

# **ФИЗИОЛОГИЯ ВОЗБУДИМЫХ ТКАНЕЙ**

Возбудимость

# 1. Понятия и общие свойства возбудимых тканей

**Возбудимые ткани:** мышечная, нервная, железистая.

Все клетки и ткани живых систем в процессе эволюции приобрели способность отвечать на действие раздражителя специфической и неспецифической реакцией.

Раздражимость – это способность органов, тканей, клеток активно отвечать на воздействие какой-либо формой деятельности – обменом, ускорением деления, выбросом секрета, движением, электрическим импульсом.

Возбудимость – процесс временной деполяризации мембраны клеток со специфической ответной реакцией при котором мышечная ткань сокращается, железистая – выделяет секрет, нервная – проводит нервный импульс.



Изучение возбудимости мышечных и нервных клеток началось в 18 века А.Вольта и Л.Гальвани, показавшими в своих исследованиях, что работа нервов и мышц связана с электрическими явлениями.



Результаты опытов свидетельствовали о том, что внутреннее содержимое клетки заряжено отрицательно по отношению к наружной среде.



Разность электрических потенциалов между цитоплазмой клетки и внеклеточной жидкостью — мембранный потенциал

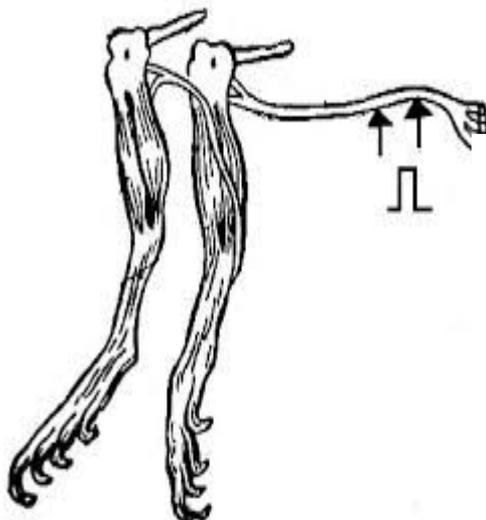
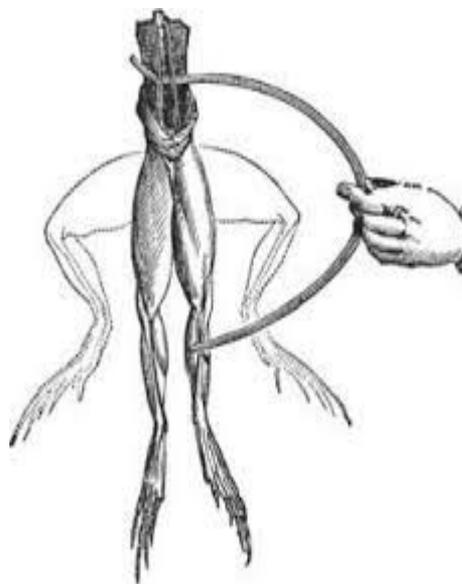
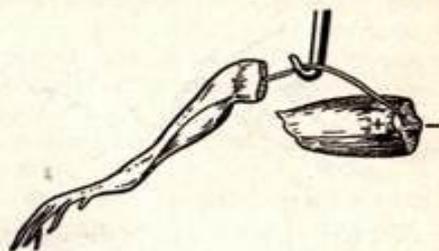


Рис. 24. Второй опыт Гальвани (показан способ набрасывания седалищного нерва на мышцы бедра).

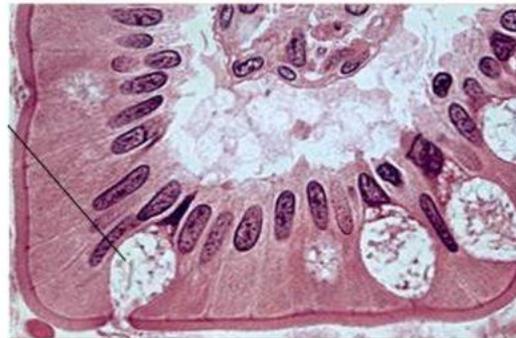


### 3. Возбудимые ткани и их свойства

нервная ткань



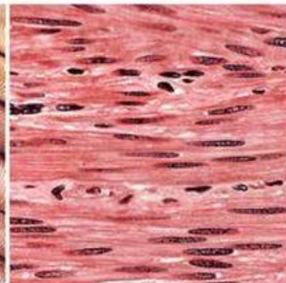
железистая ткань



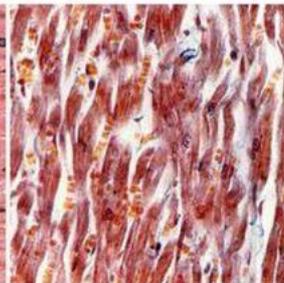
мышечная ткань



поперечно-полосатая



гладкая



сердечная

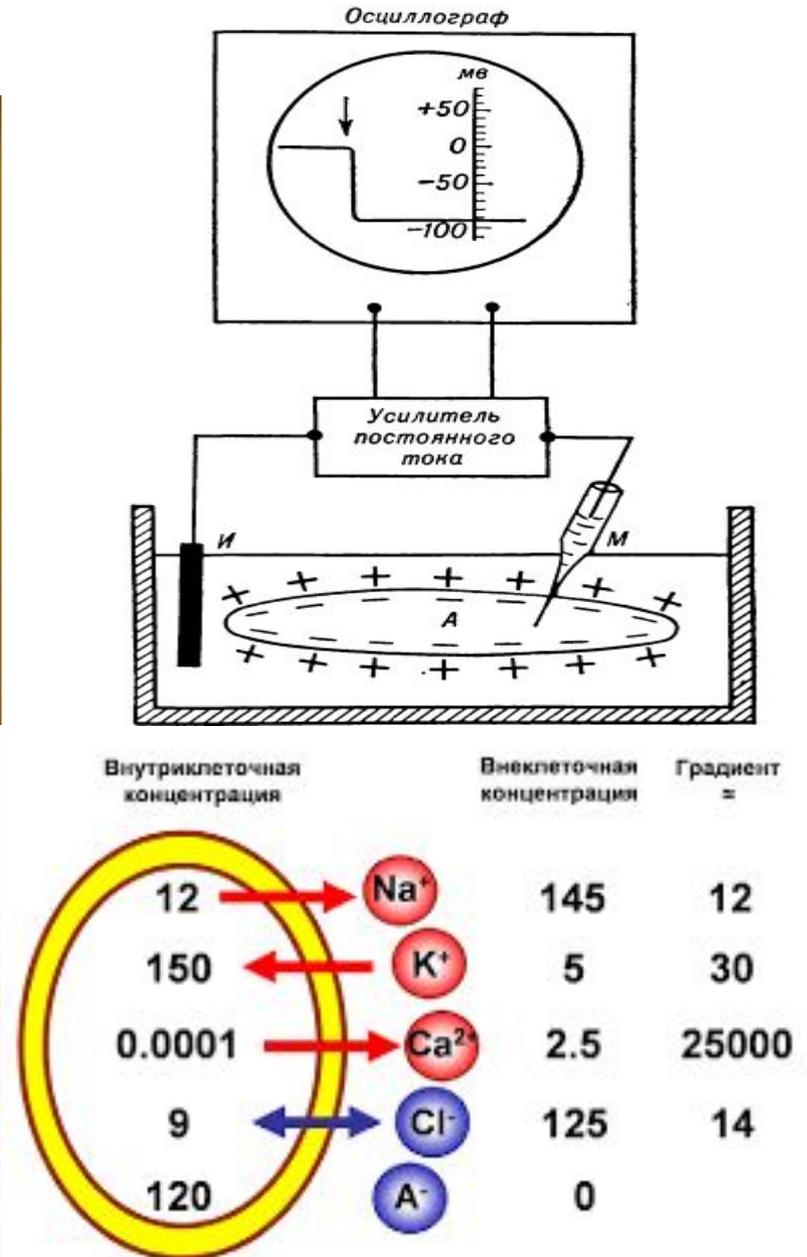
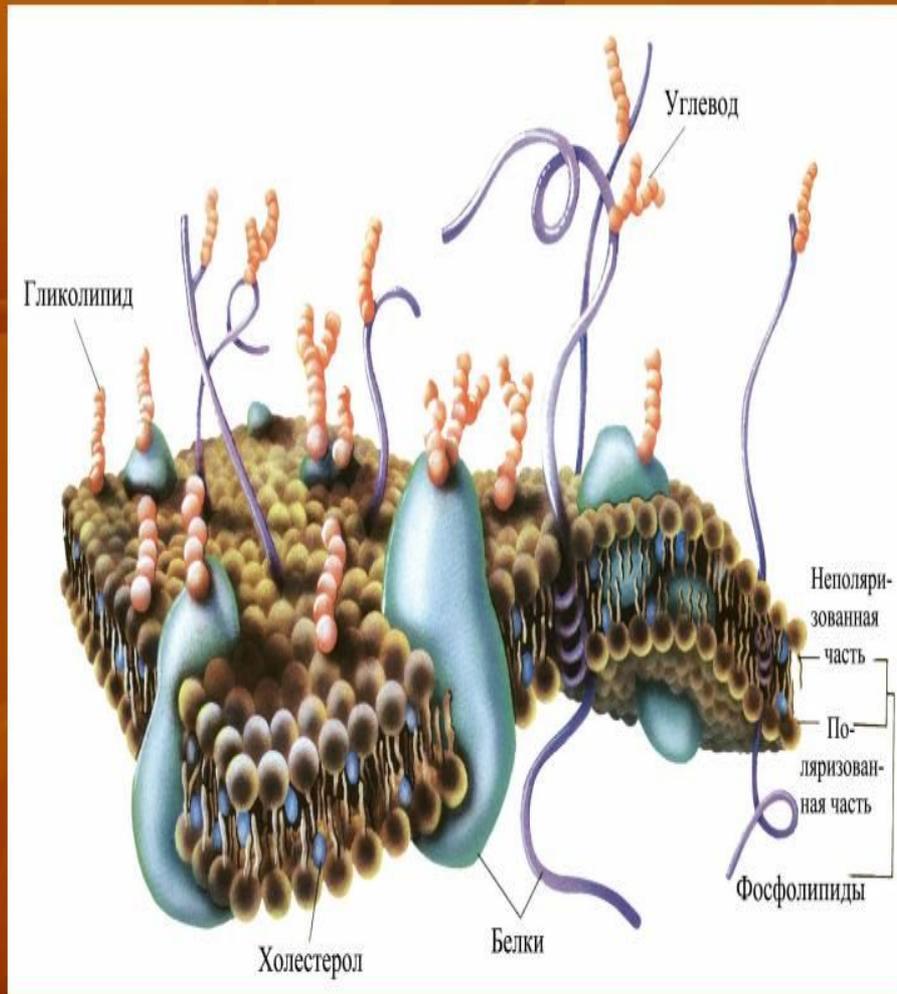
# Свойства возбудимых тканей

- **Возбудимость** – способность отвечать на действие раздражителя возбуждением.
  - **Возбуждение** – процесс возникающий в живой возбудимой ткани в ответ на действие раздражителя (или спонтанно) и характеризующийся распространяющейся деполяризацией клеточной мембраны в виде электрического импульса (потенциала действия) и специфической реакцией ткани: сокращением (для мышечной ткани), секрецией (железистая и нервная ткани) и проведением возбуждения (все возбудимые ткани).
- **Проводимость** – способность проводить возбуждение (потенциалы действия) с определённой скоростью.
- **Сократимость** – способность отвечать на возбуждение сокращением – укорочением длины мышечных волокон и/или увеличением напряжения (мышечная ткань).
- **Секреторная активность** – способность выделять секрет или медиатор при возбуждении (железистая и нервная ткани).
- **Лабильность** (функциональная подвижность) – способность к ритмической активности; скорость протекания одного цикла возбуждения.

# Объекты исследований

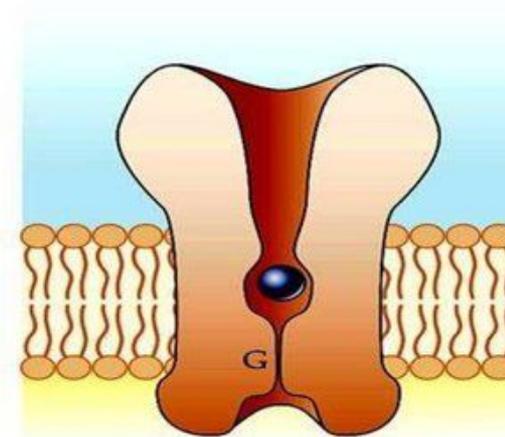
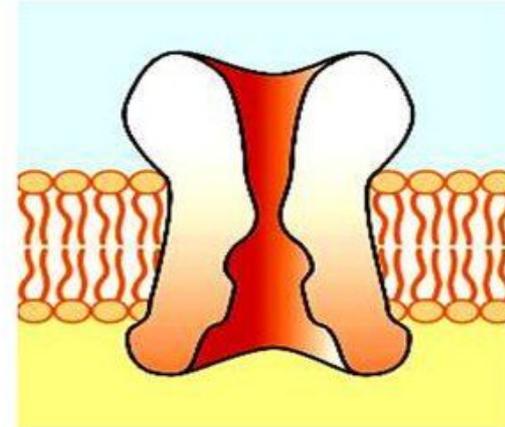


# БИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕМБРАНЫ



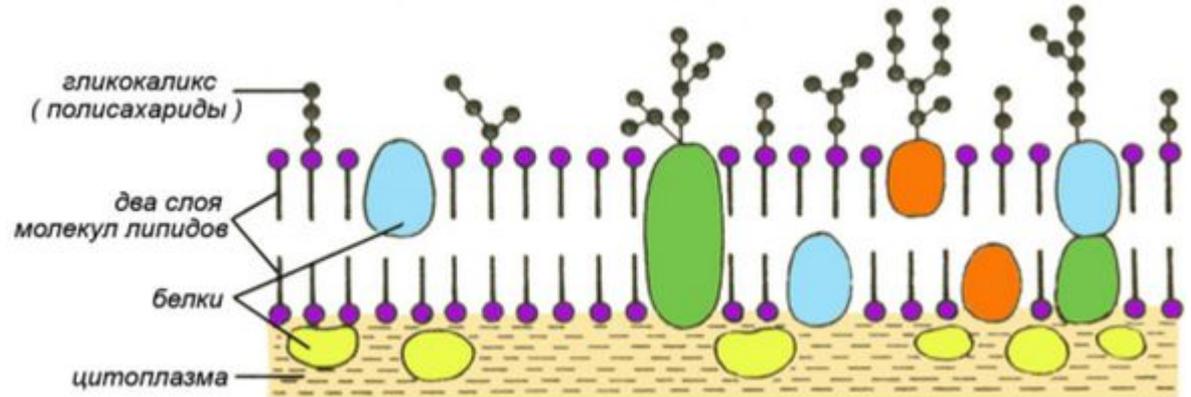
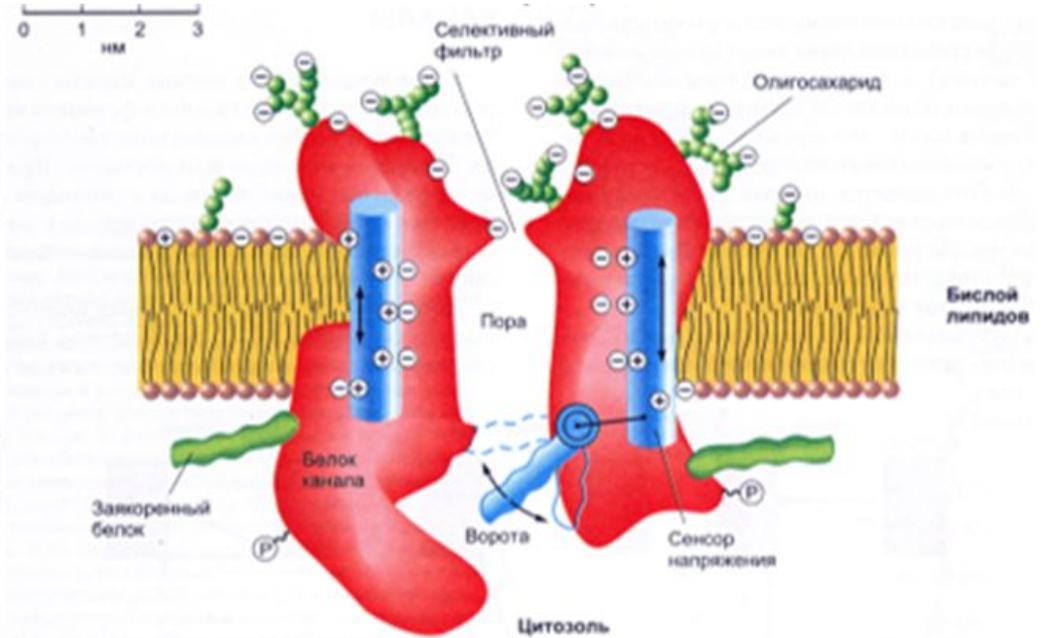
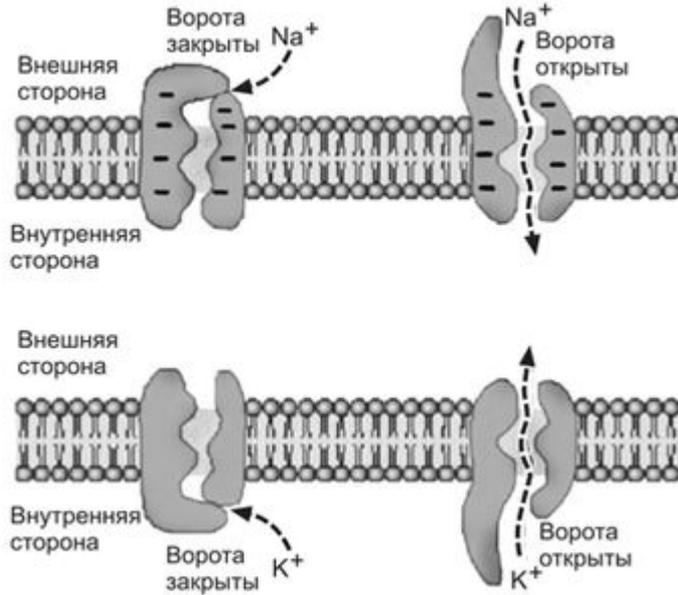
# Два основных типа ионных каналов

- В зависимости от роли в нейрональной сигнализации, различают 2 основных типа ионных каналов – каналы покоя и воротные **-gate-** (управляемые) каналы.
- **Каналы покоя** открываются в покое без влияния внешних факторов. Они участвуют, преимущественно, в поддержании мембранного потенциала покоя и проницаемы для ионов K или Cl.
- Большинство **gate-каналов** в покое закрыто. Вероятность их открытия регулируется определенными воздействиями. Они участвуют в генерации электрических сигналов.



10 nm

# Мембранные каналы



## Потенциал покоя

**Потенциал покоя** – это разность потенциалов между цитоплазмой клетки и окружающей средой.

### Теория Ю. Бернштейна

В конце XIX в. Ю. Бернштейн выдвинул гипотезу, согласно которой клеточная мембрана пропускает внутрь клетки ионы  $K^+$ , и они накапливаются в цитоплазме.

В 1896 г. его ученик Василий Чаговец (1873-1941) подтвердил эту гипотезу и применил электролитическую теорию В. Нернста к биологическим системам и установил калиевую природу потенциала покоя.

Расчет величины потенциала покоя по *уравнению Нернста* для калиевого электрода удовлетворительно совпал с измеренным потенциалом между саркоплазмой мышцы и окружающей средой, который составлял около **-70 мВ**.

$$E_{K^+} = - \frac{RT}{nF} \ln \frac{[K^+]_{in}}{[K^+]_{out}}$$

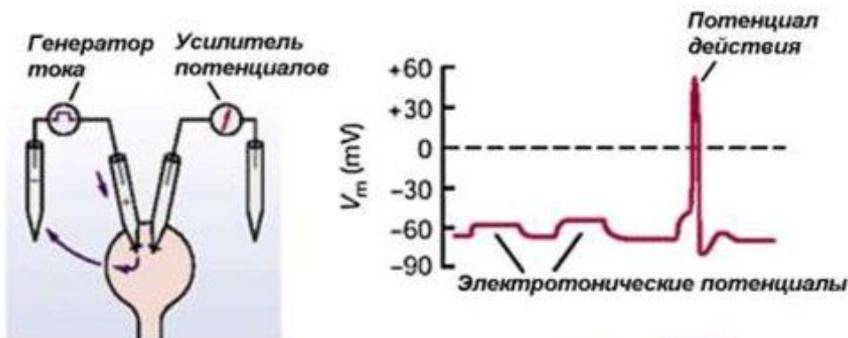
# Значения потенциала покоя

| Объект                | Концентрация, ммоль/л |      |                    |      |                    |      | $\Phi_M^P$ , мВ<br>по формуле<br>Нернста |                 |                 | $\Phi_M^П$ , мВ<br>экспер |
|-----------------------|-----------------------|------|--------------------|------|--------------------|------|------------------------------------------|-----------------|-----------------|---------------------------|
|                       | [K <sup>+</sup> ]     |      | [Na <sup>+</sup> ] |      | [Cl <sup>-</sup> ] |      | K <sup>+</sup>                           | Na <sup>+</sup> | Cl <sup>-</sup> |                           |
|                       | вн.                   | нар. | вн.                | нар. | вн.                | нар. |                                          |                 |                 |                           |
| Гигантс-<br>кий аксон | 360                   | 10   | 70                 | 420  | 160                | 500  | -90                                      | +50             | -30             | -60                       |
| Мышца<br>лягушки      | 125                   | 2,5  | 15                 | 125  | 11                 | 120  | -98                                      | +60             | -87             | -94                       |

|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Поток ионов через мембрану</p>                                                                   | $J = P\psi(c_i - c_o e^{-\psi})/(e^{-\psi} - 1), \quad (12.5)$ <p><math>c_i, c_o</math> – концентрации ионов внутри и вне клетки, <math>P</math> – проницаемость мембраны для ионов данного вида.</p> |
| <p>Потенциал покоя</p>                                                                              | <p>Разность потенциалов между цитоплазмой и окружающей средой в нормально функционирующей клетке</p>                                                                                                  |
| <p>Уравнение Нернста–Планка для потенциала покоя</p>                                                | $\varphi_m = -(RT/FZ)\ln(c_i/c_o) \quad (12.7)$                                                                                                                                                       |
| <p>Уравнение Гольдмана–Ходжкина–Катца для мембранного потенциала покоя в стационарном состоянии</p> | $\varphi_m = -\frac{RT}{F} \ln \left( \frac{P_K [K^+]_i + P_{Na} [Na^+]_i + P_{Cl} [Cl^-]_o}{P_K [K^+]_o + P_{Na} [Na^+]_o + P_{Cl} [Cl^-]_i} \right) \quad (12.9)$                                   |
| <p>Потенциал действия</p>                                                                           | <p>Разность потенциалов между цитоплазмой и окружающей средой при возбуждении</p>                                                                                                                     |

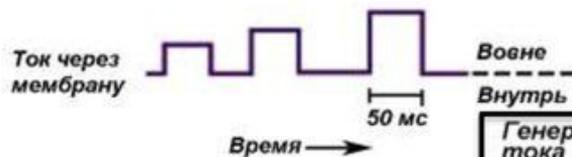
4

# Потенциал покоя и потенциал действия

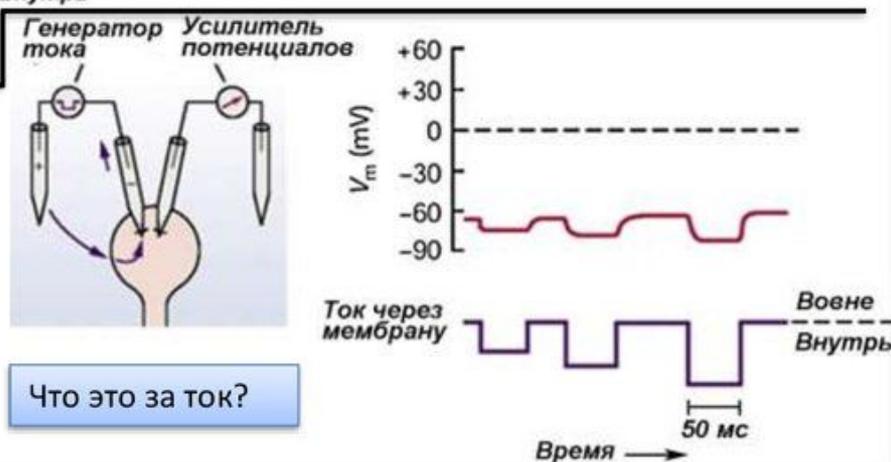


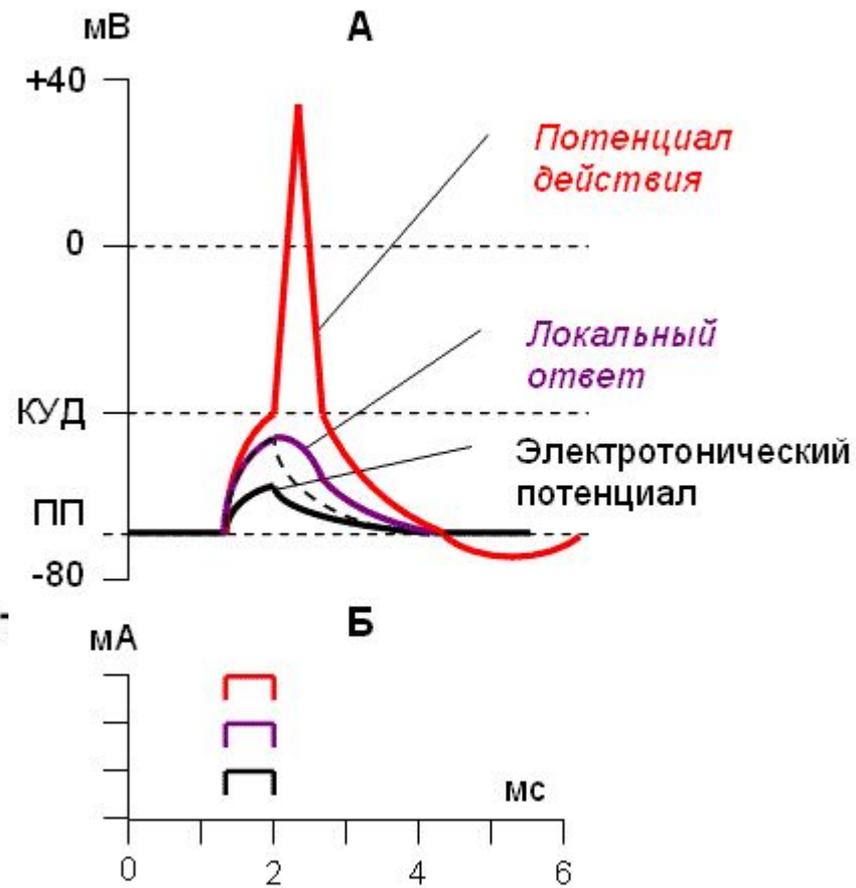
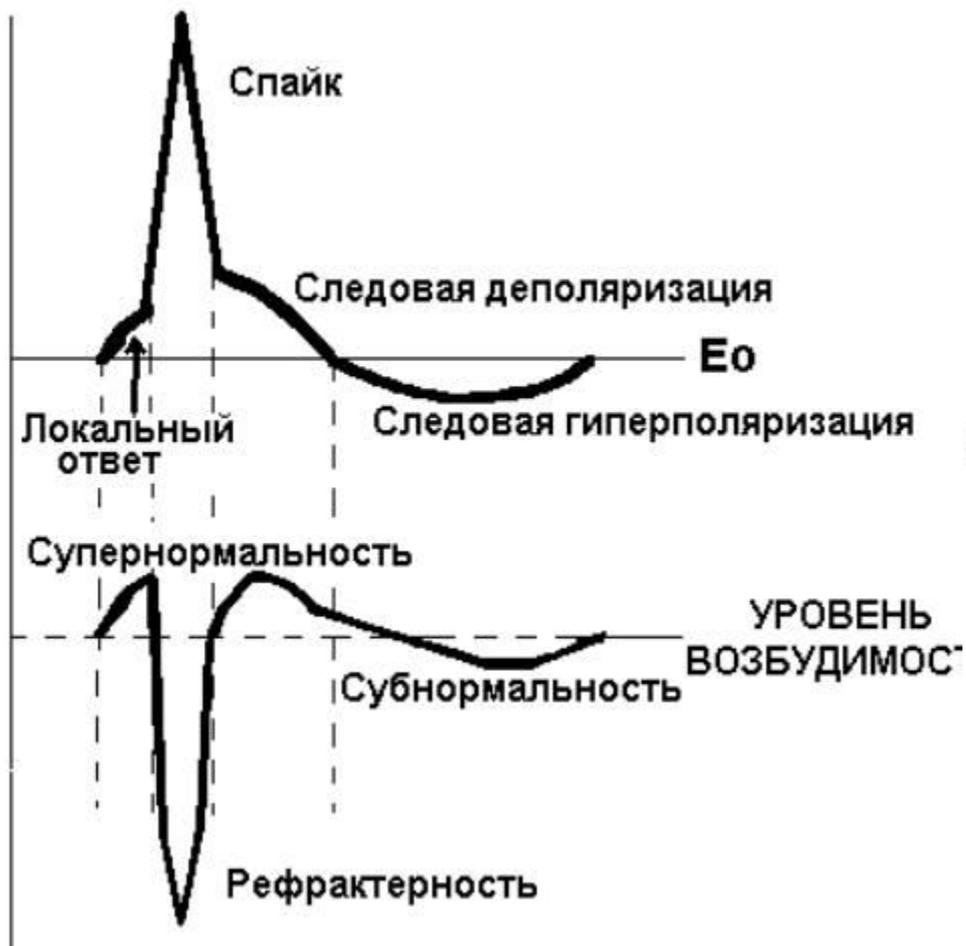
Деполаризация

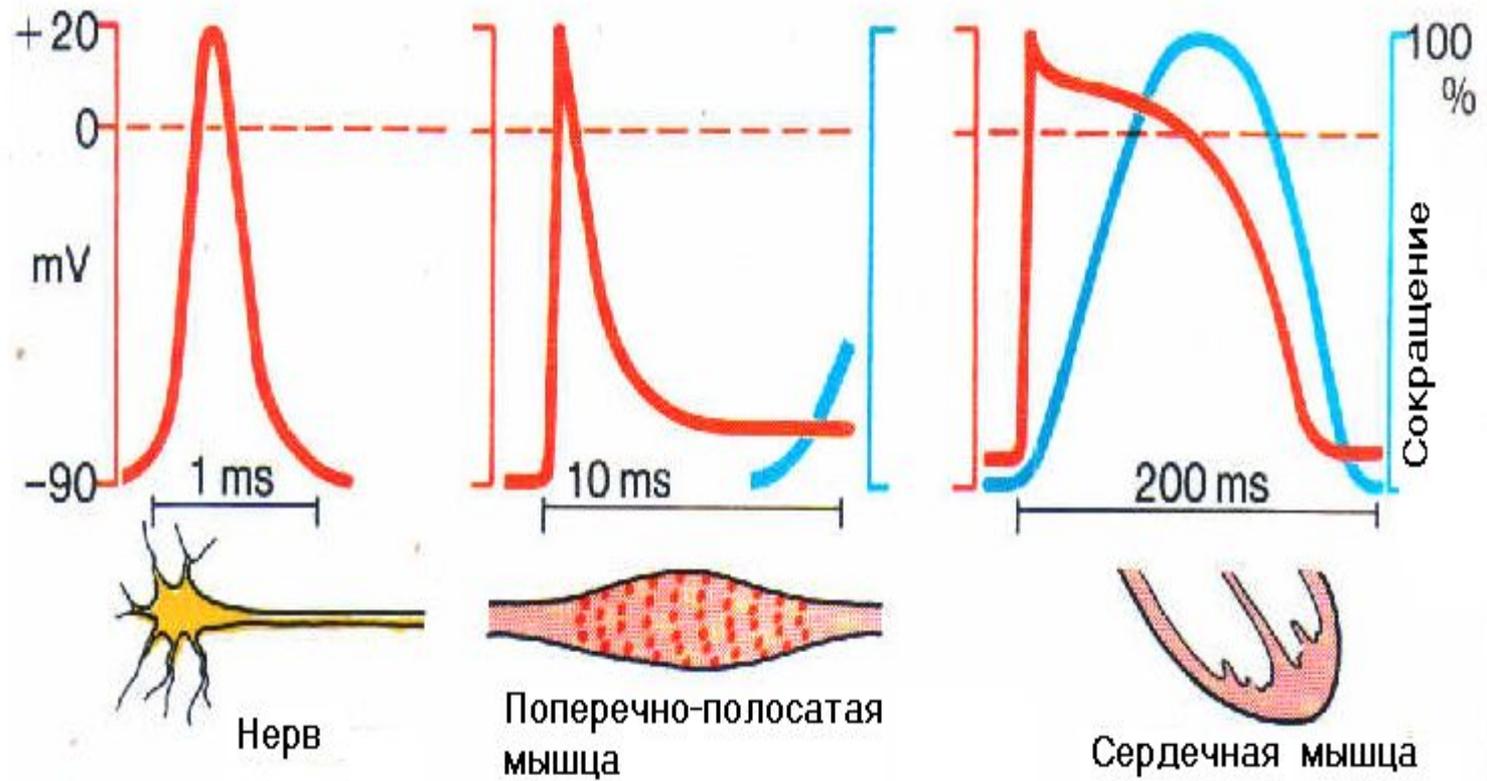
Что это за ток?



Гиперполяризация



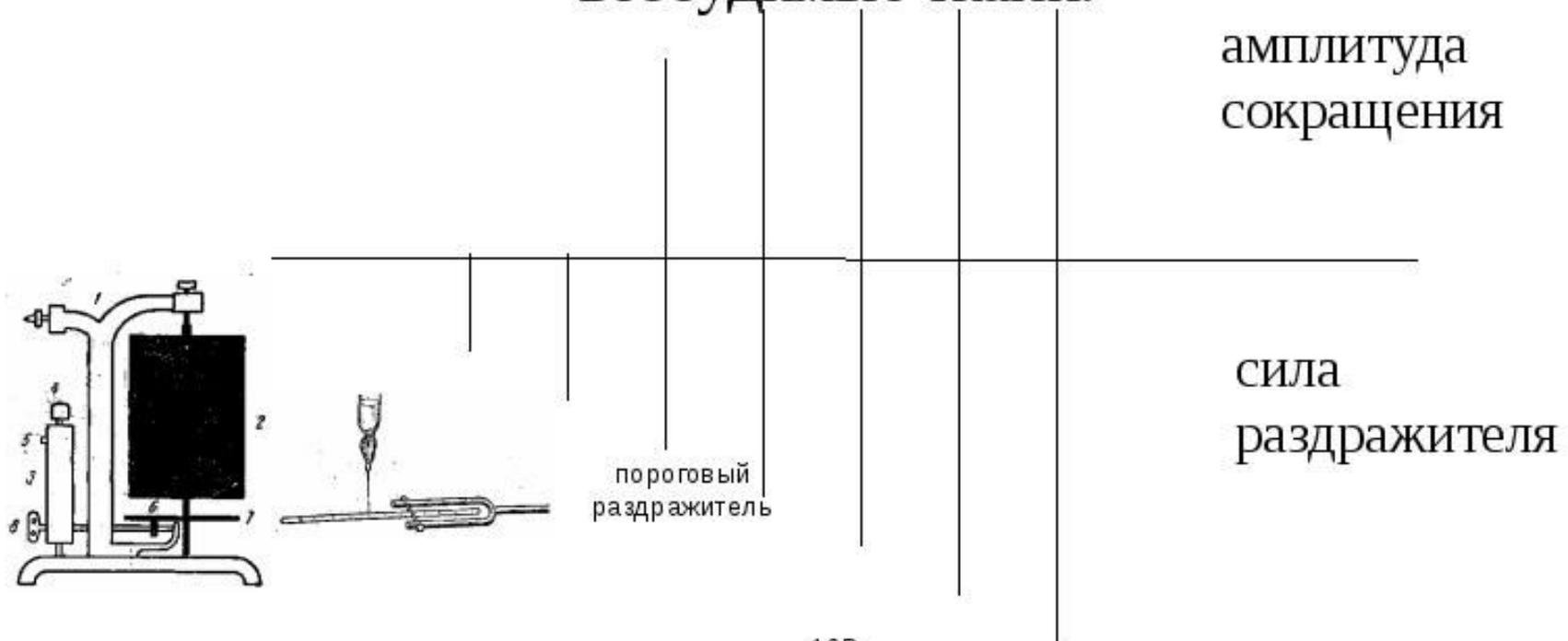




# ЗАКОНЫ РАЗДРАЖЕНИЯ ВОЗБУДИМЫХ ТКАНЕЙ

I. Закон силы (Бодич, 70-е г.г. 19 века) – открыт на сердце лягушки как закон «**все или ничего**»: на подпороговый раздражитель сердце не сокращается, а на пороговый – сокращается с максимальной амплитудой.

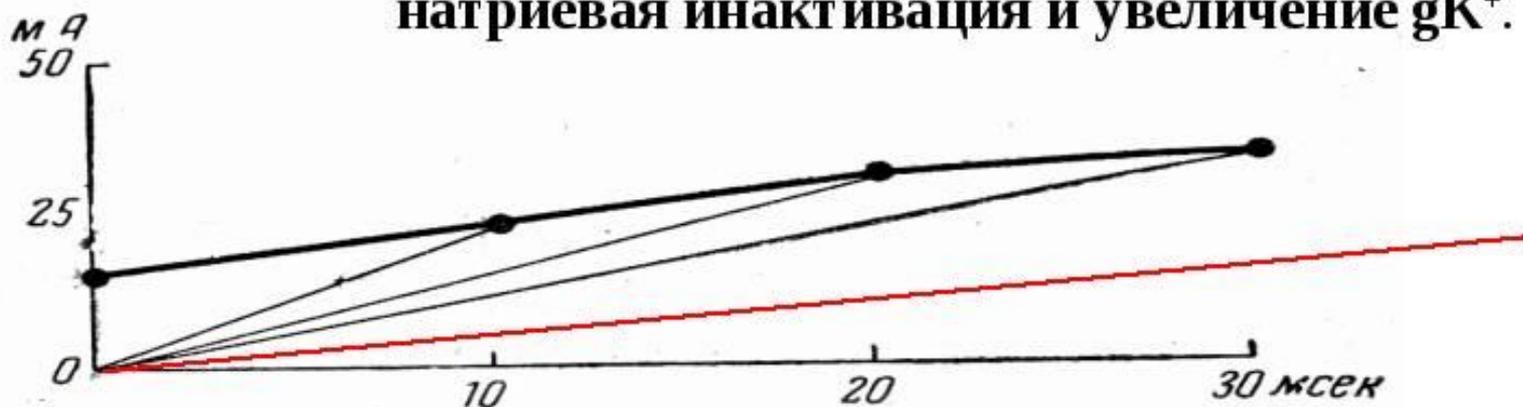
Считал, что этот закон распространяется на все возбудимые ткани.





Эмиль Дюбуа-Реймон  
(Du Bois-Reymond)  
(7.11.1818, Берлин -  
26.12.1896, там же)

II. **Закон градиента** раздражения (Дюбуа-Реймон, 1848): в воздействии раздражителя на ткань важны не его сила, и не время его действия, а изменение силы во времени. Если оно недостаточно, развивается аккомодация (явление, родственное катодической депрессии Вериге). Проявляется увеличением пороговой силы тока при уменьшении крутизны его нарастания. При некоторой минимальной крутизне (**минимальный градиент** или **критический наклон**) вообще нет ответа. Скорость аккомодации выражают в мА/сек. **В основе аккомодации – натриевая инактивация и увеличение  $gK^+$ .**



III. **Закон времени** раздражения (Фик, 1888). Работая с медленной мышцей (запирательная мышца моллюска-беззубки), опроверг Дюбуа-Реймона: фактор времени имеет самостоятельное значение.

Раздражитель должен действовать достаточно длительно, чтобы вызвать возбуждение.

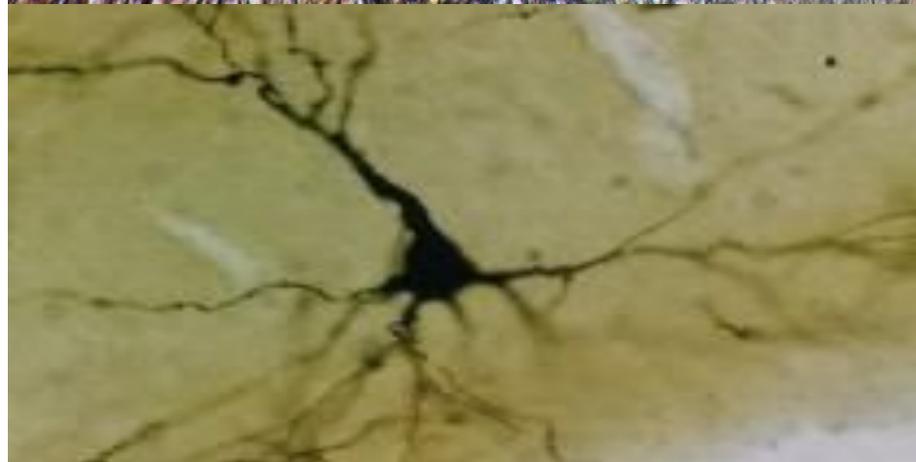
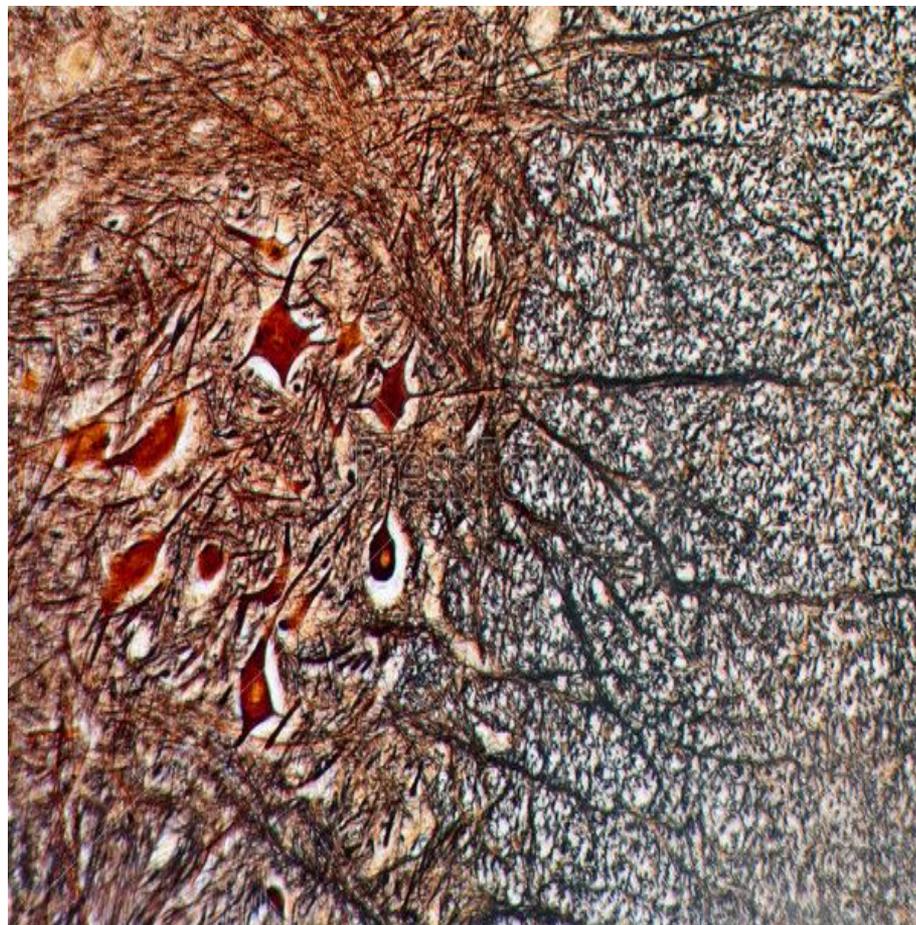
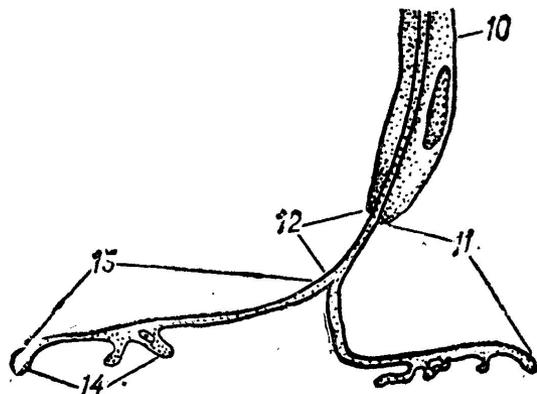
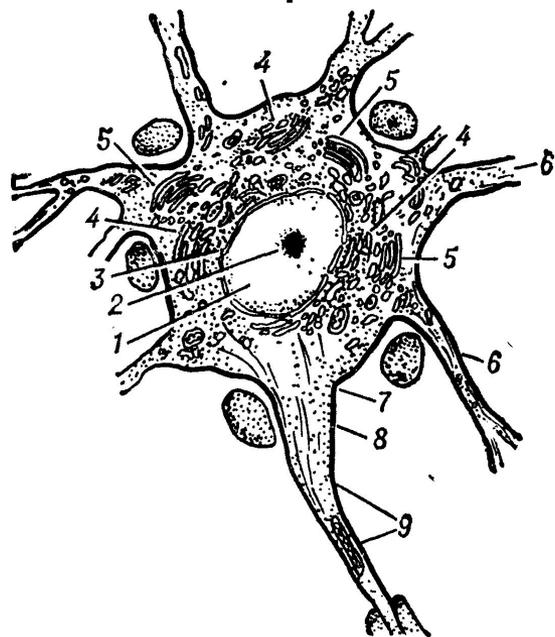
Между пороговой силой и временем действия раздражителя **в определенных пределах (!)** существует **обратная** зависимость. Причиной такой зависимости является мембранная емкость: очень «короткие» токи не успевают разрядить ее до критического уровня

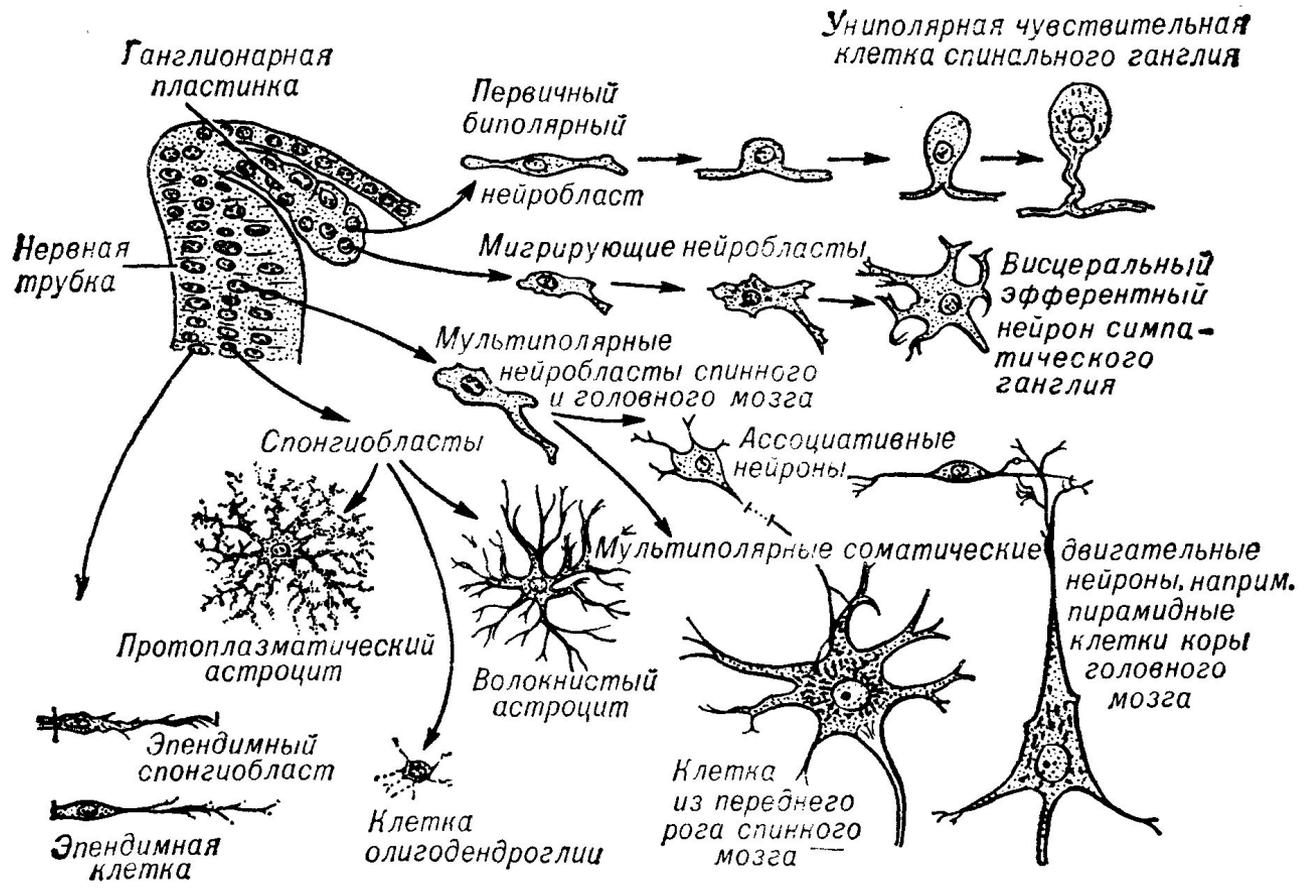
деполяризации. Графически зависимость отражает кривая «сила-время» (Горвег (1892), Вейс (1901), Лапик(1909)). Обратная зависимость там, где изгиб кривой.

На участках, параллельных осям абсцисс и ординат, зависимости нет!



# Нервные клетки на схеме и под микроскопом

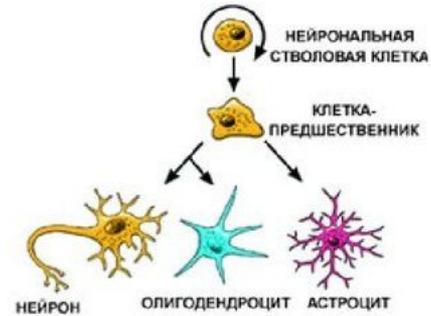




## Структура нервных клеток

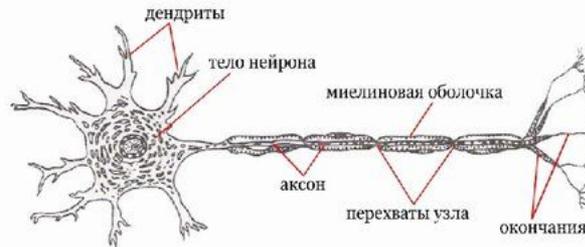
Нервная клетка состоит из:

- тела клетки (сомы)
- отростков (аксонов и дендритов)
- концевых пластинок



С помощью дендритов нейроны воспринимают, а посредством аксонов передают возбуждение. На периферии аксоны покрыты **шванновскими клетками**, образующими миелиновую оболочку с высокими изолирующими свойствами.

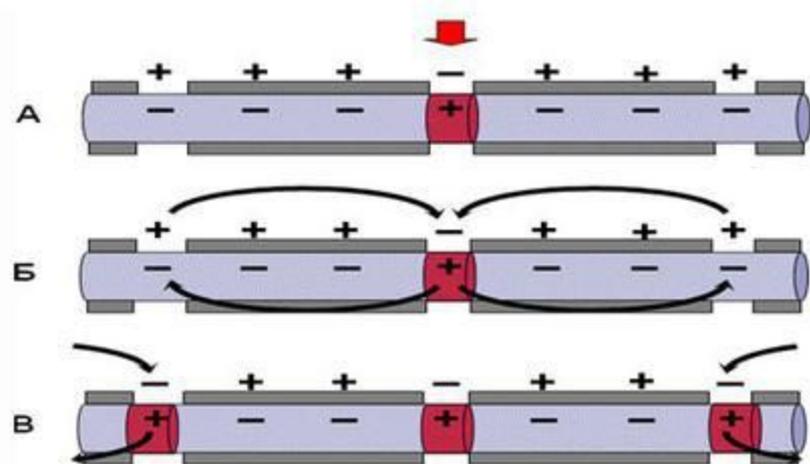
Строение нейрона



# Механизм проведения нервного импульса по немиелиновым и миелиновым нервным волокнам



Распространение возбуждения по немиелиновому волокну

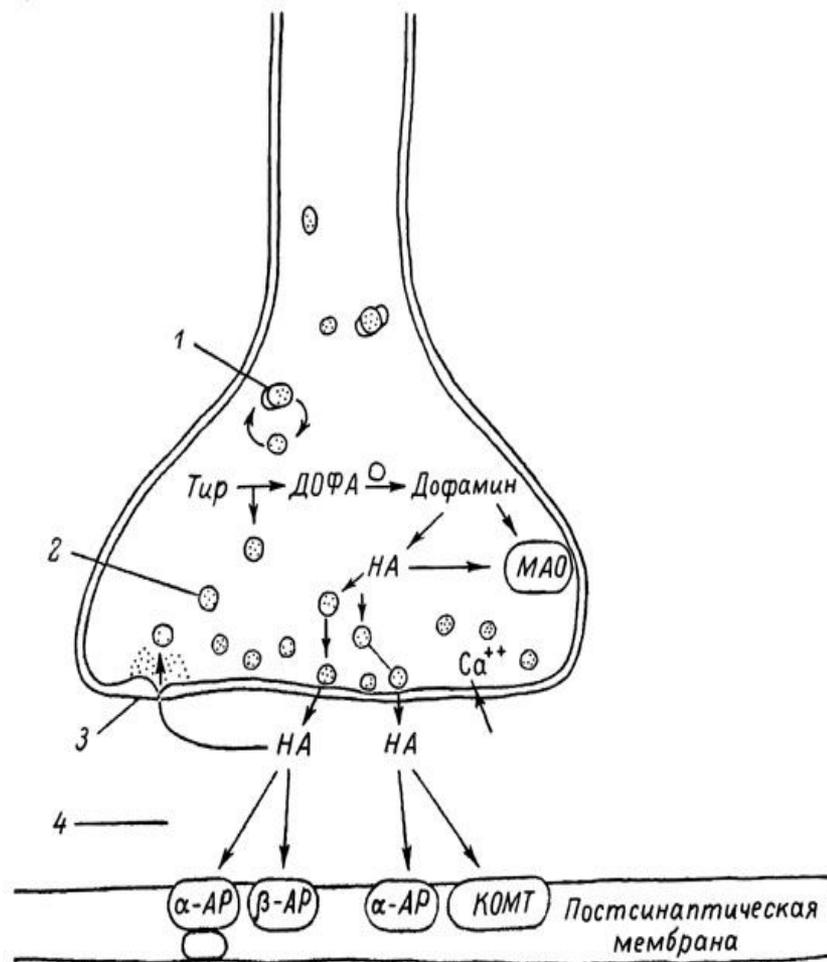
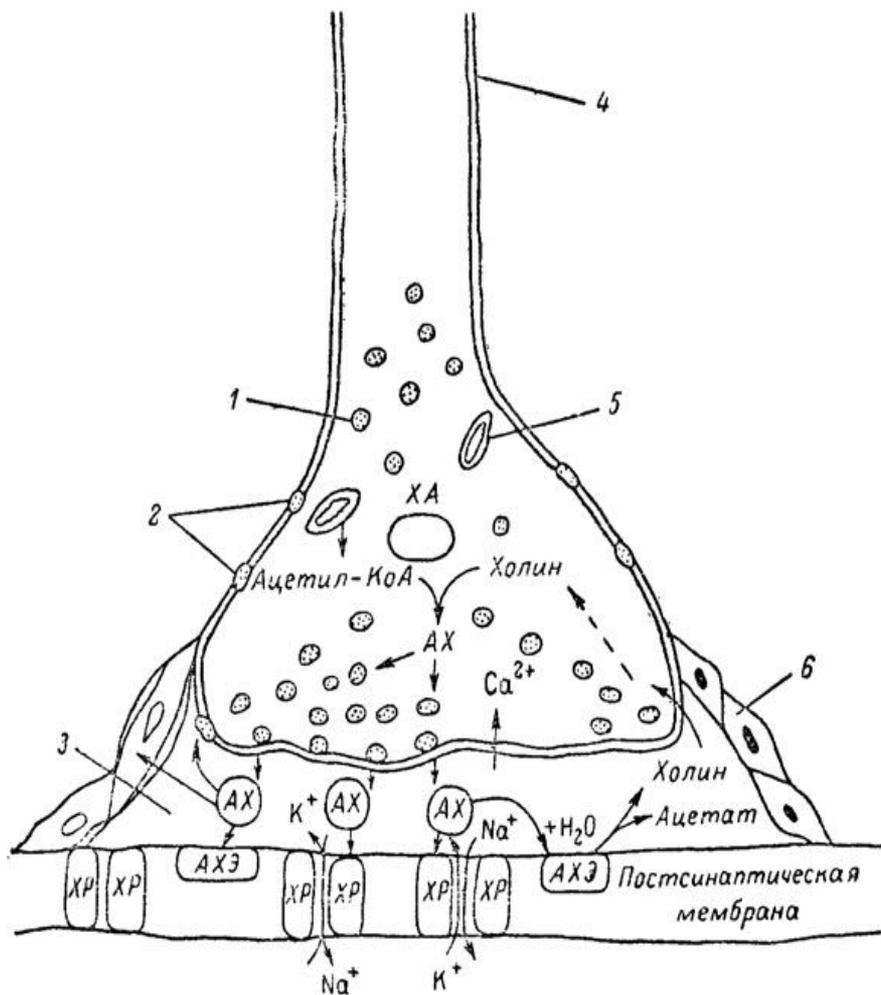


Распространение возбуждения по миелиновому волокну

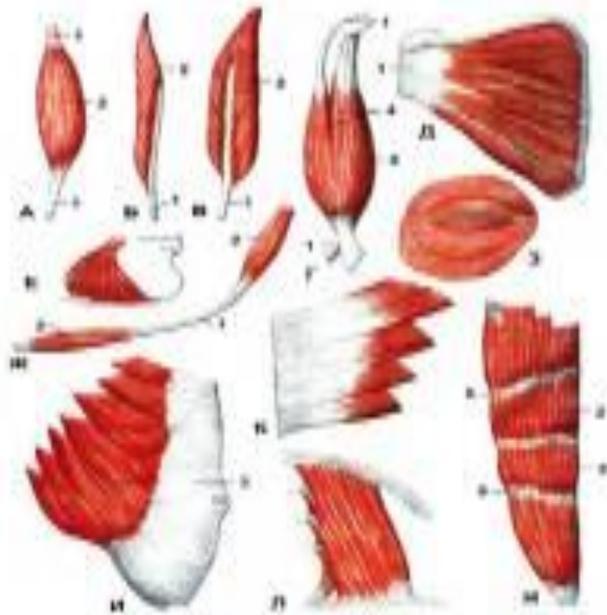
**Преимущества:**

- 1) большая скорость;
- 2) экономичность.

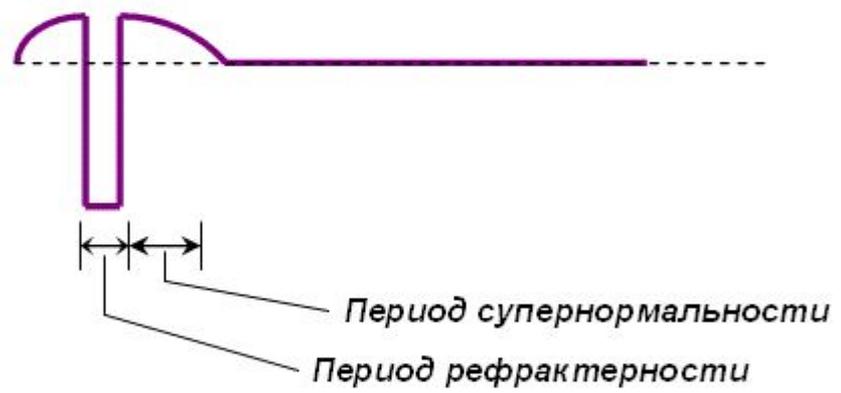
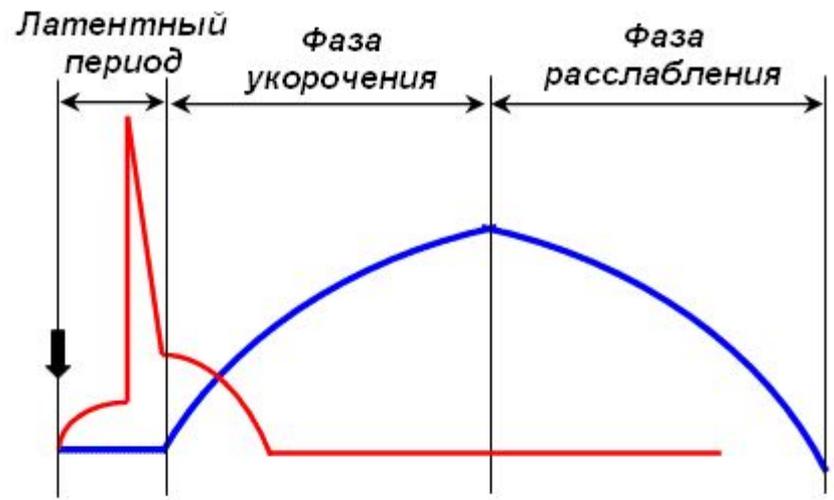
# Синаптическая передача



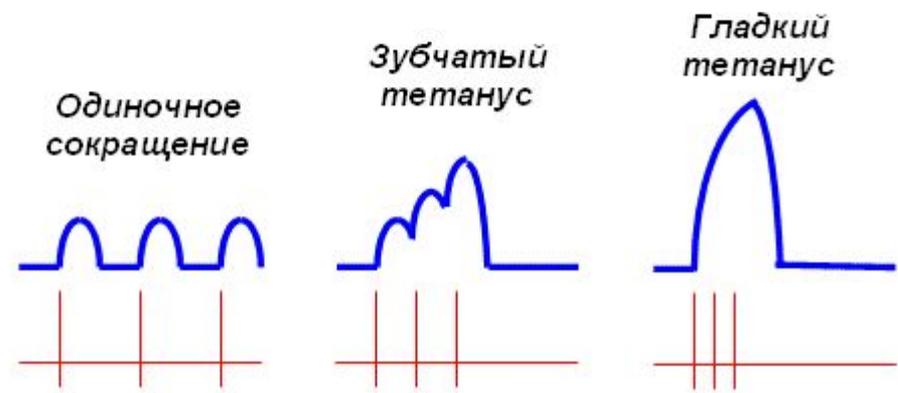
# Виды мышц



А



Б





248

Рис. 248. Одиночное сокращение (А), суммация (Б), тетанус (В):

1 — момент первого раздражения, 2 — момент второго раздражения

Благодарю за внимание!

