

Лекция № 2 (первая часть)

***Возбудимые ткани.
Биоэлектрические явления в
возбудимых тканях и методы
их исследования***

9.09.16

Вопрос 1

*История изучения
биоэлектрических
явлений (опыты Л.
Гальвани)*

История изучения биоэлектрических явлений

- Первые данные о существовании биоэлектрических явлений («животного электричества») были получены в третьей четверти XVIII в. при изучении природы электрического разряда, наносимого некоторыми рыбами при защите и нападении.

История изучения биоэлектрических явлений

- Начало систематического изучения биоэлектрических явлений связывают с именем итальянского физика и анатома **Луиджи Гальвани (Galvani L.)**.
- Л.Гальвани первым убедился в существовании "живого электричества". Термин «животное электричество» принадлежит Л.Гальвани.
- Это произошло в 1771 г. По данным других источников — в 1780 г., но опубликованы результаты открытия были только в 1791 г.

Луиджи Гальвани (Luigi Galvani, 1737—1798)

- итальянский врач, анатом, физиолог и физик один из основателей электрофизиологии, основоположник экспериментальной электрофизиологии. Первым исследовал электрические явления при мышечном сокращении («животное электричество»).



Сочинения Гальв́ани

- Трактат о силах электричества при мышечном движении (De Viribus Electricatitit in Motu Musculari Commentarius) (1791)

*Гальвани с женой и помощником
проводят эксперимент в домашней
лаборатории. А. Муцци, 1862 год.*



Лаборатория Гальвани

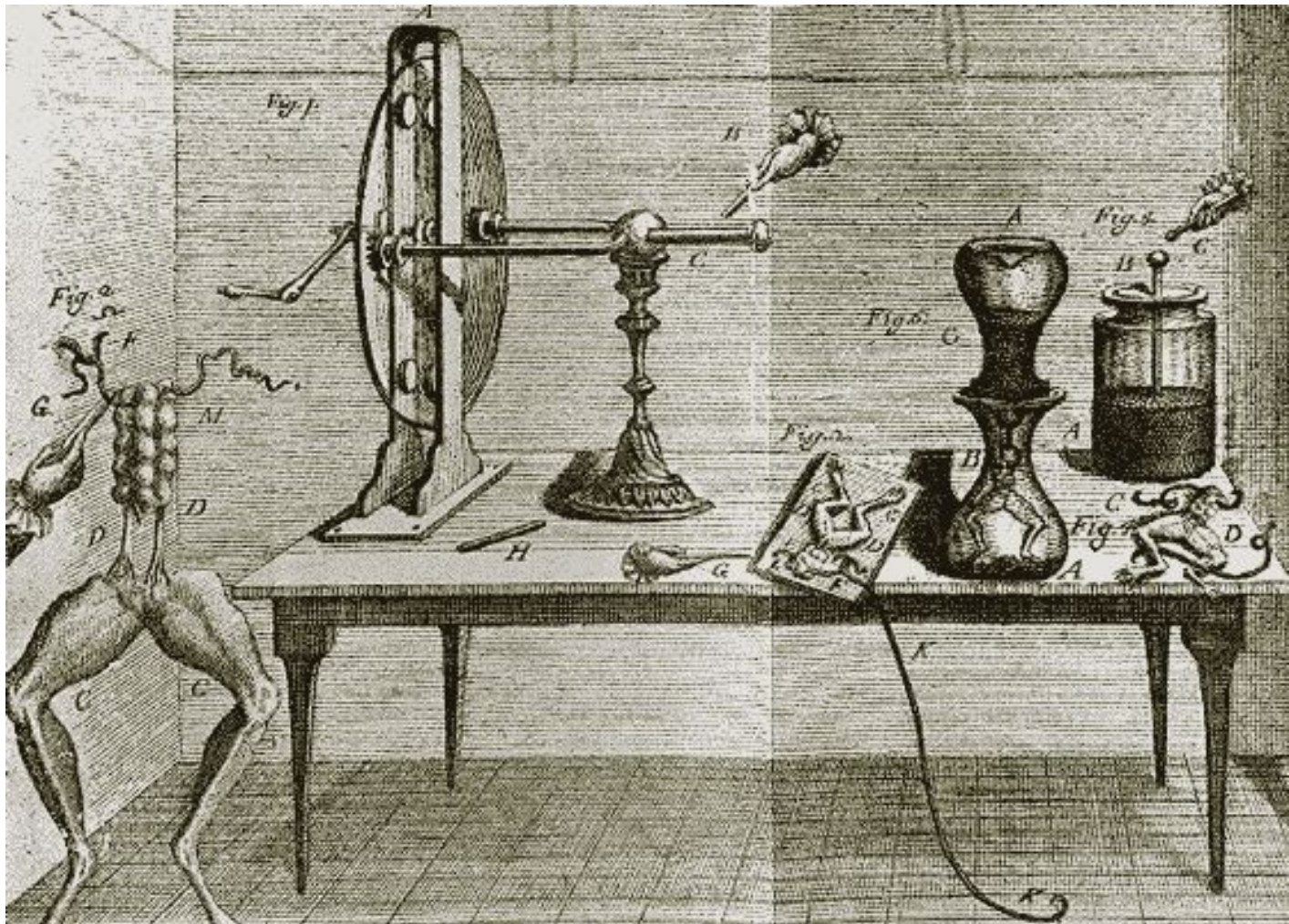
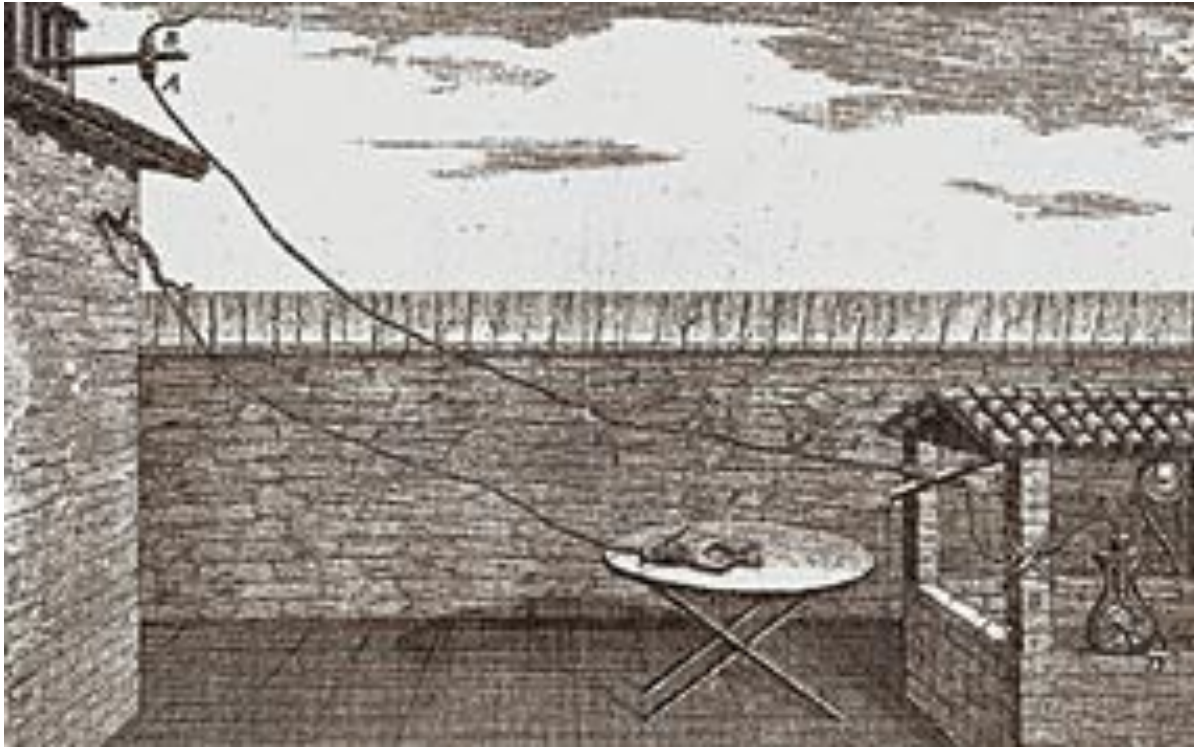


Схема опыта по изучению атмосферного электричества.



- *Детектором служит лягушачья лапка, нерв которой соединен с громоотводом, а мышца соединена через проводник с водой в колодце. Рисунок из трактата Гальвани.*

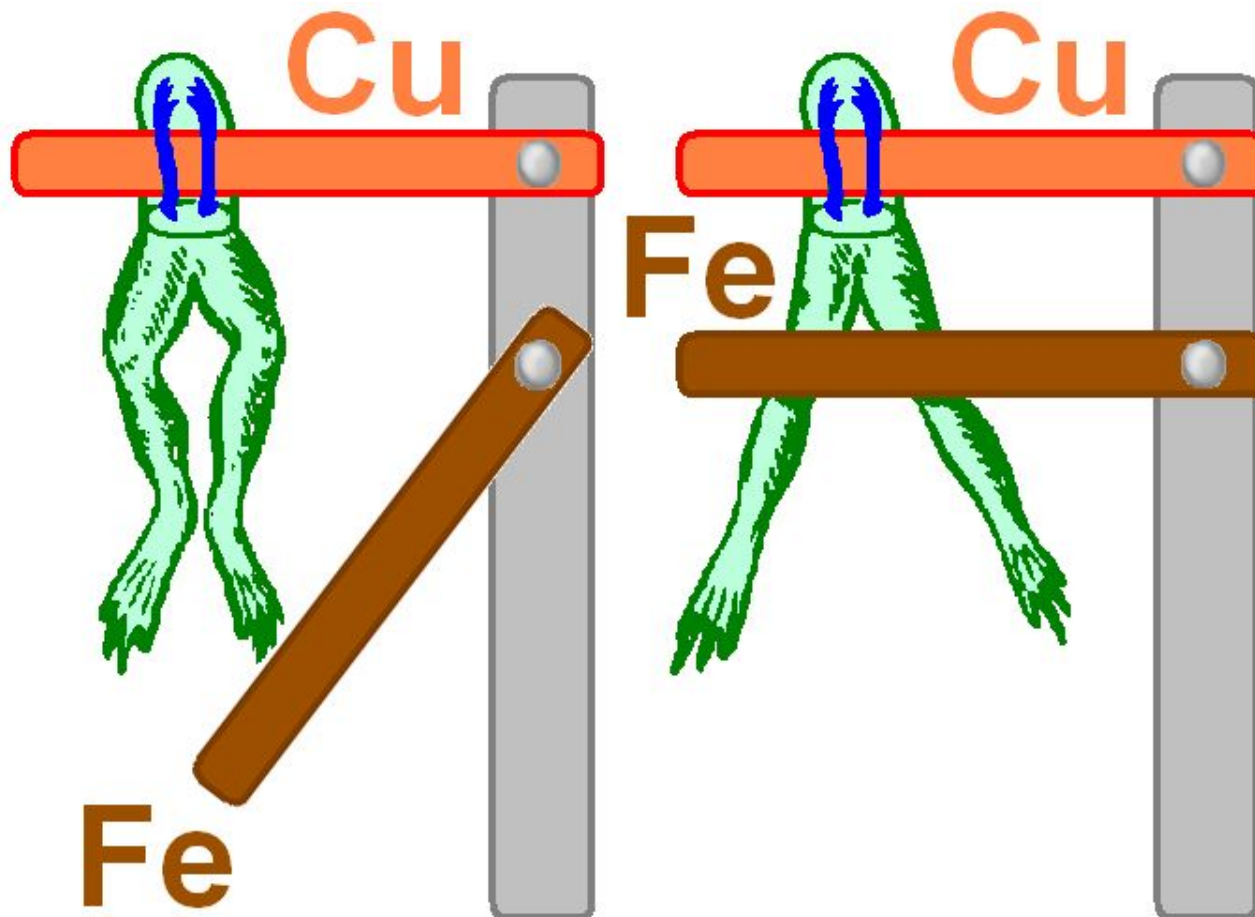
История изучения биоэлектрических явлений

Первый («балконный») опыт Л. Гальвани

- Учёного интересовало влияние электрических грозовых разрядов на мышцы лягушки.
- Препарат задних лапок лягушек на медном крючке был подвешен в грозу к железному балкону.
- Влияние молнии на мышцы лягушки он не заметил, но отметил другое — от ветра в дождь препарат задевал балконные перила, и в этот момент мышцы сокращались.

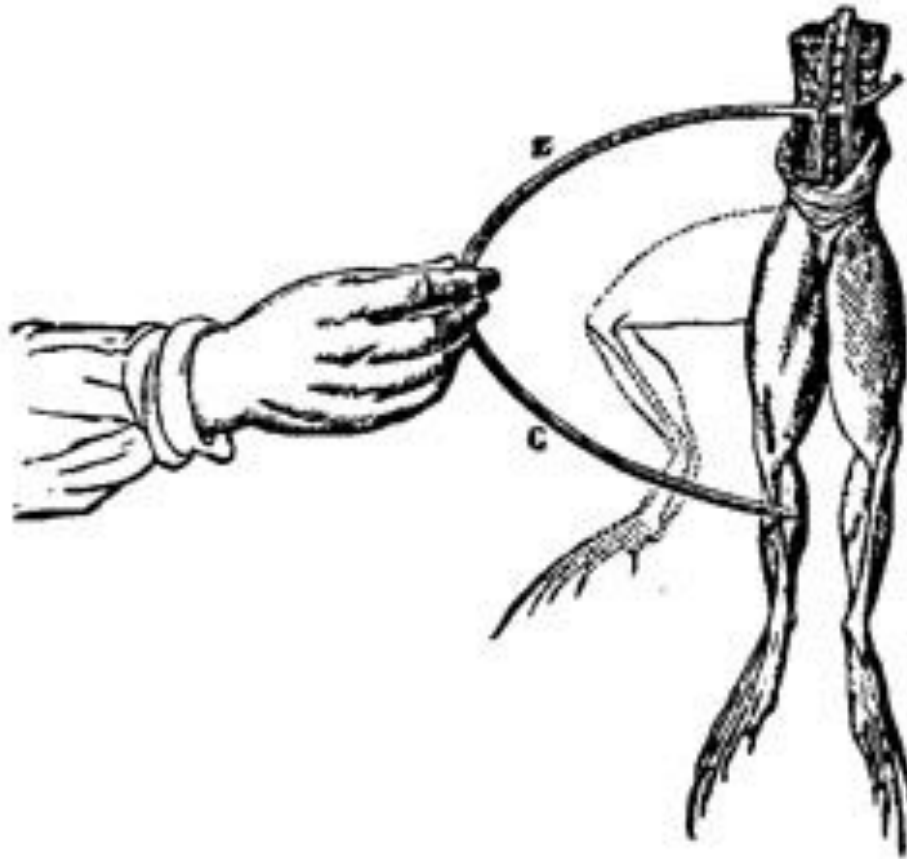
История изучения биоэлектрических явлений

- Первый («балконный») опыт Л.Гальвани



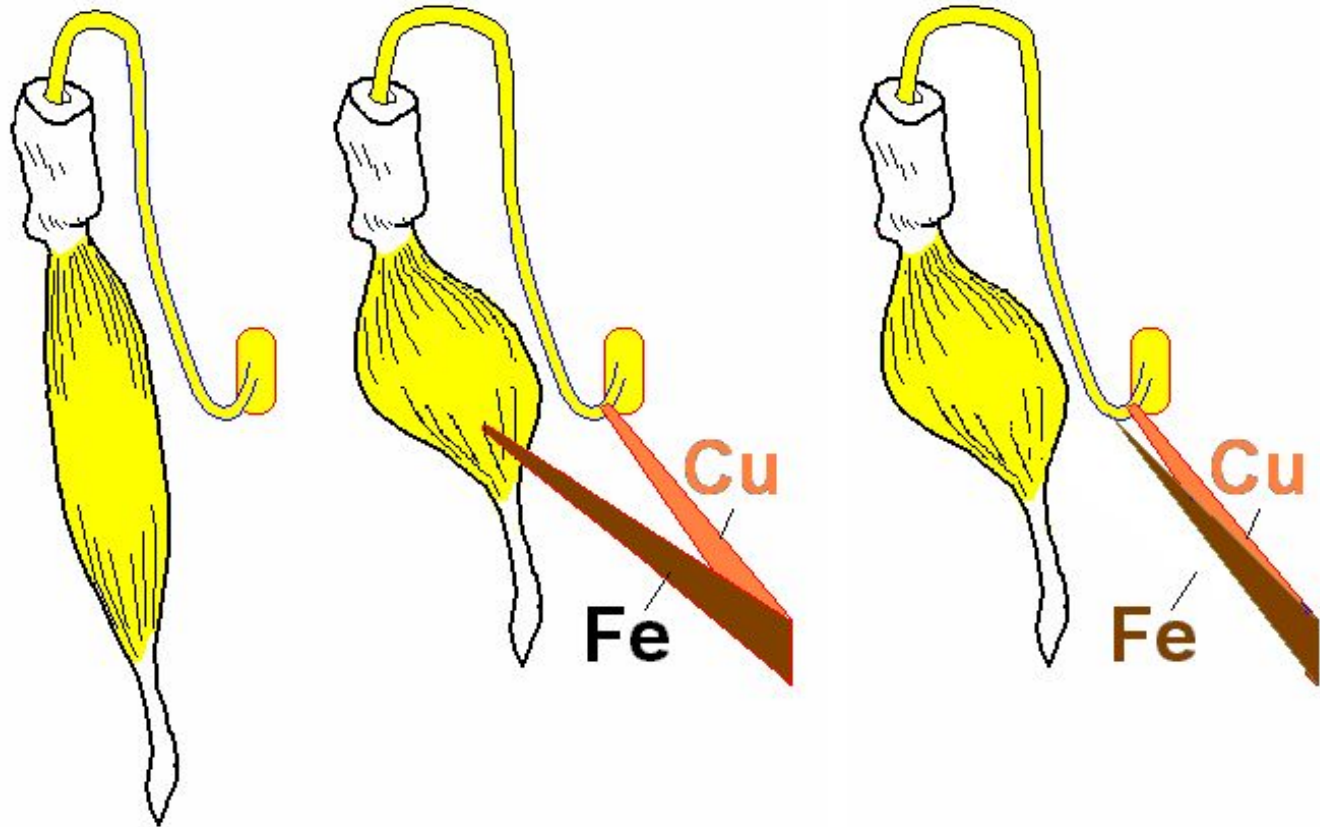
История изучения биоэлектрических явлений

- **Первый («балконный») опыт Л.Гальвани**





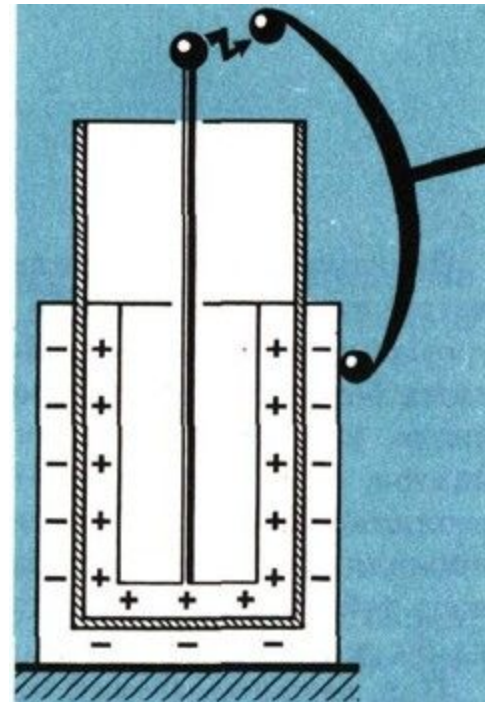
Первый («балконный») опыт Л.Гальвани



История изучения биоэлектрических явлений

- Л.Гальвани считал, что мышцы и нервы заряжены электричеством ("живое электричество") наподобие лейденской банки (конденсатора). Замыкания цепи тока вызывает сокращение.

Пара лейденских банок, изготовленная студентами в 1890–1910 гг.



История изучения биоэлектрических явлений



- А. Вольта (Volta A.) опроверг это объяснение и доказал, что источником электрического тока является "гальваническая пара" - железо-медь.



- *Вольтов столб, состоящий из металлических дисков, разделенных кружками мокрой ткани.*



- *Вольта демонстрирует перед Наполеоном свое изобретение - Вольтов столб. Художник Дж. Бертини. 1801 год.*

История изучения биоэлектрических явлений

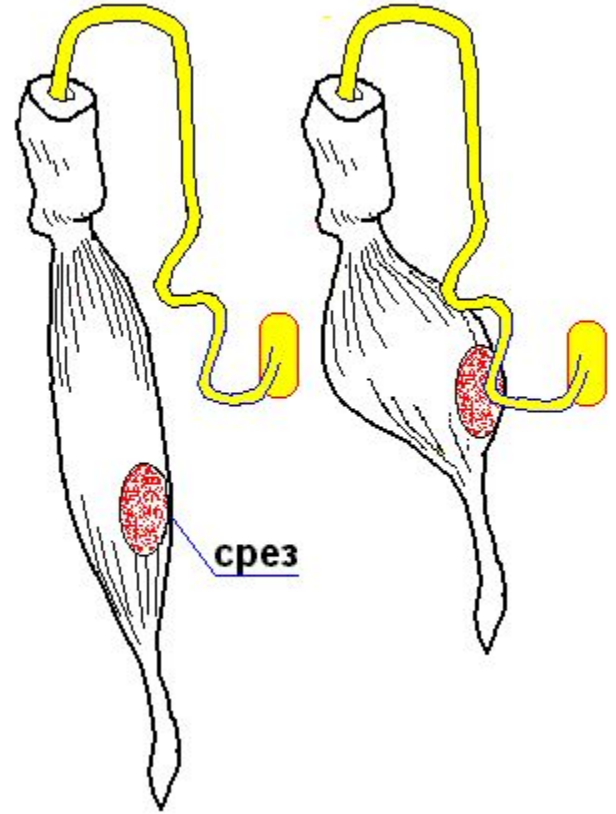
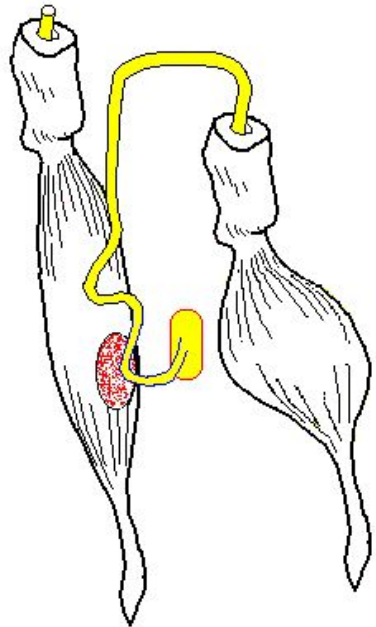
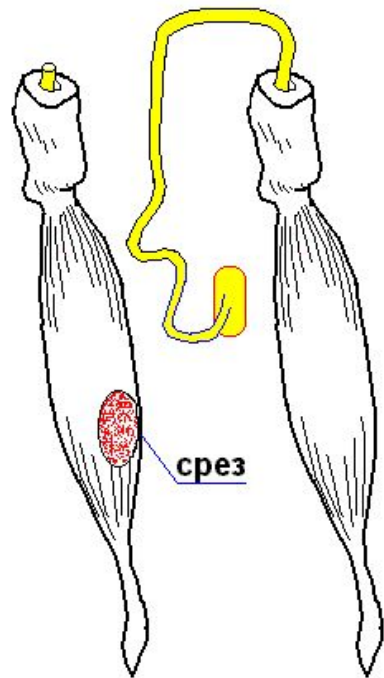
Второй опыт Л.Гальвани (без металла)

Л.Гальвани поставил в ответ на возражения А.Вольта

- Набрасывался нерв между поврежденной (срезом) и неповрежденной поверхностями мышцы
- В ответ - сокращение интактной мышцы



Второй опыт Л.Гальвани (без металла)



История изучения биоэлектрических явлений

Многолетний научный спор (1791-1797) между Л.Гальвани и А.Вольта завершился двумя крупными открытиями:

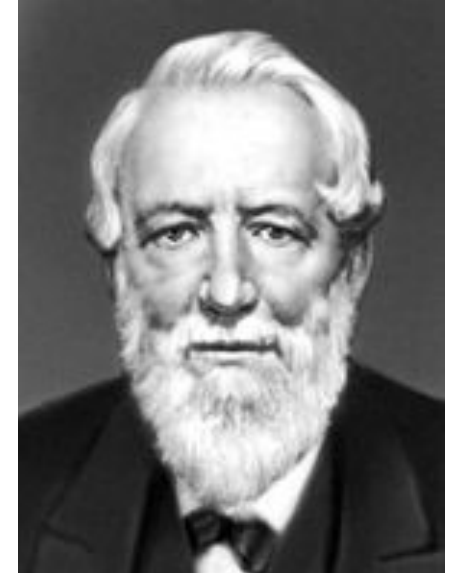
1. были установлены факты, свидетельствующие о наличии электрических потенциалов в нервной и мышечной тканях, и
2. открыт новый способ получения электрического тока при помощи разнородных металлов - создан гальванический элемент («вольтов столб», 1800).

История изучения биоэлектрических явлений

Прямые измерения потенциалов в живых тканях стали возможны только после изобретения **гальванометров**

Систематическое исследование потенциалов в мышцах и нервах в состоянии покоя и возбуждения было начато немецким физиологом

Эмилем **Дюбуа-Реймоном**
(**du Bois-Reymond E.**) в 1848 г.



История изучения биоэлектрических явлений

40—50-е годы XX века:

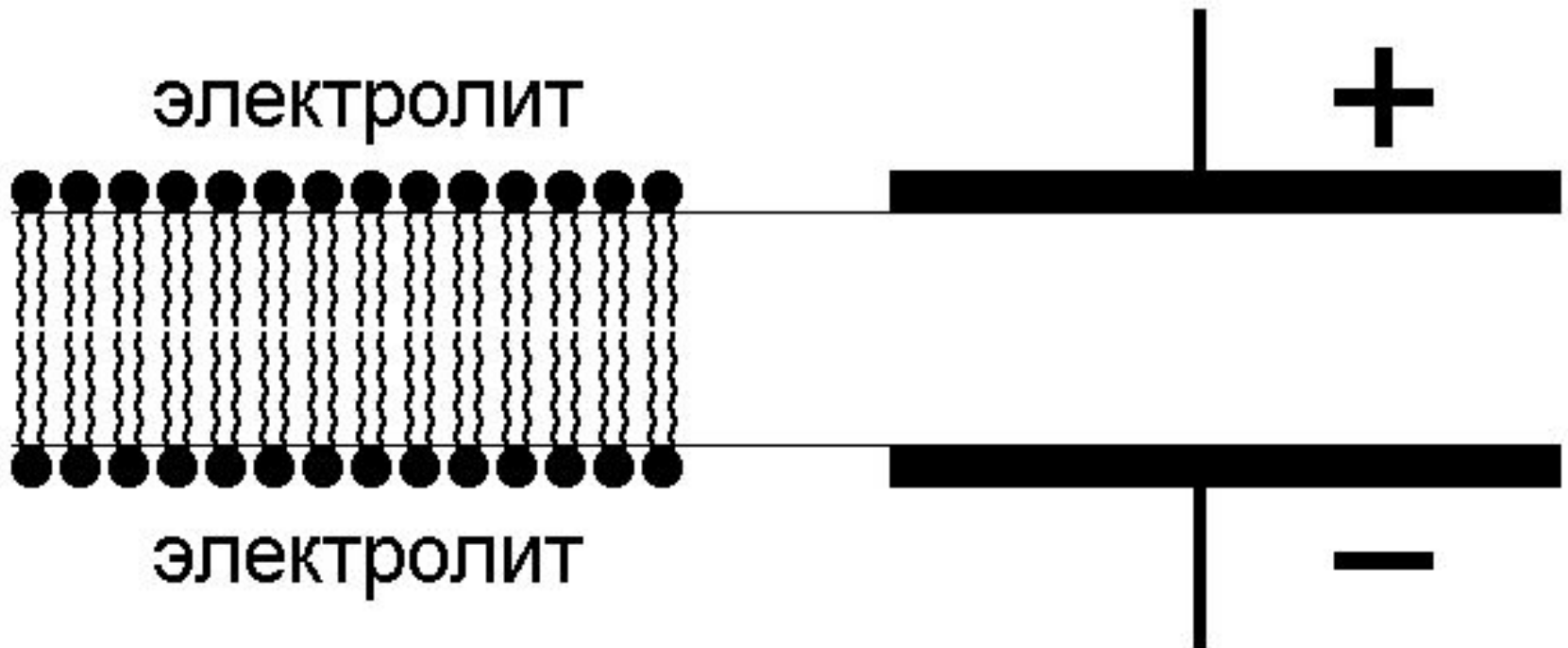
с помощью внутриклеточных **микроэлектродов** удалось произвести прямую регистрацию электрических потенциалов клеточных мембран.

Вопрос 2

**Понятие
«мембранный
потенциал»**

Понятие «мембранный потенциал»

- Биологическую мембрану можно рассматривать как электрический конденсатор.



Понятие «мембранный потенциал»

- Биологическую мембрану можно рассматривать как электрический конденсатор.
- Пластинами являются электролиты наружного и внутреннего растворов (внеклеточного и цитоплазмы) с погруженными в них "головами" липидных молекул.
- Проводники разделены диэлектрическим слоем, образованным неполярной частью липидных молекул — двойным слоем их "хвостов"

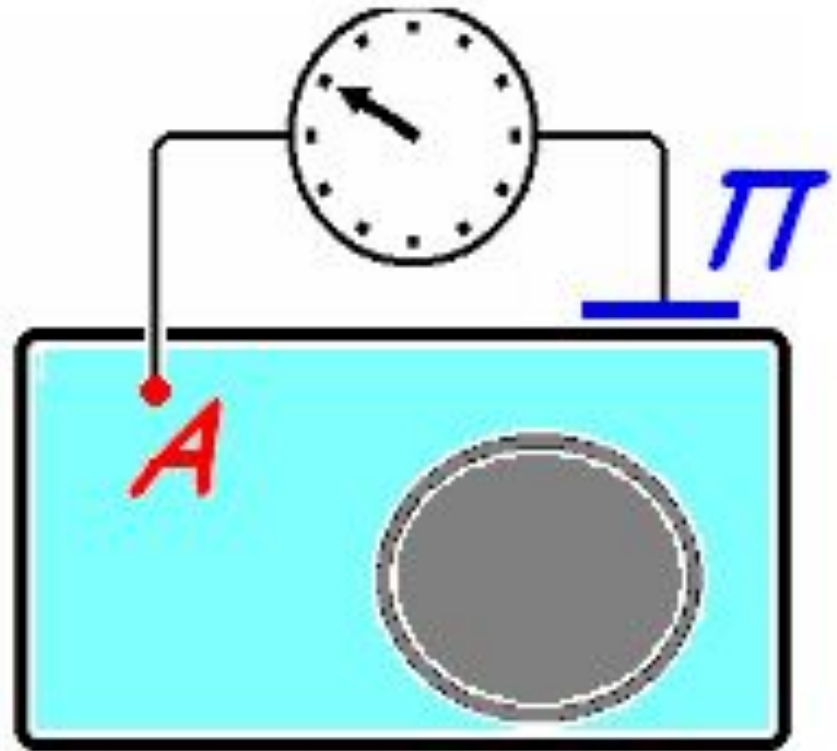
Понятие «мембранный потенциал»

***Мембранный потенциал –
это разность
потенциалов между
цитоплазмой и
окружающим клетку
наружным раствором.***

Понятие «мембранный потенциал»

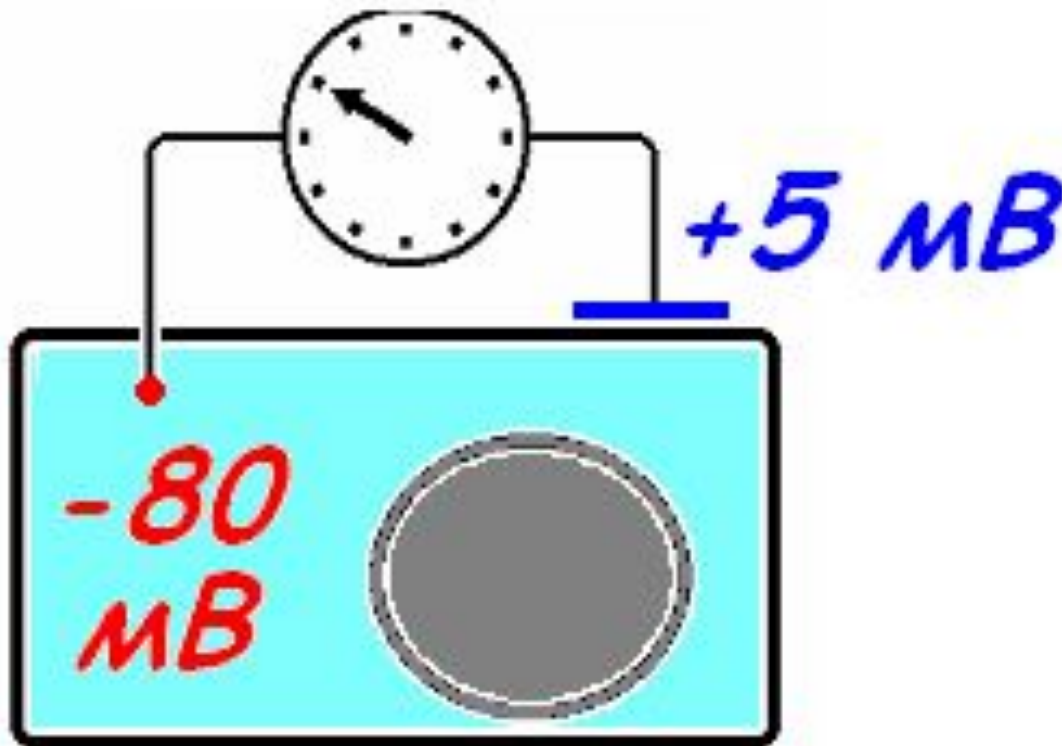


При измерении мембранного потенциала активный электрод располагают внутри клетки, пассивный – снаружи.



Понятие «мембранный потенциал»

МП = ?



Понятие «мембранный потенциал»

В электрофизиологии принято задавать потенциал окружающей клетку среды (наружной поверхности мембраны) и придавать ему значение «0 мВ».

Вопрос 3

*Мембранный
потенциал покоя*

Мембранный потенциал покоя

Мембранный потенциал покоя (ПП)

- мембранный потенциал
клетки в состоянии
физиологического покоя

Мембранный потенциал покоя

У различных клеток мембранный потенциал покоя варьирует

от -50 мВ

до -90 мВ

Мембранный потенциал покоя

- Довольно часто термин «мембранный потенциал» используют как синоним термина «потенциал покоя».
- На наш взгляд, это недопустимо !!!
- Термин «мембранный потенциал» просто необходим для обозначения любого значения трансмембранной разницы потенциала, наблюдаемое как в состоянии покоя клетки, так и при возбуждении, в любое время и в любом состоянии.

МТТ ≠ **ПТТ**

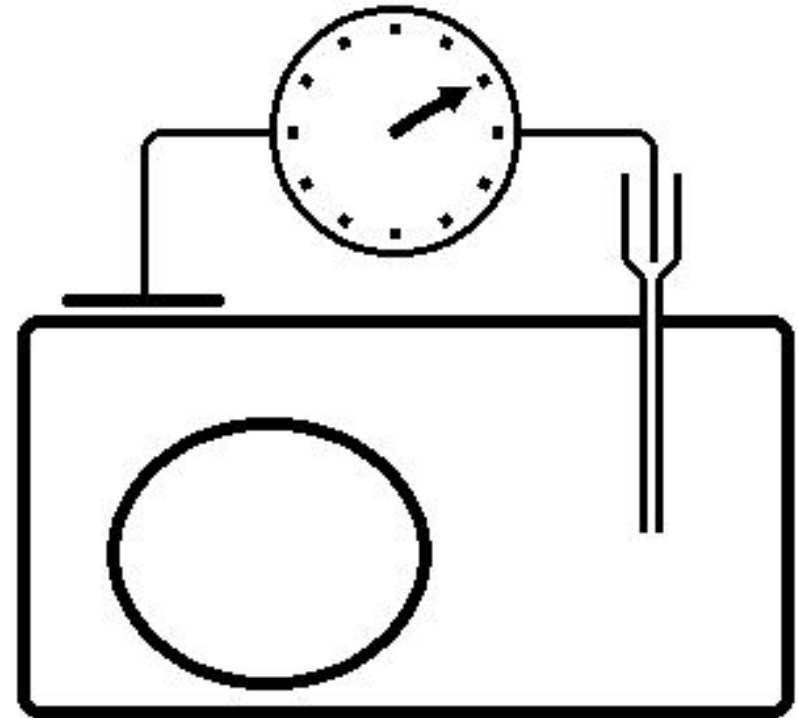
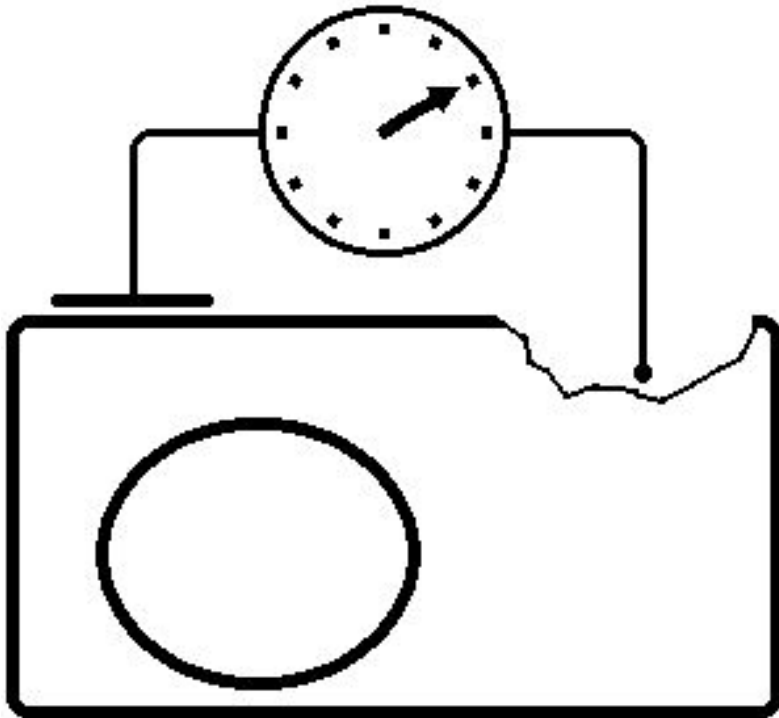
Вопрос 4

*Регистрация
потенциала покоя*



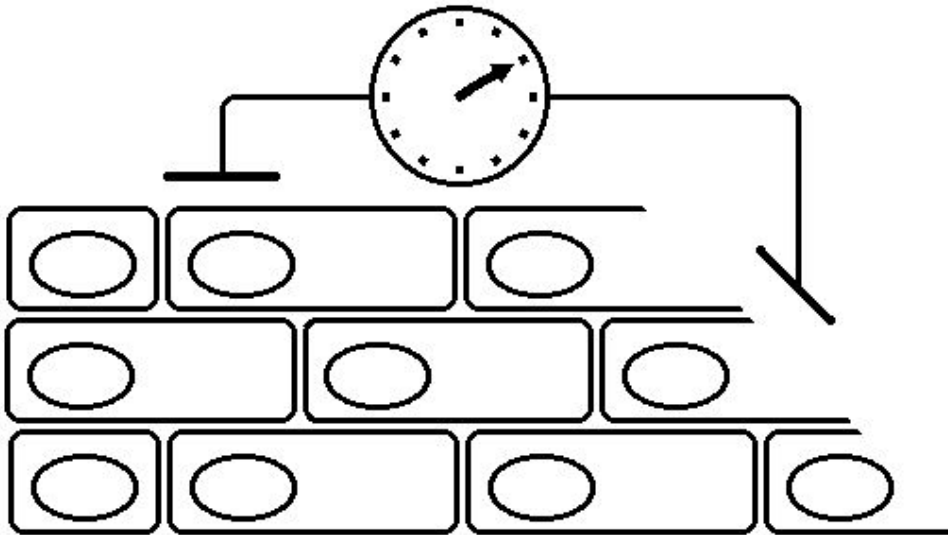
Регистрация потенциала покоя

- методом **повреждения**
- методом **внутриклеточного отведения**



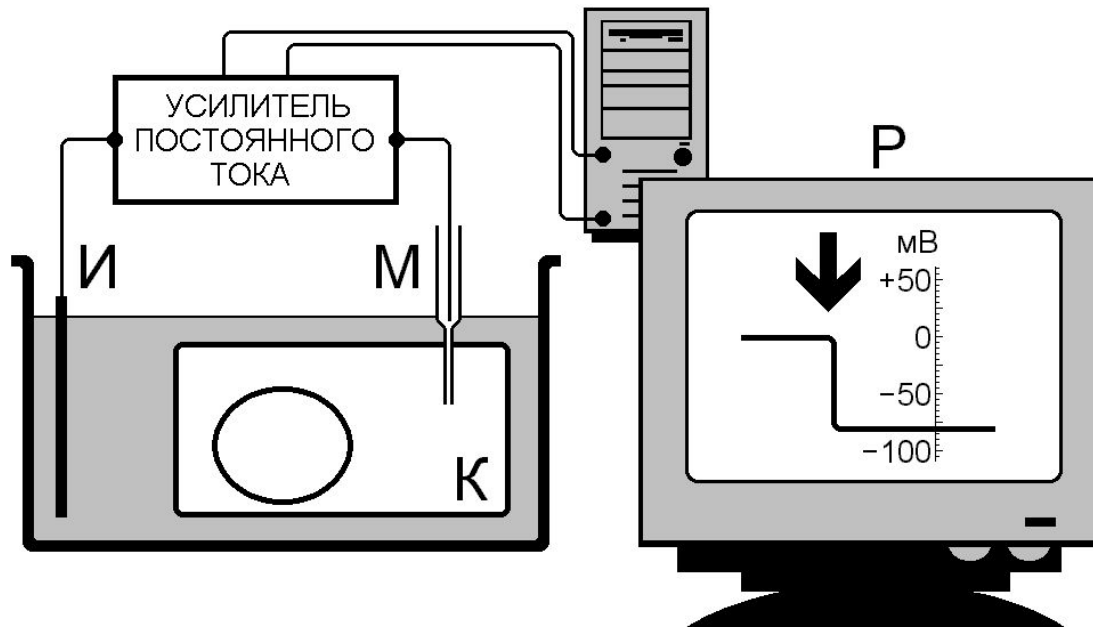
Регистрация потенциала покоя

- Схема регистрации мембранного потенциала покоя методом повреждения на макропрепарате.



Регистрация потенциала покоя

- Схема измерения потенциала покоя клетки с помощью внутриклеточного электрода.



Регистрация потенциала покоя

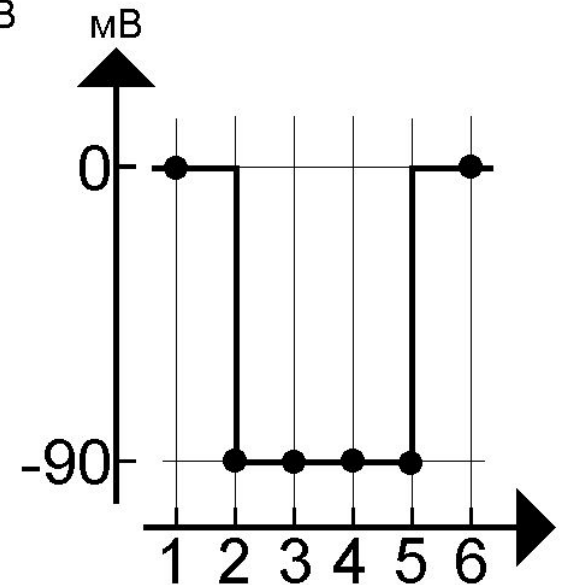
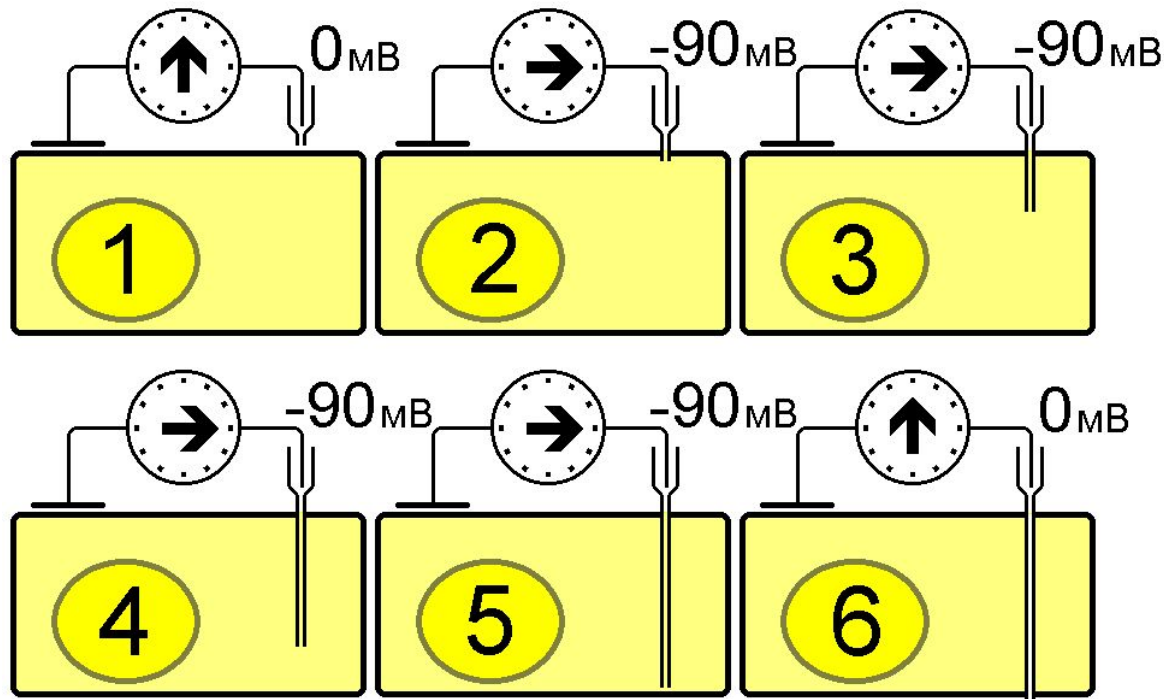
Внутриклеточный метод регистрации ПП

- Микроэлектрод устанавливают над исследуемым объектом, например скелетной мышцей, а затем при помощи микроманипулятора вводят внутрь клетки.
- При удачном введении микроэлектрода мембрана плотно охватывает его кончик и клетка сохраняет способность функционировать в течение нескольких часов, не проявляя признаков повреждения.
- Микроэлектрод является активным (референтным). Электрод сравнения (индифферентный) обычных размеров погружают в нормальный солевой раствор, в котором находится исследуемая ткань.



Регистрация потенциала покоя

- Результаты измерения разности потенциала микроэлектродным методом при разном расположении активного электрода



Вопрос 5

**Механизм
формирования
(электрорегенез)
потенциала покоя**

Механизм формирования потенциала покоя

Значение потенциала покоя клетки определяется двумя основными факторами:

- соотношением концентраций проникающих через покоящуюся поверхностную мембрану катионов и анионов
- соотношением проницаемостей мембраны для этих ионов

Не говорите величина потенциала покоя !

Механизм формирования потенциала покоя

- Для количественного описания этой закономерности используют **уравнение Гольдмана - Ходжкина - Катца**:

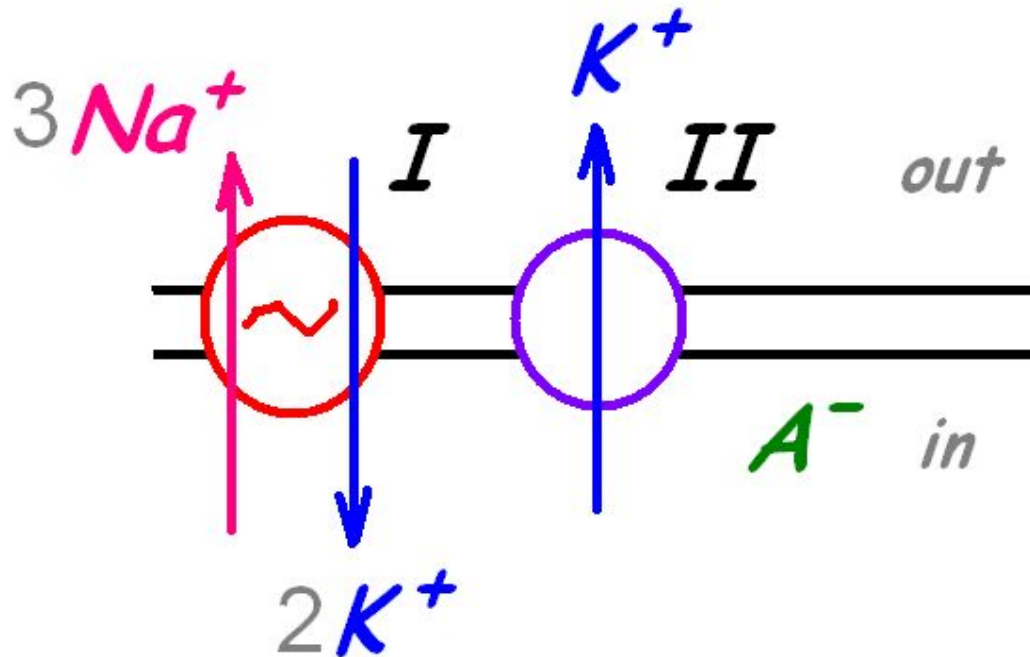
$$E_m = \frac{R \cdot T}{F} \cdot \ln \frac{P_K [K^+]_o + P_{Na} [Na^+]_o + P_{Cl} [Cl^-]_o}{P_K [K^+]_i + P_{Na} [Na^+]_i + P_{Cl} [Cl^-]_i}$$

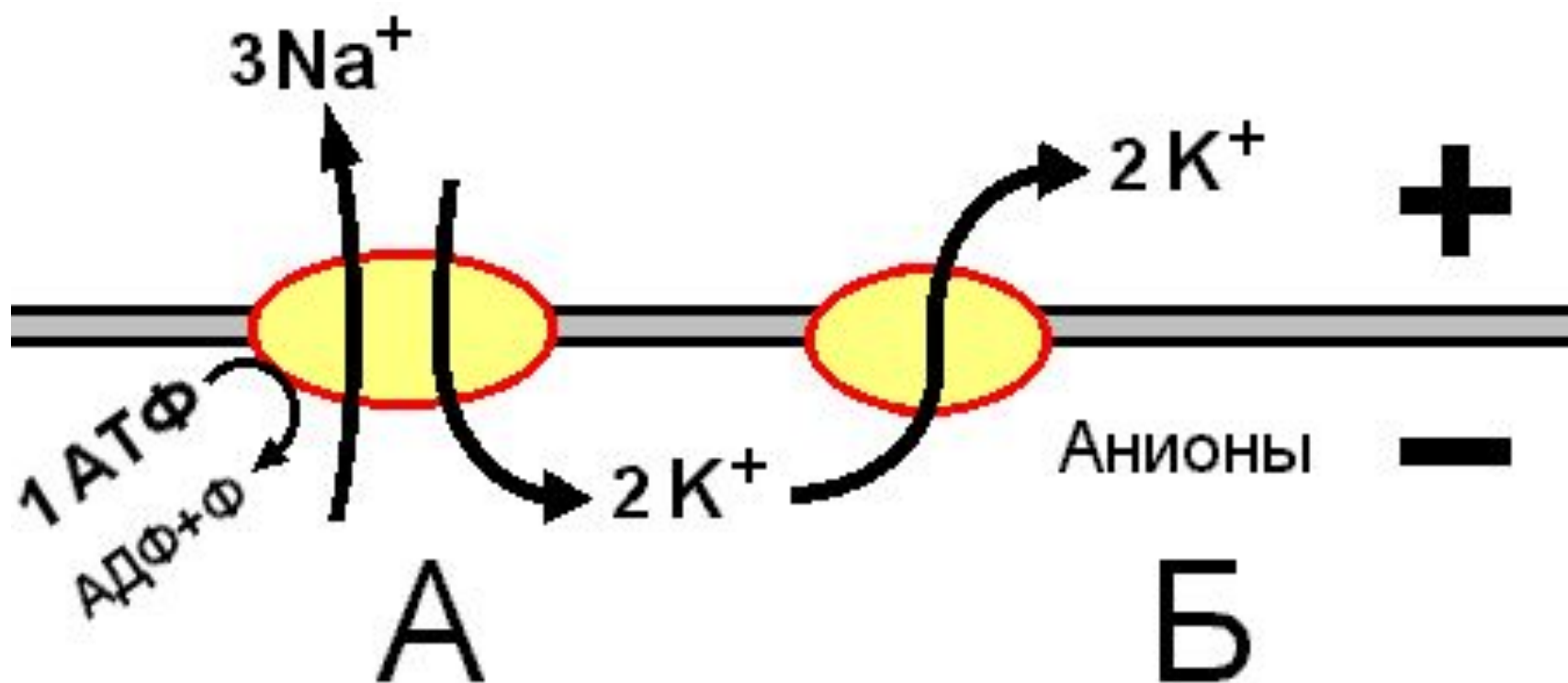
- где E_m - потенциал покоя; R – газовая постоянная; T – абсолютная температура; F – постоянная Фарадея; P_K , P_{Na} , P_{Cl} - проницаемости мембраны для ионов K^+ , Na^+ и Cl^- соответственно; K_o^+ , Na_o^+ и Cl_o^- - наружные концентрации ионов K^+ , Na^+ и Cl^- , а K_i^+ , Na_i^+ и Cl_i^- - их внутренние концентрации.

Механизм формирования потенциала покоя

Основным механизмом формирования потенциала покоя являются

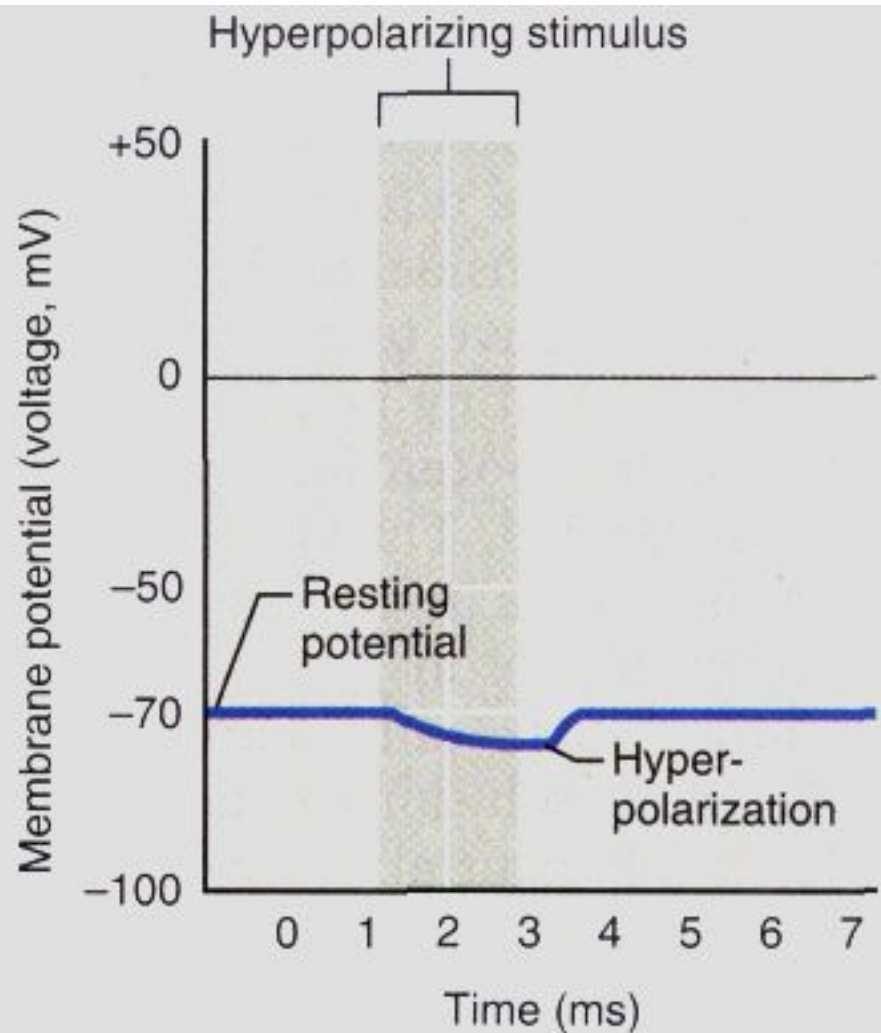
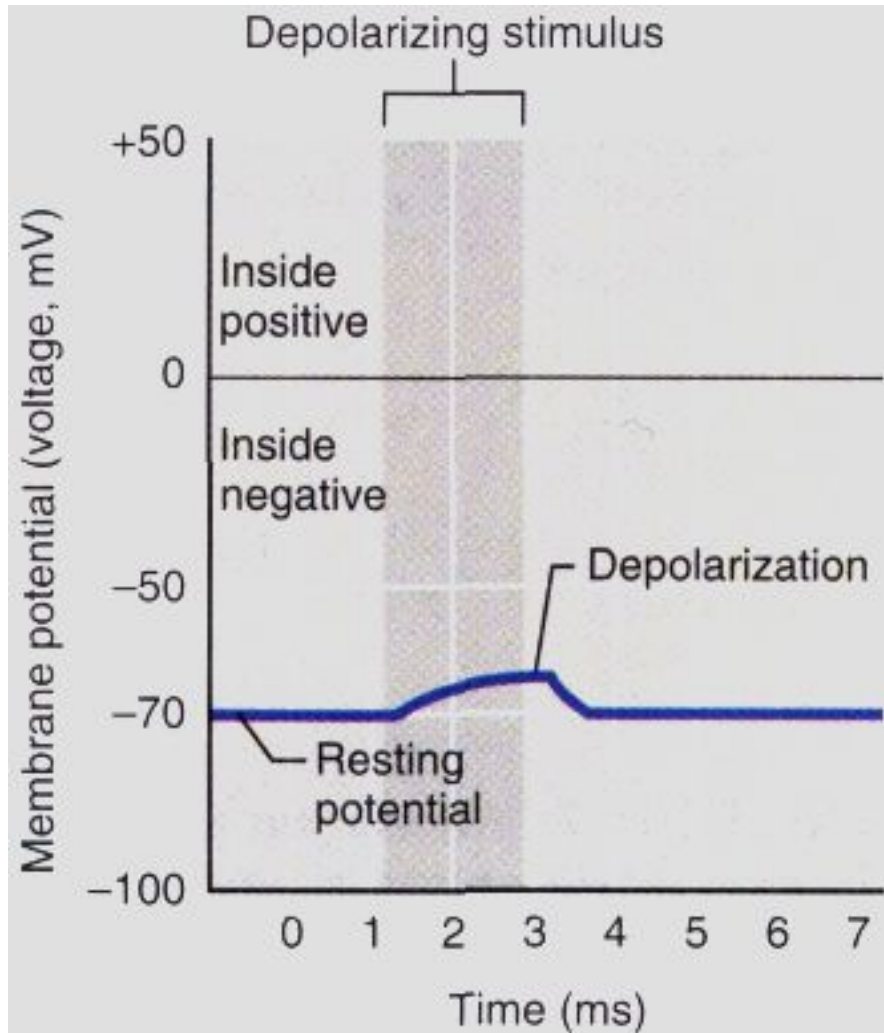
1. создание концентрационной асимметрии K^+ при работе калий-натриевого насоса (калий-натриевой АТФазы)
2. выход K^+ из клетки по градиенту концентрации





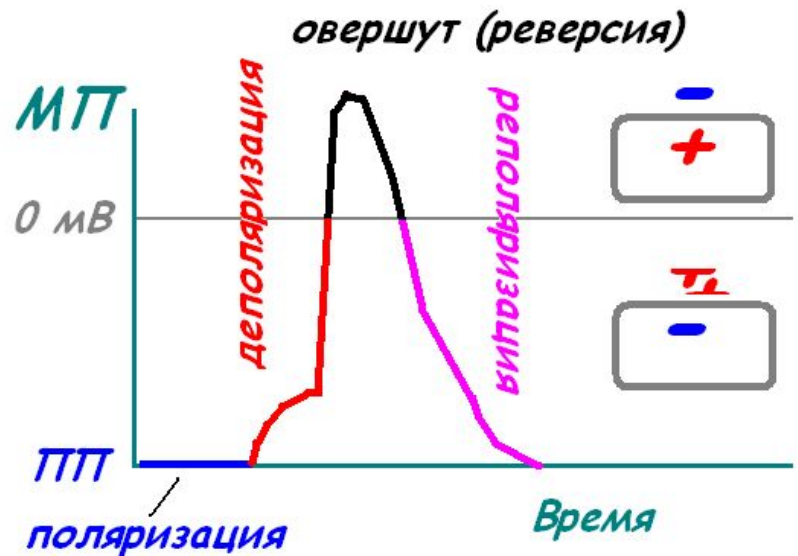
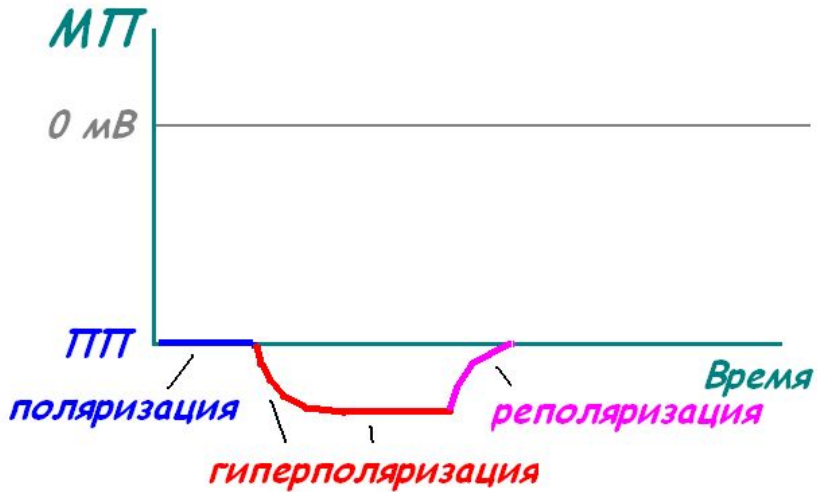
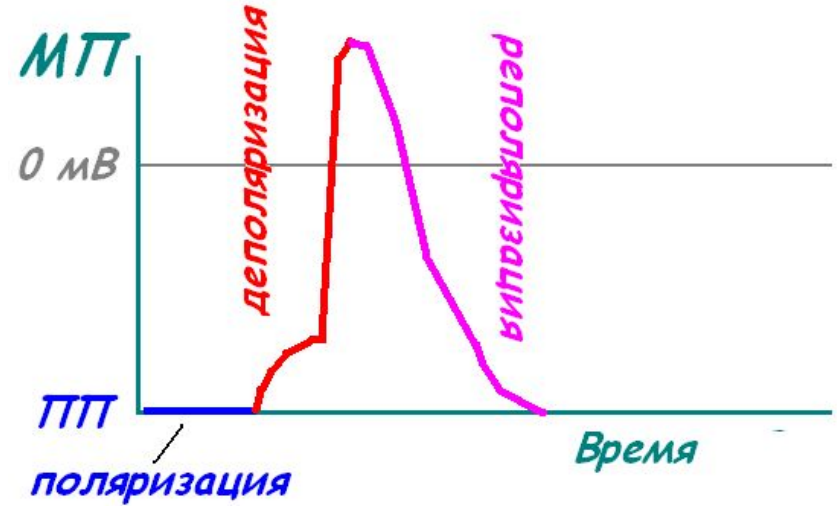
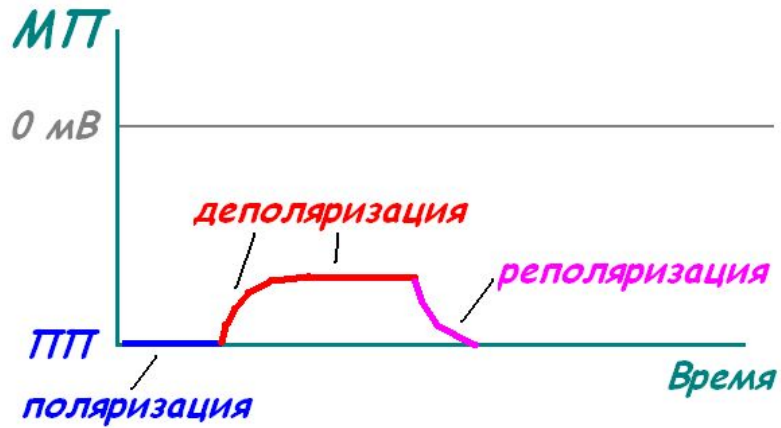
Вопрос 6

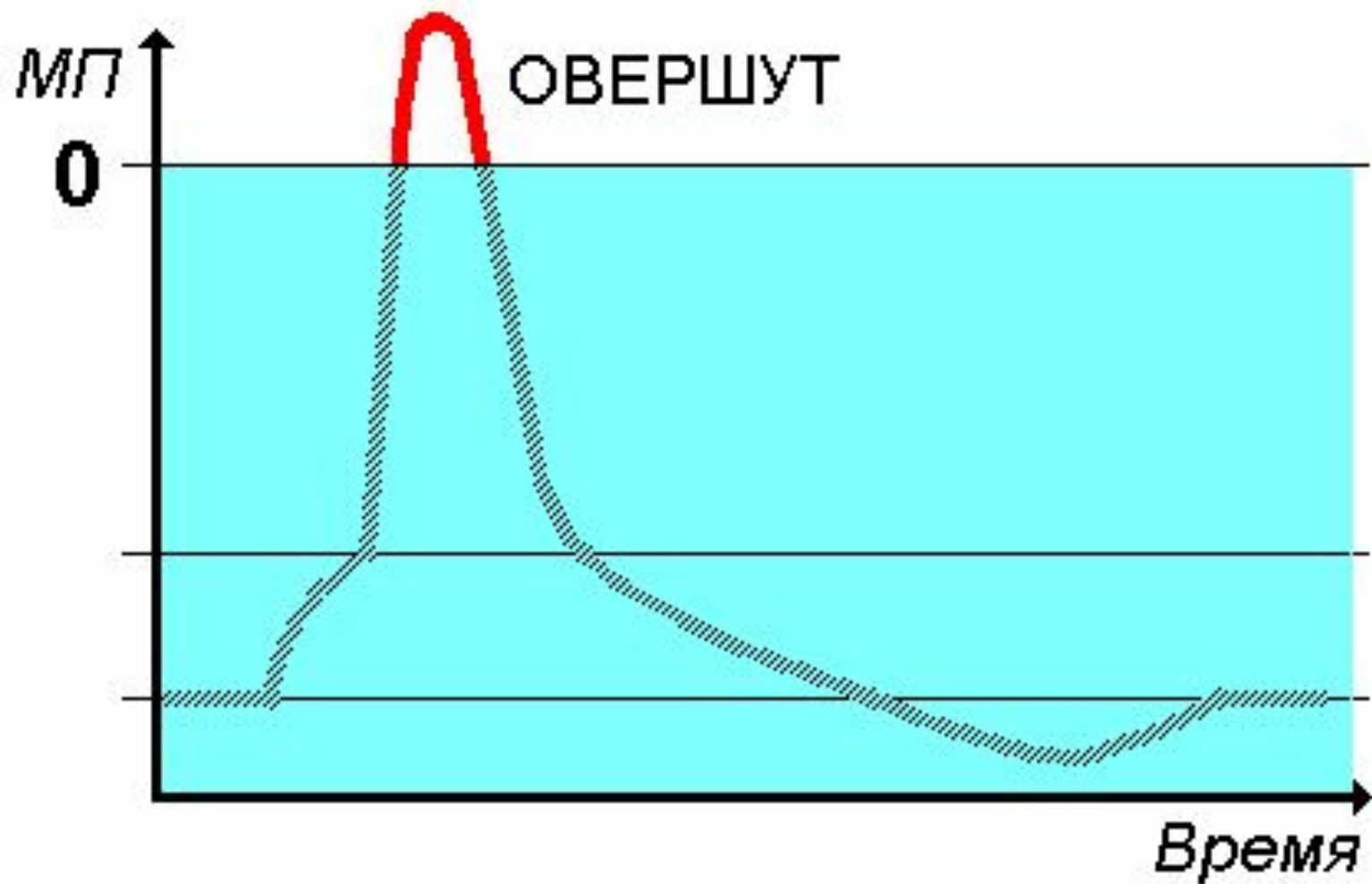
*Изменения
потенциала покоя*





Изменения потенциала покоя





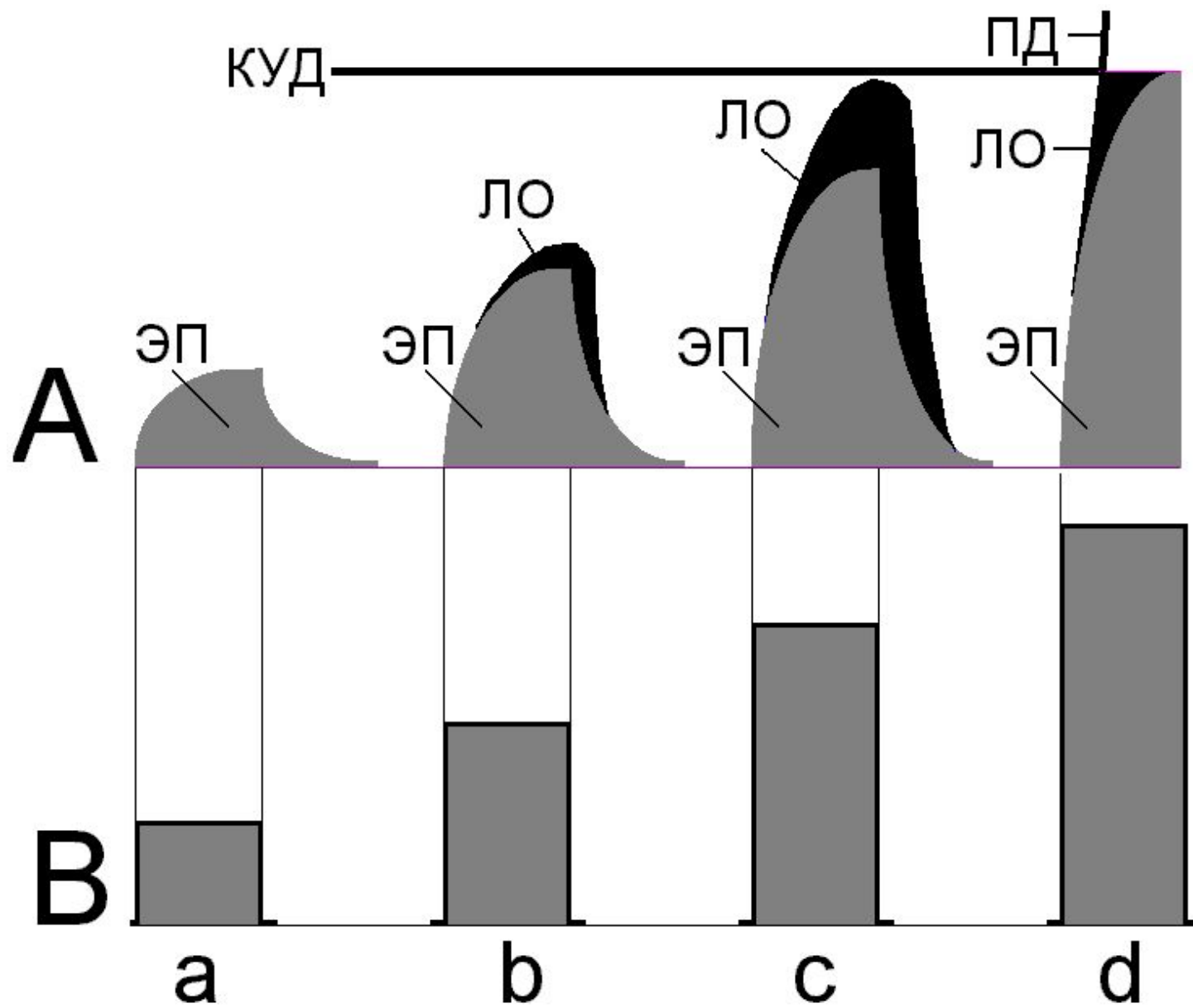
Изменения потенциала покоя

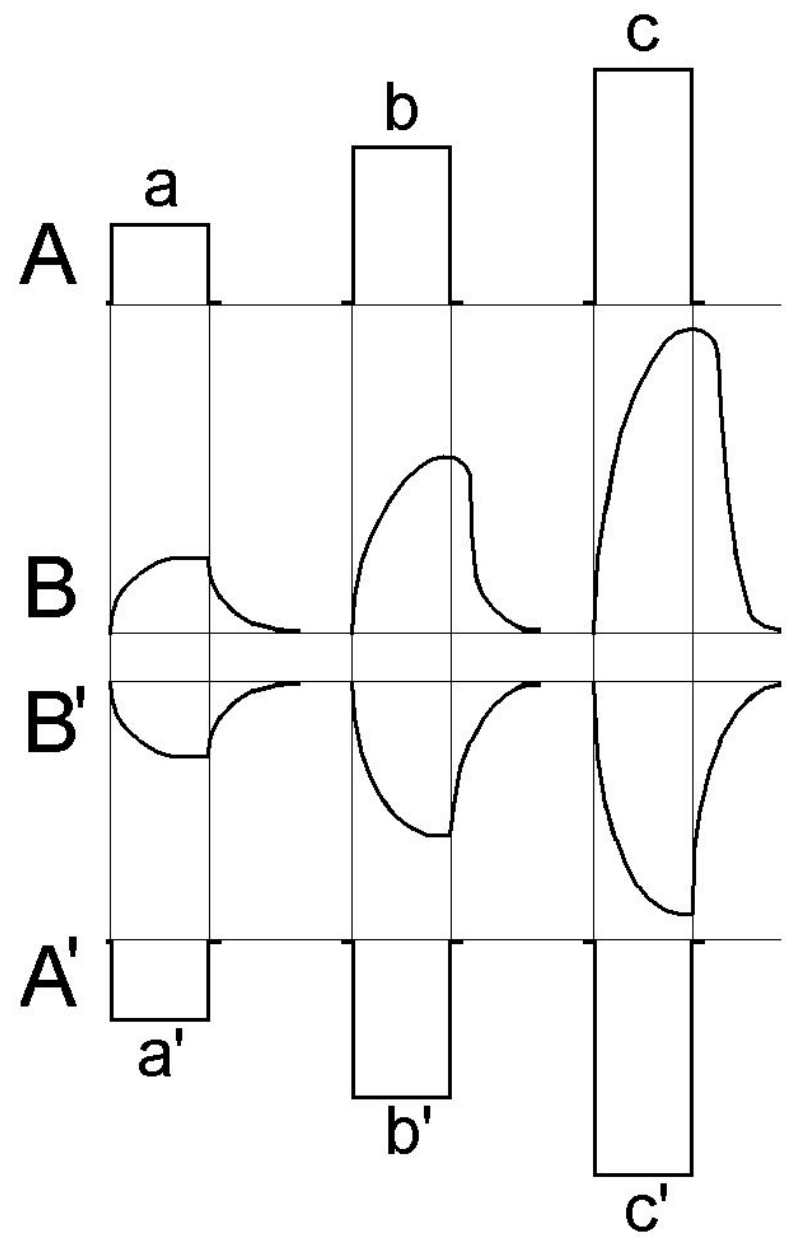
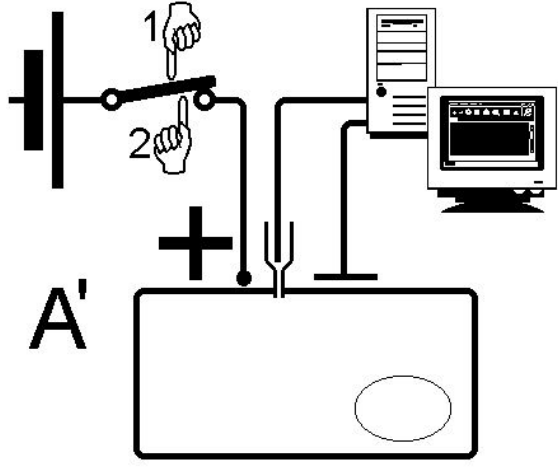
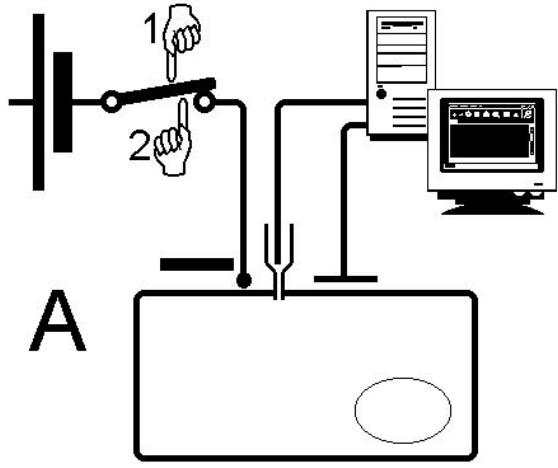
- Уменьшение ПП -
деполяризация
(ПП становится менее отрицательным)

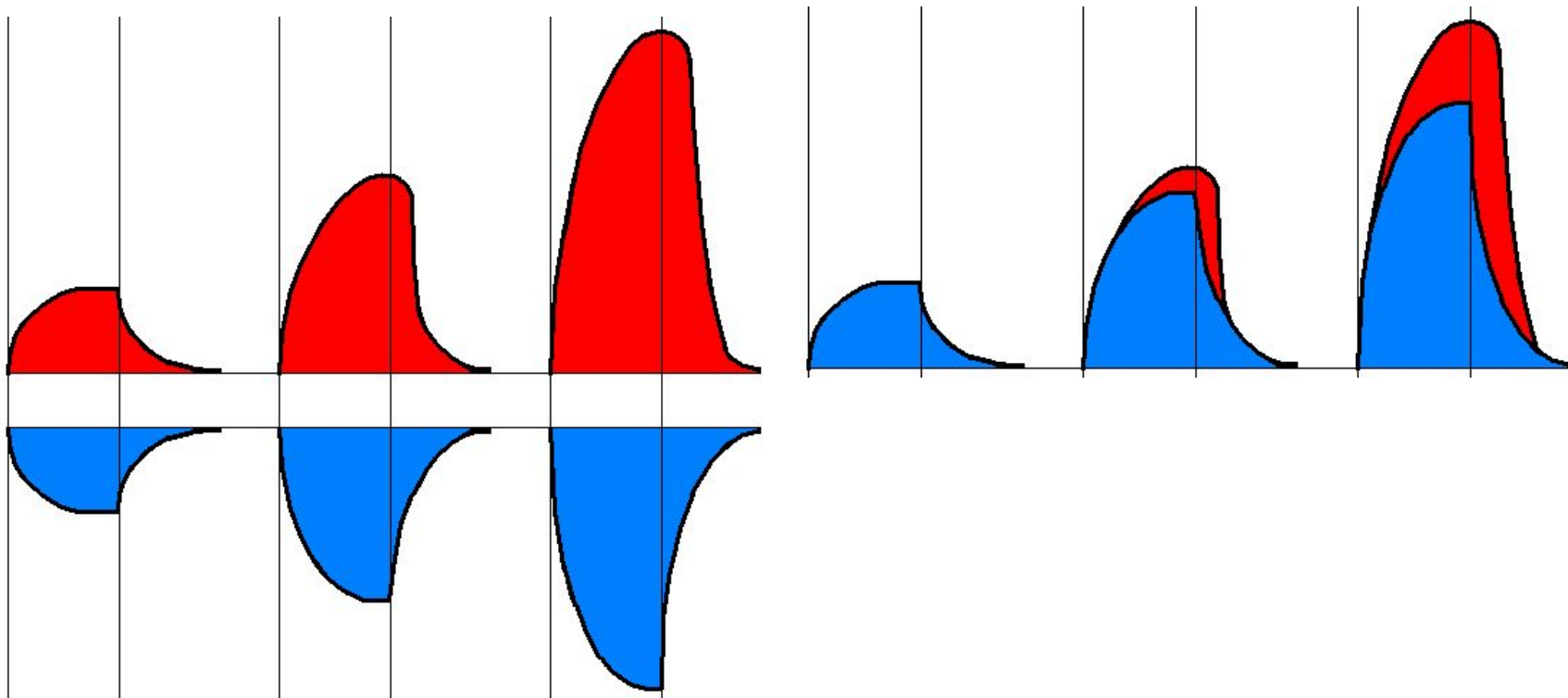
- Увеличение ПП -
гиперполяризация
(ПП становится более отрицательным)

Вопрос 7

Локальный ответ







Вопрос 8

*Опыт К. Маттеуччи
(вторичный
пептанус)*

Значение слова тетанус

- **Тетанус** — (от греч. tetanos — оцепенение, судорога), состояние длительного сокращения, непрерывного напряжения [МЫШЦЫ](#)

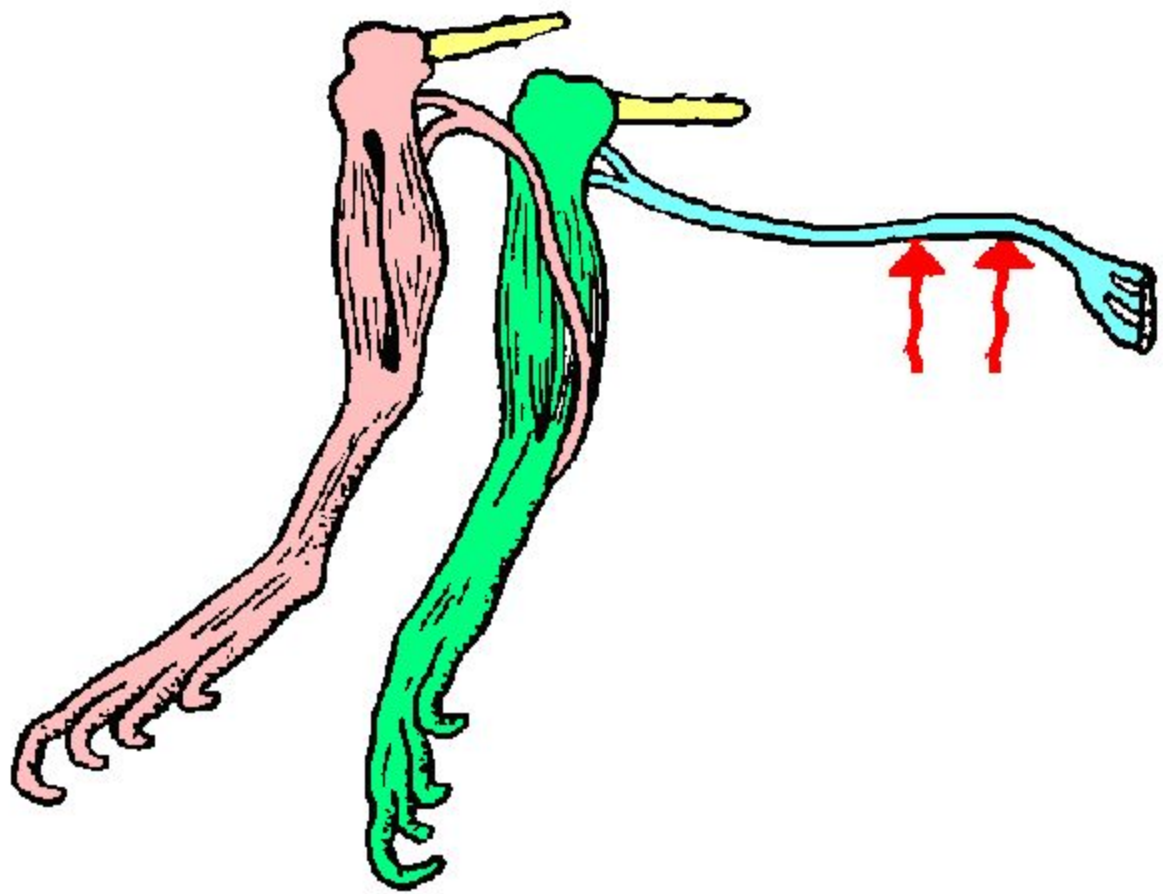
Значение слова тетанус

- **Тетанус** возникающее при поступлении к мышце нервных импульсов с такой частотой (более 20 Гц), что расслабления между последовательными одиночными сокращениями не происходит.

Значение слова тетанус

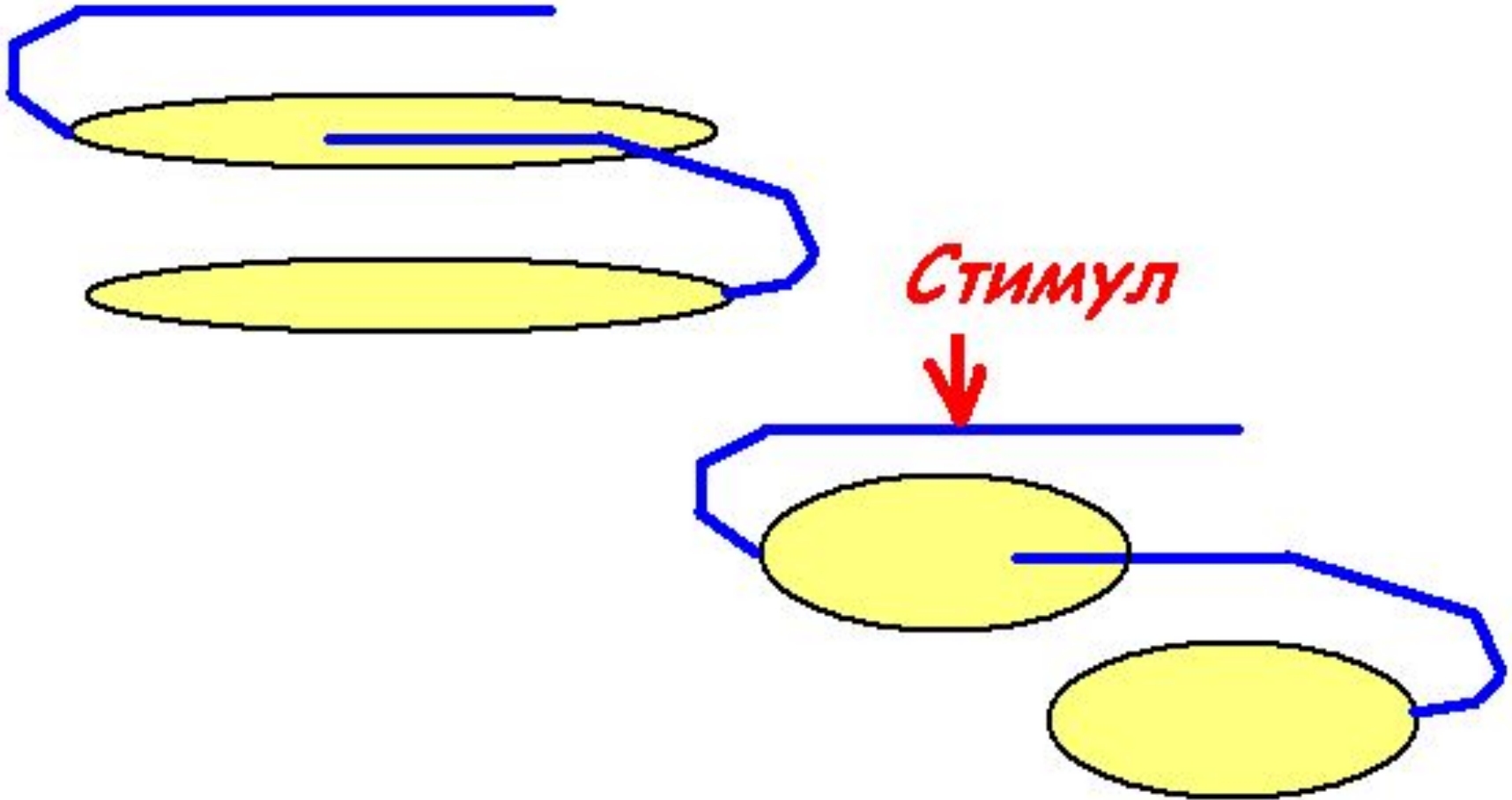


- **Столбняк (тетанус, tetanus, генерализованный, острый, распространенный столбняк) — острое инфекционное заболевание, обусловленное воздействием на организм экзотоксина столбнячной палочки с преимущественным поражением нервной системы, характеризующееся тоническими и судорожными сокращениями поперечно-полосатых мышц.**





Вторичный тетанус



Вопрос 9 + 10

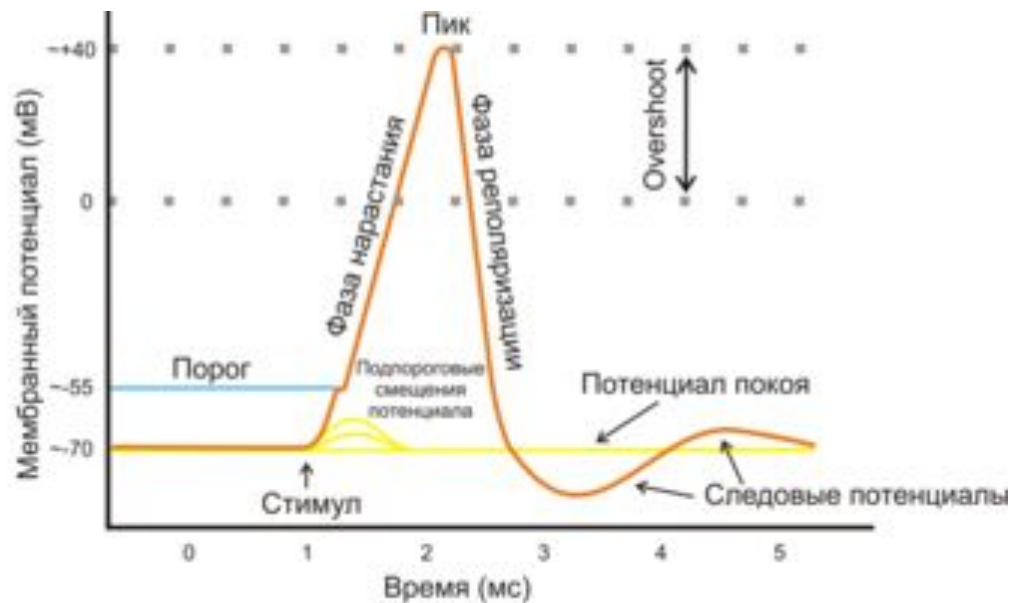
Потенциал действия

+

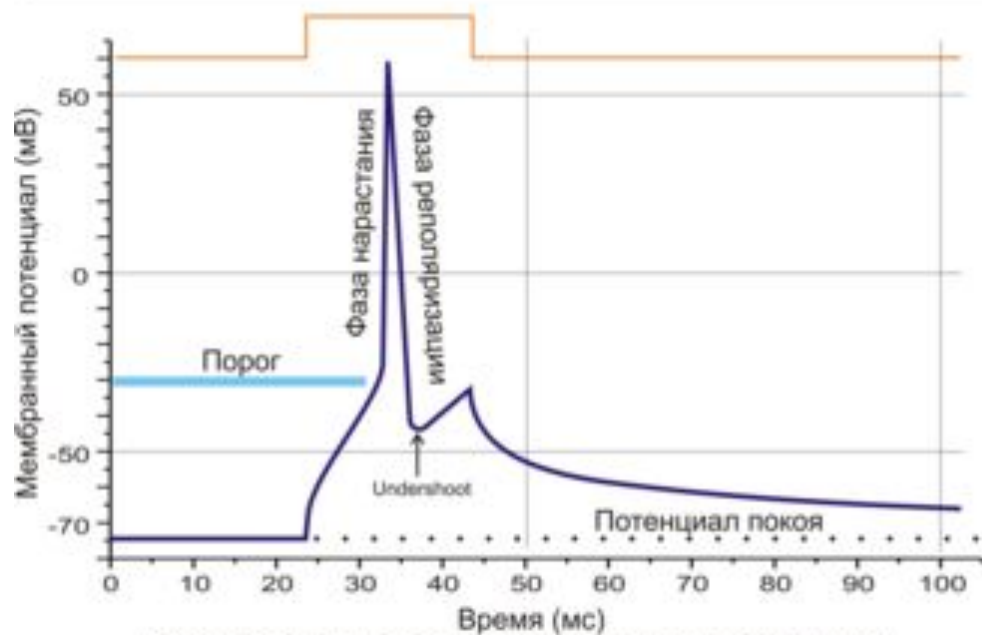
**Возбудимость при
возбуждении**



- Изображение ПП и ПД в качестве эмблемы Отдела Биофизики Мембран Биофизического Сообщества на медали имени Коула.



Схематический потенциал действия



Ход реального потенциала действия

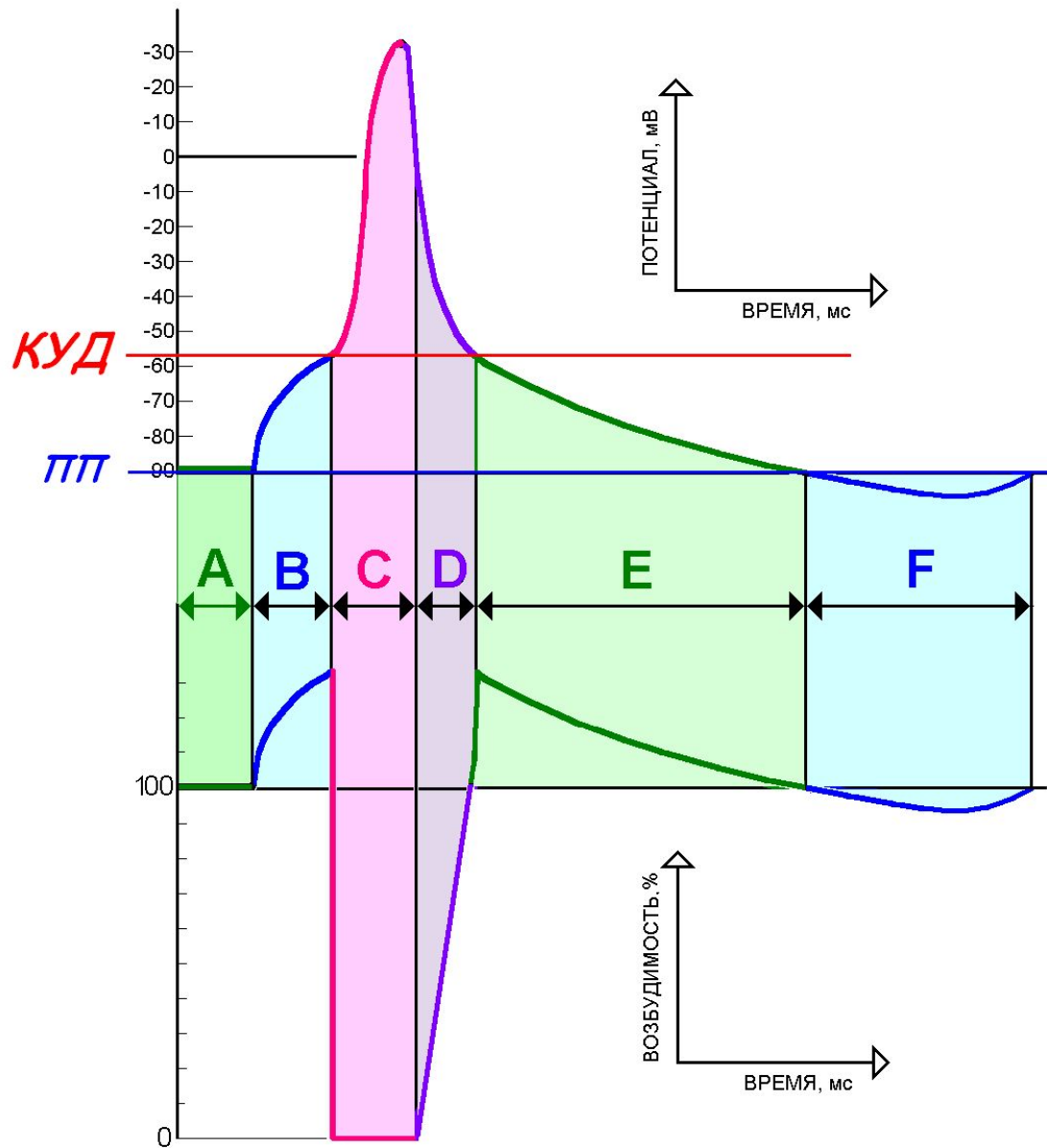
Потенциал действия (физиологический),

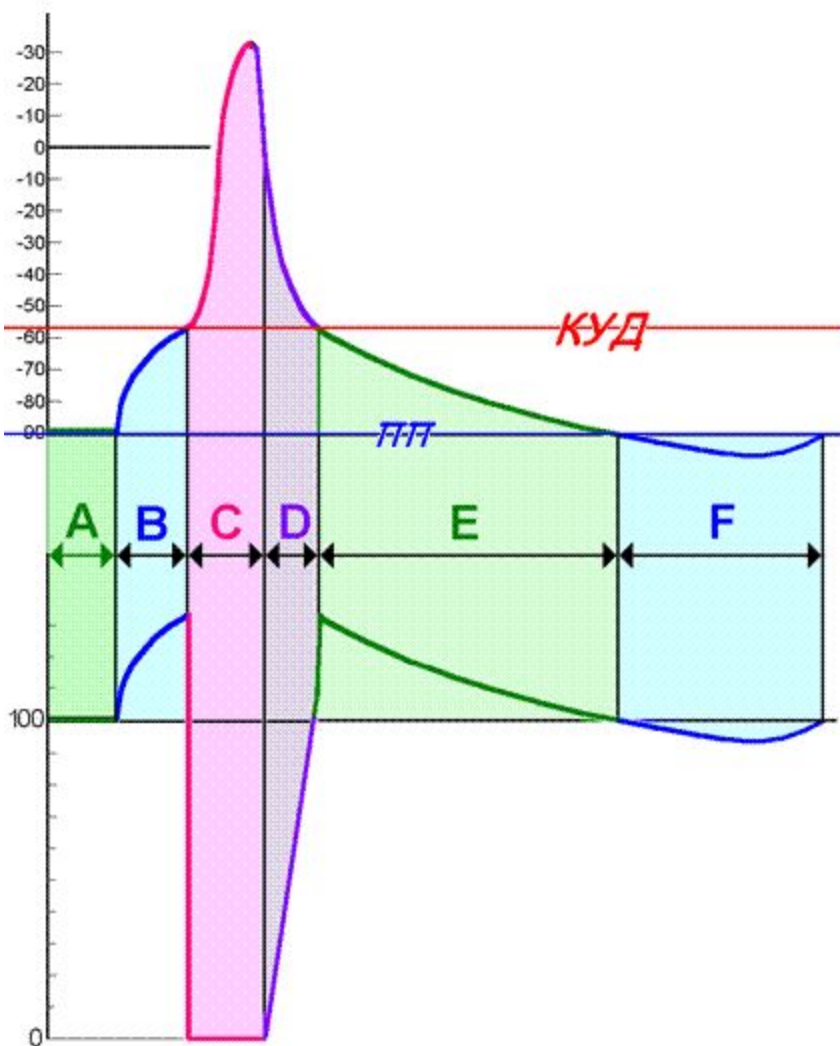
- быстрое колебание мембранного потенциала, возникающее при возбуждении нервных и мышечных клеток (волокон); активный электрический сигнал, с помощью которого осуществляется передача информации в организме человека и животных. Основан на быстро обратимых изменениях ионной проницаемости клеточной мембраны, связанных с активацией и инактивацией ионных мембранных каналов



Потенциал действия (физиологический)

- колебание мембранного потенциала, возникающее при возбуждении, основанное на обратимых изменениях ионной проницаемости клеточной мембраны, связанных с активацией и инактивацией ионных мембранных каналов.

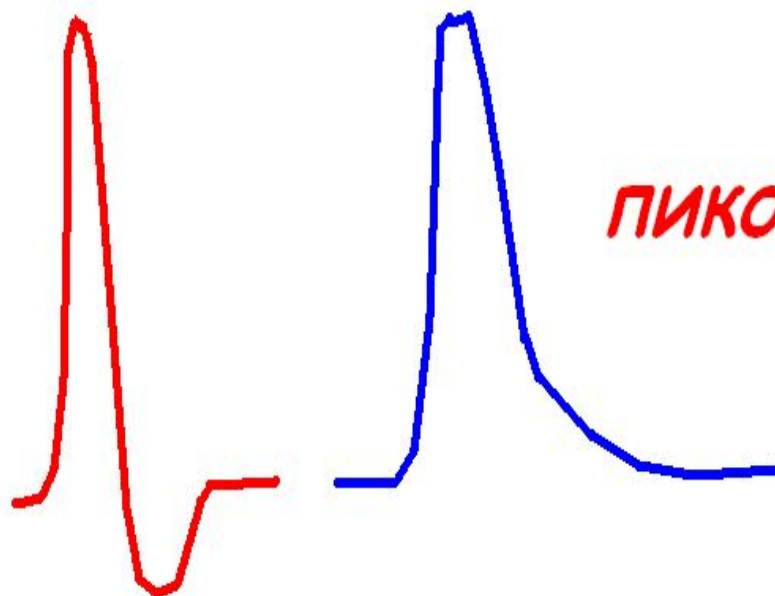




- A - потенциал покоя
- нормальная возбудимость
- B - подпороговая деполяризация
- супернормальная возбудимость
- C - регенераторная деполяризация
- АРП (абсолютно рефрактерный период)
- D - быстрая деполяризация
- ОРП (относительно рефрактерный период)
- E - деполяризационный (отрицательный) следовой потенциал
- период экзальтации (по Н.Е.Введенскому)
- F - гиперполяризационный (положительный) следовой потенциал
- период субнормальной возбудимости

Вопрос 11

Типы ПД



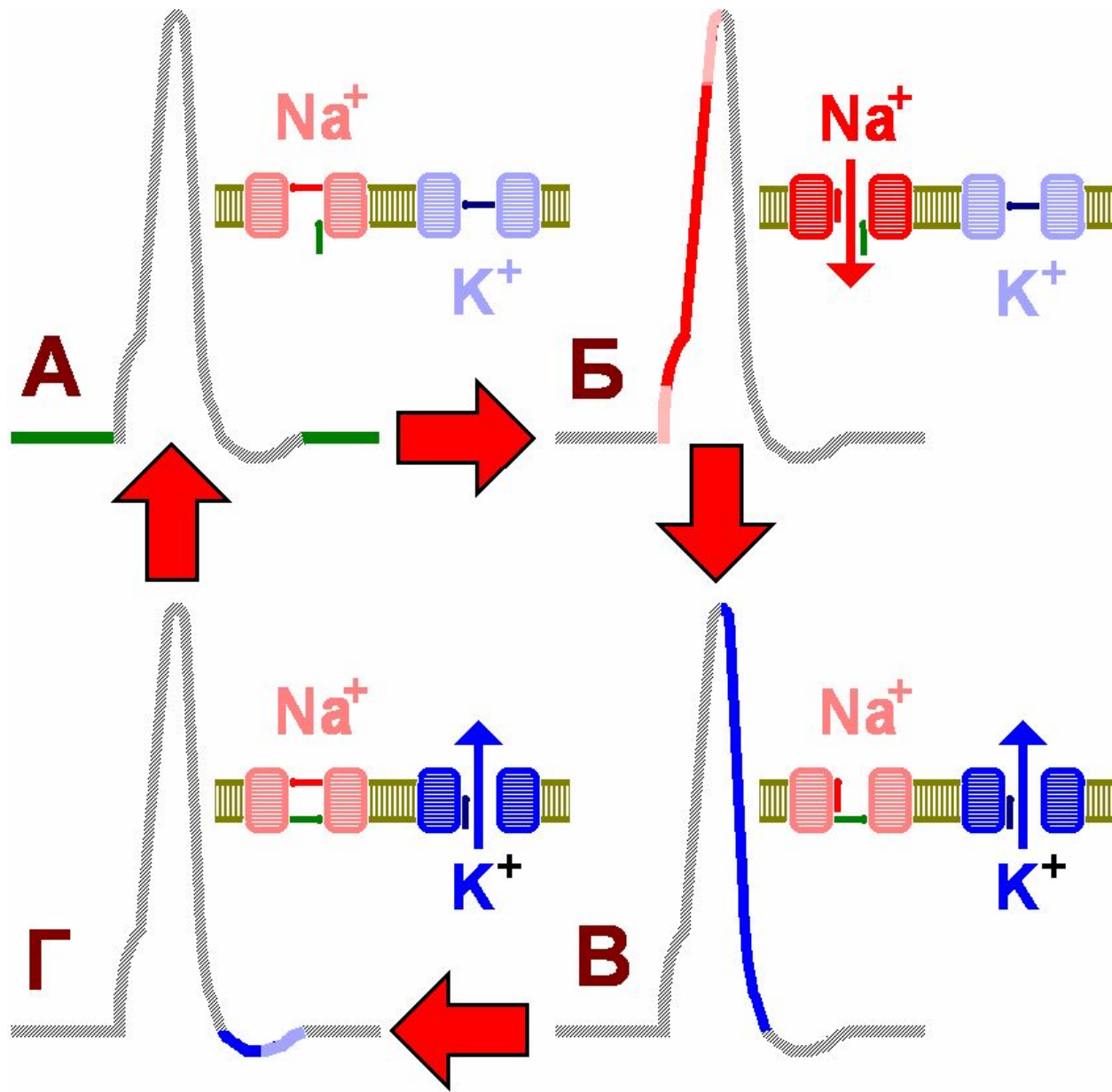
пикообразные



платообразные

Вопрос 12

***Ионный механизм
формирования
пикообразного ПД***



Вопрос 13

Раздражение и возбуждение как основные типы реакции тканей на раздражение

Подробнее –
Учебник том I, С.27
(осторожно).



Раздражение

- неспецифический ответ ткани на действие раздражителя (изменение метаболизма, гиперплазия, гипертрофия ...)

Возбуждение

- специфический электрический ответ ткани на действие раздражителя (генерация потенциала действия, рецепторного потенциала, постсинаптического потенциала ...)

Примеры

Ткань изменила метаболизм под действием электрического тока. Это раздражение !!!

При растяжении в ткани возник и распространяется потенциал действия. Это возбуждение.

Вопрос 14

**Понятия «ткани»,
«возбудимые
ткани»**

Подробнее –
Учебник том I, С.27.

Определение понятия

«Ткань»

- совокупность гистологических элементов (клеточных и неклеточных), имеющих общность происхождения, строения и функции

Клеточные гистологические элементы

- Клетка
- Симпласт
- Синцитий

Типы тканей

(Р.А.Кёлликер, Ф.Лейдиг)

1. Нервная
2. Эпителиальная
3. Мышечная
4. Соединительная (внутренней среды)

Типы возбудимых тканей

1. Нервная
2. Мышечная
3. Железистый эпителий

При действии раздражителя

В невозбудимой
ткани может
возникнуть
раздражение

В возбудимой
ткани может
возникнуть
раздражение
или
возбуждение

NB! В физиологии возбудимых тканей

- Нет понятия
«возбудитель»
- Есть понятие
«раздражитель»
(синоним «стимул»)

Вопрос 15

Свойства возбудимых тканей

Подробнее –
Учебник том I, С.27.

Свойства возбудимых тканей

1. Возбудимость
2. Проводимость
3. Автоматизм
4. Специфический ответ
(сократимость, секреция)