

БИОПОТЕНЦИАЛЫ

Лекция 2

Часть 1. ПРОВЕДЕНИЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ ПО НЕРВНЫМ ВОЛОКНАМ

1. РОЛЬ ПОТЕНЦИАЛОВ ДЕЙСТВИЯ В ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.
2. ОБ АКСОНАХ.
3. КАБЕЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ПРОВЕДЕНИЯ.
4. НАПРАВЛЕНИЕ И СКОРОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ.
5. НЕПРЕРЫВНОЕ И САЛЬТАТОРНОЕ ПРОВЕДЕНИЕ.

1. РОЛЬ ПОТЕНЦИАЛОВ ДЕЙСТВИЯ В ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

• РАЗДРАЖИМОСТЬ –

СПОСОБНОСТЬ ЖИВЫХ
КЛЕТОК ПОД ВЛИЯНИЕМ
РАЗДРАЖИТЕЛЕЙ

(определенных факторов
внешней или внутренней
среды)

ПЕРЕХОДИТЬ ИЗ
СОСТОЯНИЯ ПОКОЯ
В СОСТОЯНИЕ АКТИВНОСТИ.
ПРИ ЭТОМ ВСЕГДА
МЕНЯЕТСЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ
СОСТОЯНИЕ МЕМБРАНЫ.

• ВОЗБУДИМОСТЬ –

СПОСОБНОСТЬ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ
ВОЗБУДИМЫХ КЛЕТОК

В ОТВЕТ НА ДЕЙСТВИЕ
РАЗДРАЖИТЕЛЯ

ГЕНЕРИРОВАТЬ
ОСОБУЮ ФОРМУ
КОЛЕБАНИЯ
МЕМБРАННОГО
ПОТЕНЦИАЛА –
ПОТЕНЦИАЛ ДЕЙСТВИЯ.

Реакции возбудимых клеток

В принципе возможны различные ответы возбудимых клеток на действие раздражителей:

- **ЛОКАЛЬНЫЙ ОТВЕТ**
- ПД
- и некоторые другие виды потенциалов

ЛОКАЛЬНЫЙ ОТВЕТ:

ПОДПОРОГОВЫЙ
раздражитель
(50-75% от порогового)



ДЕПОЛЯРИЗАЦИЯ МЕНЬШЕ
КРИТИЧЕСКОЙ



НЕБОЛЬШОЕ УВЕЛИЧЕНИЕ
НАТРИЕВОЙ
ПРОНИЦАЕМОСТИ,
МЕХАНИЗМ П.О.С.
НЕ ВКЛЮЧАЕТСЯ. –

ПРОЦЕСС БЫСТРО
ЗАТУХАЕТ.

Изменения возбудимости

В ПРОЦЕССЕ РАЗВИТИЯ ПД
ВОЗБУДИМОСТЬ МЕНЯЕТСЯ.

- **СНИЖЕНИЕ ВОЗБУДИМОСТИ** называется **ОТНОСИТЕЛЬНОЙ РЕФРАКТЕРНОСТЬЮ**,
- **ПОЛНАЯ УТРАТА ВОЗБУДИМОСТИ** – **АБСОЛЮТНОЙ РЕФРАКТЕРНОСТЬЮ**.

Возбудимость повышается по мере приближения МП к уровню критической деполяризации и снижается по мере удаления от этого значения.



Последовательные изменения возбудимости при развитии ПД:

Последовательные изменения возбудимости

**В НАЧАЛЕ
ФАЗЫ ДЕПОЛЯРИЗАЦИИ –
УВЕЛИЧЕНИЕ;**

**ПО МЕРЕ УДАЛЕНИЯ ОТ
КРИТИЧЕСКОЙ ТОЧКИ –
СНИЖЕНИЕ,**

**И НА ВЫСОТЕ ФАЗЫ
ДЕПОЛЯРИЗАЦИИ –
АБСОЛЮТНАЯ
РЕФРАКТЕРНОСТЬ.**

**ПО МЕРЕ РЕПОЛЯРИЗАЦИИ
АБСОЛЮТНАЯ
РЕФРАКТЕРНОСТЬ
СМЕНЯЕТСЯ
ОТНОСИТЕЛЬНОЙ.**

**К КОНЦУ ФАЗЫ
РЕПОЛЯРИЗАЦИИ
ВОЗБУДИМОСТЬ СНОВА
УВЕЛИЧЕНА
(СОСТОЯНИЕ
«СУПЕРНОРМАЛЬНОСТИ»)**

**ВО ВРЕМЯ ФАЗЫ
ГИПЕРПОЛЯРИЗАЦИИ –
СНИЖЕНА.**

Возбуждение

- **ВОЗБУЖДЕНИЕ –**
ОТВЕТ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ
КЛЕТОК
НА ДЕЙСТВИЕ ПОРОГОВЫХ
И НАДПОРОГОВЫХ
РАЗДРАЖИТЕЛЕЙ.

ЭТО СЛОЖНЫЙ КОМПЛЕКС
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И
ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ
ИЗМЕНЕНИЙ,
В ОСНОВЕ КОТОРОГО
ЛЕЖИТ ПД.

РЕЗУЛЬТАТ ВОЗБУЖДЕНИЯ
ЗАВИСИТ ОТ ТОГО,
В КАКОЙ ТКАНИ ОНО
РАЗВИВАЛОСЬ
(ГДЕ ВОЗНИК ПД).

К СПЕЦИАЛИЗИРОВАН-
НЫМ ВОЗБУДИМЫМ
ТКАНЯМ ОТНОСЯТСЯ:

- НЕРВНАЯ
- МЫШЕЧНАЯ
- ЖЕЛЕЗИСТАЯ

Нервный импульс

ПД
ОБЕСПЕЧИВАЮТ
ПРОВЕДЕНИЕ
ВОЗБУЖДЕНИЯ
ПО НЕРВНЫМ ВОЛОКНАМ
И ИНИЦИИРУЮТ
ПРОЦЕССЫ
СОКРАЩЕНИЯ
МЫШЕЧНЫХ
И
СЕКРЕЦИИ
ЖЕЛЕЗИСТЫХ
КЛЕТОК.

ПОТЕНЦИАЛ ДЕЙСТВИЯ,
ВОЗНИКШИЙ В
НЕРВНОМ ВОЛОКНЕ,-
НЕРВНЫЙ ИМПУЛЬС.

2. ОБ АКСОНАХ

АКСОНЫ

**(НЕРВНЫЕ ВОЛОКНА) –
ДЛИННЫЕ ОТРОСТКИ
НЕРВНЫХ КЛЕТОК
(НЕЙРОНОВ).**

- ***АФФЕРЕНТНЫЕ ПУТИ* –
ОТ ОРГАНОВ ЧУВСТВ К
ЦНС,**
- ***ЭФФЕРЕНТНЫЕ ПУТИ* –
ОТ ЦНС К МЫШЦАМ.**

- **ПРОТЯЖЕННОСТЬ –
МЕТРЫ.**

- **ДИАМЕТР В СРЕДНЕМ
1-100 МКМ,**

**У ГИГАНТСКОГО АКСОНА
КАЛЬМАРА – в среднем
600 МКМ, ДО ММ.**

Виды аксонов

АКСОНЫ

**МИЕЛИНИЗИРОВАННЫЕ
(МИЕЛИНОВЫЕ,
МЯКОТНЫЕ)**

**ЕСТЬ
МИЕЛИНОВАЯ ОБОЛОЧКА**

**НЕМИЕЛИНИЗИРОВАННЫЕ
(АМИЕЛИНОВЫЕ,
БЕЗМЯКОТНЫЕ)**

**НЕТ
МИЕЛИНОВОЙ ОБОЛОЧКИ**

МИЕЛИНОВАЯ ОБОЛОЧКА –

**окружающая аксон
дополнительная
многослойная
(до 250 слоев)
мембрана.**

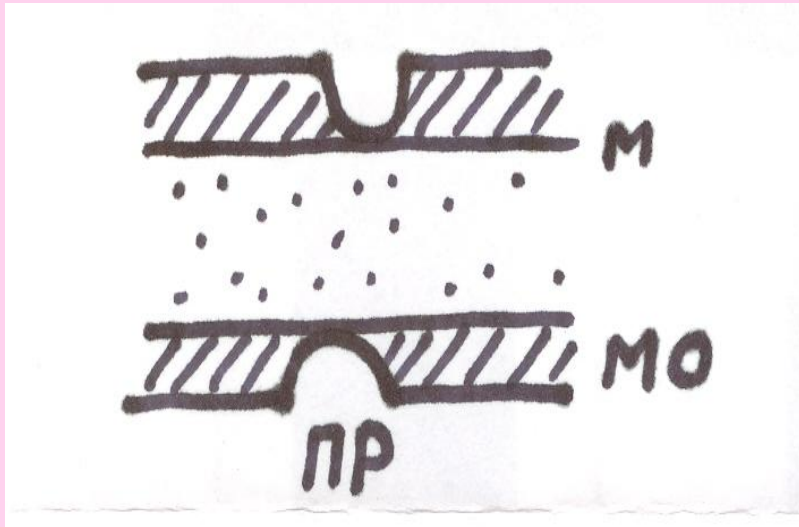
ОБРАЗОВАНИЕ:

**внедрение в шванновскую
клетку**

**(леммоцит,
олигодендроцит)**

**и многократное наматывание
мембраны этой клетки на
аксон.**

Миелиновая оболочка



- МИЕЛИН – ОЧЕНЬ ХОРОШИЙ ИЗОЛЯТОР.
- ЧЕРЕЗ КАЖДЫЕ 1-2 ММ - ПЕРЕХВАТЫ РАНВЬЕ, ПО 1 МКМ.
- ТОЛЬКО В ОБЛАСТИ ПЕРЕХВАТОВ ВОЗБУДИМАЯ МЕМБРАНА КОНТАКТИРУЕТ С ВНЕШНЕЙ СРЕДОЙ.

3. КАБЕЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ПРОВЕДЕНИЯ

АКСОН ↔ КАБЕЛЬ:

- ПОЛАЯ ТРУБКА,
- ВНУТРЕННЕЕ СОДЕРЖИМОЕ – АКСОПЛАЗМА – ПРОВОДНИК (КАК И МЕЖКЛЕТОЧНАЯ ЖИДКОСТЬ),
- СТЕНКА – МЕМБРАНА – ИЗОЛЯТОР.

МЕХАНИЗМ ПРОВЕДЕНИЯ ВОЗБУ- ЖДЕНИЯ

(РАСПРОСТРАНЕНИЯ
НЕРВНОГО
ИМПУЛЬСА)

ВКЛЮЧАЕТ ДВЕ
СТУПЕНИ.

Две ступени механизма проведения

ПЕРВАЯ СТУПЕНЬ (I) –

**ВОЗНИКНОВЕНИЕ
*ЛОКАЛЬНЫХ ТОКОВ***

**И РАСПРОСТРАНЕНИЕ
ВОЛНЫ ДЕПОЛЯРИ-
ЗАЦИИ ВДОЛЬ
ВОЛОКНА.**

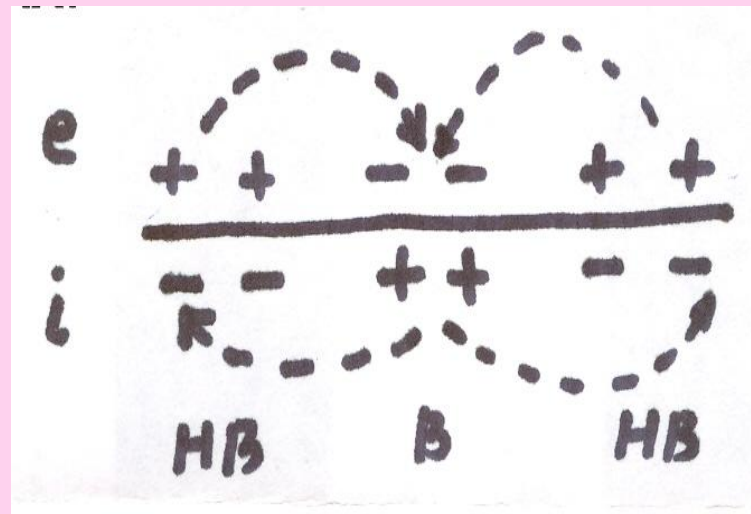
ВТОРАЯ СТУПЕНЬ (II) –

**ФОРМИРОВАНИЕ
ПОТЕНЦИАЛОВ
ДЕЙСТВИЯ
НА НОВЫХ УЧАСТКАХ
ВОЛОКНА.**

Первая ступень

ЛОКАЛЬНЫЕ ТОКИ
циркулируют между
возбужденным и
невозбужденным
участками нервного
волокна

ввиду разной
полярности мембраны
на этих участках:
внутри клетки – от
возбужденного участка
к невозбужденному,
снаружи - наоборот.



Первая и вторая ступени проведения

ЛОКАЛЬНЫЙ ТОК



СДВИГ МП
СОСЕДНЕГО
УЧАСТКА



...

РАСПРОСТРАНЕНИЕ
ВОЛНЫ
ДЕПОЛЯРИЗАЦИИ
ПО ВОЛОКНУ,
КАК ТОКА ПО КАБЕЛЮ.

II

КРИТИЧЕСКАЯ
ДЕПОЛЯРИЗАЦИЯ
ОЧЕРЕДНОГО УЧАСТКА



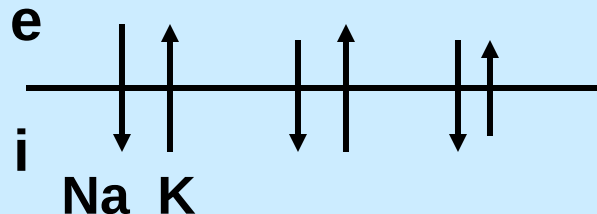
ОТКРЫТИЕ
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ
НАТРИЕВЫХ,
ПОТОМ КАЛИЕВЫХ
КАНАЛОВ,-

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ПД

Энергетическое обеспечение проведения

В РАЗНЫХ УЧАСТКАХ
ВОЛОКНА
ПД ФОРМИРУЮТСЯ
НЕЗАВИСИМЫМИ
ИОННЫМИ ПОТОКАМИ
ЧЕРЕЗ МЕМБРАНУ

(ПЕРПЕНДИКУЛЯРНЫМИ
К НАПРАВЛЕНИЮ
РАСПРОСТРАНЕНИЯ).



Величина потоков
определяется

не силой локальных токов
вдоль мембраны,
а концентрационными
градиентами ионов.

Эти градиенты
создаются насосами.

Работа насосов
обеспечивается
энергией гидролиза
АТФ.

Свойство нервного импульса



На каждом участке -
энергетическая подпитка
процесса

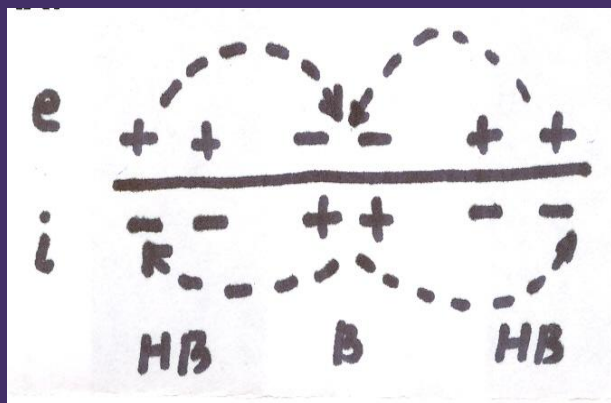


**НЕРВНЫЙ ИМПУЛЬС
РАСПРОСТРАНЯЕТСЯ
ВДОЛЬ ВОЛОКНА
БЕЗ ЗАТУХАНИЯ
(С НЕИЗМЕННОЙ
АМПЛИТУДОЙ)**

Роль локальных токов -
ИНИЦИАЦИЯ процесса
путем деполяризации
мембраны все новых
участков
до критического уровня.

4. НАПРАВЛЕНИЕ И СКОРОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ

В принципе локальные токи могли бы течь в двух направлениях:



Однако реально
проведение
ОДНОСТОРОННЕЕ.

Причины:

- 1) Наличие в нервной системе **СИНАПСОВ С ОДНОСТОРОННЕЙ ПРОВОДИМОСТЬЮ.**
- 2) Свойство **РЕФРАКТЕРНОСТИ** нервных волокон (импульс не может повернуть обратно).

СКОРОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ

СКОРОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ
ТЕМ ВЫШЕ,
ЧЕМ БОЛЬШЕ
КАБЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА
ВОЛОКНА,

т.е.,

проводящие свойства
аксоплазмы и
изоляционные свойства
мембраны.

ДЛЯ ИХ ОЦЕНКИ –
КОНСТАНТА ДЛИНЫ
НЕРВНОГО ВОЛОКНА:

$$\lambda = \sqrt{\frac{Db_m \rho_m}{4 \rho_a}}$$

Константа длины

Здесь

D – диаметр всего
волокна,

b_m – толщина его
мембраны,

ρ_m – удельное сопротив-
ление мембраны,

ρ_a - удельное сопротив-
ление аксоплазмы.

ФИЗИЧЕСКИЙ СМЫСЛ

λ :

это

**РАССТОЯНИЕ,
НА КОТОРОМ
ПОДПороГОВЫЙ
ПОТЕНЦИАЛ
УМЕНЬШИЛСЯ БЫ
В «e» РАЗ.**

СКОРОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ

ИОННЫЙ СОСТАВ
АКСОПЛАЗМЫ
ОДИНАКОВ $\Rightarrow$
 ρ_a ОДИНАКОВО.

Т.е., константа длины
может меняться за
счет параметров
 D ,
 b_m и ρ_m .

БЕСПОЗВОНОЧНЫЕ:
УВЕЛИЧЕНИЕ ДИАМЕТРА
ВОЛОКНА

ПОЗВОНОЧНЫЕ:
УВЕЛИЧЕНИЕ ТОЛЩИНЫ И
УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВ-
ЛЕНИЯ МЕМБРАНЫ
ПУТЕМ ПРИОБРЕТЕНИЯ
МИЕЛИНОВОЙ ОБОЛОЧКИ

5. НЕПРЕРЫВНОЕ И САЛЬТАТОРНОЕ ПРОВЕДЕНИЕ

Миелиновая оболочка не только увеличила толщину и удельное сопротивление мембраны, но и качественно изменила (в рамках кабельной теории) способ проведения.

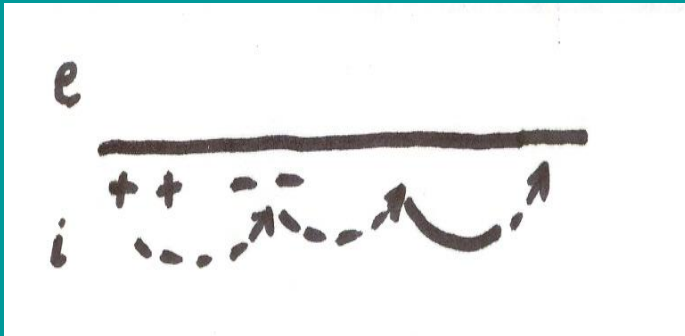
ПРОВЕДЕНИЕ

НЕПРЕРЫВНОЕ
(АМИЕЛИНОВЫЕ
ВОЛОКНА)

САЛЬТАТОРНОЕ
(МИЕЛИНОВЫЕ
ВОЛОКНА)

НЕПРЕРЫВНОЕ И САЛЬТАТОРНОЕ ПРОВЕДЕНИЕ

ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ
ПРОВЕДЕНИИ
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО, ОДИН
ЗА ДРУГИМ
ВСЕ УЧАСТКИ
АМИЕЛИНОВОГО ВОЛОКНА
ПЕРЕХОДЯТ В
СОСТОЯНИЕ
ВОЗБУЖДЕНИЯ.



САЛЬТАТОРНОЕ
ПРОВЕДЕНИЕ –
«СКАЧКООБРАЗНОЕ».

- ВОЗБУДИМАЯ МЕМБРАНА МЯКОТНОГО АКСОНА ОБНАЖЕНА ТОЛЬКО В ПЕРЕХВАТАХ РАНВЬЕ.
- ТОЛЬКО ТАМ ОТКРЫВАЮТСЯ НАТРИЕВЫЕ И КАЛИЕВЫЕ КАНАЛЫ,
- ТОЛЬКО В НИХ ПРОИСХОДИТ ГЕНЕРАЦИЯ ПД.

САЛЬТАТОРНОЕ ПРОВЕДЕНИЕ

ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ
ОДНОГО ПЕРЕХВАТА
ЛОКАЛЬНЫЕ ТОКИ
ОБРАЗУЮТСЯ МЕЖДУ
НИМ И СОСЕДНИМ,

И ИМПУЛЬС
«ПЕРЕСКАКИВАЕТ» С
ОДНОГО ПЕРЕХВАТА
НА ДРУГОЙ.

ПО МИЕЛИНИЗИРОВАННОМУ
ВОЛОКНУ ИМПУЛЬС РАСПРО-
СТРАНЯЕТСЯ НА ПОРЯДОК
БЫСТРЕЕ $\Rightarrow$ У ПОЗВОНОЧ-
НЫХ ЭВОЛЮЦИОННОЕ
ПРЕИМУЩЕСТВО!



БИОПОТЕНЦИАЛЫ, лекция 2

Часть 2.

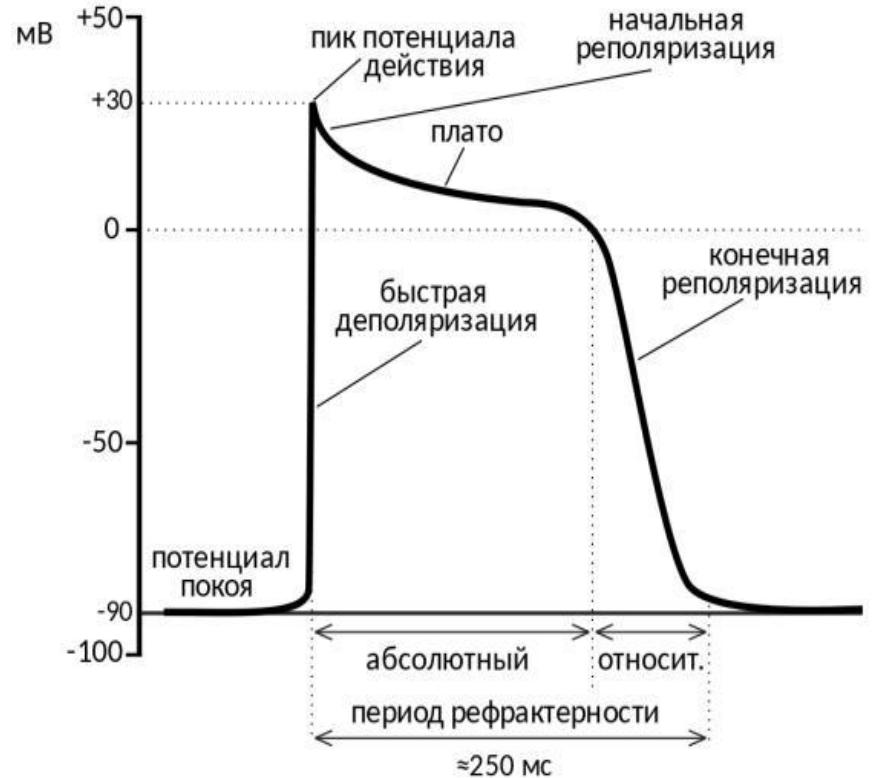
**КЛИНИЧЕСКИЙ МЕТОД
регистрации и анализа
биопотенциалов –
ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИЯ
(ЭКГ)**

1. **БИОФИЗИЧЕСКИЕ
ОСНОВЫ ЭКГ.**
2. **АНАТОМОФИЗИОЛОГИ-
ЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
СЕРДЦА.**
3. **СИСТЕМЫ ОТВЕДЕНИЙ.**
4. **КОМПОНЕНТЫ
НОРМАЛЬНОЙ
ЭЛЕКТРОКАРДИО-
ГРАММЫ.**

1. БИОФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭКГ

ЭКГ – метод оценки электрической активности миокарда (сердечной мышцы) и диагностики ее нарушений.

Чрезвычайно широко применяется в медицине.



Как известно, раз возникнув, волна возбуждения распространяется вдоль всей мембраны клетки.

Поэтому каждая клетка миокарда в период возбуждения представляет собой диполь.

Примечание

Сердце находится в проводящей среде, поэтому диполь – **ТОКОВЫЙ**, с электрическим моментом $\mathbf{D} = \mathbf{I} \cdot \mathbf{l}$, где $\mathbf{I}$ – сила тока, а $\mathbf{l}$ – плечо диполя.

Миокард состоит из множества клеток — элементарных диполей.



Сердце – суммарный (интегральный) диполь.

Электрический момент интегрального диполя сердца — **ЭВС**, электрический вектор сердца.

Сердце-диполь создает электрическое поле в тканях организма.

Разность потенциалов между любыми его точками зависит от величины и направления **ЭВС**.

Для оценки этой разности потенциалов

помещают электроды в определенные точки на поверхности тела.

Специфическое
расположение
электродов на теле
называется
отведением.

Соединяющая точки
расположения
электродов прямая –
линией, или осью
отведения.

В процессе охвата
возбуждением
миокарда

ЭВС непрерывно меняет
величину и направление.

При этом его конец
описывает
в пространстве сложную
замкнутую кривую.

Проекции ЭВС
на координатные
плоскости
регистрируются в методе
ВКГ,
векторэлектрокардио-
графии.
Они имеют вид трех
петель:
самая малая – Р,
средняя – Т
и самая большая – QRS.

Проекции ЭВС на линии
отведений –
в методе ЭКГ,
электрокардиографии.
Разность потенциалов в
сердечной мышце
прямо пропорциональна
проекции ЭВС
на линию
соответствующего
отведения.

Кривая изменения во времени каждой проекции – электрокардиограмма.

Состоит из отрезков почти горизонтальной прямой – **«изоэлектрическая линия»** и отклонений от нее вверх (положительные) и вниз (отрицательные) – **«зубцы»**.

Промежутки между зубцами вдоль изолинии – **сегменты.**

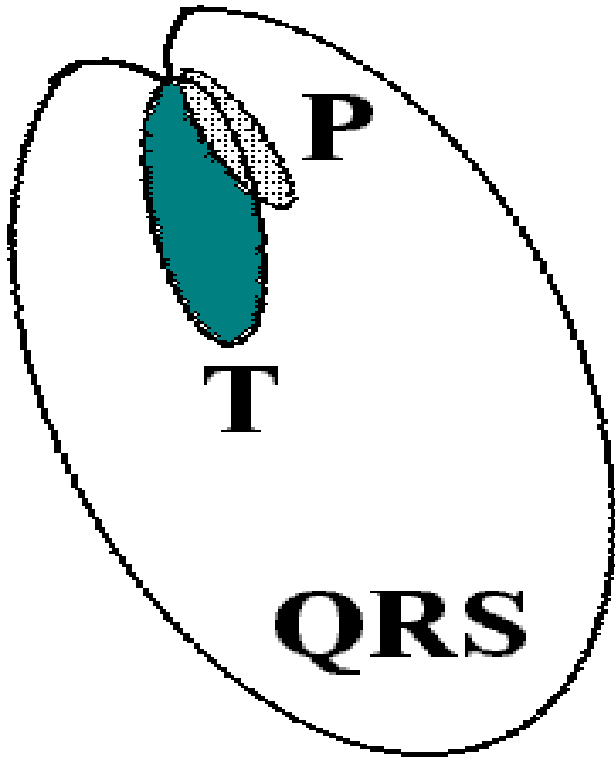
Промежутки между различными точками ЭКГ, включающие отдельные зубцы, - **интервалы.**

Полярность и амплитуда зубцов различны в разных отведениях.

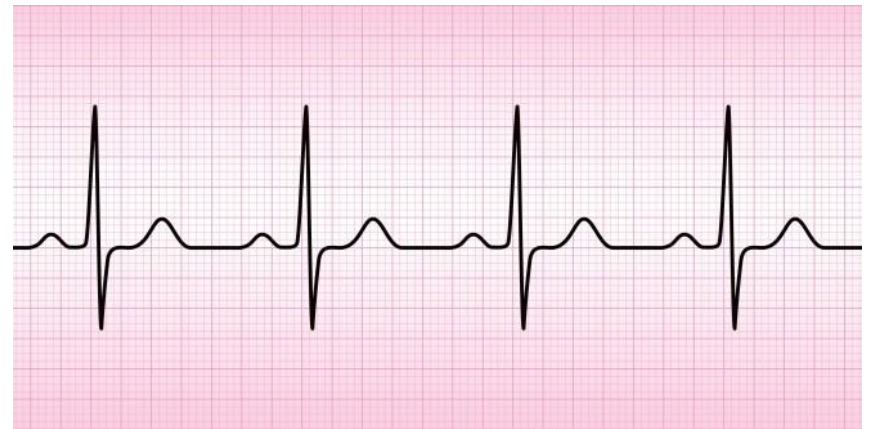
Аппарат для записи ЭКГ – **электрокардиограф.**

Примеры ВКГ и ЭКГ

**Три петли ВКГ
на одной из плоскостей**



**Вид ЭКГ
в одном из отведений**



2. Анатомофизиологические основы деятельности сердца

Основные функции сердечной мышцы:

- автоматизм
- возбудимость
- проводимость и
- сократимость

ЭКГ позволяет оценить первые три, т.е. электрическую активность сердца.

Эти функции обеспечиваются специализированными мышечными клетками, образующими проводящую систему сердца.

Четвертую функцию выполняет сократительный миокард.

Основные части проводящей системы:

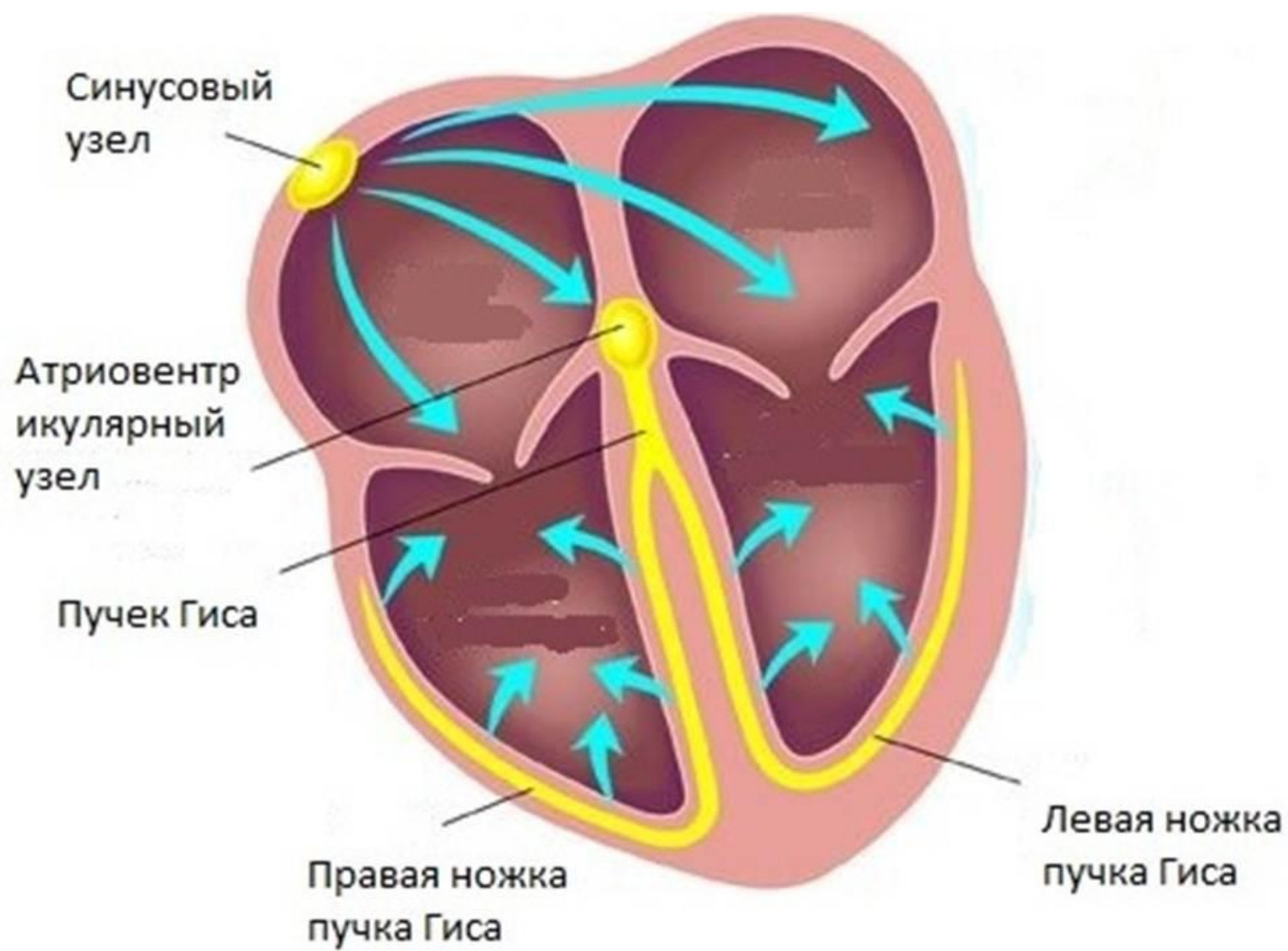
- ✓ синусовый узел (в верхней части правого предсердия)
- ✓ проводящая система предсердий
- ✓ атриовентрикулярный узел (в нижней части правого предсердия и межпредсердной перегородке)
- ✓ проводящая система желудочков

Способность проводящей системы к самопроизвольной выработке электрических импульсов-автоматизм.

Наибольший автоматизм (макс частота импульсов) у синусового узла.

Это **водитель ритма** сердца.

Остальные отделы обеспечивают проведение его импульсов.



3. Системы отведений

Наиболее
употребительные
отведения – 12:

- **три двухполюсных от конечностей – 1, 2, 3 («стандартные»)**
- **три однополюсных от конечностей (усиленных) – aVR, aVL, aVF**
- **шесть грудных – V1 - V6**

В обозначении усиленных однополюсных отведений буква **a** означает «увеличенный», «усиленный» (от англ. augmented),
V – «значение потенциала» (value leads),
R – правая рука (right)
L – левая рука (left),
F – левая нога (foot).

Все отведения от конечностей дают представление об изменении ЭВС во **фронтальной** плоскости;

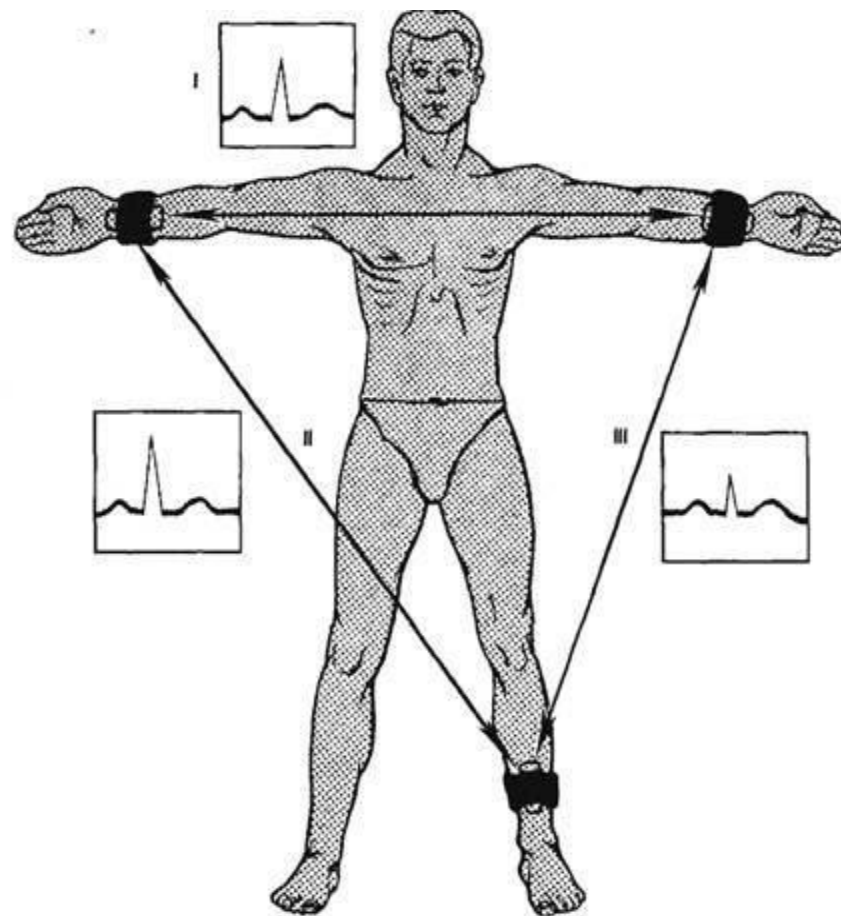
грудные отведения — в горизонтальной и сагиттальной плоскостях.

Стандартные отведения — первые вошедшие в клиническую практику — были предложены нидерландским электрофизиологом **Виллемом Эйнтховеном**. Однополюсные предложены **Вильсоном**, для конечностей модифицированы **Гольдбергером**.



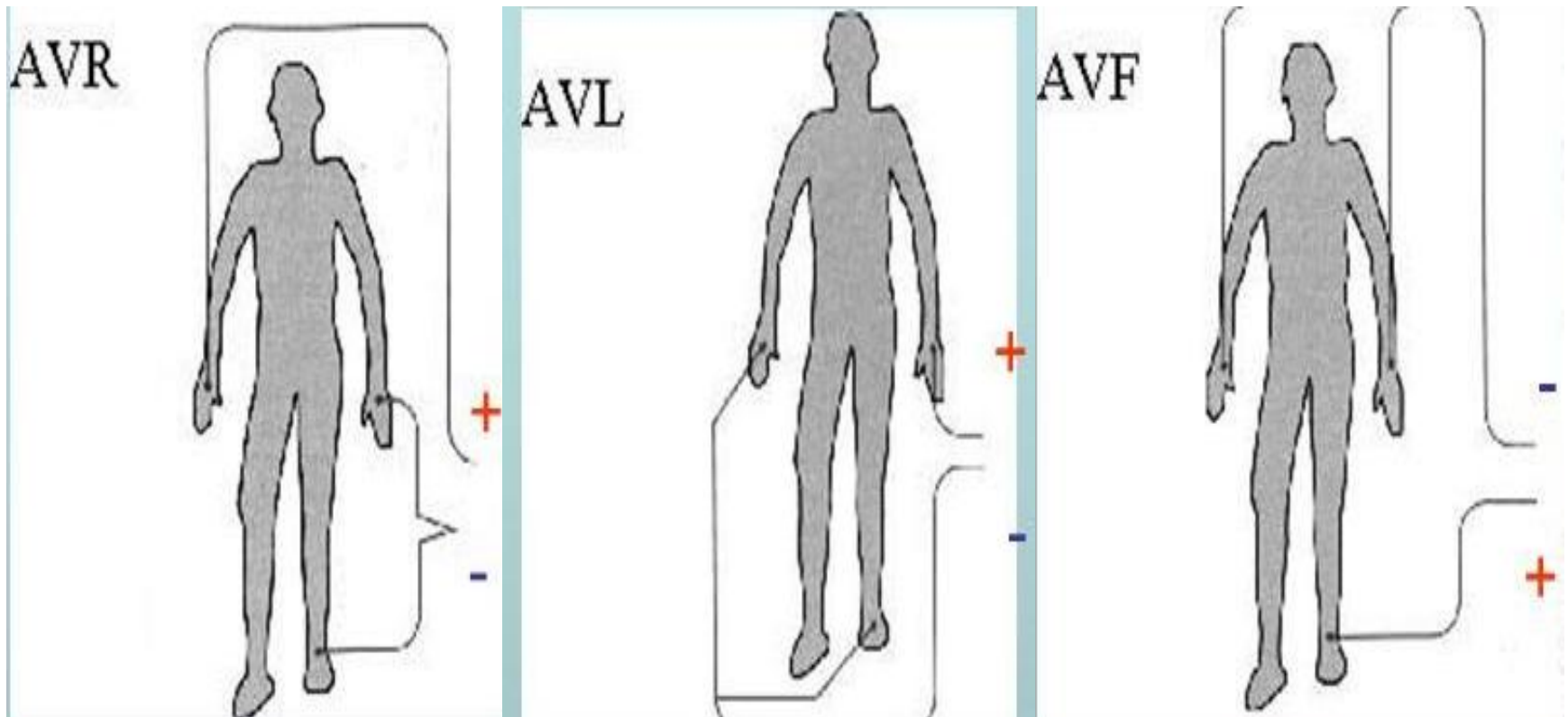
В. Эйнтховен (1860-1927)
Нобелевская премия (1924)

Треугольник Эйнтховена



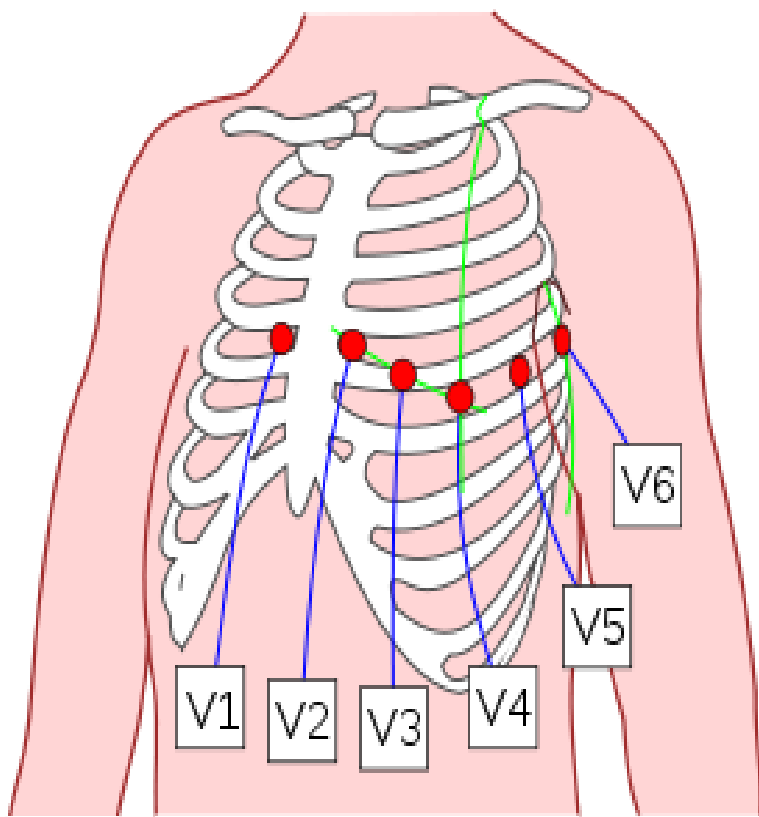
На одну из конечностей накладывается активный электрод, присоединяемый к «+» полюсу электрокардиографа.

Две другие объединяют индифферентным электродом, подключаемым к «—» полюсу.



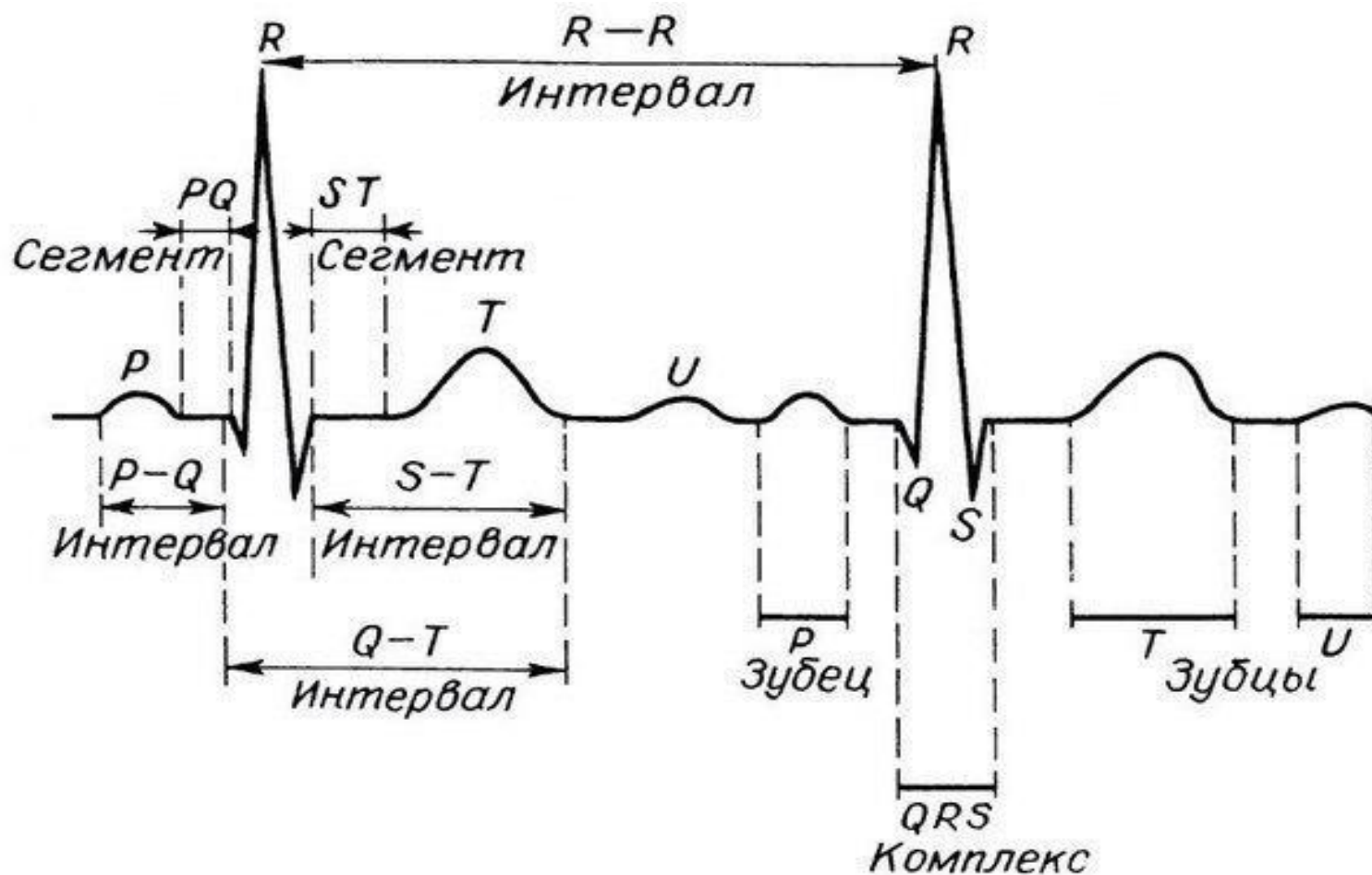
Место активного электрода – на одной из шести строго определенных точек на груди.

Индифферентный электрод связывает три конечности - левую и правую руки и левую ногу.



Индифферентный электрод
в усиленных однополюсных
отведениях от конечностей-
объединённый электрод
Гольдбергера;
в однополюсных грудных
отведениях –
объединённый электрод
Вильсона.

4. Компоненты нормальной электрокардиограммы в стандартных отведениях



Распространение возбуждения по миокарду

Спонтанное зарождение в синусовом узле

Распространение сверху вниз:

по проводящей системе предсердий



на сократительный миокард правого, затем левого
предсердий



задержка в AV узле



по проводящей системе желудочков



на сократительный миокард желудочков

На ЭКГ – зубцы, сегменты, интервалы

- **Зубец Р** отражает процесс деполяризации предсердий.
- **Сегмент PQ** – проведение импульса через AV узел и по проводящей системе желудочков.
- **Комплекс QRS** – деполяризацию желудочков, интервал Q-R-S – её длительность.

- **Сегмент ST** – состояние полного возбуждения сердечной мышцы.
- **Зубец Т** – выход желудочков из состояния возбуждения, т.е. их реполяризация.
- **Интервал Q-T** - время де- и реполяризации желудочков – их «электрическая систола».
- **Комплекс QRST** – «желудочковый комплекс»

- **Интервал P-T** – «электрическая систола сердца» в целом.
- **Сегмент TP** – фаза покоя сердечной мышцы – «электрическая диастола сердца».
- **Интервал R-R** характеризует длительность полного цикла электрической активности сердца.

По его величине определяют частоту сердечного ритма – число **n** электрических импульсов в минуту:

$$n = 60 / \Delta t (R-R)$$

где $\Delta t (R-R)$ – длительность интервала R-R в секундах.

Амплитуда, форма и направление зубцов, длительность сегментов и интервалов имеют большое значение для диагностики.

Ссылка для прохождения тестирования

После изучения лекции необходимо пройти тестирование при помощи сервиса Гугл-формы.

Пожалуйста, корректно заполняйте поля ФИО, факультет и номер группы.

<https://clck.ru/MVwzE>

