

# **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.



Александр Вольта  
(1745-1827)

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.

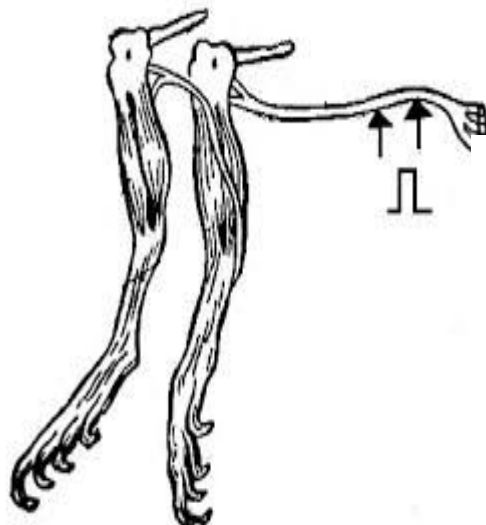
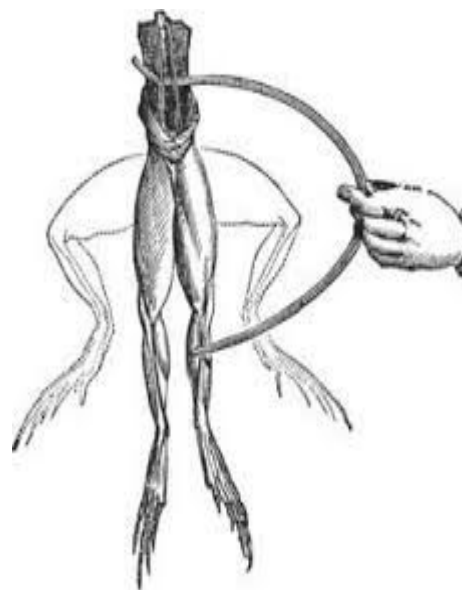
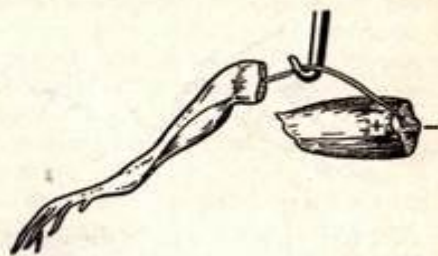


Рис. 24. Второй опыт Гальвани (показан способ набрасывания седалищного нерва на мышцы бедра).

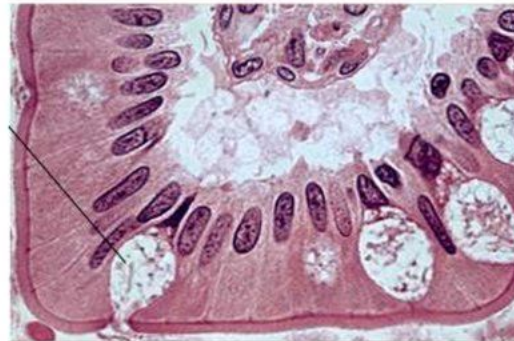


### 3. Возбудимые ткани и их свойства

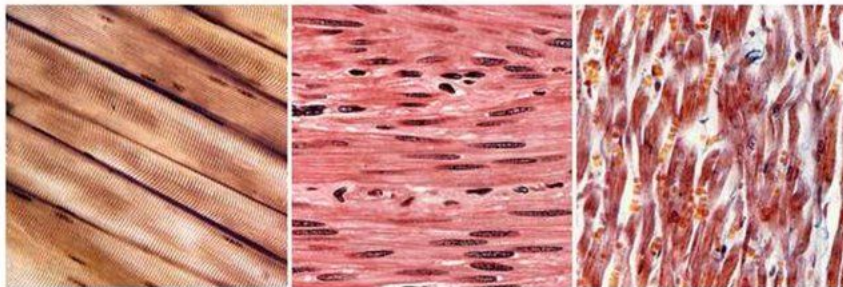
нервная ткань



железистая ткань



мышечная ткань



поперечно-полосатая

гладкая

сердечная

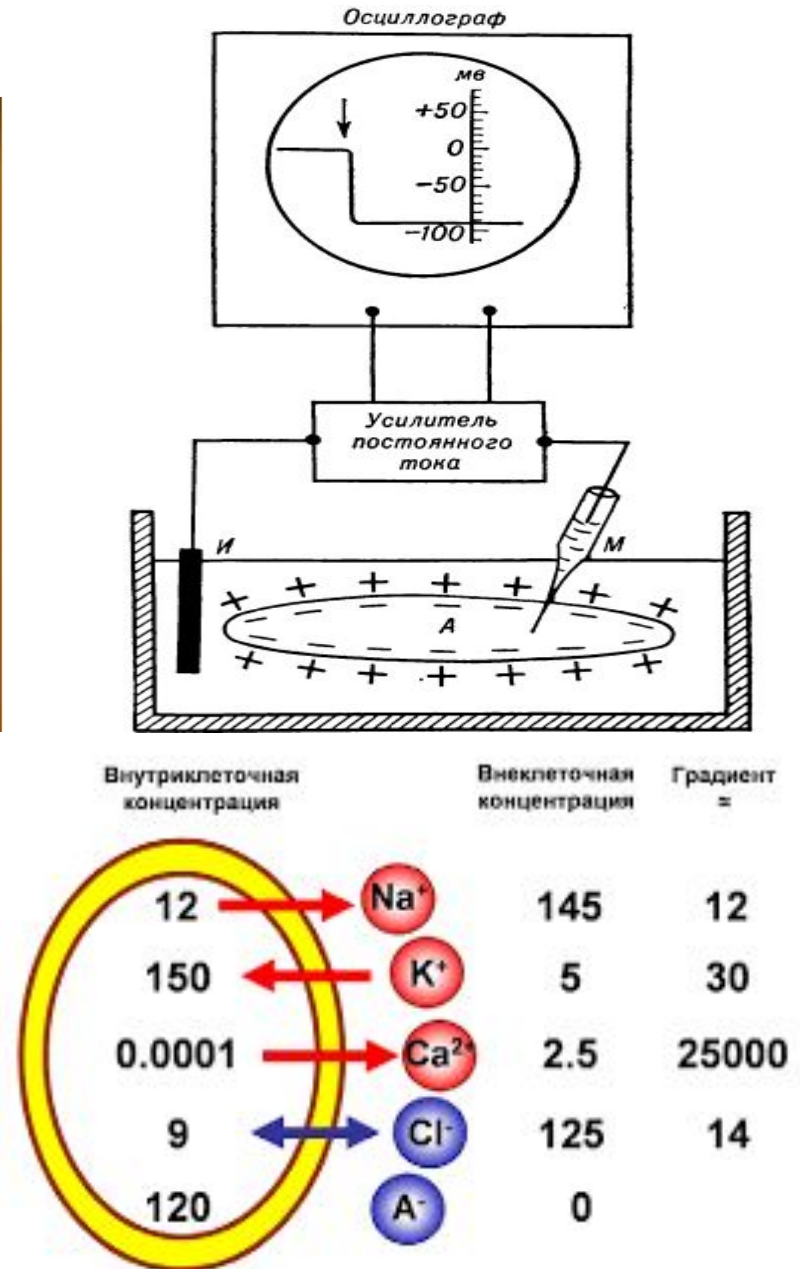
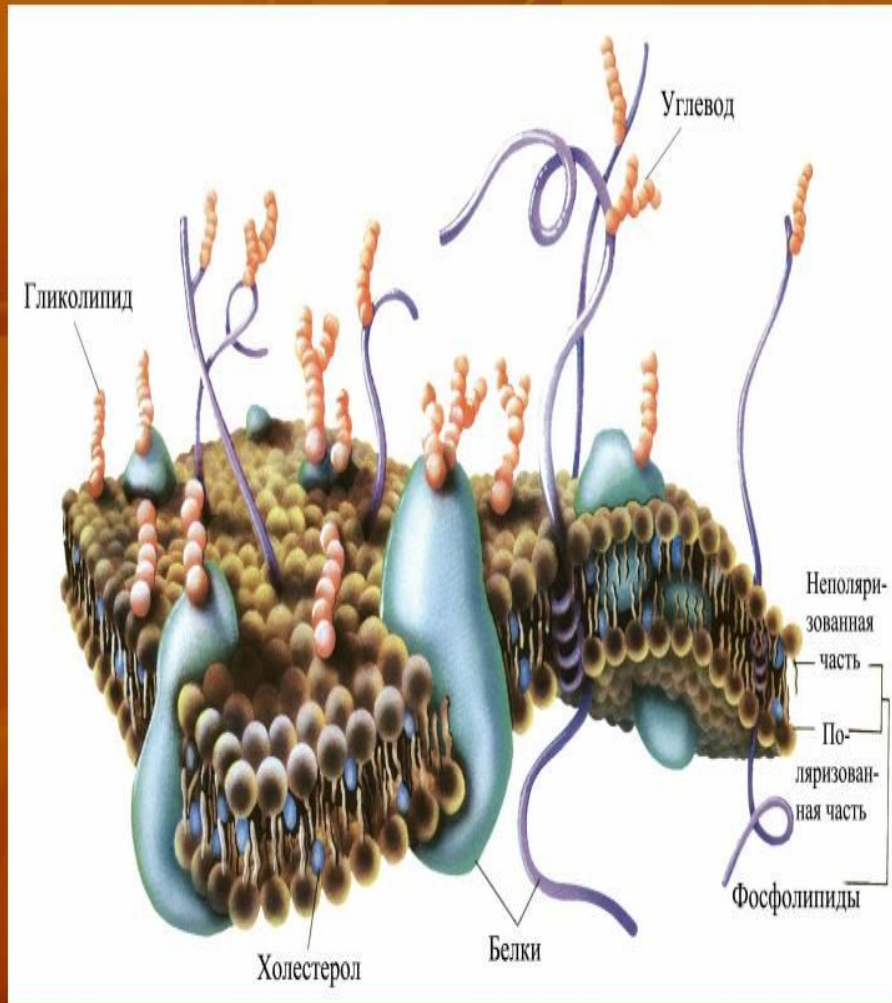
# Свойства возбудимых тканей

- **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



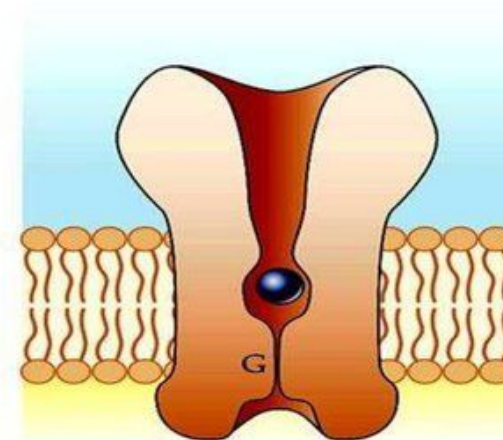
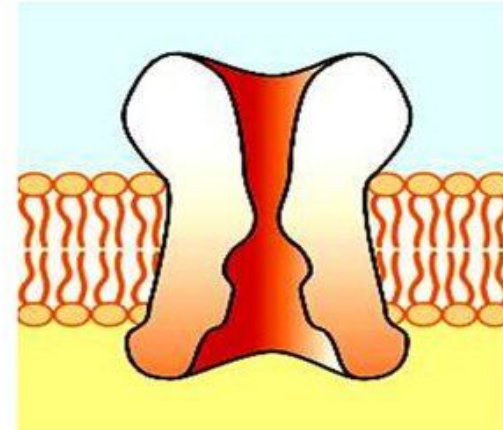
# БИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕМБРАНЫ





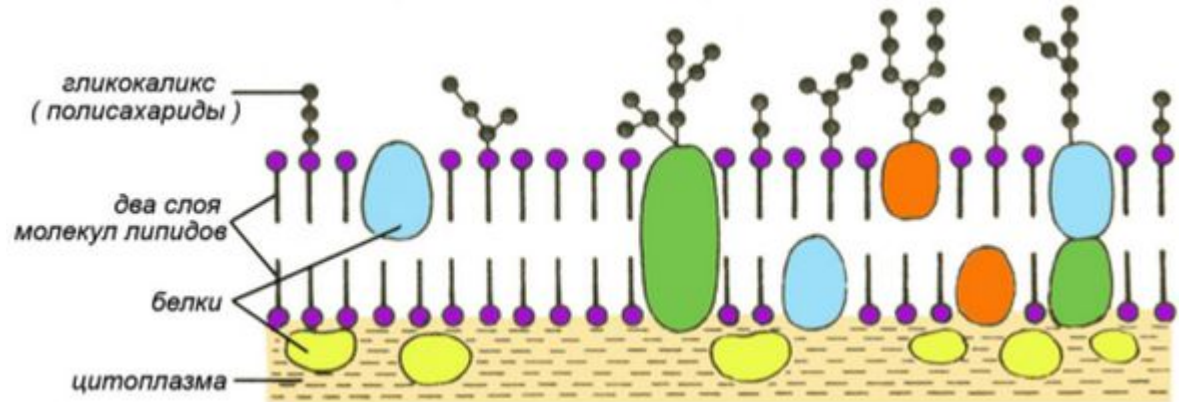
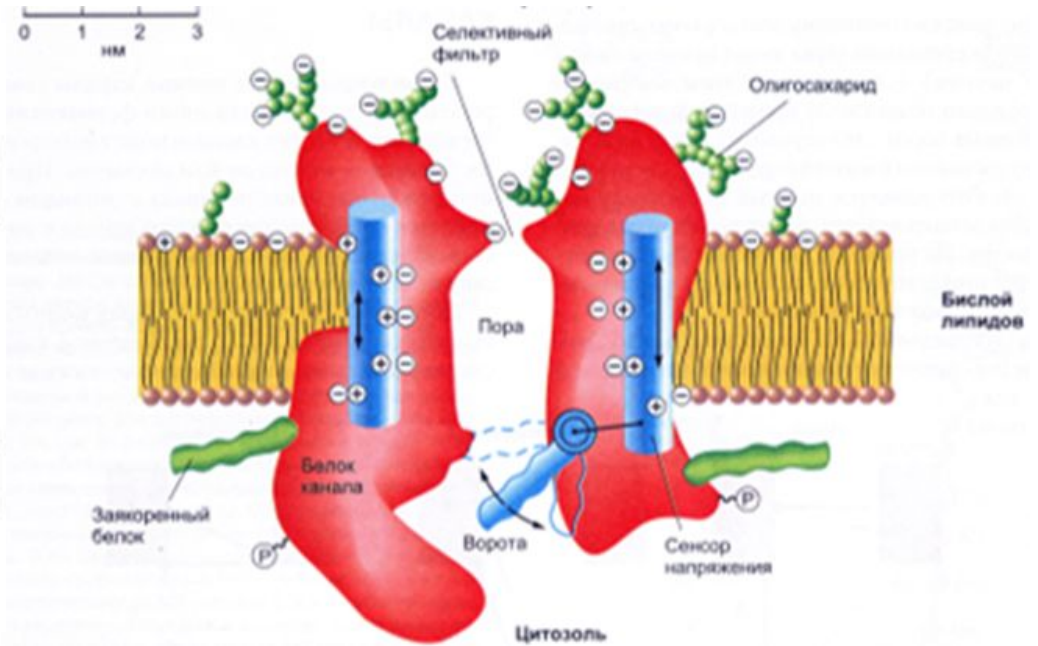
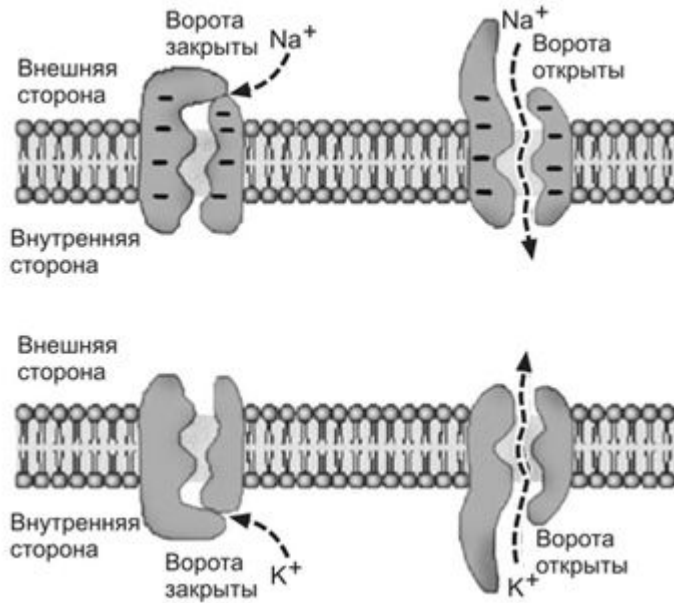
# Два основных типа ионных каналов

- 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**.

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

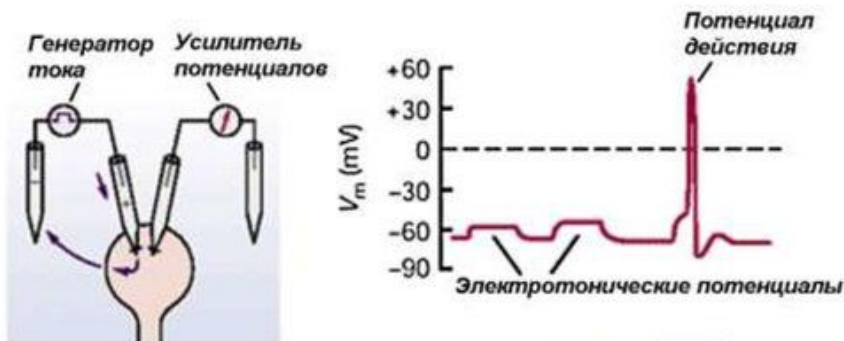
# Значения потенциала покоя

Объект	Концентрация, ммоль/л						$\Phi_M^P$ , мВ по формуле Нернста			$\Phi_M^П$ , мВ 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- кий аксон	360	10	70	420	160	500	-90	+50	-30	-60
Мышца 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>

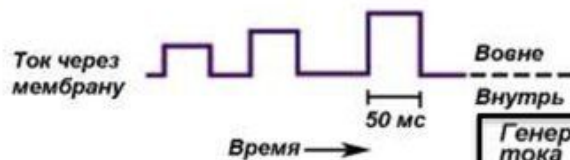
4

# Потенциал покоя и потенциал действия

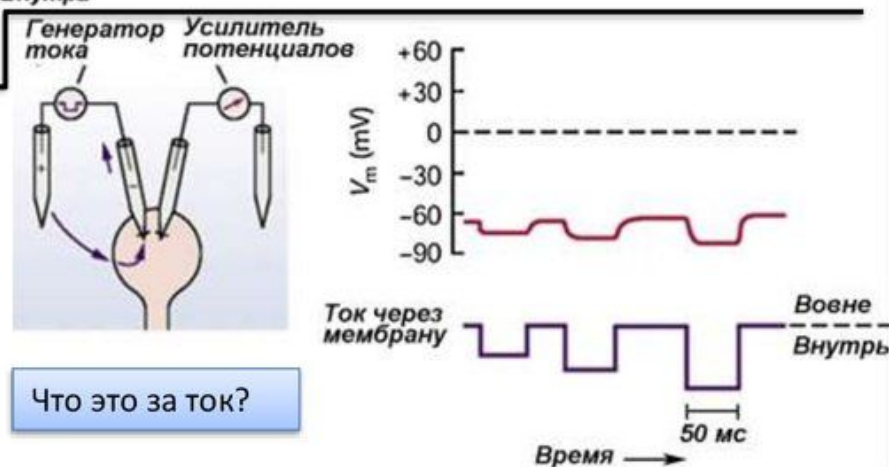


Деполаризация

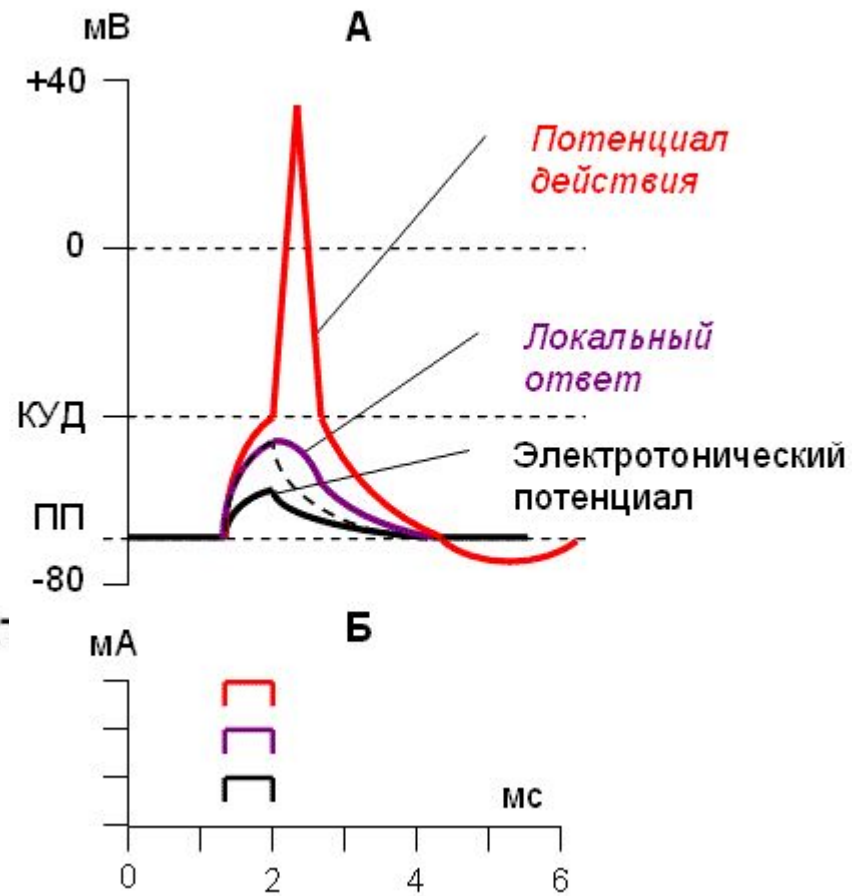
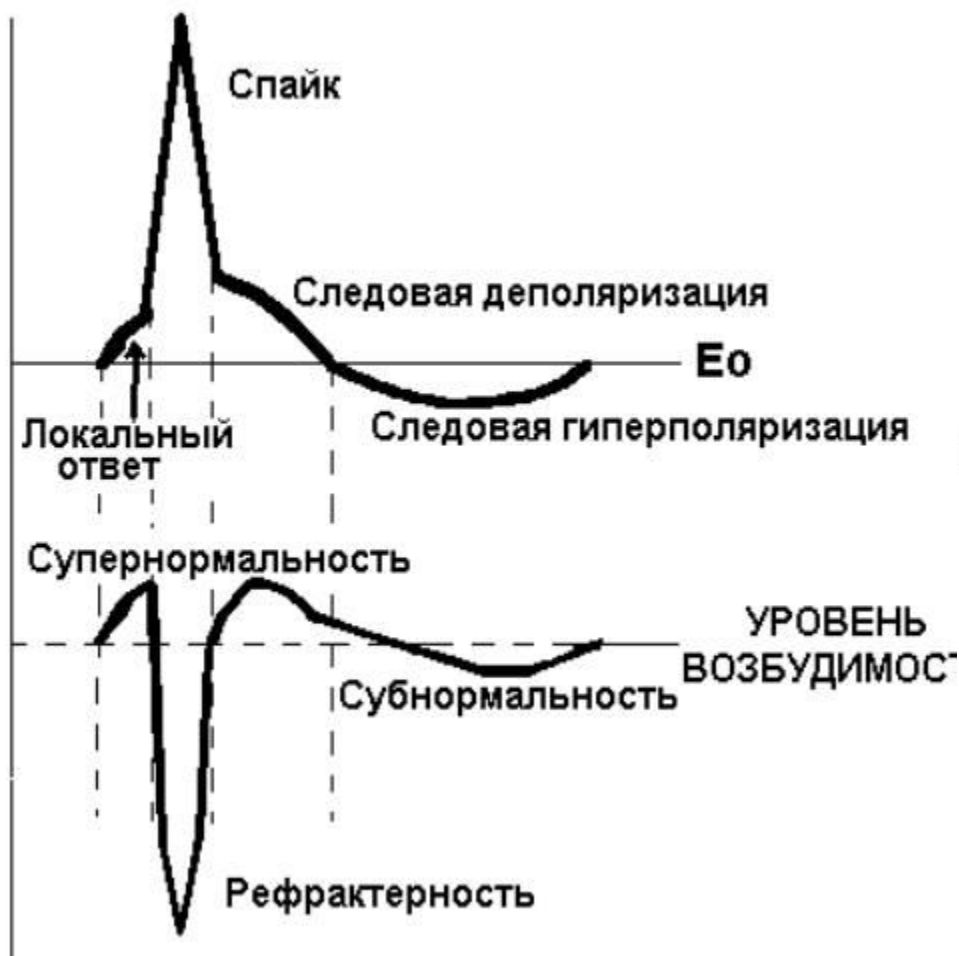
Что это за ток?

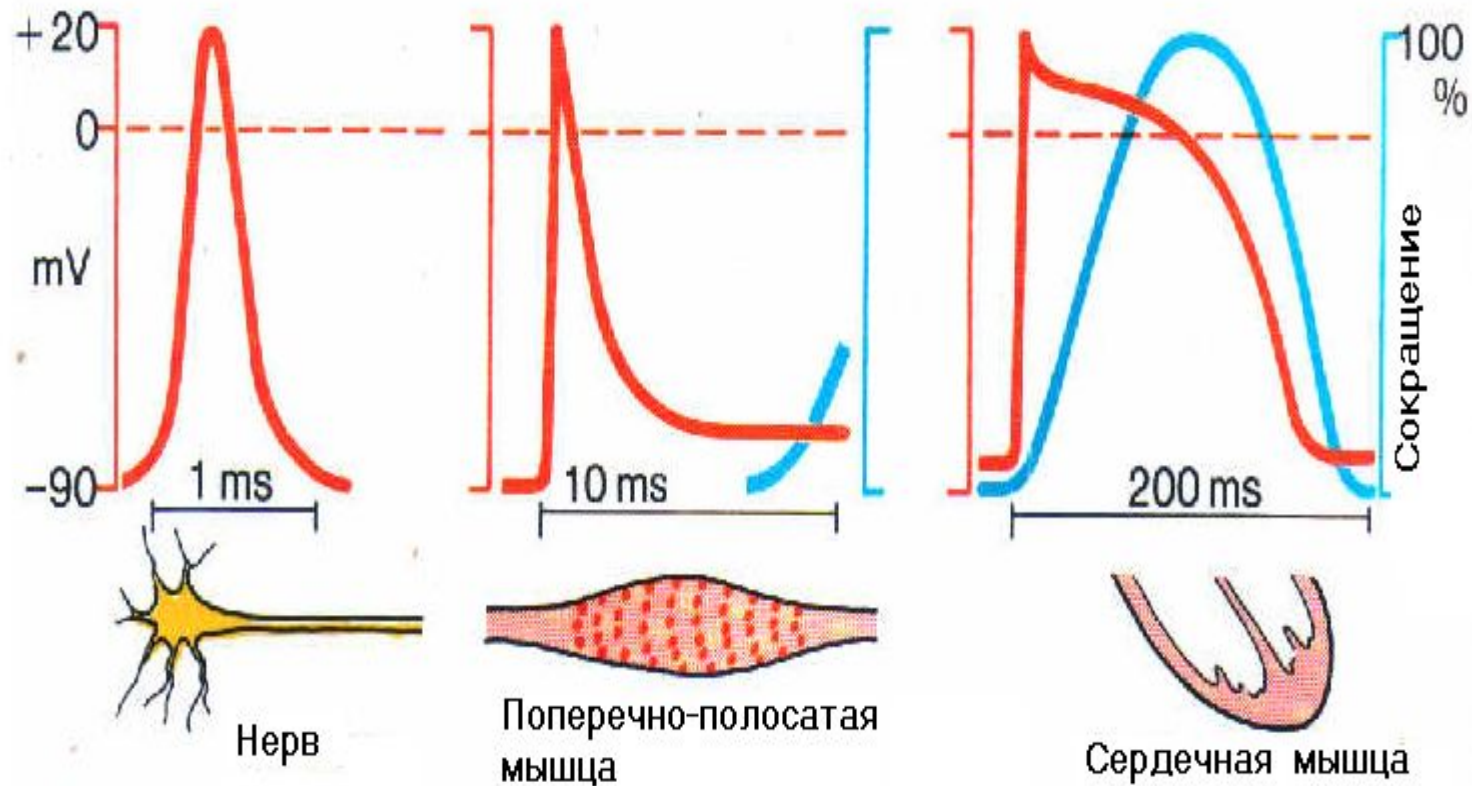


Гиперполяризация



Что это за ток?



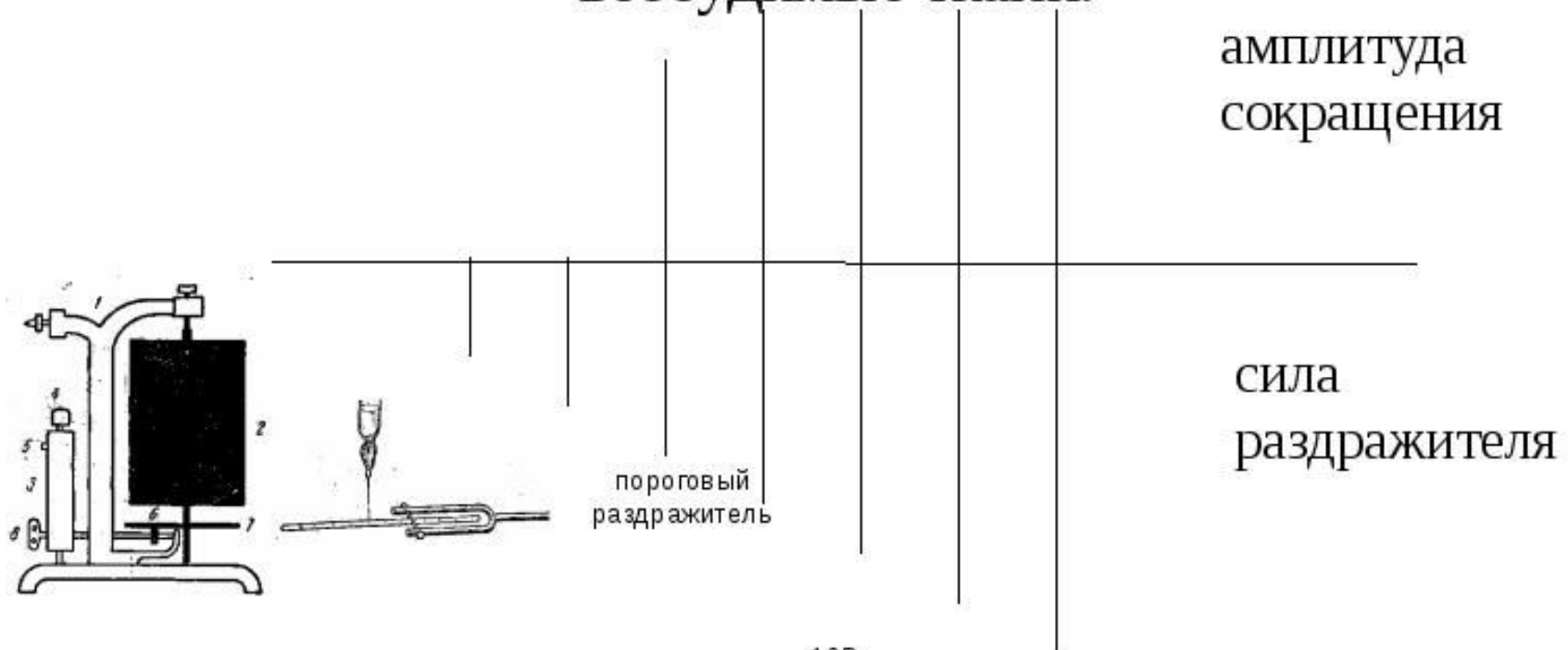




# ЗАКОНЫ РАЗДРАЖЕНИЯ ВОЗБУДИМЫХ ТКАНЕЙ

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.

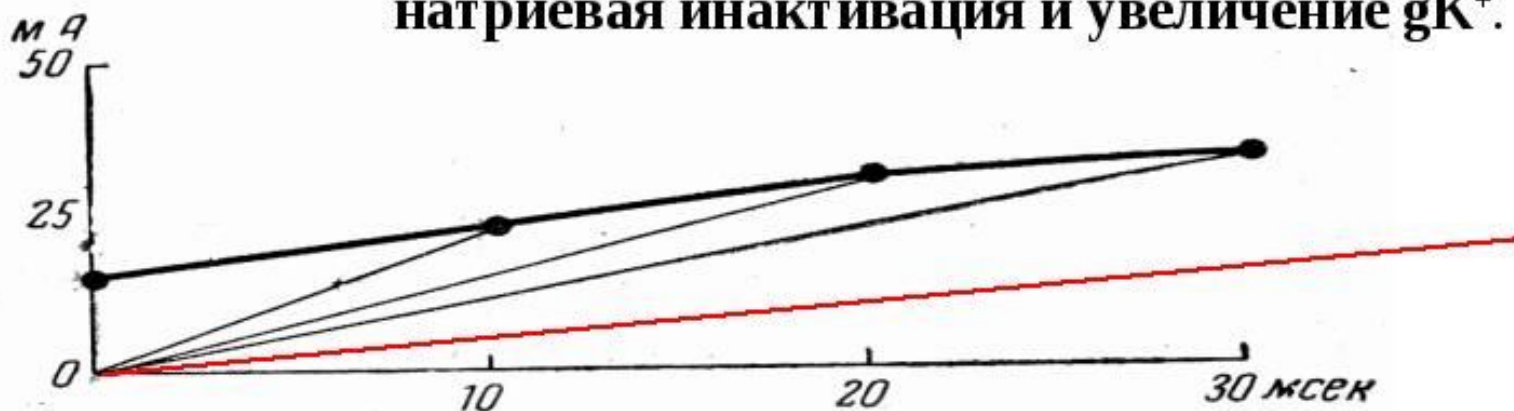
Считал, что этот закон распространяется на все возбудимые ткани.





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.

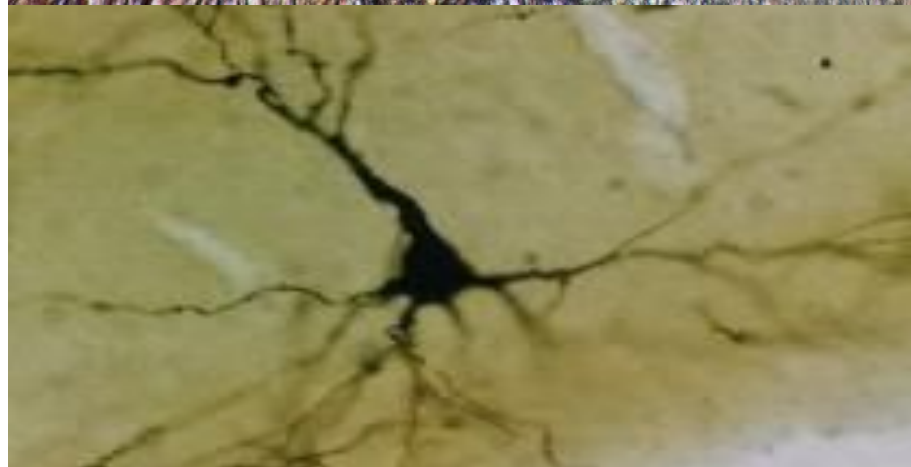
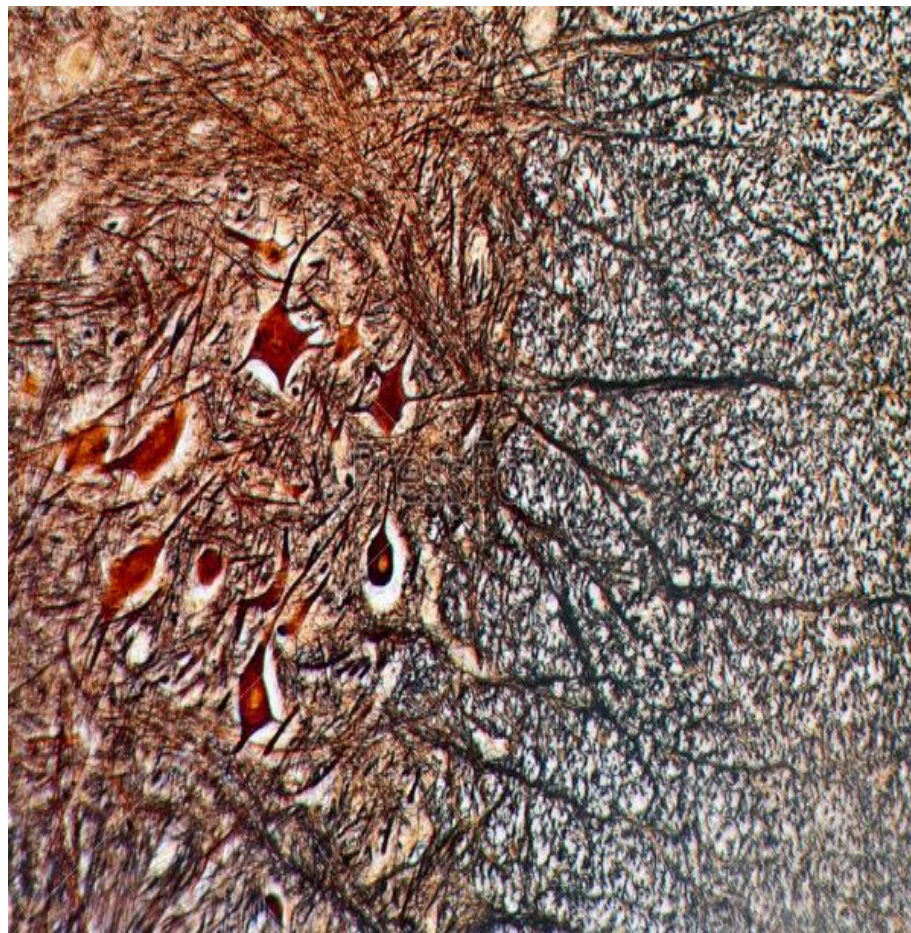
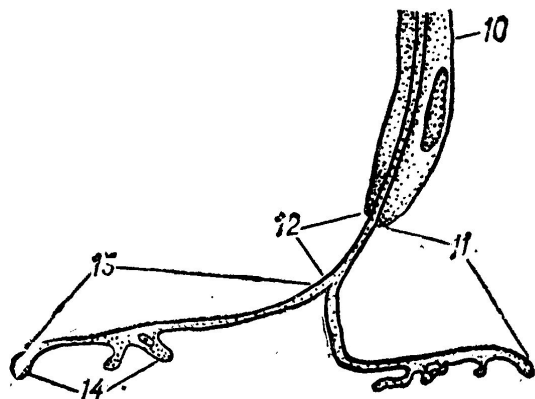
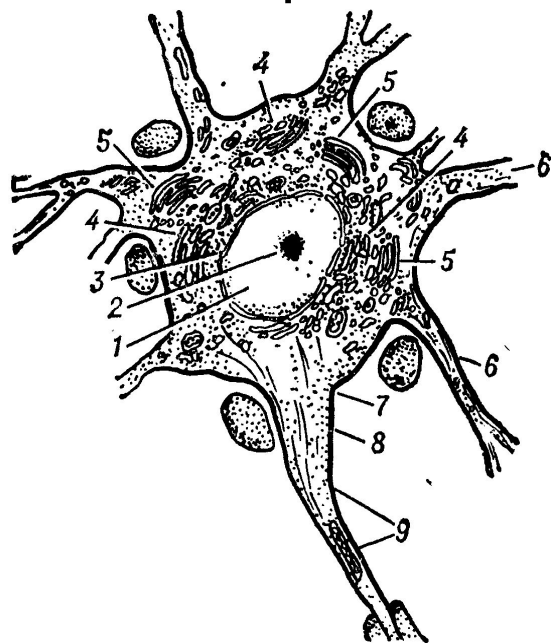
Раздражитель должен действовать достаточно длительно, чтобы вызвать возбуждение.

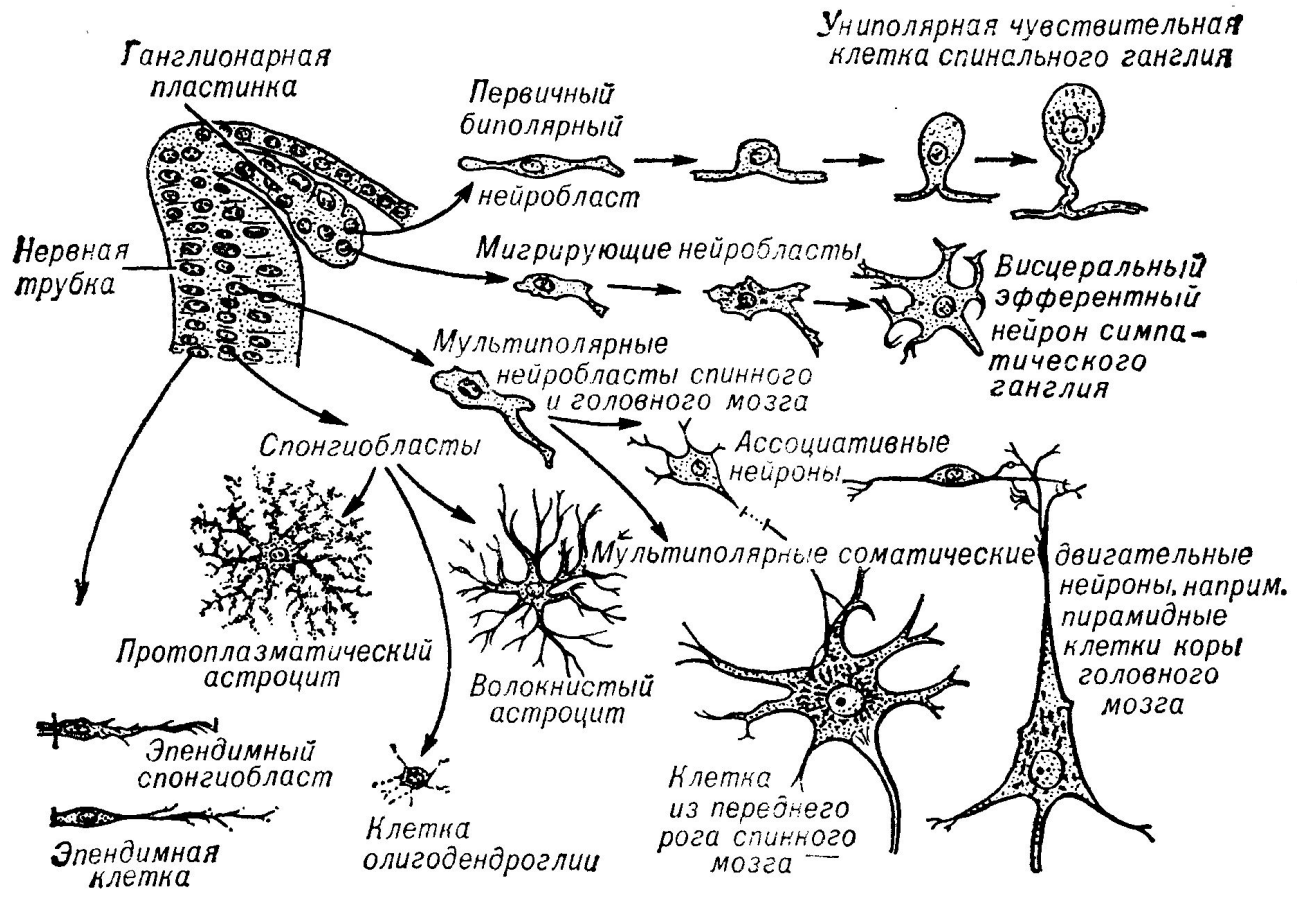
Между пороговой силой и временем действия раздражителя **в определенных пределах (!)** существует **обратная** зависимость. Причиной такой зависимости является мембранная емкость: очень «короткие» токи не успевают разрядить ее до критического уровня деполяризации. Графически зависимость отражает кривая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

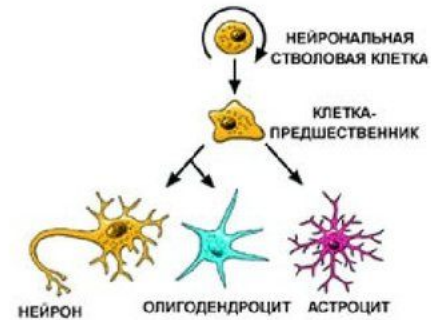




## Структура нервных клеток

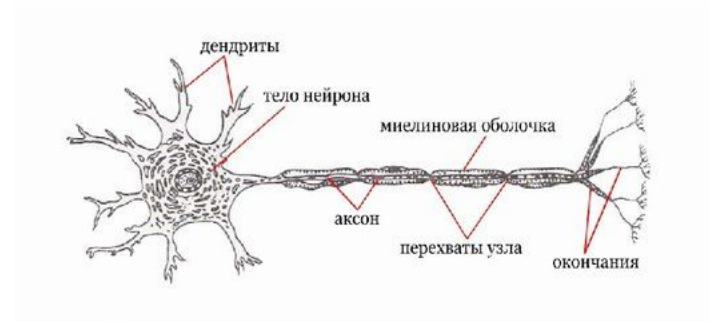
**Нервная клетка** состоит из:

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

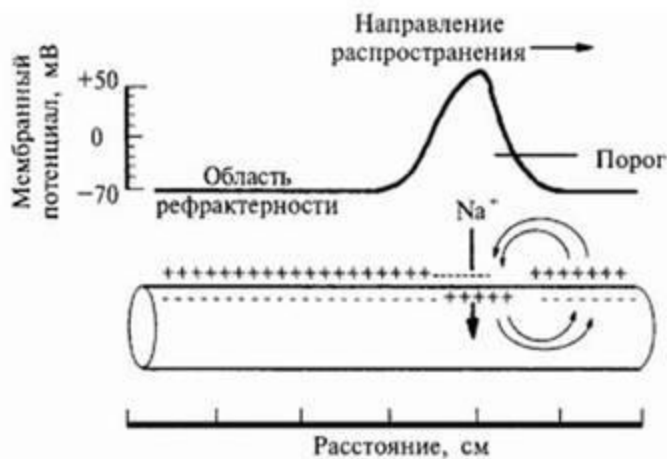


С помощью дендритов нейроны воспринимают, а посредством аксонов передают возбуждение. На периферии аксоны покрыты **шванновскими клетками**, образующими миелиновую оболочку с высокими изолирующими свойствами.

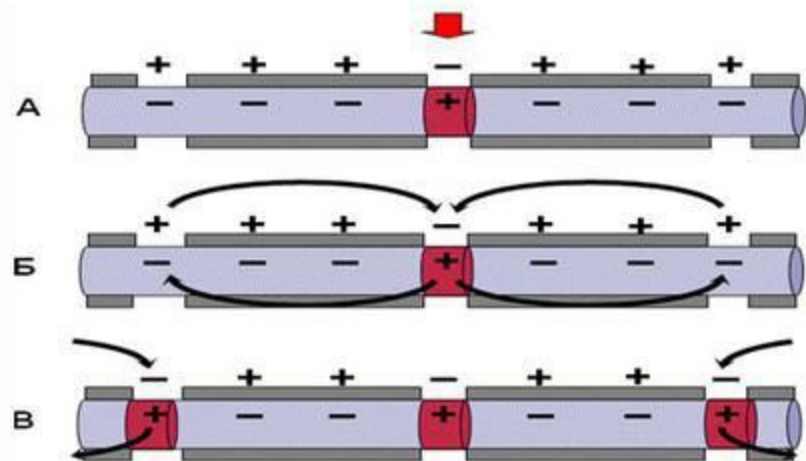
Строение нейрона



# Механизм проведения нервного импульса по немиелиновым и миелиновым нервным волокнам



Распространение возбуждения по немиелиновому волокну

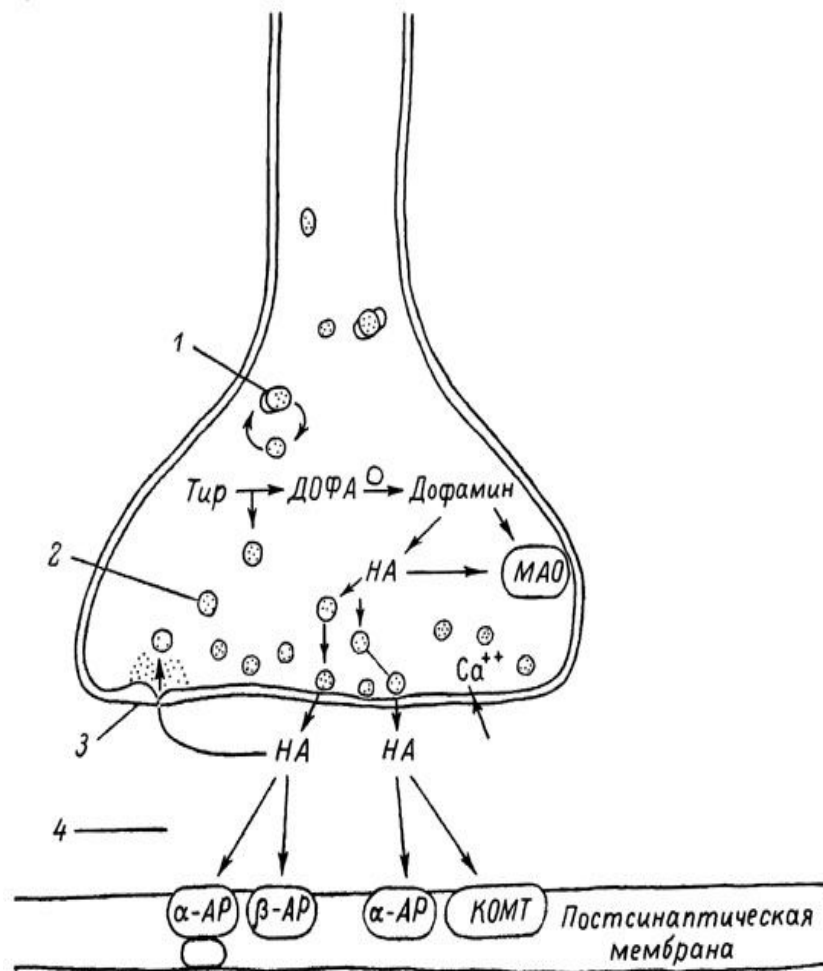
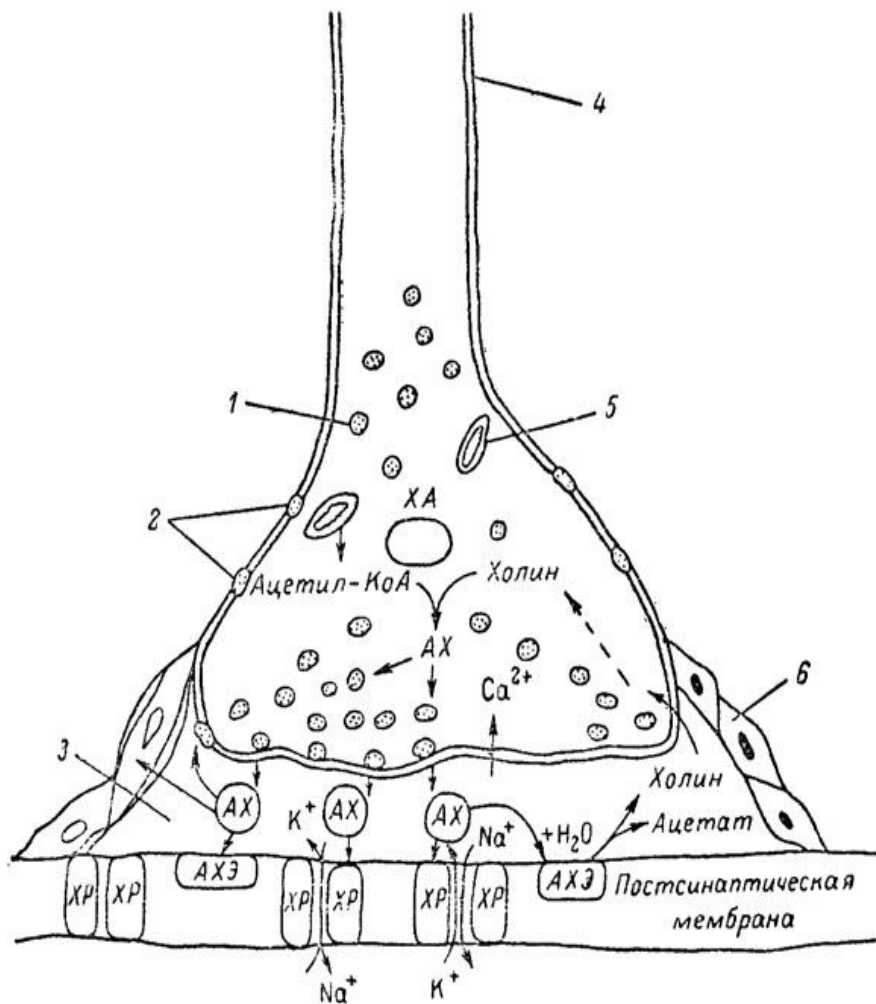


Распространение возбуждения по миелиновому волокну

## Преимущества:

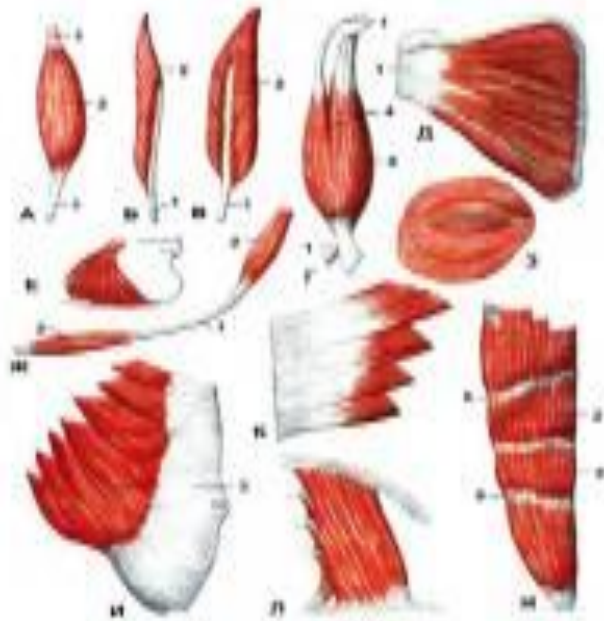
- 1) большая скорость;
- 2) экономичность.

# Синаптическая передача

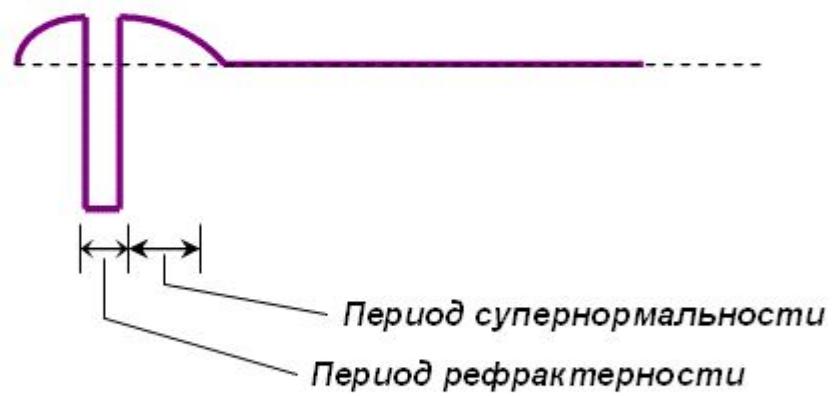
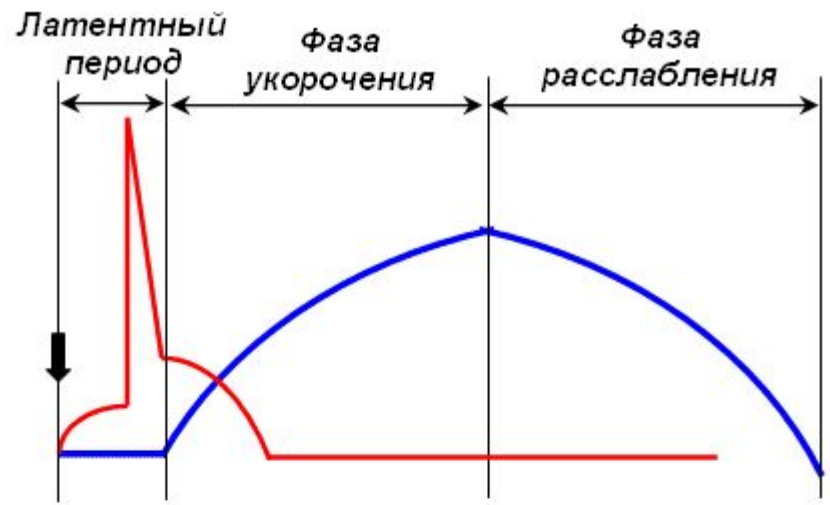




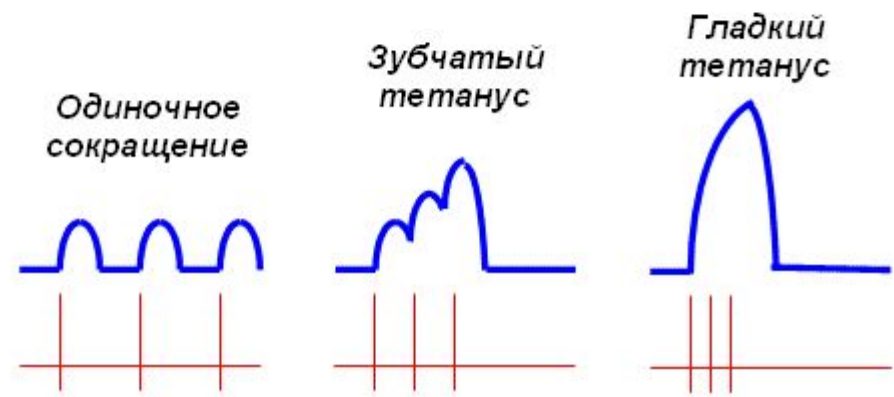
# Виды мышц



**А**



**Б**





248

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

1 — момент первого раздражения, 2 — момент второго раздражения

Благодарю за внимание!

