

# Физиология сердца.

Преподаватель: Демиденко А.С.

# Содержание лекции:

- Физиологические свойства сердечной мышцы.
- Сердечный цикл, его фазы, продолжительность и характеристика.
- Внешние проявления сердечной деятельности: сердечный толчок, тоны сердца.
- Факторы, обуславливающие звуковые явления в сердце. Перкуссия и аускультация сердца.
- Электрические явления в сердце, их регистрация. Электрокардиограмма: зубцы, интервалы.
- Регуляция деятельности сердца: местные и центральные механизмы, сердечно-сосудистый центр.

# 1. Сердечный цикл и его фазы

Сердце выполняет функцию насоса и обеспечивает постоянный кровоток по сосудистой системе организма.

Деятельность сердца складывается из одиночных сердечных циклов.

Каждый цикл включает **систолю** (сокращение) и **диастолю** (расслабление).

Продолжительность сердечного цикла при ЧСС=75 уд./мин. составляет 0,8 с.

Сердечный цикл начинается с **систола предсердий** (0,1 с).

Затем следует **диастола предсердий** (0,7 с).

Одновременно с началом диастолы предсердий наступает **систола желудочков** (0,33 с), которую сменяет **диастола желудочков** (0,47 с).

Таким образом, за 0,1 с до окончания диастолы желудочков начинается новая **систола предсердий**.

При **систоле предсердий** давление крови в них повышается от 2-4 мм рт. ст. (в правом предсердии) до 5-9 мм рт. ст. (в левом предсердии) мм рт. ст.

В это время желудочки расслаблены и давление в них ниже, чем в предсердиях, створки атрио-вентрикулярных клапанов свисают вниз и кровь по градиенту давлений поступает из предсердий в желудочки, то есть происходит дополнительное заполнение желудочков кровью.

Обратному току крови из предсердий в полые и лёгочные вены препятствует сокращение кольцеобразных мышц (сфинктеров), охватывающих отверстия вен.

За это время возбуждение из синусового узла достигает желудочков и начинается **систола желудочков**.

**Систола желудочков** состоит из двух периодов: **периода напряжения** и **периода изгнания**.

**В период напряжения (0,08 с)** волна возбуждения не сразу охватывает мускулатуру желудочков, а постепенно распространяется по миокарду.

Поэтому часть мышечных волокон (которая ближе к предсердиям) сокращается, а другая часть остается расслабленной.

Этот период систолы получил название **фаза асинхронного сокращения (0,05 с)**.

Начало возбуждения в эту фазу сопровождается сокращением сосочковых мышц и натяжением сухожильных нитей, что препятствует выворачиванию створчатых клапанов в предсердия.

Давление в желудочках практически не изменяется.

По мере того, как процессом возбуждения охвачен весь сократительный аппарат сердца, давление в желудочке растёт, становится больше, чем в предсердиях и обратным током крови захлопываются атрио-вентрикулярные клапаны.

Одновременно давление в артериях пока превышает давление в желудочках, поэтому полулунные клапаны тоже закрыты.

Таким образом, развивается период сокращения при закрытых клапанах.

Так как кровь, подобно любой жидкости, практически несжимаема, то в течение короткого времени (0,03 с) мускулатура желудочков напрягается, но их объём не изменяется.

Этот период получил название **фаза изометрического сокращения.**

Давление сильно растёт и достигает в левом желудочке 115-125 мм рт. ст., а в правом - 25-30 мм рт. ст. Давление в артериальных сосудах в это время, наоборот, падает (из-за продолжающегося оттока крови на периферию).

Когда давление в желудочках становится выше, чем артериях, полулунные клапаны открываются, и кровь под большим давлением выбрасывается в аорту и лёгочную артерию.

Наступает **период изгнания**, который продолжается 0,25 с.

У человека изгнание крови (систолический выброс) может наступить, когда давление в левом желудочке достигает 65-75 мм рт. ст., а в правом - 5-12 мм рт. ст.

В самом начале, когда градиент давления велик, кровь из желудочков в сосуды изгоняется быстро.

**Это фаза быстрого изгнания.** Она продолжается 0,12 с. По мере того, как количество крови в желудочках убывает, давление в них падает.

Одновременно приток крови в аорту и лёгочную артерию сопровождается повышением давления в выходящих сосудах.

Разность давлений уменьшается, и скорость изгнания уменьшается.

Наступает **фаза медленного изгнания** (0,15 с).

Вслед за фазой изгнания наступает **диастола желудочков.**

Желудочки начинают расслабляться и давление в них дополнительно падает.

Давление в выходящих сосудах становится выше, чем в желудочках, кровь меняет своё направление и обратным током крови полулунные клапаны захлопываются.

Время от начала расслабления желудочков до момента закрытия полулунных клапанов получило название **протодиастолический период** (0,04 с).

Затем в течение 0,08 с желудочки расслабляются при закрытых атрио-вентрикулярных и полулунных клапанах.

Этот период диастолы обозначают как **период изометрического расслабления**.

Он продолжается до тех пор, пока давление в желудочках не упадет ниже, чем в предсердиях.

Предсердия к тому времени уже заполнены кровью, так как диастола желудочков частично совпадает с диастолой предсердий, во время которой кровь свободно протекает из полых вен в правое, а из лёгочных вен - в левое предсердия.

В результате падения давления в желудочках (до 0) и повышения давления в предсердиях возникает разность давлений, створчатые клапаны открываются, и кровь из предсердий начинает наполнять желудочки.

Это период наполнения желудочков (0,35 с).

Сначала наполнение происходит быстро, так как градиент давлений велик.

Эта фаза получила название **фаза быстрого наполнения** (0,08 с).

По мере наполнения желудочков давление в них повышается, а в предсердиях – падает.

Градиент давлений уменьшается, и скорость наполнения замедляется.

Эта фаза получила название **фаза медленного наполнения** (0,17 с).

В конце диастолы, за 0,1 с до её окончания наступает **новая систола предсердий**, то есть начинается новый **сердечный цикл**.

В это время происходит дополнительное наполнение желудочков кровью.

Эта заключительная фаза диастолы желудочков получила название **фаза наполнения желудочков кровью, обусловленная систолой предсердий (0,1 с)**.

## Фазы сердечной деятельности (сердечный цикл).

Сердечный цикл – это период времени, охватывающий полное сокращение и расслабление сердца, длится **0,8с** и состоит из трёх фаз:

I фаза. Систола предсердий - длится **0,1с** - возникает при повышении давления в предсердиях, при этом створчатые клапаны открыты и кровь выбрасывается в желудочки, полулунные клапаны закрыты.

II фаза. Систола желудочков - длится **0,3с** - возникает в момент, когда давление в желудочках превышает давление в артериях. Полулунные клапаны при этом открыты и кровь устремляется в аорту и лёгочный ствол. Створчатые клапаны закрыты. Затем полулунные клапаны захлопываются, и наступает диастола желудочков.

III фаза. Общая пауза - длится **0,4с** – это общее расслабление предсердий и желудочков – фаза отдыха и заполнения сердца кровью.

Диастола предсердий длится **0,7с** - в это время предсердия пассивно наполняются кровью.

## Физиология сердечной мышцы

- Функциональной единицей миокарда является **мышечное волокно**, образованное цепочкой нескольких кардиомиоцитов. Между ними имеются электрические синапсы, контакты, имеющие малое сопротивление.
- Среди клеток миокарда выделяют большинство *рабочих*, сократительных, или *типичных* кардиомиоцитов, и меньшинство (около 1%) *атипичных, узловых* кардиомиоцитов, составляющих проводящую систему сердца.
- Меньшую долю занимают секреторные, эндокринные кардиомиоциты (**ПНУФ**)

# Функциональные особенности сердца

Сердце обладает:

- Автоматизмом;
- Наличие в каждом сердечном цикле фаз изометрического сокращения и расслабления;
- Сила сокращения миокарда подчиняется и работает согласно закона Старлинга (сила сокращения сердца минимальна при средней степени растяжения кардиомиоцитов, изменение исходной длины кардиомиоцитов увеличивает силу сокращения, но не влияет на скорость сокращения).
- Сердечная мышца не способна к тетаническому сокращению (связано с длительным абсолютно рефрактерным периодом в кардиомиоцитах)
- Подчиняется закону «все или ничего»
- Хроноинотропная зависимость-зависимость силы сокращения от частоты сокращения.
- Характерны внеочередные сокращения-экстрасистолы: предсердные (источник находится в синусном узле) и желудочковые (источник в предсердно-желудочковом узле). При желудочковой экстрасистоле появляется неравномерный ритм, а частота сокращений сердца остается прежней.

Функции миокарда: автоматизм, возбудимость, проводимость и сократимость.

- **Автоматизм** — способность самостоятельно генерировать ПД для сокращения миокарда всего сердца; денервированное сердце продолжает сокращаться, так как автоматизмом обладают даже рабочие кардиомиоциты, однако скорость **спонтанной диастолической деполяризации** у них минимальна.
- **Проводимость** — способность проводить ПД; проводимостью обладает каждый кардиомиоцит.
- **Возбудимость** — способность возбуждаться (генерировать ПД) в ответ на воздействие раздражителя.
- **Сократимость** — способность сокращаться, реализуя тем самым насосную функцию сердца.

# Циклическая работа сердца

- Ритмическая;
- Заключается в сердечном цикле (работа правой и левой половины сердца, которая складывается из автоматически возникающего в сердце возбуждения, его распространения, последовательного сокращения (сistolы) предсердий и желудочков и их расслаблении (диастолы);
- Результат сердечного цикла – выброс из сердца ударного объема крови.
- Особенность: Кровь дважды проходит через сердце: 1-в правую половину – малый круг кровообращения; 2-вернувшись в левую половину – большой круг кровообращения.

# Ритмическое возбуждение сердца:

- Проводящая система сердца состоит из малодифференцированных атипичных мышечных волокон, которые возбуждаются, проводят возбуждение, но не сокращаются.
- Выделяют: синоатриальный или синусно-предсердный узел; проводящие волокна предсердий, атриовентрикулярный или предсердно-желудочковый узел, пучок Гиса, волокна Пуркинье.
- Синусно-предсердный узел – (состоит из сердечных проводящих кардиомиоцитов, расположенных под эпикардом между ушком правого предсердия и местом впадения верхней полой вены) – возбуждение проводится по проводящим волокнам предсердий (возбуждаются типичные кардиомиоциты) к предсердно-желудочковому узлу- далее по желудочкам по пучку Гиса (делится в перегородке сердца на правую и левую ножки) – волокна Пуркинье достигая типичных кардиомиоцитов желудочков сердца.

# Распространение возбуждения в сердце

- 5 фаз:
- Нулевая-деполяризация;
- 1-быстрая реполяризация;
- 2-медленная реполяризация (плато);
- 3-конечная быстрая реполяризация;
- 4-потенциал покоя.
- Клетки синусного узла не имеют плато, отсутствуют потенциал покоя и происходит медленная диастолическая деполяризация. За счет тока ионов кальция замедляет реполяризацию и удлиняет процесс возбуждения сердца. Длительность возбуждения становится равной длительности сокращения предсердий и желудочков сердца. Длительность потенциалов действия типичных кардиомиоцитов сопровождается длительным периодом невозбудимости миокарда предохраняющим сердце от суммации одиночных сердечных сокращений (тетанических).

# Автоматизм сердца

- Способность сердца самопроизвольно возбуждаться без действия внешних раздражителей, под влиянием процессов происходящих в нем самом.
- Мера автоматизма- частота возникновения возбуждения в месте спонтанных возбуждений.
- Градиент автоматизма направлен от основания к вершине;(от синусного узла к предсердно-желудочковому);
- Типичные кардиомиоциты обладают потенциальной способностью к автоматизму;
- Синусный узел подавляет автоматизм других отделов, поэтому является водителем ритма или пейсмекером.
- Автоматизм предсердно-желудочкового узла проявляется в патологии

# Ритмическое сокращение сердца

- Сокращение происходит в миокарде вследствие взаимодействия между актином и миозином под влиянием ионов кальция, выходя в саркоплазму частично из эндоплазматической сети и частично снаружи кардиомиоцитов из Т-систем. Вхождение в кардиомиоциты называется кальциевым залпом во время плато потенциала действия.

# Зависимость давления от объема крови в сердце

- ЗАКОН ФРАНКА- СТАРЛИНГА («закон сердца»):
- **Чем больше мышца сердца растянута поступающей кровью, тем больше сила сокращения и тем больше крови поступает в артериальную систему.**
- Закон Франка-Старлинга обеспечивает:
- приспособление работы желудочков сердца к увеличению нагрузки объемом;
- «уравнивание» производительности левого и правого желудочков сердца (в единицу времени в большой и малый круги кровообращения поступает одинаковое количество крови)
- Физическая величина работы сердца равна произведению изменения давления на изменение объема крови в сердце в ходе сердечного цикла.
- При увеличении венозного притока крови работа сердца и ударный объем увеличиваются согласно закону Старлинга без повышения артериального давления.

# Отличие левой половины сердца от правой

- Правая половина сердца работает медленнее и меньше отдыхает т.к. тратит меньше энергии на свою работу.

## Внешние проявления сердечной деятельности.

Верхушечный толчок – изменение формы сердца во время систолы - из эллипсоидного оно становится круглым - верхушка поднимается и надавливает на грудную клетку **в области V межреберья**, при этом можно видеть выбухание межрёберного промежутка и пропальпировать толчок.

Сердечные тоны – это звуковые явления, которые выслушиваются с помощью фонендоскопа (**аускультация**).

**I тон – систолический** - возникает при закрытии створчатых клапанов во время систолы желудочков, выслушивается в области верхушечного толчка (V межреберье) и у основания мечевидного отростка.

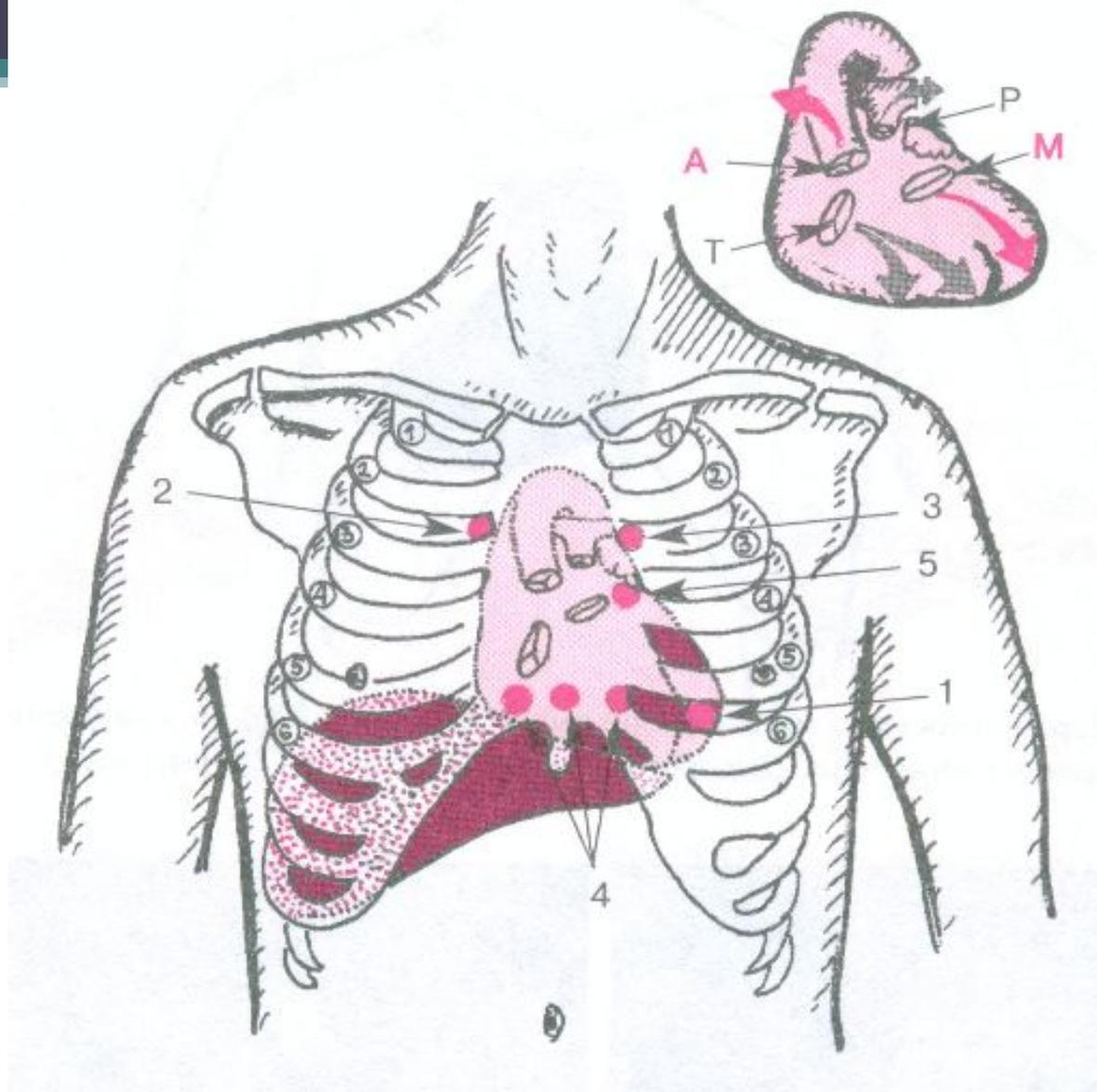
**II тон – диастолический** - возникает вначале диастолы желудочков, при закрытии полулунных клапанов аорты и легочного ствола, выслушивается во II межреберье слева и справа от рукоятки грудины.

# Основные правила аускультации сердца

1. При аускультации сердца необходимо соблюдать тишину, помещение должно быть теплым.
2. Аускультация сердца проводится в горизонтальном и вертикальном положении больного, а при необходимости и после физической нагрузки.
3. Аускультация сердца проводится как при спокойном поверхностном дыхании, так и при задержке дыхания после максимального выдоха.

# Порядок аускультации клапанов сердца

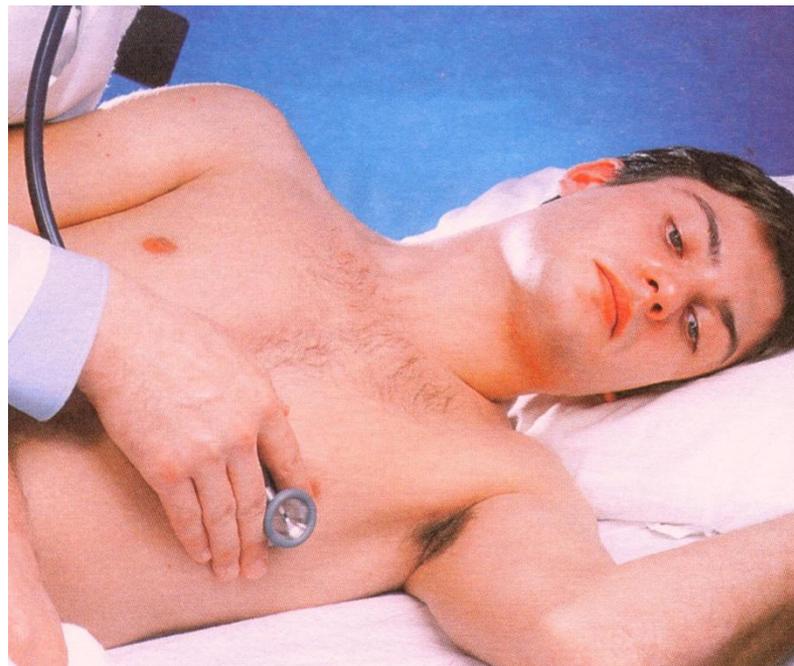
1. В области верхушки сердца лучше выслушиваются звуковые явления, связанные с деятельностью митрального клапана.
2. Во II межреберье справа от грудины – звуки, проводящиеся с аортального клапана.
3. Во II межреберье слева от грудины – звуки, проводящиеся с клапана легочной артерии.
4. У основания мечевидного отростка, а также слева и справа от него лучше определяются звуковые явления, связанные с деятельностью трехстворчатого клапана.
5. Точка Боткина-Эрба – в месте прикрепления III-IV ребра к грудины слева – дополнительная точка выслушивания звуков, проводящихся с аортального клапана.



1 - верхушка сердца; 2 и 3 - II межреберье; 4 - основание мечевидного отростка; 5 - точка Боткина-Эрба; А - аортальный клапан; М - митральный; Т - трехстворчатый; Р - клапан легочной артерии

# Внимание !

- ✓ Звуковые явления, связанные с деятельностью митрального клапана, лучше выслушивать в положении больного на левом боку, а аортального клапана – в вертикальном и несколько наклоненном вперед положении с поднятыми вверх руками.



# Электрические явления в сердечной мышце

Причина автоматизма в сердце объясняется тем, что в автоматических клетках по генетическому коду через определённые промежутки времени изменяется проницаемость мембраны для ионов  $\text{Na}$ .

Кроме того, в процессе жизнедеятельности в клетках синусового узла накапливаются продукты конечного обмена ( $\text{CO}_2$ , молочная кислота), которые вызывают возбуждение в атипической ткани.

В настоящее время установлена электрическая природа автоматии.

Причём, клетки составляющие основу узлов автоматии и проводящей системы сердца имеют свои особенности процесса возбуждения.

1. Низкий уровень мембранного потенциала (от -50 до -70 мВ).

Это объясняется тем, что у автоматических клеток в состоянии покоя значительно повышена проницаемость для  $\text{Na}^+$ .

2. Повышенная натриевая проницаемость связана с открытием только медленных натрий-кальциевых каналов.

Быстрые натриевые каналы в это время инактивированы.

3. На фоне повышенной натриевой проницаемости происходит спонтанная медленная диастолическая деполяризация, которая при достижении критического уровня (порядка  $-40$  мВ) сопровождается открытием быстрых натриевых каналов, что вызывает генерацию потенциала действия.
4. Амплитуда потенциала действия очень низкая (от  $5$  до  $20$  мВ).

5. Форма потенциала действия ближе к пикообразному потенциалу, где реполяризация связана с инактивацией натриевых и открытием калиевых каналов. Следствием является увеличение калиевой проницаемости.

Степень выраженности автоматии зависит от периода (времени) между соседними спонтанными деполяризациями (чем он меньше, тем больше выражена автоматия), от порога деполяризации (чем он меньше, тем больше автоматия), от крутизны (скорости) спонтанной деполяризации (чем она больше, тем больше автоматия).

Клетки сино-атриального узла имеют максимальную выраженность автоматии. Это проявляется минимальным промежутком времени между спонтанными деполяризациями, минимальным порогом деполяризации и максимальной крутизной спонтанной деполяризации.

Поэтому, возникшее там возбуждение, приходит к ниже лежащим узлам автоматии в тот момент, когда собственная спонтанная деполяризация ещё не наступила.

В результате они воспринимают ритм пейсмеккера, подчиняясь ему.

Если возбуждение от водителя ритма не поступает к нижележащим отделам, то у них проявляется собственная способность к генерации медленной диастолической деполяризации в своём, но в более медленном ритме.

Ритм возбуждения от пейсмеккера получает **сократительный миокард.**

# ЭКГ: характеристика, отведение, клиническое значение

## Отведения ЭКГ

ЭКГ представляет собой запись изменения суммарного электрического потенциала, возникающего при возбуждении множества миокардиальных клеток.

Регистрация ЭКГ осуществляется с помощью электродов, накладываемых на различные участки тела. Система расположения электродов называется электрокардиографическими отведениями. При регистрации ЭКГ всегда используют 12 общепринятых отведений: 6-от конечностей и 6 грудных.

## **Первые 3 стандартных отведения**

предложены Эйнтховеном. Электроды накладываются следующим образом:

- 1 отведение левая рука (+) и правая рука (-),
- 2 отведение левая нога (+) и правая рука (-),
- 3 отведение левая нога (+) и левая рука (-).

Регистрируют также **усиленные однополюсные отведения от конечностей:**

aVR — от правой руки,

aVL — от левой руки,

aVF — левой ноги.

Усиленные отведения от конечностей находятся в определенном соотношении со стандартными.

Отведение aVL в норме имеет сходство с I отведением

aVR — с зеркально перевернутым II отведением

aVF — сходно с II и III отведениями.

**6 грудных отведений** устанавливают на следующие точки

V1 — в 4 межреберье у правого края грудины,

V2 — в 4 межреберье у левого края грудины,

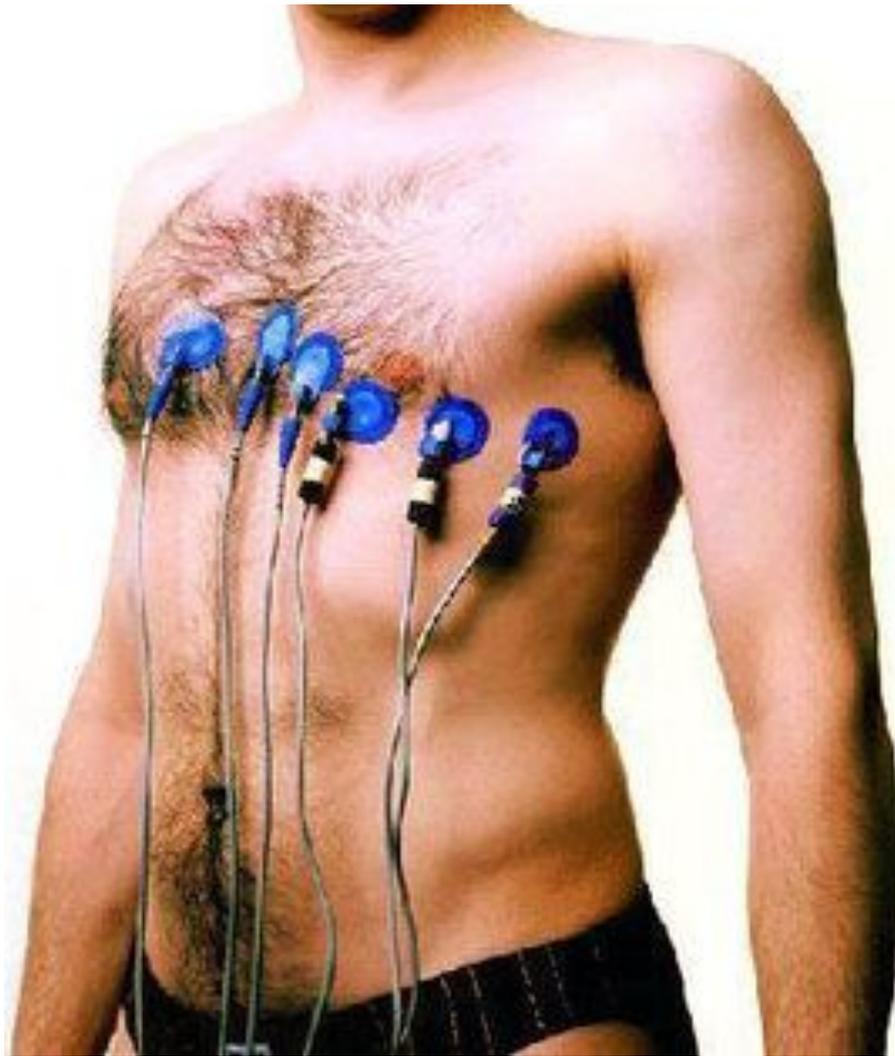
V3 — посередине между точками V2 и V4;

V4 — в 5 межреберье по левой срединно-ключичной линии;

V5 — на уровне отведения V4 по левой передней аксиллярной линии;

V6 — на том же уровне по левой средней аксиллярной линии.

В некоторых случаях регистрируют дополнительные грудные отведения. К ним относятся V7, V8, V9, когда активный электрод располагается на уровне V4-V6 соответственно по задней аксиллярной, лопаточной и паравертикакулярной линиям.

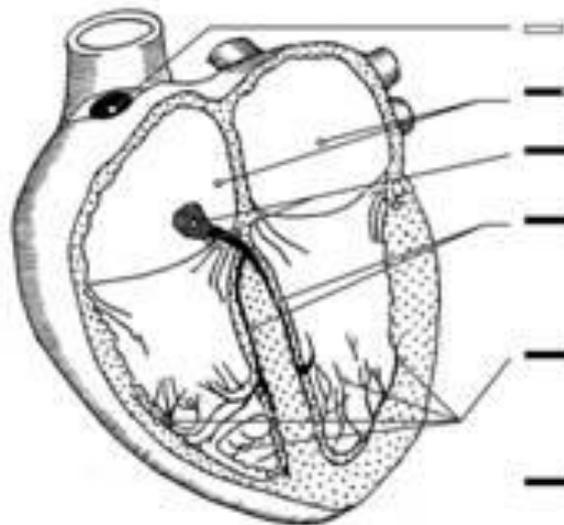


На нормальной ЭКГ имеется ряд зубцов и интервалов между ними. Выделяют зубец Р, зубцы Q, R и S, образующие комплекс QRS, зубцы T и U, а также интервалы P-Q (P-R); S-T; Q-T; Q-U; T-P.

Амплитуду зубцов измеряют в милливольтках. При этом 1 мВ соответствует отклонению от изолинии на 1 см.

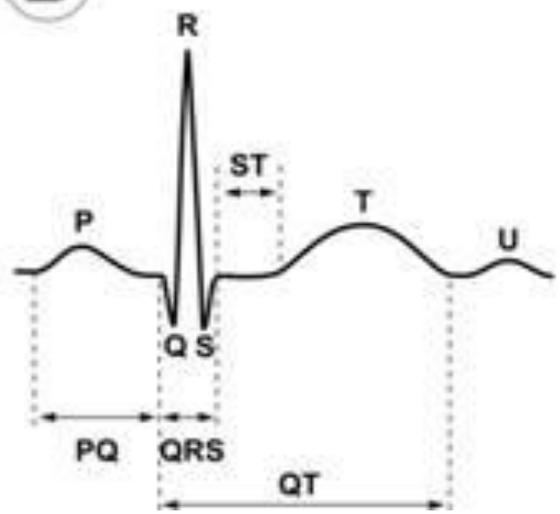
Ширину зубцов и продолжительность интервалов измеряют в секундах по тому отведению, где эти параметры имеют наибольшую величину.

**А**



- Возбуждение синусового узла
- Возбуждение предсердий — P
- Возбуждение предсердно-желудочкового узла и пучка Хиса
- Возбуждение межжелудочковой перегородки
- Возбуждение свободной стенки левого желудочка — R
- Возбуждение желудочков — ST
- Реполаризация желудочков — T
- Поздняя фаза реполяризации — U

**Б**



**Зубец Р** отражает возбуждение предсердий, положителен (направлен вверх) во всех отведениях, кроме aVR.

Может быть (-) в отведениях aVL или aVF и отрицательным или двухфазным (+-) в отведениях V1 и V2.

Амплитуда не более 0,25 мВ, ширина — 0,1 с.

Первые 0,02-0,03 с отражают возбуждение правого предсердия, последние 0,02-0,03 с обусловлены только левопредсердным компонентом зубца.

## **Интервал P-Q**

Отсчитывается от начала зубца P до начала Q (при отсутствии — до начала R). Интервал отражает время, необходимое для деполяризации предсердий (зубец P), проведение импульса через атриовентрикулярное соединение, пучок Гиса и его ветви.

**Продолжительность интервала P-Q** зависит от ЧСС (чем реже ритм, тем длиннее интервал). В норме не должен быть короче 0,12 с и не должен превышать 0,2 с.

## Зубец Q

Представляет собой первый направленный вниз зубец желудочкового комплекса, предшествующий зубцу R, может отсутствовать. Отражает деполяризацию межжелудочковой перегородки.

В норме зубец Q может быть глубоким, даже преобладающим в отведении aVR.

Глубокий зубец Q в отведениях III и aVF в сочетании с глубоким зубцом S в I и aVL может наблюдаться при вертикальном положении оси сердца с поворотом вокруг продольной оси по часовой стрелке.

Выраженный Q встречается в I, II, III отведениях при редко встречающемся положении сердца с поворотом верхушкой вперед.

Изредка в норме встречается зубец Q=50 %.

Амплитуда зубца R в отведении aVL, а также зубец QS в ответвлении V1.

В остальных отведениях в норме зубец Q не превышает по глубине 25 % амплитуды R

По ширине не более 0,03 с.

## **Зубец R**

Отражает деполяризацию верхушки, передней, задней и боковой стенок желудочков сердца.

Высота от 0,5-2,5 мВ.

При расщеплении комплекса QRS и наличии нескольких зубцов R учитывается вершина последнего зубца R.

## Интервал Q-R

Время внутреннего отклонения (измеряется расстоянием от начала желудочкового комплекса (зубца Q или R) до проекции вершины зубца R на изолинию).

Этот показатель характеризует время распространения возбуждения от эндокарда до эпикарда в месте расположения электрода, его используют для оценки последовательности возбуждения желудочков. В отведениях V1 и V2 (над правым желудочком) — 0,05 с.

## **Зубец S**

Определяется как любой следующий за зубцом R отрицательный зубец комплекса QRS. Этот зубец отражает процесс возбуждения основания желудочков сердца. Его амплитуда изменяется в широких пределах в зависимости от отведения, положения электрической оси сердца и других факторов. Максимальная глубина зубца S в норме не более 2,5 мВ.

## **Комплекс QRS**

Отражает деполяризацию желудочков. Ширину измеряют от начала зубца Q до конца зубца S. В норме не более 0,1 с. Максимальная амплитуда комплекса QRS в норме не более 2,6 мВ.

## **Сегмент S-T (R-T)**

Отрезок от конца комплекса QRS до начала зубца T. Соответствует периоду угасания возбуждения желудочков и началу медленной реполяризации.

В норме — на изолинии; но в правых грудных отведениях может быть смещён вверх не более 0,2 мВ, в левых грудных отведениях - может быть смещён вниз не более 0,1 мВ.

## **Зубец Т**

Отражает процесс быстрой реполяризации желудочков.

В норме — положителен во всех отведениях, кроме  $aVR$ , где он (-), иногда может быть (-) в отведениях III и  $V_1$ .

Амплитуда зубца Т в норме обычно составляет  $1/8-2/3$  амплитуды зубца R.

Ширина зубца Т колеблется от 0,1 до 0,25 с.

## **Интервал Q-T**

Измеряется от начала зубца Q (R) до конца зубца T. Соответствует электрической систоле желудочков. Его продолжительность зависит от ЧСС и других факторов.

## **Зубец U**

Выявляется не всегда. В норме следует спустя 0,02-0,04 с после зубца T. Отражает следовую реполяризацию волокон проводящей системы сердца. Амплитуда не более 0,25 мВ; продолжительность — 0,25 с.

## **Интервал Q-U**

Измеряется от начала зубца Q до конца U.

## **Интервал T-P**

Отрезок ЭКГ от конца зубца T до начала P, интервал соответствует состоянию покоя миокарда.

# Регуляция сердечной деятельности

Приспособительная деятельность сердца определяется потребностями организма в крови согласно метаболической активности и осуществляется при помощи ряда регуляторных механизмов.

Часть из них находится в самом сердце – **внутрисердечные механизмы** (интракардиальная регуляция).

Часть имеют внесердечное расположение – **внесердечные механизмы** (экстракардиальная регуляция).

# Интракардиальная регуляция

К внутрисердечным регуляторным механизмам относятся:

- 1) **внутриклеточные механизмы** регуляции;
- 2) регуляция **межклеточных взаимодействий**;
- 3) **нервная регуляция**, которая предусматривает внутрисердечные периферические рефлексy.

# Внутриклеточные механизмы регуляции

Внутриклеточные механизмы регуляции

**1. Физиологическая или рабочая гипертрофия миокарда (у спортсменов).**

При увеличении нагрузки на сердце (регулярная мышечная деятельность) возникает усиление синтеза сократительных белков миокарда и структур, обеспечивающих их деятельность.

# Внутриклеточные механизмы регуляции

**2. Основной закон сердца (закон Франка-Старлинга).** Интенсивность деятельности миокарда соответствует количеству притекающей к сердцу крови. При этом сила сокращения миокарда пропорциональна степени исходной длины его мышечных волокон. Более сильное растяжение миокарда во время диастолы (длина саркомера 1,9-2,2 мкм) соответствует усиленному притоку крови к сердцу.

Чем больше растянута каждая клетка миокарда во время диастолы (до известного предела), тем больше она сможет укоротиться во время систолы.

# Внутриклеточные механизмы регуляции

Поэтому сердце перекачивает в артериальную систему то количество крови, которое притекает к нему из вен.

**Современная формулировка** основного закона сердца (закона Франка-Старлинга):  
**чем больше до известного предела конечно-диастолический объём сердца, тем больше систолический объём.**

# Регуляция межклеточных взаимодействий

## **Регуляция межклеточных**

**взаимодействий** основана на различной структуре и функциях вставочных дисков, соединяющих клетки миокарда.

Одни их участки, соединяя миофибриллы, выполняют механическую функцию.

Другие участки обеспечивают транспорт через мембрану миоцита необходимых ему веществ.

Третьи участки вставочных дисков (нексусы, или тесные контакты) проводят возбуждение с клетки на клетку, объединяя клетки миокарда в функциональный синцитий.

Это позволяет сердцу работать по **закону «всё или ничего»**.

Кроме того, соединительно-тканые клетки миокарда представляют не только механическую опорную структуру, но и поставляют для сократительного миокарда ряд сложных высокомолекулярных продуктов, необходимых для поддержания функции сократительных белков.

Такой тип взаимодействий получил название креаторных связей. Нарушение межклеточных взаимодействий приводит к асинхронному возбуждению клеток миокарда и появлению сердечных аритмий.

# Внутрисердечные периферические рефлексy

**Внутрисердечные периферические рефлексy** характеризуются тем, что их рефлекторная дуга замыкается не в ЦНС, а в интрамуральных ганглиях миокарда.

Примером является рефлекс, когда усиливаются сокращения не только того отдела сердца, миокард которого непосредственно растягивается притекающей кровью (правое предсердие), но и других отделов (левый желудочек), чтобы «освободить место» притекающей крови и ускорить её выброс в артериальную систему.

Однако подобные реакции наблюдаются только на фоне низкого исходного кровенаполнения и незначительной величины давления крови в аорте и коронарных сосудах.

Если камеры сердца переполнены кровью и давление в аорте и коронарных сосудах высокое, то растяжение венозных приёмников в сердце угнетает сократительную активность миокарда.

При этом в аорту выбрасывается меньше крови, а приток крови из вен затрудняется.

Подобные реакции обеспечивают стабильность кровенаполнения артериальной системы.

# Сердечно-сосудистый центр

Вегетативная нервная система находится под влиянием ЦНС и служит связующим звеном между сердечно-сосудистой системой и нервным центром.

В продолговатом мозге находится вагусное ядро, в котором расположен **парасимпатический центр**, замедляющий сердечную деятельность.

Проксимальнее его, в ретикулярной формации продолговатого мозга находится **симпатический центр**, ускоряющий сердечную деятельность.

Третий подобный центр также находится в ретикулярной формации.

Он отвечает за тонус сосудов и артериальное давление.

Это симпатический сосудосуживающий центр.

Все три центра составляют единую регулирующую систему, которые объединены общим названием **сердечно-сосудистый центр**.

В обычных условиях эти центры находятся в состоянии постоянного возбуждения, которое поддерживается афферентными импульсами, идущими с периферии.

Состояние непрерывного возбуждения нервного центра носит название **центрального тонуса**.

Благодаря **тонической активности** нейронов ядра блуждающего нерва, к сердцу поступают постоянные тормозящие влияния.

Поэтому перерезка обоих блуждающих нервов приводит к увеличению частоты сердечных сокращений.

Прекращение поступления импульсов по симпатическим нервам не приводит к стойкому замедлению ритма, так как тоническая активность симпатических центров выражена слабо.

Центры продолговатого мозга находятся под контролем коры головного мозга, которой также подчиняются высшие вегетативные центры гипоталамуса.

На роль коры указывают изменения сердечной деятельности при эмоциональных состояниях и условно-рефлекторные влияния на сердце.

От многочисленных экстерорецепторов (зрительных, слуховых, болевых), а также от интерорецепторов в соответствующие центры поступают возбуждающие их импульсы.

Из центров по эфферентным волокнам импульсы идут к сердцу и изменяют его деятельность в зависимости от необходимости приспособления сердечной деятельности к конкретным условиям существования.

Например:

при воздействии холода или болевых раздражений повышается тонус парасимпатических центров. В результате сила и ритм сердечных сокращений уменьшаются. При воздействии тепла повышается тонус симпатических центров, и ритм сердечных сокращений увеличивается.

Существенное влияние на работу сердца оказывает раздражение интерорецепторов сосудов, расположенных в рефлексогенных зонах.

Наибольшее значение имеют баро- и хеморецепторы дуги аорты, каротидного синуса, лёгочной артерии и лёгочных вен.

Все афферентные импульсы конвергируют (сходятся) на нейронах сердечного и сосудодвигательного центров спинного и продолговатого мозга.

Следствием является изменение симпатических и парасимпатических влияний, в результате чего поддерживаются на нормальном уровне важные показатели кровообращения, такие как минутный объём кровообращения, сосудистый тонус, артериальное давление.

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**

