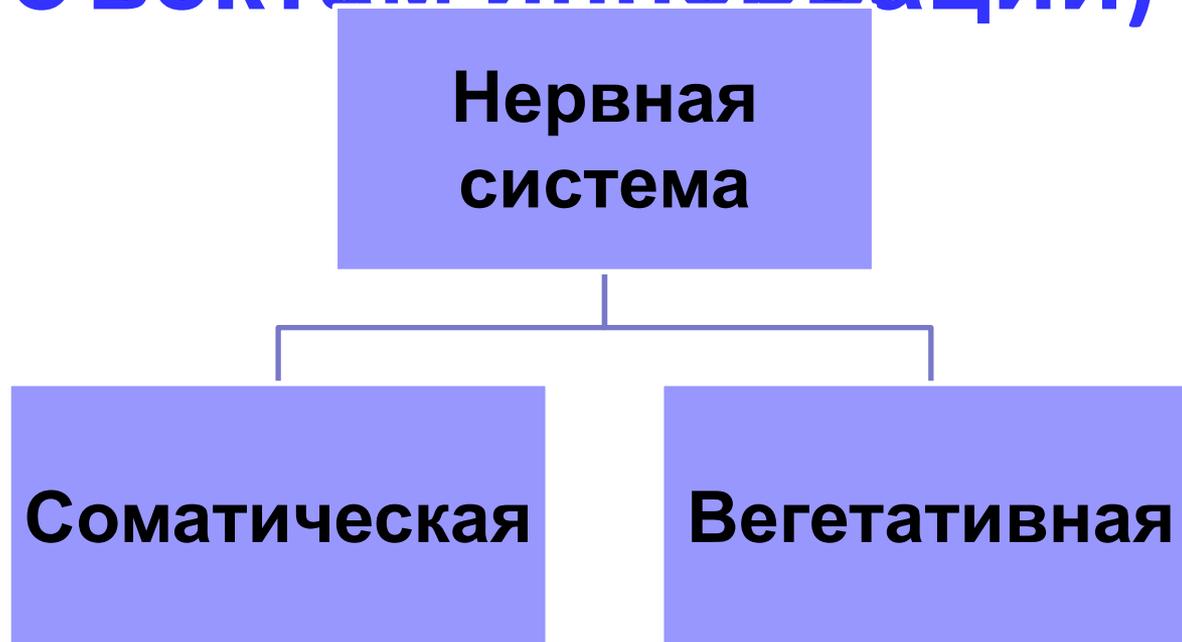
- ✓ Регулирует работу отдельных органов
- ✓ Согласует работу разных органов
- ✓ Обеспечивает эффективное приспособление организма к изменениям окружающей среды.

# Классификация нервной системы (по топографическому принципу)



# Классификация нервной системы

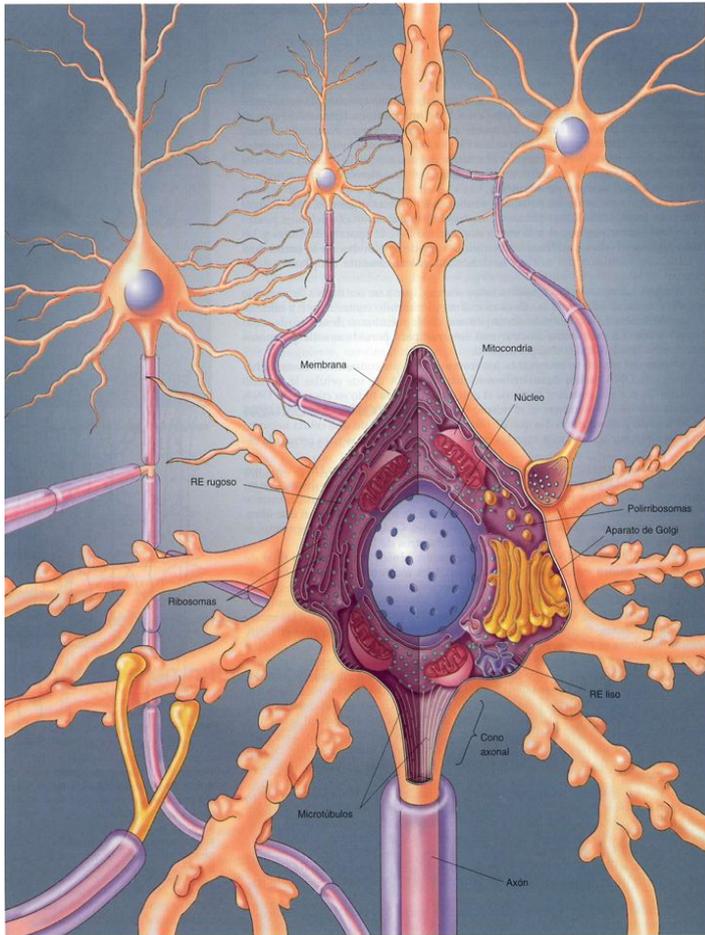
(по объектам иннервации)



**Функция соматической нервной системы** - регулирование взаимоотношений между организмом и внешней средой.

**Функция вегетативной нервной системы** – регулирование процессов внутри организма и обмена веществ.

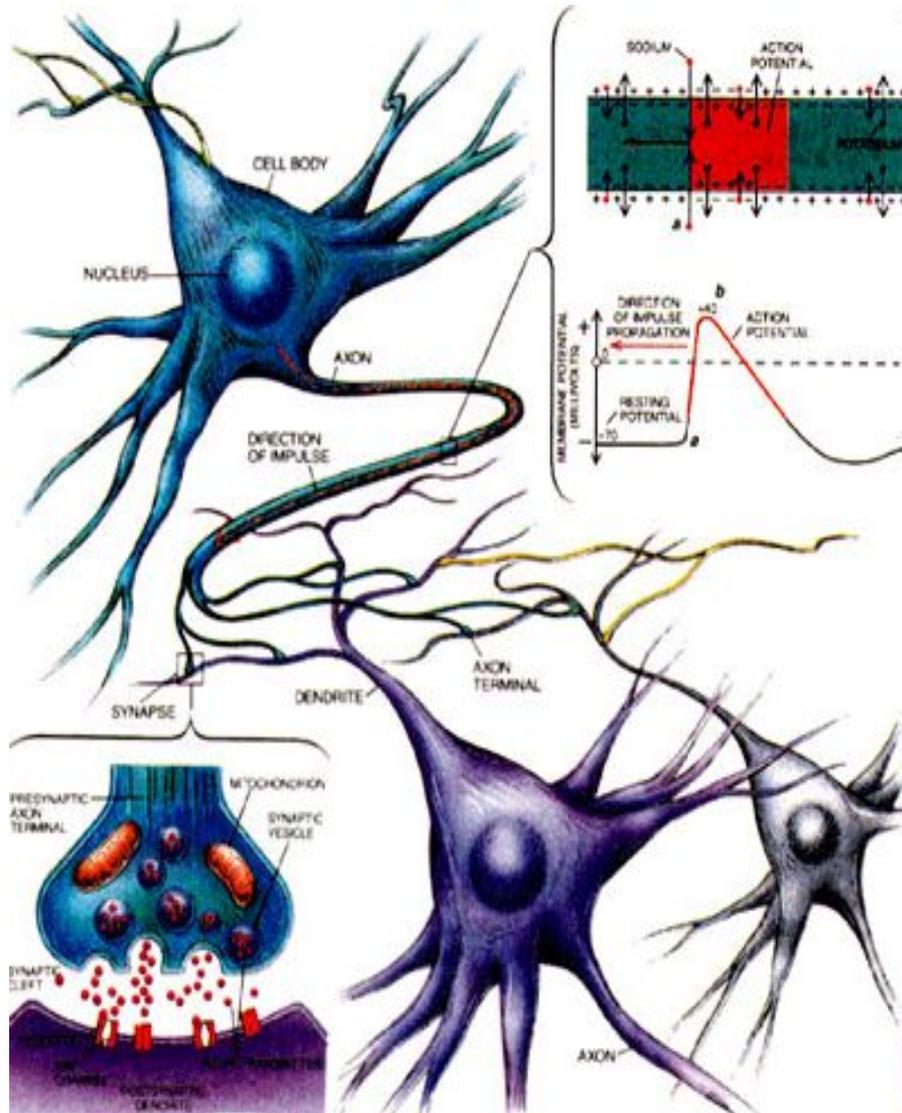
## • 2. Нейроны. Типы нейронов.



Структурно-функциональной единицей нервной системы является **нервная клетка – нейрон (нейроцит)**.

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

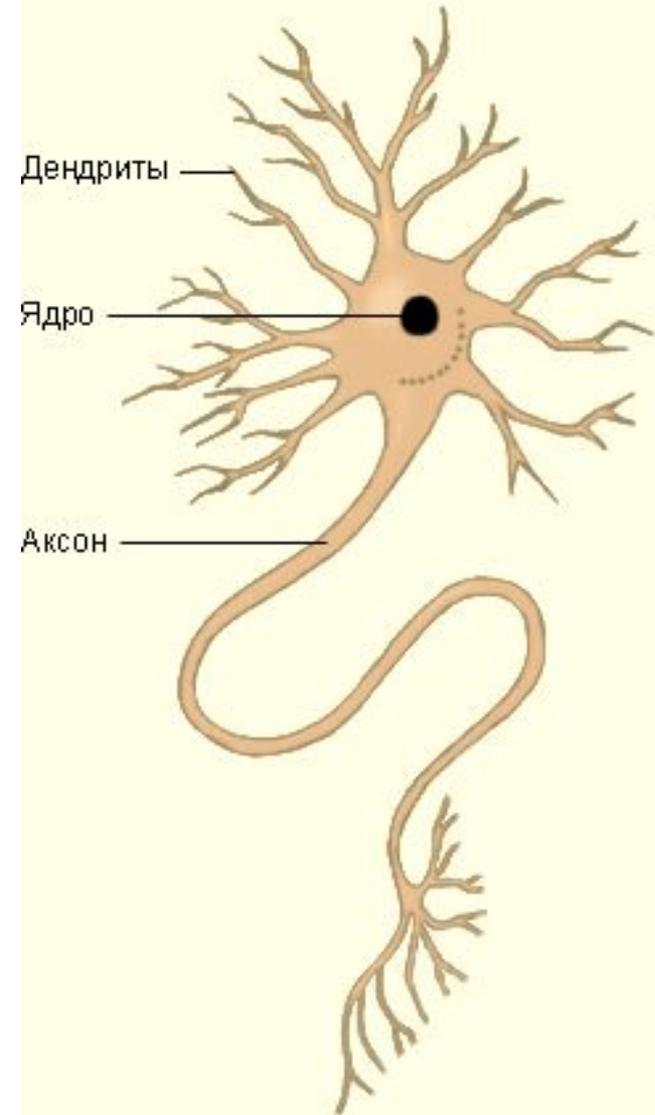
## Типичная структура нейрона



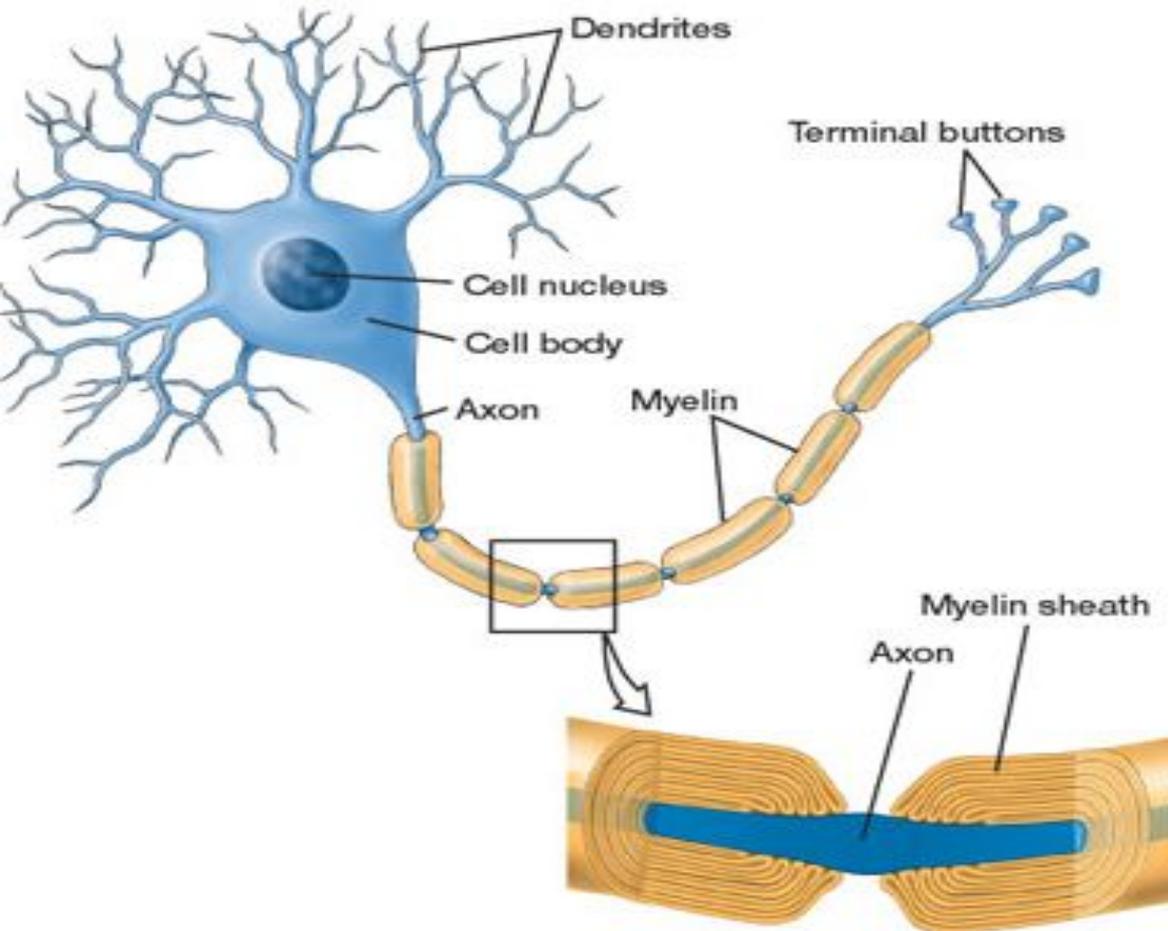
**Аксон** — обычно длинный отросток, приспособленный для проведения возбуждения от тела нейрона. **Дендриты** — как правило, короткие и сильно разветвлённые отростки, служащие главным местом образования влияющих на нейрон возбуждающих и тормозных синапсов (разные нейроны имеют различное соотношение длины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

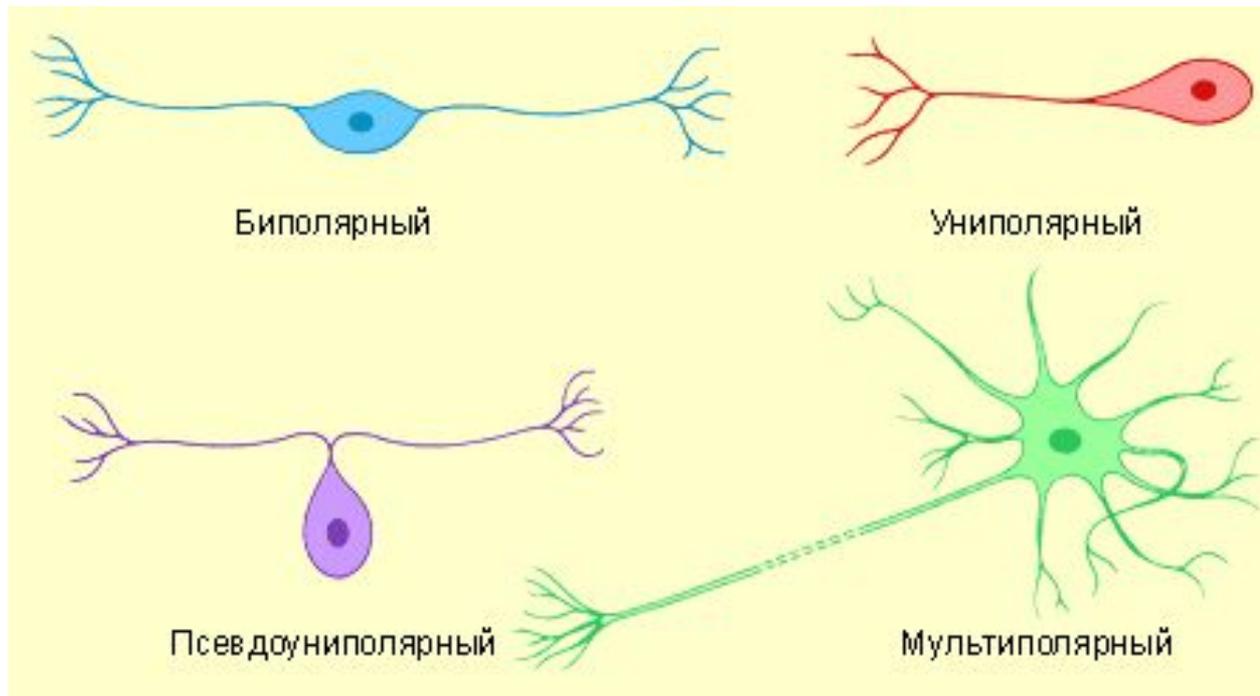


# Миелинизированное нервное волокно

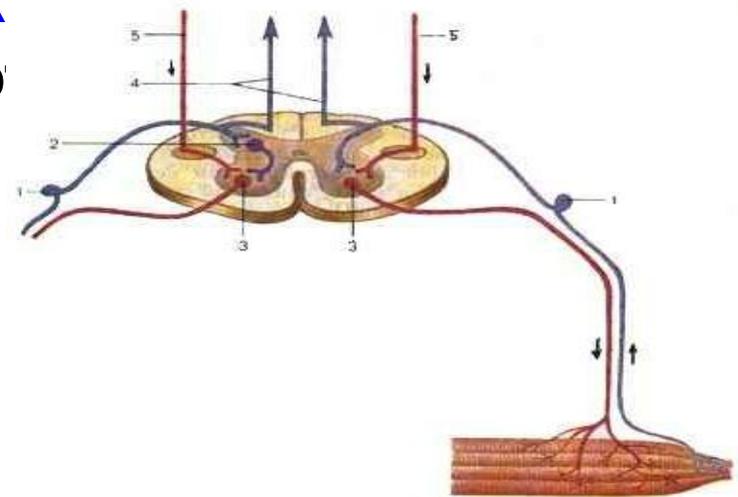


- Миелиновая оболочка — электроизолирующая оболочка, покрывающая аксоны многих нейронов. Миелиновую оболочку образуют глиальные клетки: в периферической нервной системе — Шванновские клетки, в центральной нервной системе — олигодендроциты.

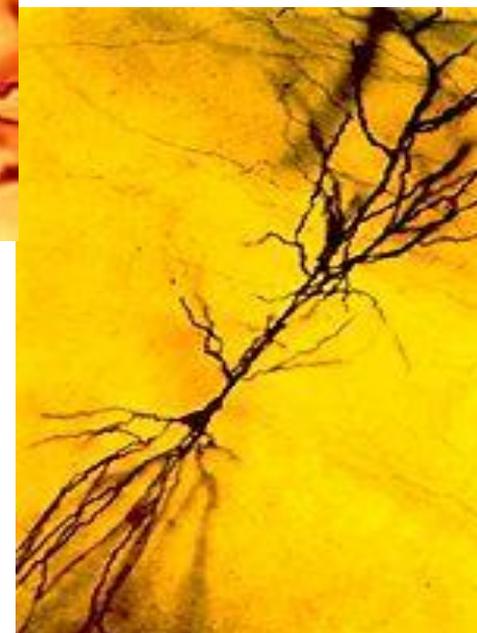
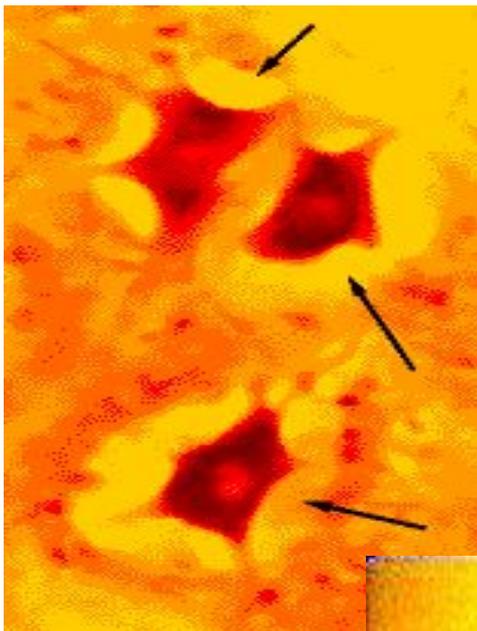
- В зависимости **от количества отростков** различают следующие типы нейронов:
- **униполярные;**
- **псевдоуниполярные;**
- **биполярные;**
- **мультиполярные.**



- По морфофункциональной характеристике различают **3 типа нейронов**:
- **Афферентные нейроны (чувствительные или рецепторные)** воспринимают раздражение из внешней или внутренней среды и проводят импульсы к ЦНС.
- **Эфферентные нейроны (двигательные или секреторные)** проводят импульсы к рабочим органам (мышцам, железам).
- **Вставочные нейроны (замык кондукторные)** осуществляю клетками.



# Нейроны спинного мозга, мозжечка, гиппокампа и коры мозга



### 3. Раздражимость. Типы Раздражителей.

Любая живая ткань может находиться как в *состоянии покоя*, так и в *деятельном состоянии*. Но даже, если ткань находится в состоянии покоя, для неё характерен оптимальный для данного состояния уровень обменных процессов, т.е. покой не абсолютный, а относительный – **физиологический**.

В деятельном состоянии ткани отмечается увеличение обменных, тепловых процессов, возникают качественно новые реакции, прежде всего – электрические.



**Раздражитель** – любое изменение внешней среды или внутреннего состояния организма, воспринимаемое клетками и вызывающее ответную реакцию.

**Чтобы вызвать ответную реакцию, раздражитель**

- 1) должен быть достаточно велик по силе (порог силы),**
- 2) возникать достаточно быстро (крутизна нарастания),**
- 3) действовать достаточно время (порог времени)**
- 4) Частота действия раздражителя (одиночное, частотное)**



# КЛАССИФИКАЦИЯ РАЗДРАЖИТЕЛЕЙ



*-температурные,  
-механические,  
-электрические,  
-световые,  
-звуковые*

*-осмотическое  
давление,  
-рН,  
-электролитный  
состав,  
-коллоидное  
состояние,*

*Химические соединения:  
1) образующиеся в организме  
гормоны,  
метаболиты  
2) поступающие извне  
кислоты,  
щелочи,  
лекарственные препараты  
яды*

## По физиологическому значению

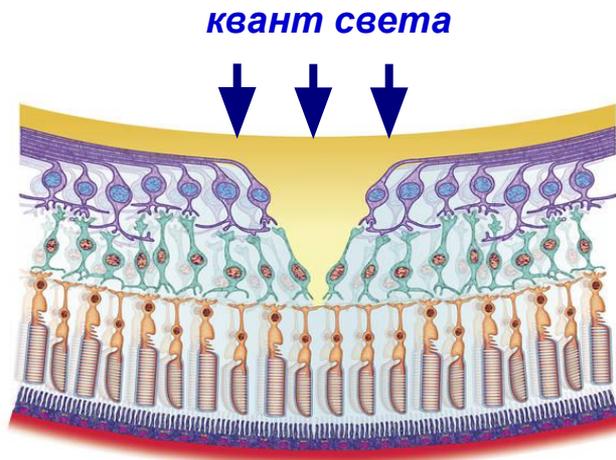
**Адекватные**

Раздражитель, к которому клетка в процессе эволюции приобрела наибольшую чувствительность вследствие развития специальных структур, воспринимающих этот раздражитель

**Неадекватные**

Раздражитель, к действию которого клетка не приспособлена

### Адекватные раздражители



палочки и колбочки сетчатки



волосковые клетки улитки

- **Раздражимость** – это универсальное свойство всех биологических систем (от клетки до популяционного уровня) отвечать на любое воздействие неспецифической реакцией ненаправленного приспособительного характера.
- **Возбудимость** – это свойство высокодифференцированных клеток (нервной, мышечной и железистой) на специфическое воздействие отвечать специфической реакцией направленного специфического характера, т.е. на действие раздражителей отвечать процессом **возбуждения**.

**Возбуждение** – такое состояние возбудимой ткани, которое характеризуется быстрым колебанием электрического потенциала клеточной мембраны, что проявляется в конечном итоге формированием специфического ответа – нервного импульса, мышечного сокращения или секреторного ответа.



***Универсальные физиологические свойства возбудимых тканей:***

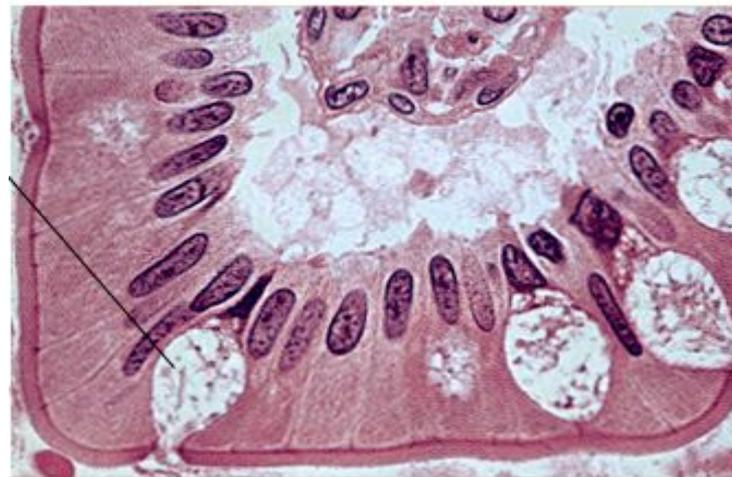
- 1) Возбудимость
- 2) Проводимость

# Возбудимые ткани и их свойства

нервная ткань



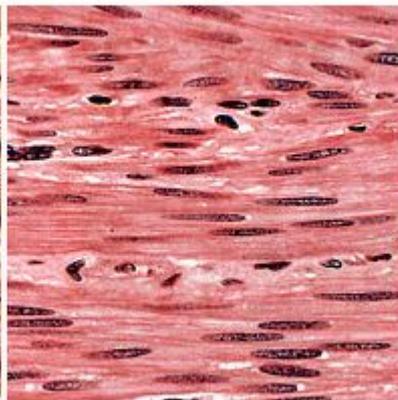
железистая ткань



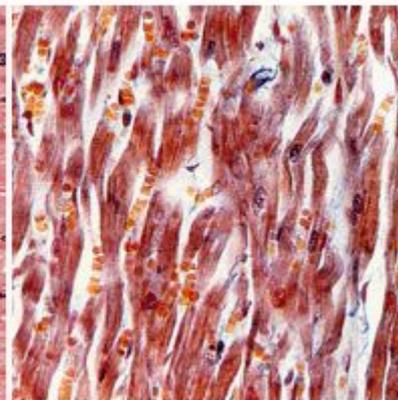
мышечная ткань



поперечно-полосатая



гладкая



сердечная

## 4. Мембранно-ионная теория возбуждения. Природа потенциала покоя

- 1771 – Луиджи Гальвани – «Трактат о силах электричества при мышечном движении»
- 1902 г. - И. Бернштейн впервые сформулировал основные положения мембранно-ионной теории возбуждения
- 1949-1952 г.г. – мембранно-ионная теория экспериментально обоснована Ходжкином, Хаксли и Катцем.
- Согласно мембранно-ионной теории: **возбудимость определяется наличием у возбудимых клеток в покое электрически поляризованной мембраны – мембранного потенциала покоя.**

# Основные положения мембранно-ионной теории возбуждения

1. В покое мембрана клетки находится в состоянии *статической поляризации*, которая носит название **мембранный потенциал покоя МПП**.

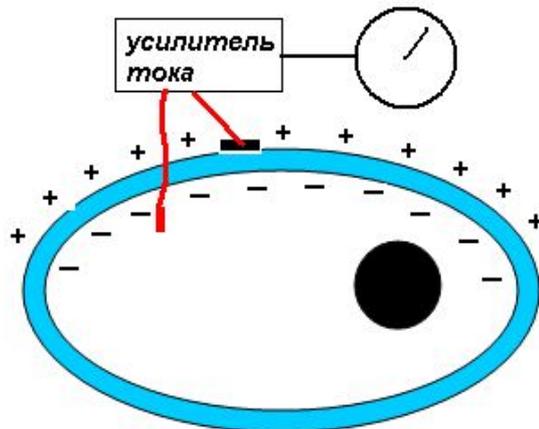
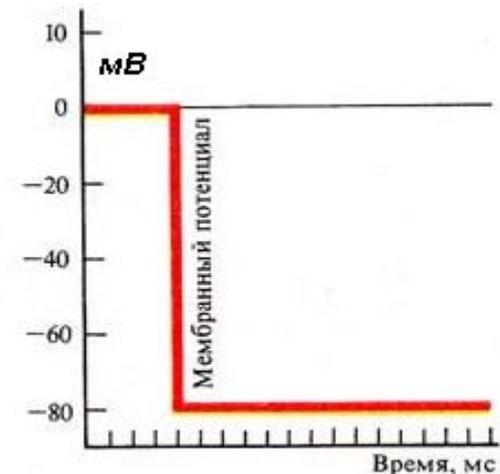


схема регистрации МПП



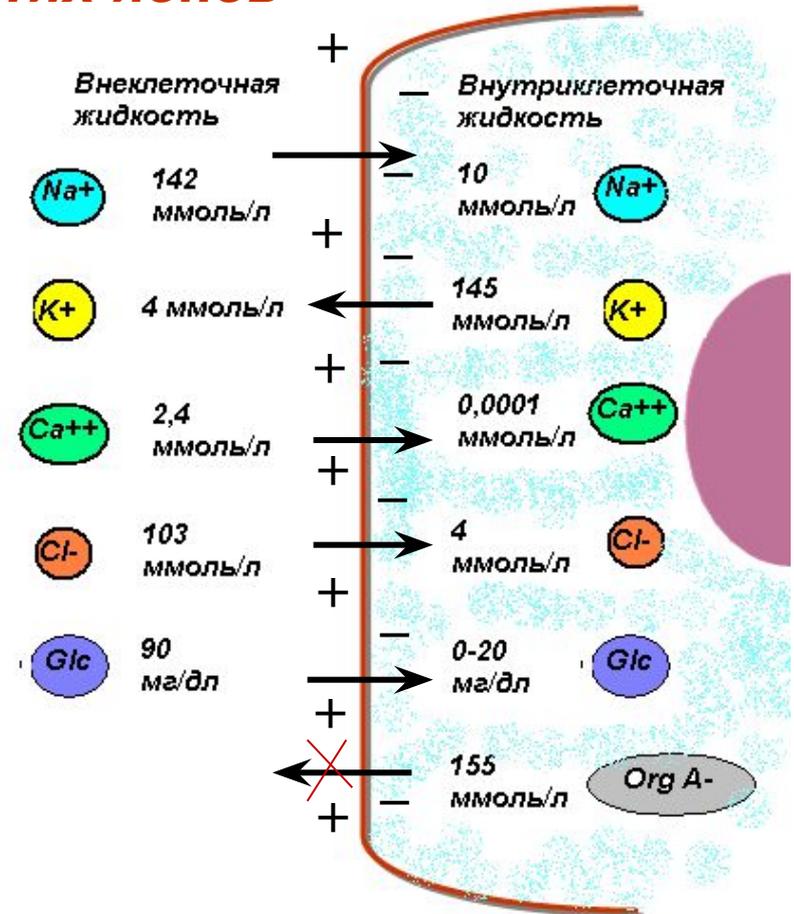
графическое изображение МПП

**Мембранный потенциал покоя** – это трансмембранная разность потенциалов между двумя прилегающими к плазматической мембране водными фазами (внеклеточной и внутриклеточной), регистрируемый до начала действия раздражителя (в покое). При этом внутриклеточная жидкость (цитозоль) заряжена отрицательно по отношению к внеклеточной жидкости, потенциал которой принимается равным нулю.

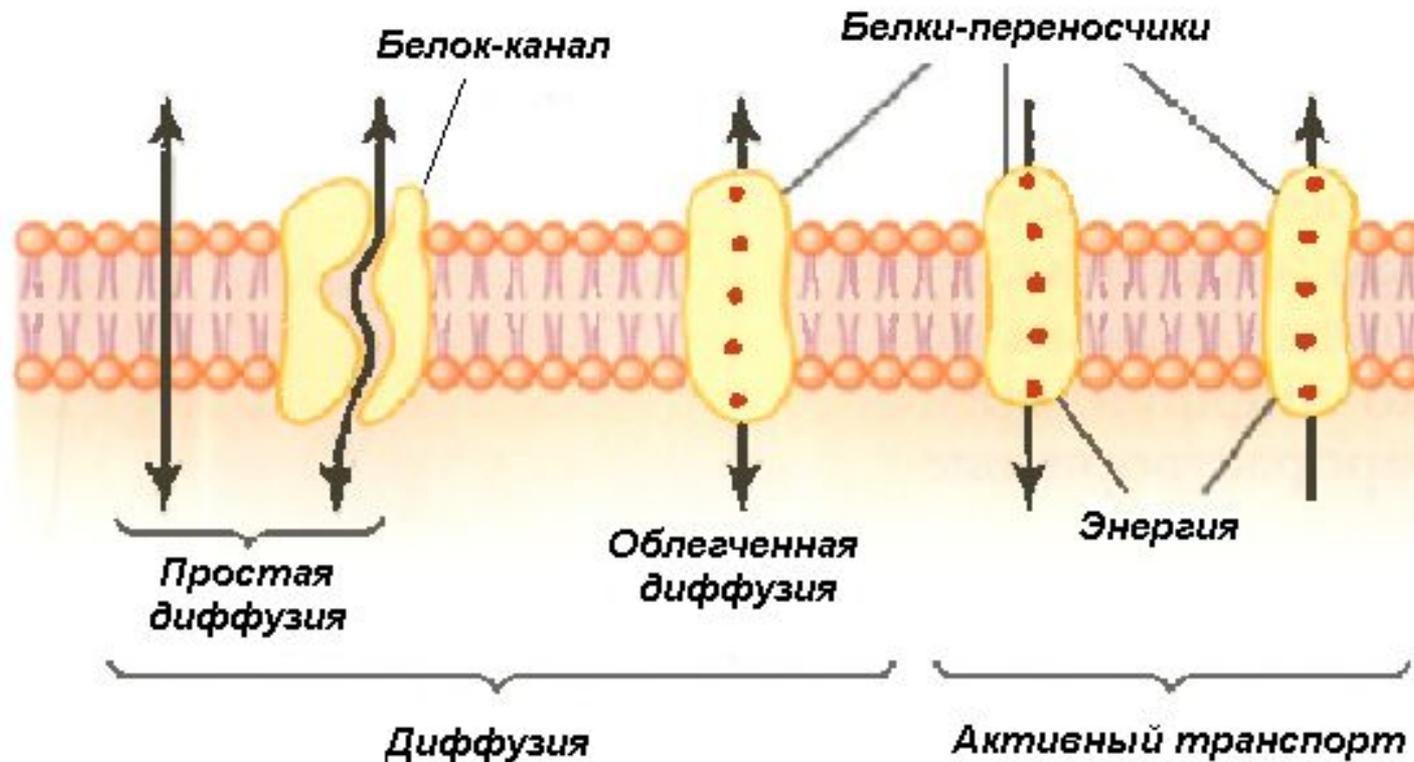
**2. Непосредственной причиной существования МПП является неодинаковая концентрация ионов  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Cl^-$  внутри и вне клетки, т.е. наличие концентрационных и электрических градиентов, а также различной проницаемостью мембраны для этих ионов**

**Механизмы формирования градиентов:**

- 1) **пассивный транспорт** – простая диффузия ионов через мембрану клетки,
- 2) **активный транспорт** – специализированные транспортные системы клетки, использующие энергию АТФ для перемещения частиц против градиента концентрации



# Транспортные системы клетки

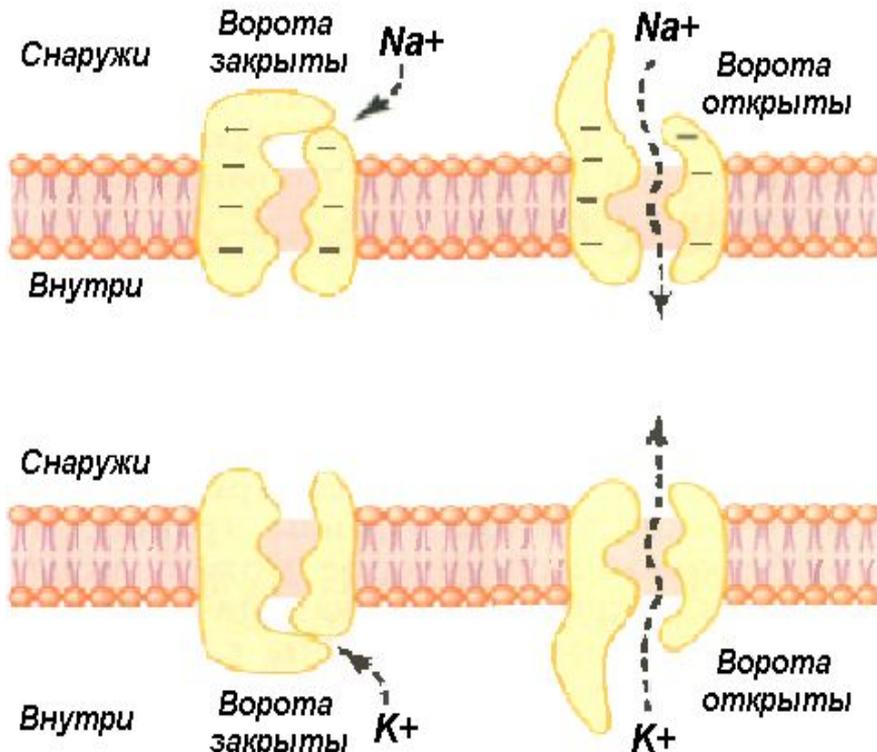


**Транспортные пути через клеточную мембрану  
и основные механизмы транспорта**

(по А. Гайтон, Д. Холл)

**Пассивный транспорт** – диффузия частиц через систему трансмембранных каналов.

**Ионные каналы** – это интегральные белки мембраны, состоящие из нескольких субъединиц, образующих пору



### Особенности ионных каналов:

- 1) **избирательная проницаемость (селективность)** для определенных веществ;
- 2) наличие у каналов (кроме каналов «утечки») **воротного механизма**, определяющего закрытое (инактивированное) или открытое (активированное) состояние канала

### Регуляция проницаемости канала:

**-поляризация мембраны – потенциалуправляемые (или электровозбудимые) каналы,**

**-влияние эндогенных и экзогенных химических веществ (нейромедиаторов, гормонов, лекарств) – хемоправляемые (или хемовозбудимые) каналы**

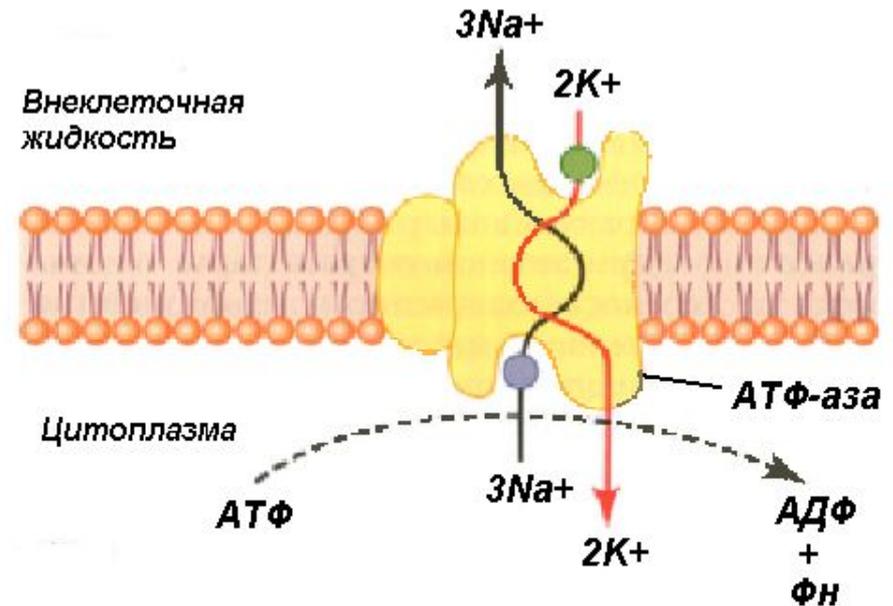
**Активный транспорт** – процесс перемещения молекул или ионов через клеточную мембрану против электрического или концентрационного градиента, осуществляемый с затратой энергии.

**Ионные помпы** (насосы) – трансмембранные белковые транспортные системы, обеспечивающие активный транспорт

**Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> АТФаза** переносит против концентрационных градиентов **3 иона Na<sup>+</sup>** из клетки в обмен на **2 иона K<sup>+</sup>** внутрь клетки, используя при этом энергию 1 молекулы АТФ

**Значение:**

- 1) Создает и поддерживает трансмембранный градиент концентрации для ионов Na<sup>+</sup> и K<sup>+</sup> в состоянии покоя и в состоянии возбуждения;
- 2) Обладает электрогенностью, т.е. создает дополнительную электроотрицательность внутри клетки.
- 3) Обеспечивает целостность клетки.



Гипотетический механизм работы Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> насоса  
(по А.Гайтон, Д.Холл)

# Природа мембранного потенциала покоя

**Селективная проницаемость мембраны** – мембрана в покое в 25-40 раз более проницаема для ионов  $K^+$ , чем для  $Na^+$  и для  $Cl^-$

**Уравнение Нернста** – равновесный потенциал - уровень мембранного диффузионного потенциала, который полностью прекращает общую диффузию какого-либо иона

$$E_K = \pm 61 \times \lg \frac{K^+_{\text{внутри}}}{K^+_{\text{снаружи}}} = -97,5 \text{ мВ}$$

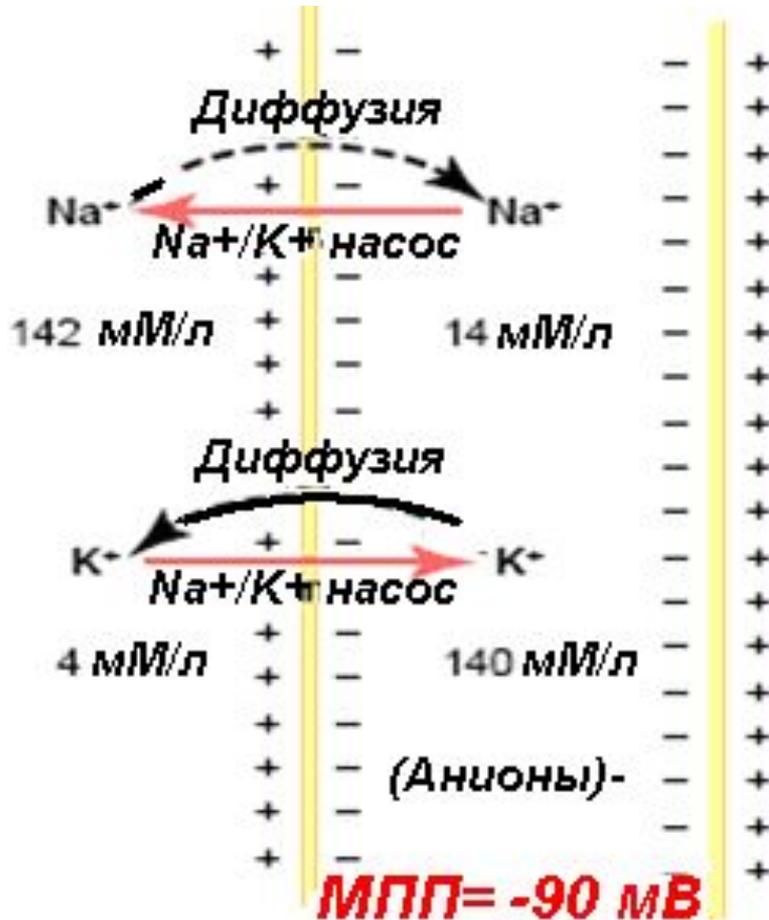
**Уравнение Гольдмана-Ходжкина-Катца** позволяет рассчитать мембранный потенциал на внутренней стороне мембраны, если она проницаема для нескольких ионов

$$E_M = 58 \times \lg \frac{P_K [K^+_{\text{в}}] + P_{Na} [Na^+_{\text{в}}] + P_{Cl} [Cl^-_{\text{н}}]}{P_K [K^+_{\text{н}}] + P_{Na} [Na^+_{\text{н}}] + P_{Cl} [Cl^-_{\text{в}}]}$$

Суммарный диффузионный потенциал зависит от трех факторов:

- 1) полярности электрического заряда каждого иона;
- 2) проницаемости мембраны (P) для каждого иона;
- 3) концентраций (C) соответствующих ионов внутри (в) и снаружи (н) мембраны

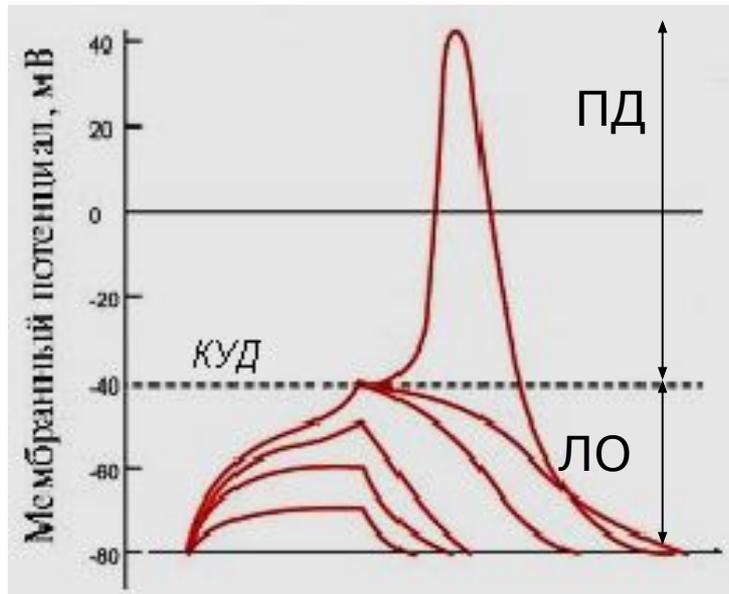
# Выводы:



- ✓ В покое мембрана практически непроницаема для ионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$ , поэтому ионы  $\text{K}^+$  вносят основной вклад в формирование МПП.
- ✓ Ионы  $\text{K}^+$  устремляются из клетки во внеклеточную жидкость через каналы утечки согласно градиента концентрации.
- ✓ Большие органические анионы не способны проникать через мембрану, поэтому не могут сопровождать ионы  $\text{K}^+$ . Они создают отрицательный заряд внутри клетки.
- ✓ Положительно заряженные ионы  $\text{K}^+$ , покидающие клетку, создают дополнительную электроотрицательность внутри клетки.
- ✓  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  помпа восстанавливает ионные градиенты по обе стороны мембраны, обеспечивая непрерывность движения ионов через клеточную мембрану.

# Локальный ответ

При действии **допороговых раздражителей** (сила раздражителя меньше пороговой) на мембране возникает **местная деполяризация**, или **локальный ответ**.



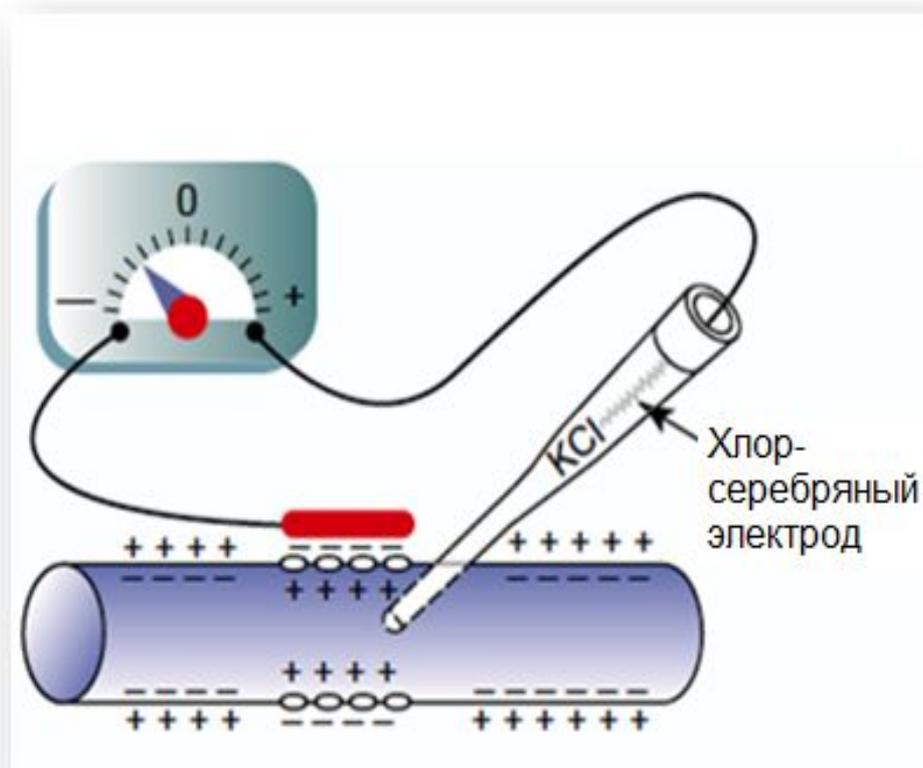
## Свойства локального ответа:

- 1) Амплитуда зависит от силы раздражителя (закон силы).
- 2) Способен к суммации.
- 3) Во время локального ответа возбудимость повышена.
- 4) Распространяется с затуханием амплитуды на небольшое расстояние (в пределах 1 мм)

## Основная функциональная роль локального ответа:

деполяризует мембрану до критического уровня деполяризации, что приводит к развитию **потенциала действия**.

### 3. В процессе возбуждения происходит быстрое (в течение долей секунды) изменение проницаемости мембраны для ионов



Мембрана становится более проницаемой для  $\text{Na}^+$  чем для  $\text{K}^+$  и входящий ток  $\text{Na}^+$  вызывает перезарядку поверхности мембраны.

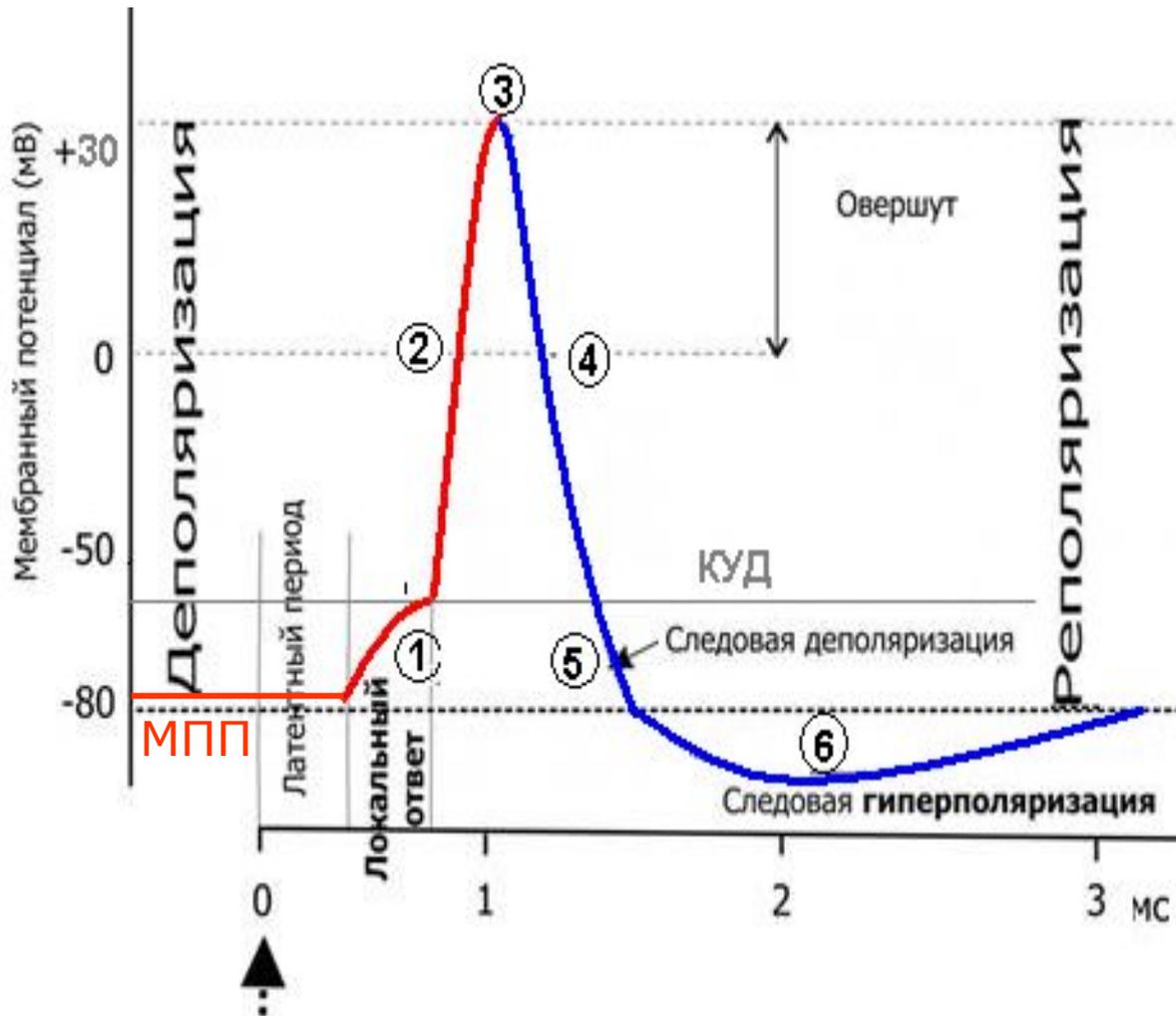
# Потенциал действия

**Потенциал действия (ПД)** – это электрофизиологический процесс, выражающийся в быстром колебании мембранного потенциала вследствие резкого изменения проницаемости клеточной мембраны и диффузии ионов в клетку и из клетки.

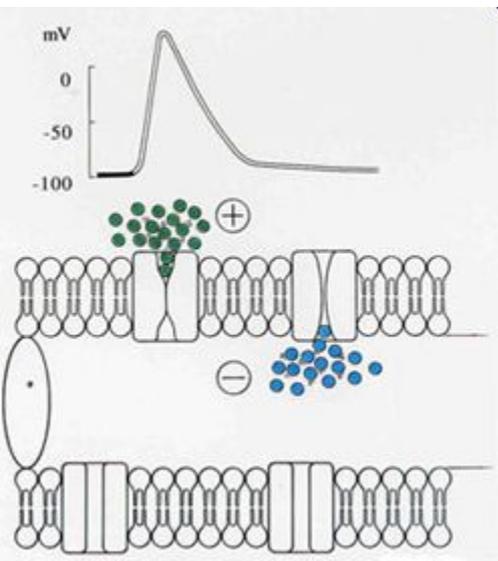
**Роль ПД:** основной способ передачи сигналов между нервными клетками, нервными центрами и рабочими органами, в мышцах ПД обеспечивает процесс электромеханического сопряжения.

# График ПД

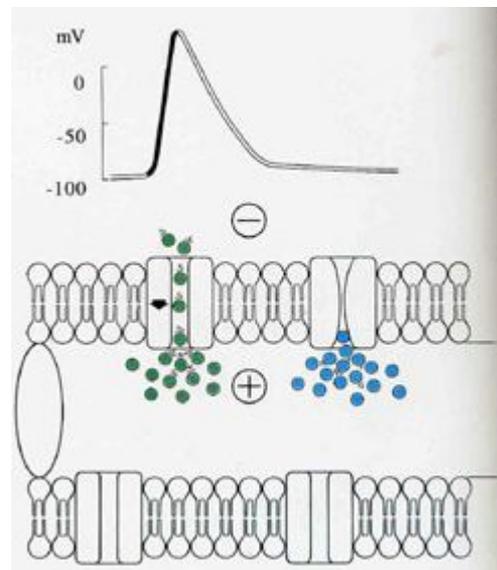
# Фазы ПД



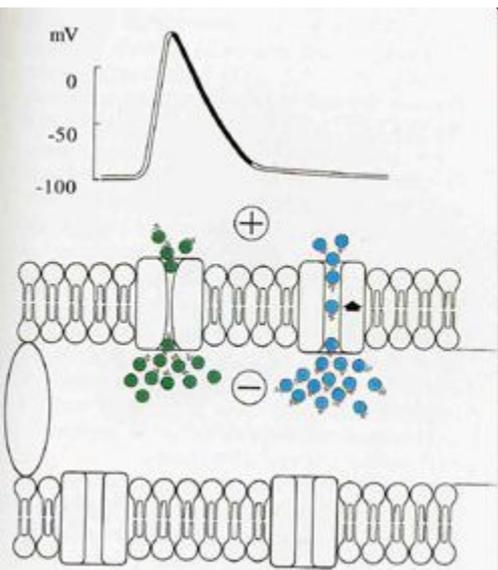
- 1 – местная деполяризация (локальный ответ)
- 2 – распространяющаяся деполяризация, восходящая часть «спайк»-потенциала
- 3 – овершут (инверсия)
- 4 – реполяризация (нисходящая часть «спайк»-потенциала)
- 5 – следовая деполяризация (следовой отрицательный потенциал)
- 6 – следовая гиперполяризация (следовой положительный потенциал)



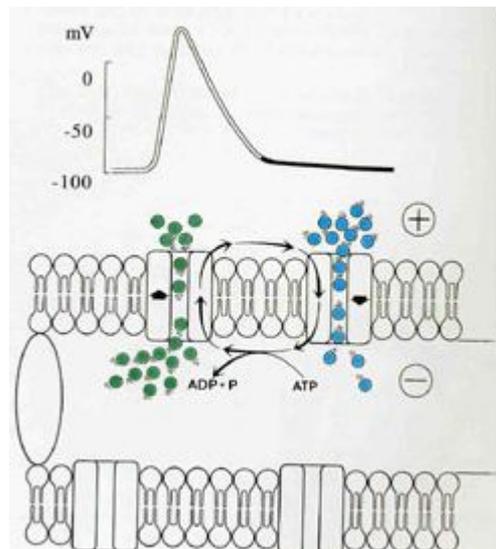
Состояние покоя. Нервное волокно полностью поляризовано избытком ионов Na (зеленые) с наружной стороны и ионов K (синие) с внутренней стороны мембраны.



Деполаризация происходит из-за движения ионов Na внутрь клетки.



Реполаризация происходит из-за движения ионов K наружу из клетки



Нервное волокно полностью поляризовано. Натрий-калиевый насос возвращает ионы на исходные позиции

# Механизм ПД

## ВОСХОДЯЩАЯ ФАЗА ПД:

- раздражитель пороговой или сверхпороговой силы увеличивает проницаемость мембраны для ионов  $\text{Na}^+$ ; согласно электрохимическому градиенту ионы  $\text{Na}^+$  входят внутрь клетки и вызывают ее локальную деполяризацию (-40...-50 мВ);
- при уменьшении МП до КУД происходит активация потенциал-зависимых натриевых каналов (открытие быстрых m-ворот);
- проницаемость мембраны для ионов  $\text{Na}^+$  резко увеличивается и входящий натриевый ток превышает выходящий калиевый – деполяризация приобретает **регенеративный характер**;
- внутренняя поверхность мембраны заряжается положительно по отношению к наружной – инверсия заряда, овершут (+30...+50 мВ);
- постепенная инактивация натриевых каналов (открытие медленных h-ворот)

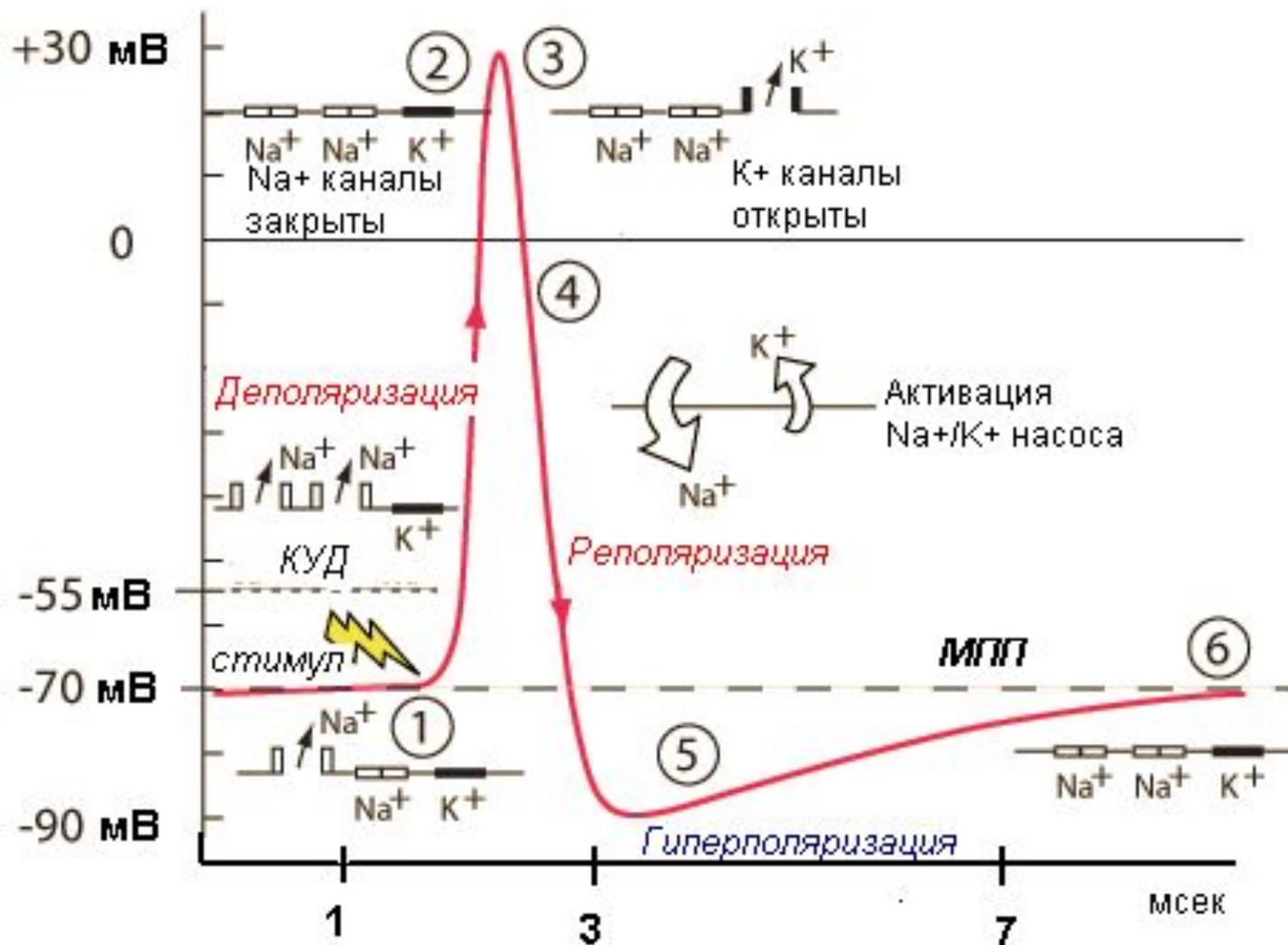
## НИСХОДЯЩАЯ ФАЗА ПД

- активация потенциалзависимых калиевых каналов и инактивация натриевых каналов, восстановление заряда мембраны до исходного уровня

## СЛЕДОВЫЕ ПОТЕНЦИАЛЫ

- активация  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  насоса;
- восстановительные процессы в клетке вслед за возбуждением

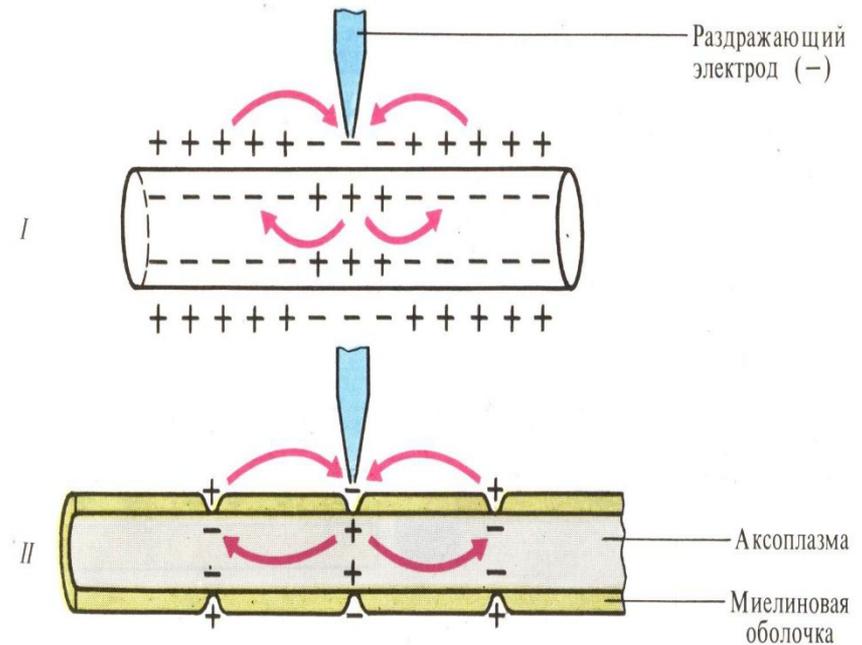
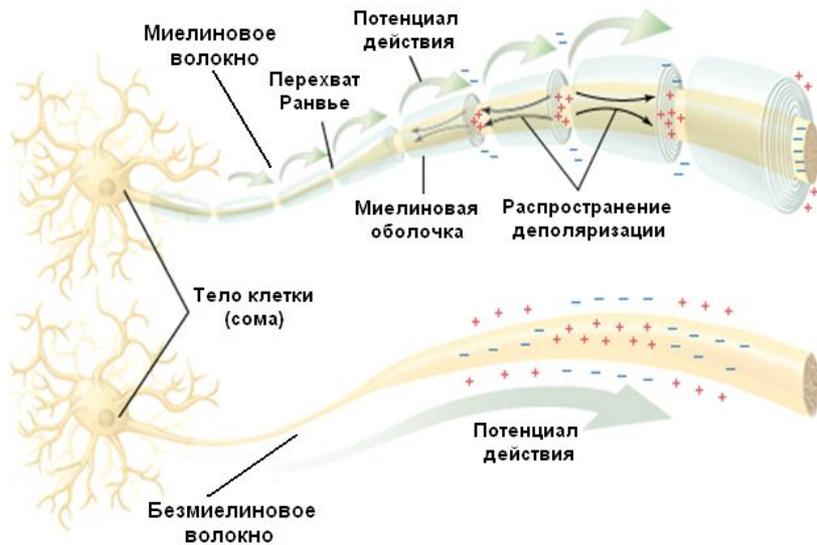
# Механизм ПД



## Свойства потенциала действия

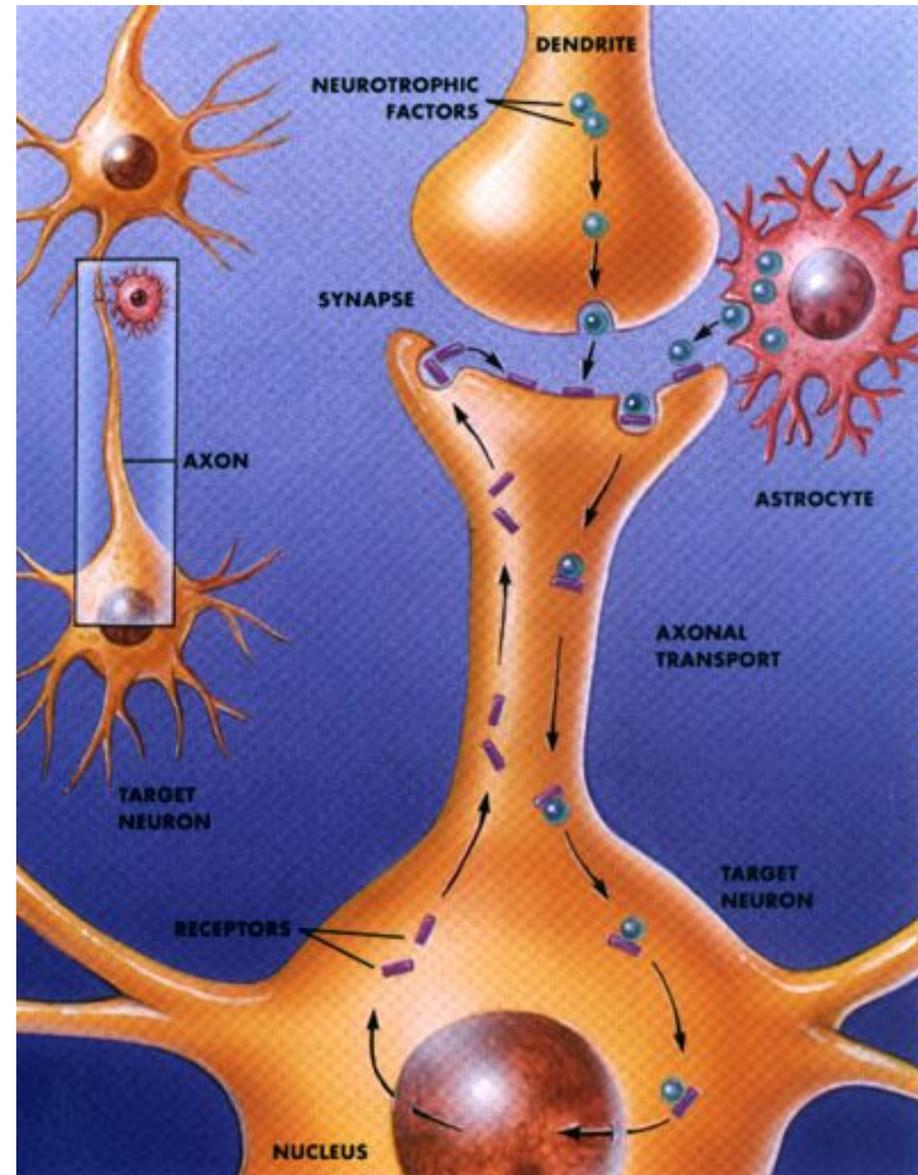
- Возникает в ответ на действие пороговых и сверхпороговых раздражителей (подчиняется закону «**всё или ничего**»).
- Возникает на фоне местной деполяризации (**локального ответа**), которая по величине должна достигнуть критического уровня – *КУД*.
- ПД **не растет ни во времени, ни в пространстве** при усилении раздражителя и увеличении времени его действия.
- ПД распространяется без затухания (**бездекрементный процесс**).
- При действии частотного раздражителя отдельно возникнувшие ПД в ответ на действие каждого раздражителя **не суммируются**.
- Длительность ПД в среднем значении 1-3 мс, амплитуда – 110-120 мВ

# Распространение возбуждения по миелиновому и безмиелиновому нервному волокну



# 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

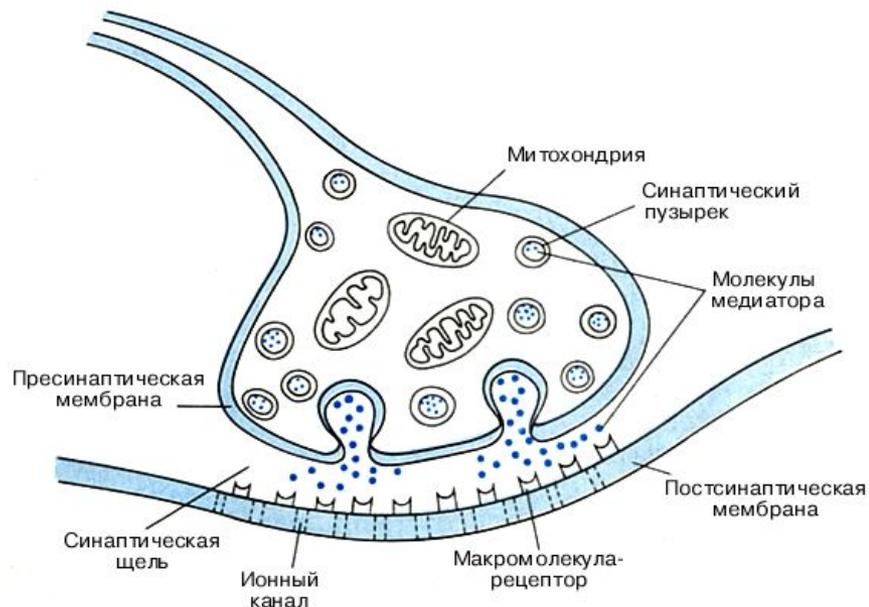


Конец *аксона* теряет миелиновую оболочку и образует небольшое утолщение (*синаптическую бляшку*).

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

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

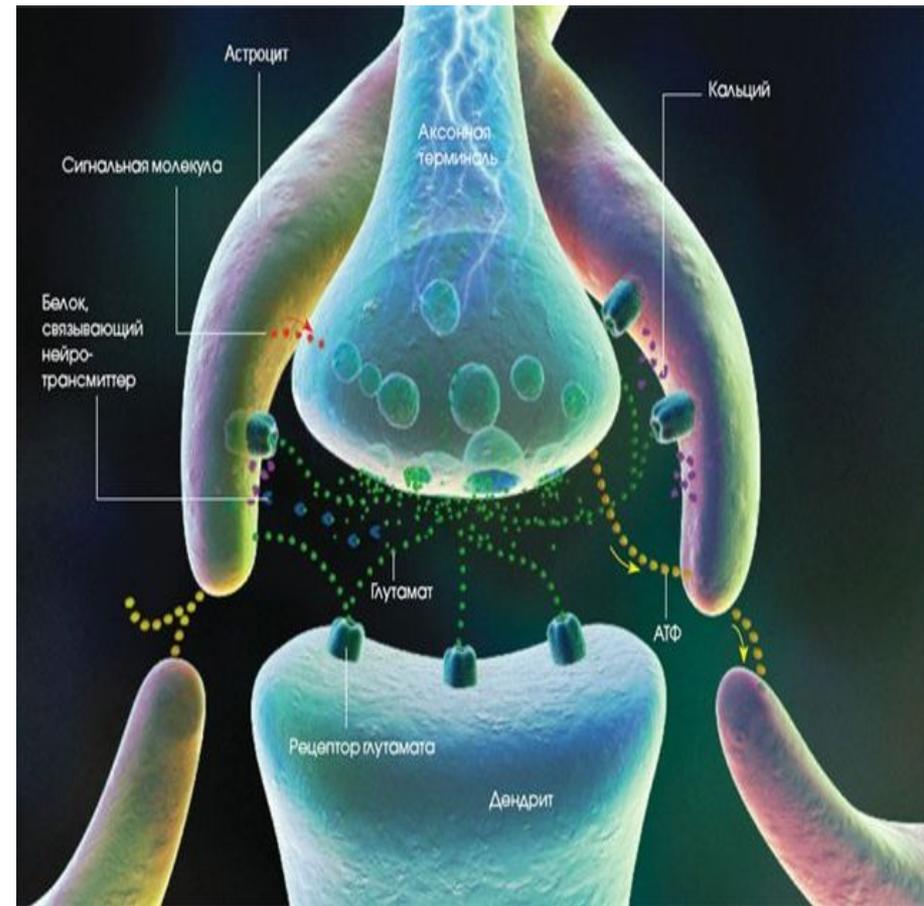
*Постсинаптическая мембрана* – участок мембраны иннервируемой клетки, контактирующий с пресинаптической мембраной через синаптическую щель.



# Строение синапса

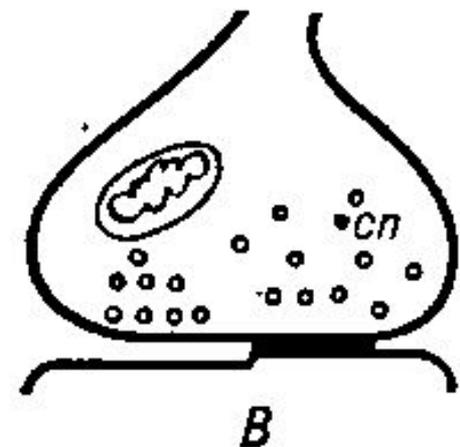
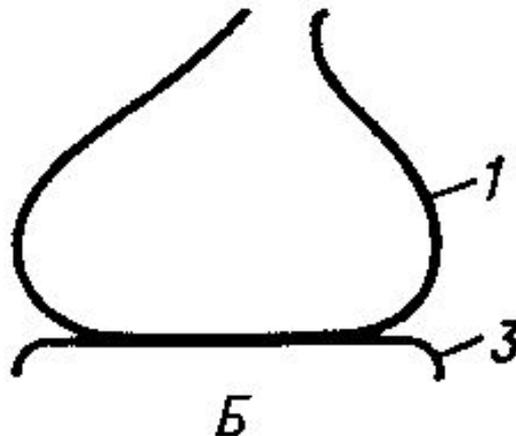
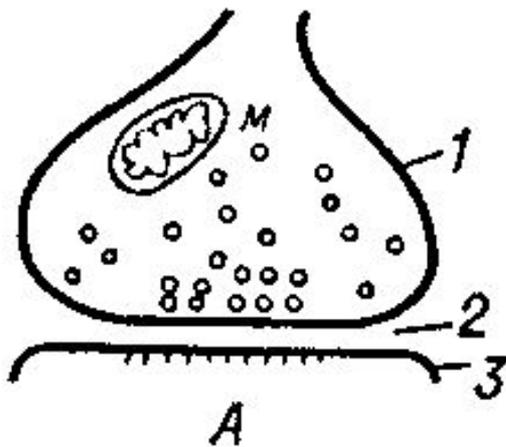
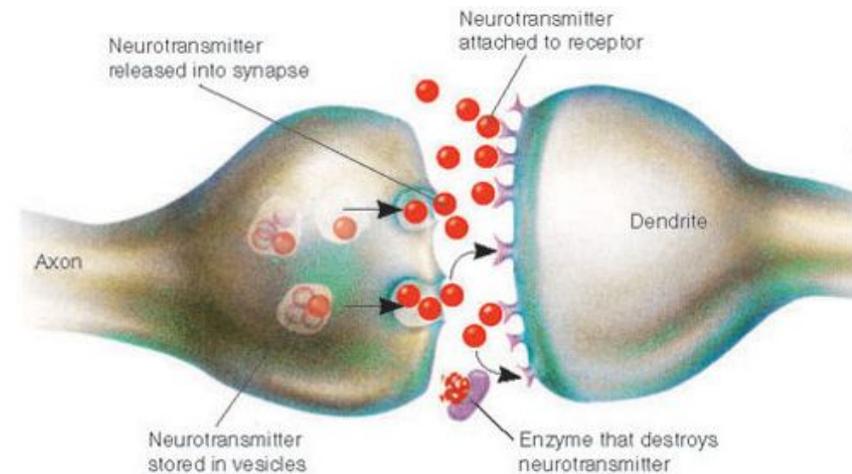
В синаптическом расширении имеются мелкие везикулы, так называемые синаптические пузырьки, содержащие либо медиатор (вещество-посредник в передаче возбуждения), либо фермент, разрушающий этот медиатор.

На постсинаптической, а часто и на пресинаптической мембранах присутствуют рецепторы к тому или иному медиатору.



# Классификация синапсов в зависимости от механизма передачи нервного импульса:

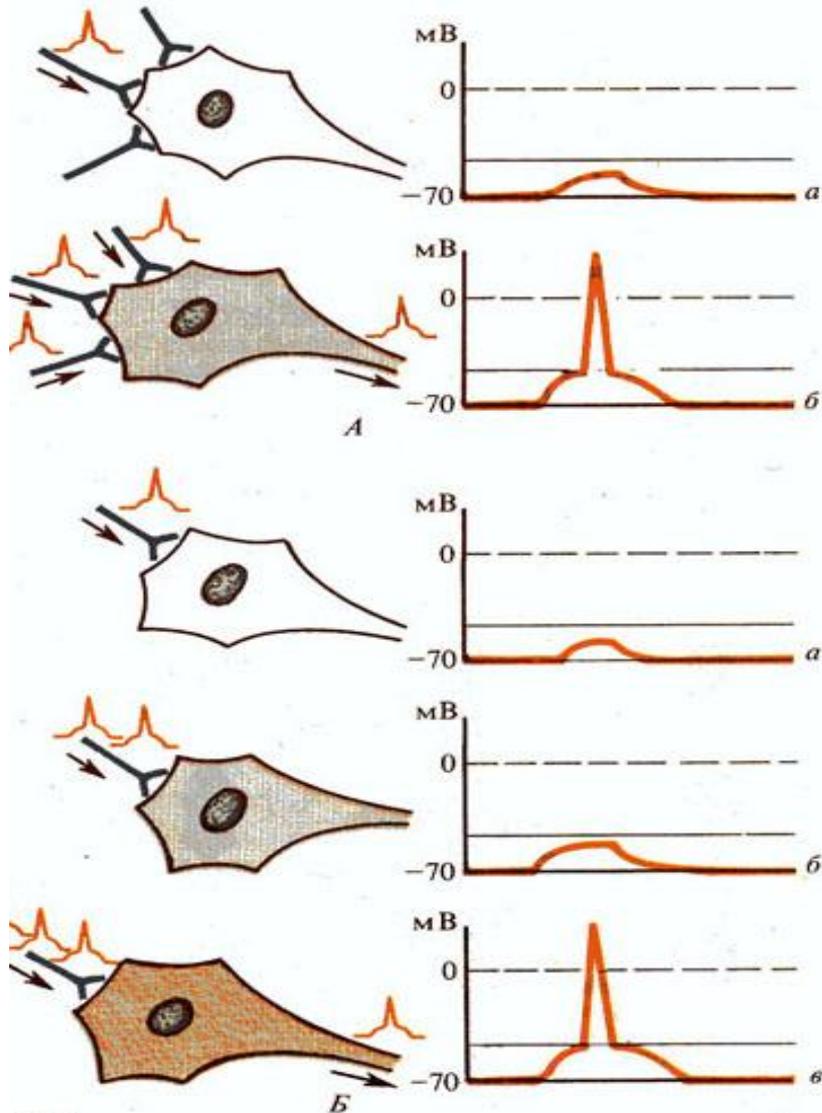
- химические;
- электрические;
- смешанные синапсы;



# 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

# 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.**

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

По химической структуре медиаторы подразделяют на:

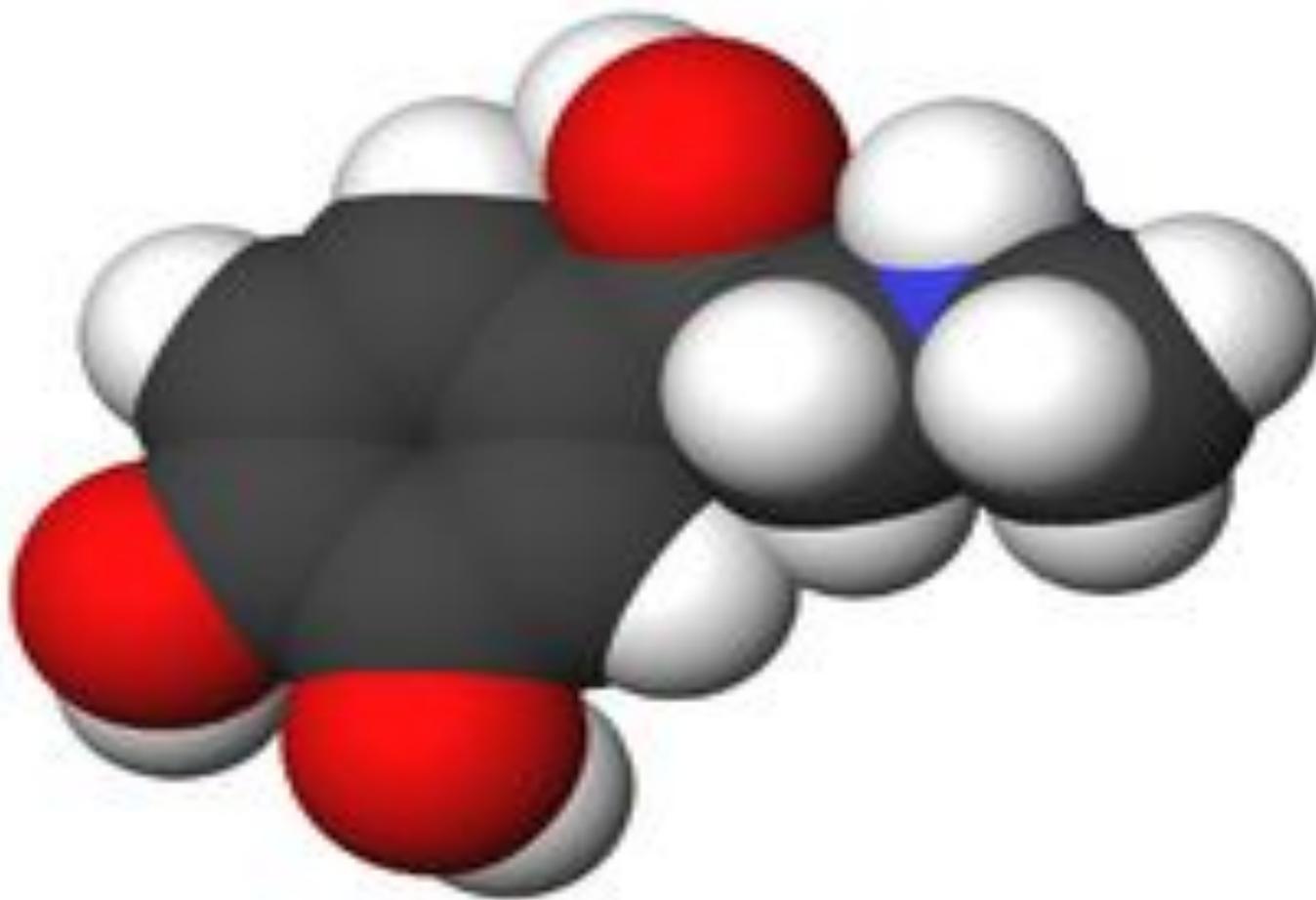
- моноамины (адреналин, норадреналин, ацетилхолин и др.);
- аминокислоты (гамма - аминomásляная кислота (ГАМК), глутамат, глицин, таурин);
- пептиды (эндорфин, нейротензин, бомбезин, энкефалин и др.);
- прочие медиаторы (NO , АТФ).

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)*.

# Ацетилхолин

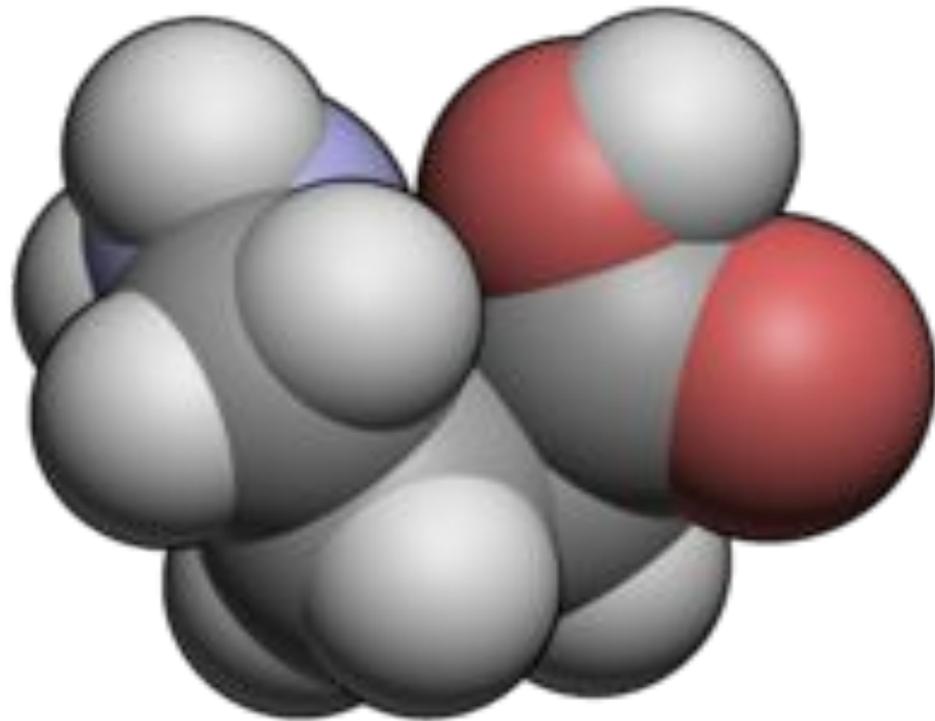
- Возбуждающий медиатор: медиатор  $\alpha$ -мотонейронов спинного мозга, иннервирующих скелетную мускулатуру, ретикулярной формации, гипоталамусе.
- Обнаружены M- и N- холинорецепторы.

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



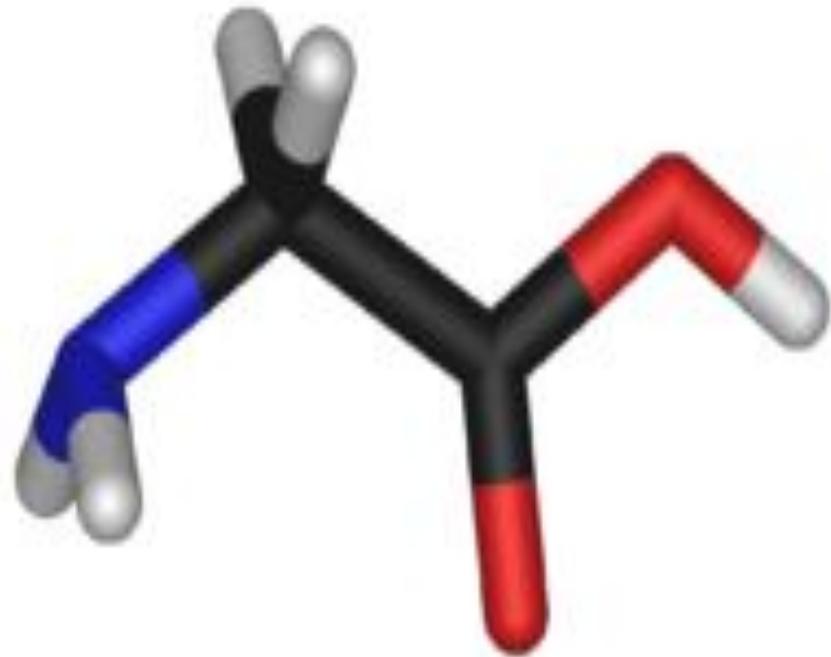
# γ-Аминомасляная кислота (ГАМК, GABA)

- 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.



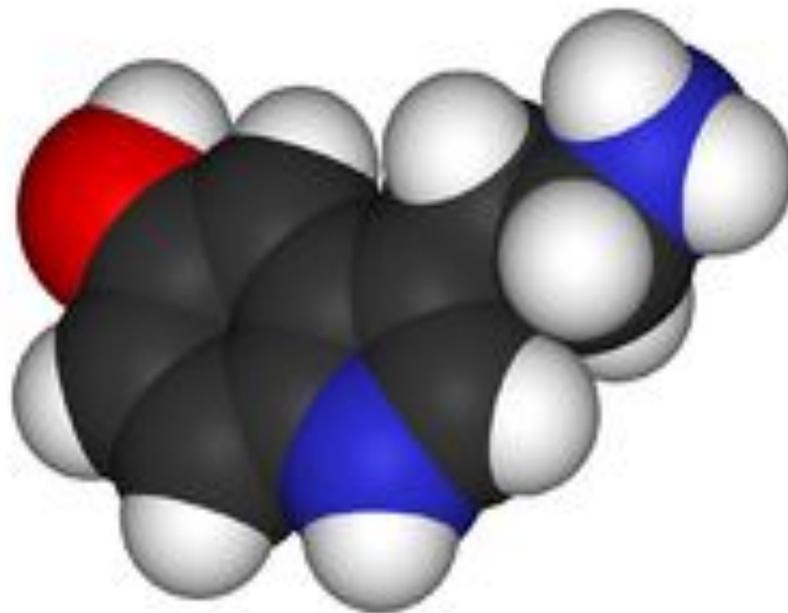
# Глицин (аминоуксусная кислота)

- 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



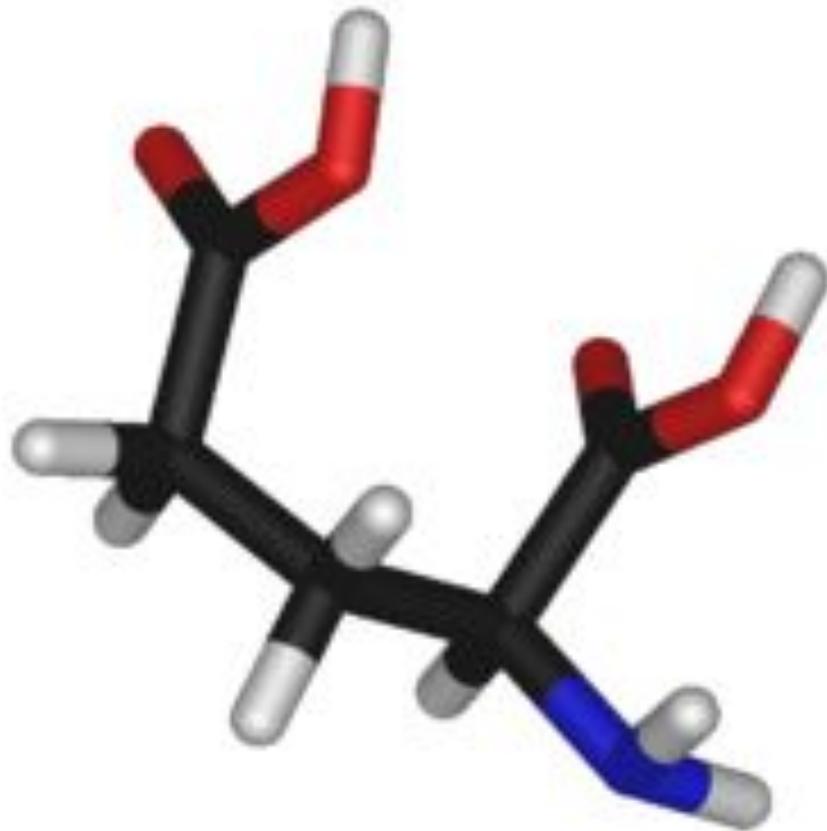
# Серотонин, 5- *гидрокситриптамин, 5-НТ*

- 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