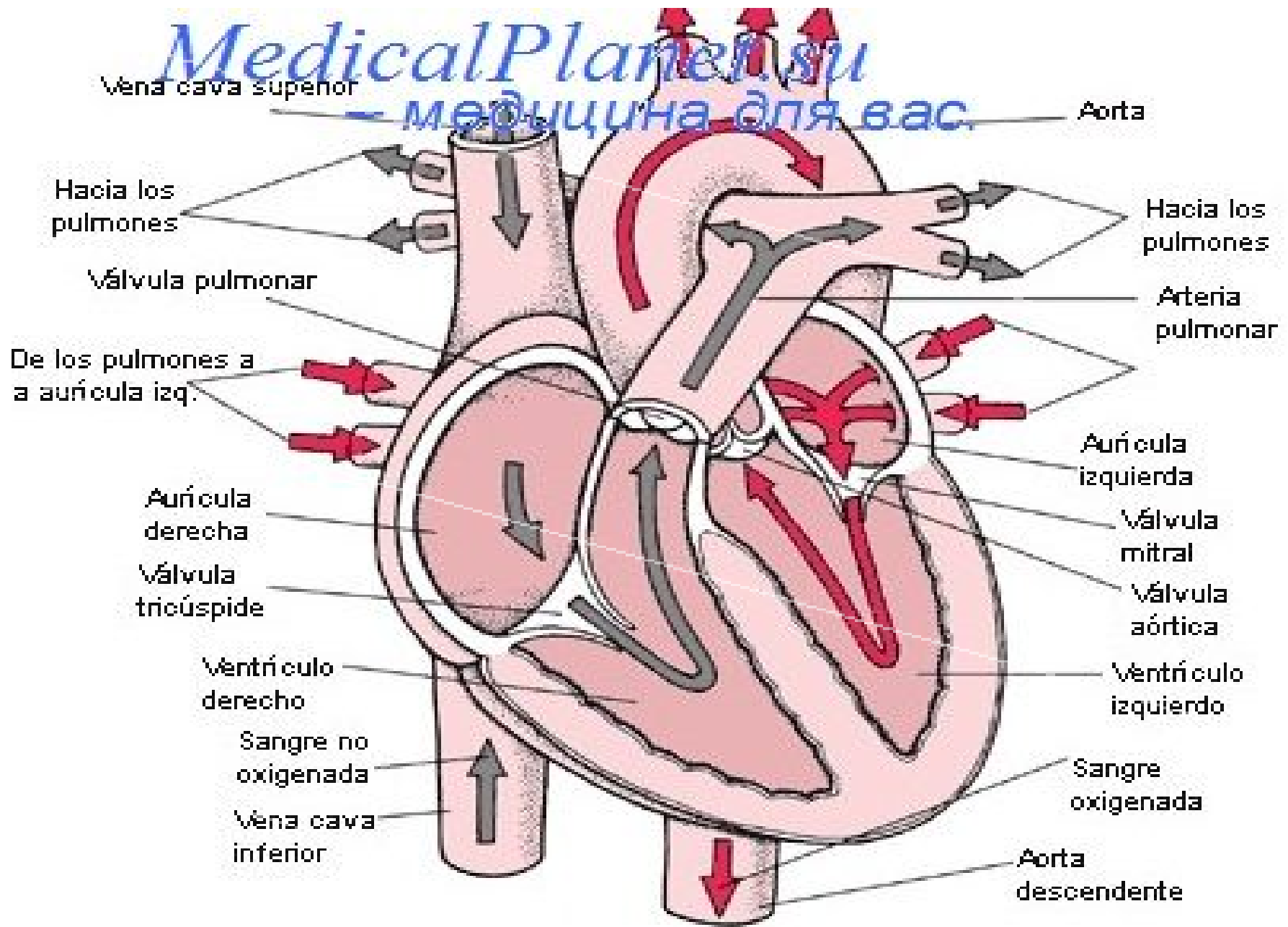


Является ли работа сердца
колебаниями?



Период

Цикл деятельности сердца складывается из трех фаз:

- первая фаза — систола предсердий (0,1 с),
- вторая фаза — систола желудочков (0,3 с)
- третья фаза — общая пауза (0,4 с).

Во время общей паузы расслаблены и предсердия, и желудочки сердца.

В течении сердечного цикла предсердия сокращаются 0,1 с и 0,7 с находятся в состоянии диастолического расслабления;

желудочки сокращаются 0,3 с, их диастола длится 0,5 с.

Во время **общей паузы** мускулатура предсердий и желудочков расслаблена, **створчатые клапаны открыты, а полулунные закрыты.**

Кровь вследствие **разности давления** притекает из вен в предсердия и, так как клапаны между предсердиями и желудочками открыты, свободно протекает в желудочки.

Следовательно, во время общей паузы все сердце заполняется кровью и к концу паузы желудочки уже заполнены на 70%.

Систола предсердий начинается с **сокращения кольцевой мускулатуры**, окружающей устья вен, впадающих в сердце. Тем самым, прежде всего, создается препятствие для обратного тока крови из предсердий в вены.

Во время систолы предсердий **давление в них повышается до 4—5 мм рт. ст.** и кровь выталкивается только в одном направлении, а именно в желудочки.

Систола желудочков.

Уже в самом ее начале происходит **захлопывание атриовентрикулярных клапанов**. Этому способствует то обстоятельство, что их створки по мере заполнения желудочков становятся чуть больше, чем в предсердиях, клапаны захлопываются.

Систола желудочков состоит из двух фаз:

- **фазы напряжения (0,05 с) и**
- **фазы изгнания крови (0,25).**

Первая фаза систолы желудочков — фаза напряжения — происходит **при закрытых створчатых и полулунных клапанах**.

В это время мышца сердца напрягается вокруг несжимаемого содержимого — крови.

Длина мышечных волокон миокарда не меняется, но по мере роста их напряжение растёт давление в желудочках.

В момент, когда давление в желудочках превысит давление в артериях, **полулунные клапаны открываются** и кровь выбрасывается из желудочков аорту и легочный ствол.

Происходит **вторая фаза систолы желудочков** — фаза изгнания крови. **Систолическое давление в левом желудочке достигает 120 мм рт. ст., в правом — 25 — 30 мм рт. ст.**

После окончания периода изгнания начинается **диастола желудочков** и давление в них понижается.

В тот момент, когда **давление в аорте и легочном стволе становится выше**, чем в желудочках, скопившейся в предсердиях, **клапаны открываются**.

Наступает период общей паузы, фазы отдыха и заполнения сердца кровью.

Это свободные, вынужденные или автоколебания?

ЯМИНЬСКОЕ АВТОКОЛЕБАНИЕ

незатухающие колебания
в диссипативной динамической системе
с нелинейной обратной связью,
поддерживающиеся за счёт энергии **ПОСТОЯННОГО**, то
есть *непериодического* внешнего воздействия.

*Термин в русскоязычную терминологию введён
А.А. Андроновым в 1928 г.*

Вынужденные колебания

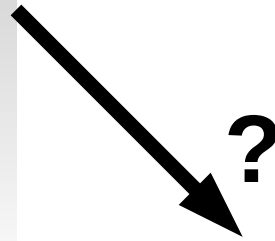
вызваны *периодическим* внешним воздействием

происходят с частотой этого воздействия,



Резонанс

Самопроизвольное увеличение амплитуды колебаний при $T_{\text{внеш}} = T_{\text{соб}}$



Автоколебания вызваны постоянным внешним воздействием

возникновение и частота

определяются

внутренними свойствами самой автоколебательной системы

4. Какое внешнее воздействие заставляет сердце периодически сокращаться?

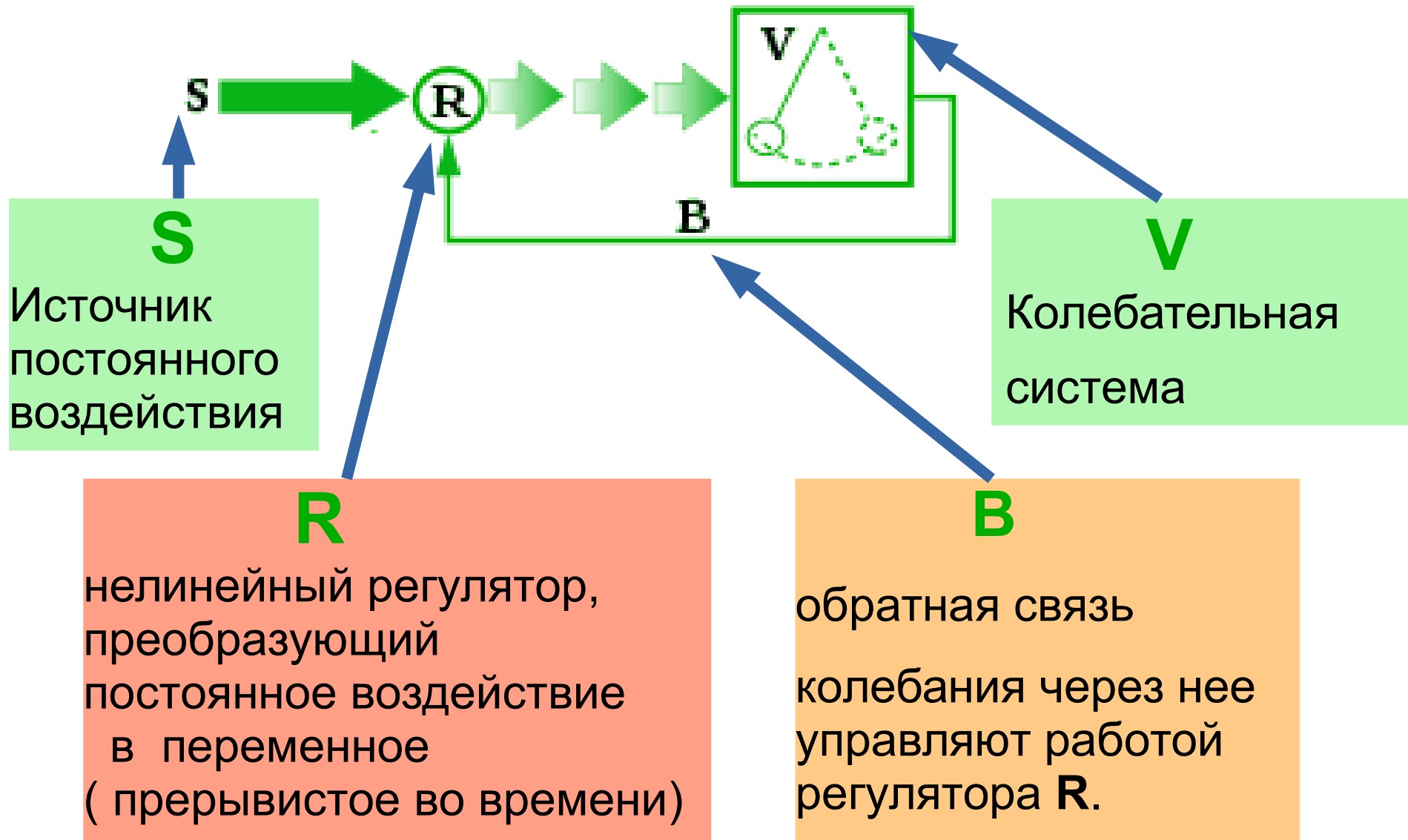
Внешнее воздействие?

На верхушке правого предсердия расположен **генератор электрических импульсов**, состоящий из нервно-мышечных клеток, — синусовый узел.

- Он самостоятельно генерирует электрические импульсы с частотой 60-90 в минуту.
- По специальным волокнам **импульс от синусового узла** распространяется на предсердия, заставляя их сокращаться, проталкивая тем самым кровь в желудочки.
- **Импульс подается в атриовентрикулярный узел**, расположенный в нижней части правого предсердия на границе с желудочком.
- Дальше импульсы опять же по нервным волокнам попадают в еще одно нервно-мышечное образование — **пучок Гиса**, которое отвечает за сокращение желудочков

Элементы автоколебаний?

Автоколебательная система включает в себя:



Желудочек сердца человека

В СОСТОЯНИИ ПОКОЯ

при каждом сокращении

выбрасывает

около **60 мл крови.**

Амплитуда

Влияние на сердце оказывают

симпатические и парасимпатические нервы



высвобождают нейромедиаторы



основные медиаторы

- Норадреналин
- ацетилхолин.

взаимодействие с рецепторами, расположенными на наружной мембране миокардиальных клеток.

Взаимодействие:

Норадреналин – с адренорецепторами миокарда,
Ацетилхолин – с холинорецепторами

Амплитуда

Возбуждение В-адренорецепторов сердца приводит

- к росту частоты сокращений сердца,
- сократимости миокарда,
- значительному увеличению потребления им кислорода
- и уменьшению длительности диастолы.

Внешняя регуляция?

Возможен ли резонанс?

Саморегуляция за счет обратной
связи?

Механизм Франка-Старлинга, регулирующий силу сокращения миокарда.

«Чем больше мышца сердца растянута поступающей кровью в конце диастолы, тем больше сила сокращения желудочка во время следующей систолы».

Увеличение сердечного выброса (минутного объема кровообращения). обусловлено:

увеличением частоты сердечных сокращений

сердечный выброс не связан линейно с частотой сердечных сокращений, так как при повышении ЧСС происходит уменьшение ударного объема, обусловленное укорочением диастолы.

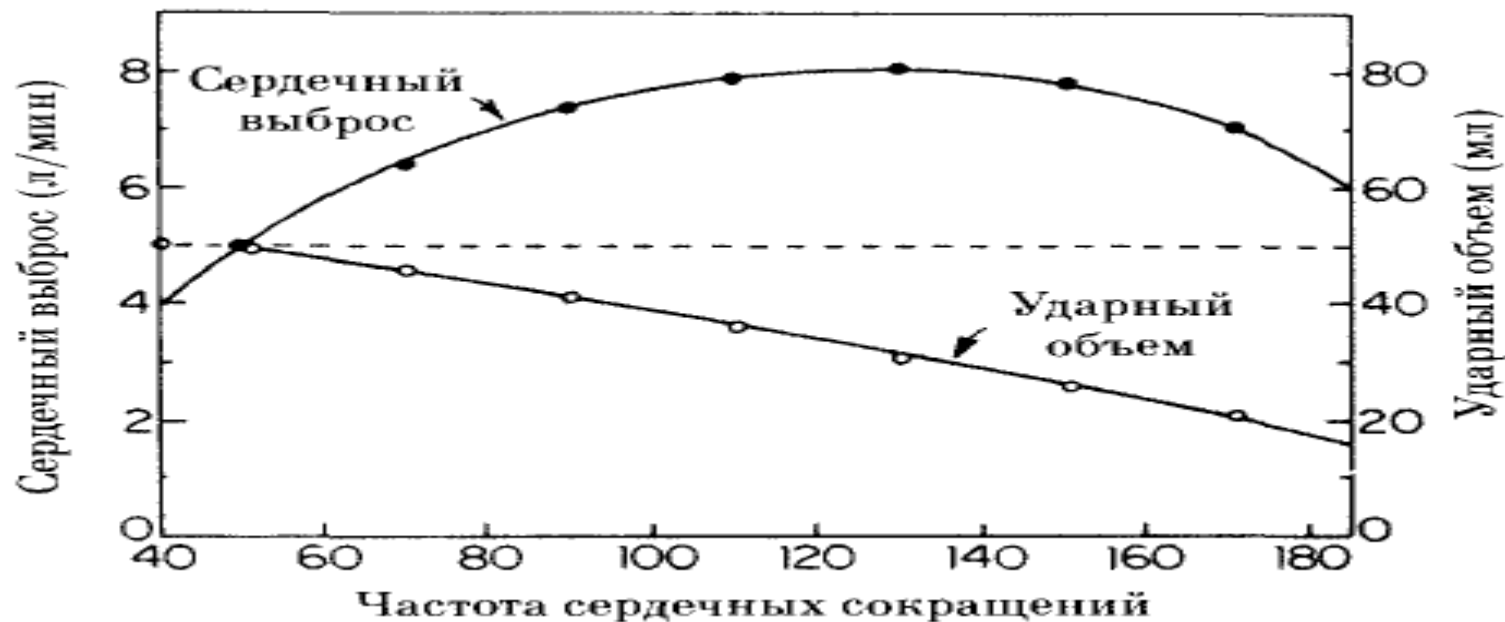
увеличением давления в предсердии, (затем стабилизируется на некотором уровне).

При увеличении выброса увеличивается давление в аорте.

Увеличение давления в аорте приводит к уменьшению сердечного выброса.

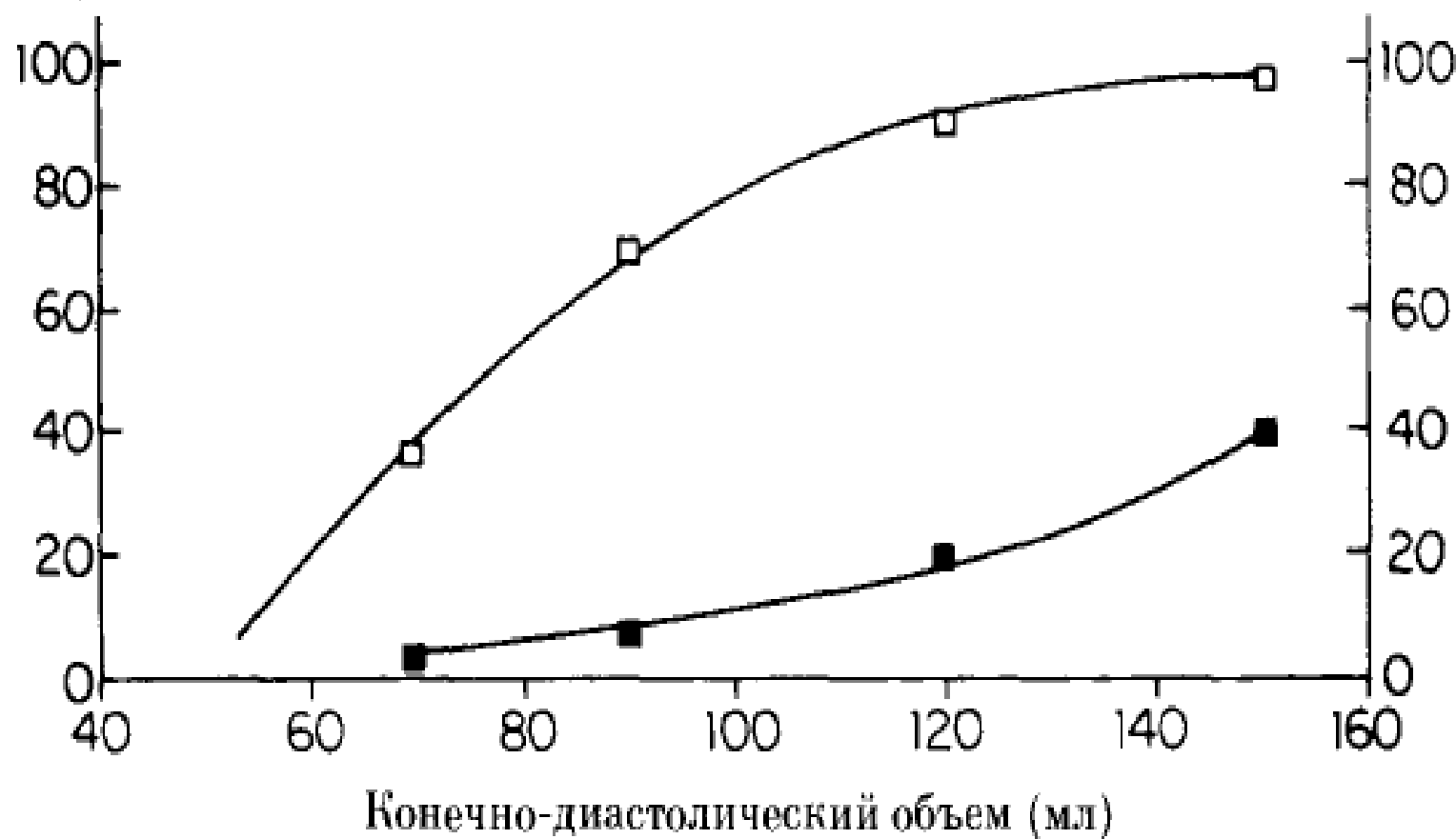
Механизм Франка-Старлинга, регулирующий силу сокращения миокарда.

«Чем больше мышца сердца растянута поступающей кровью в конце диастолы, тем больше сила сокращения желудочка во время следующей систолы».



Ударный объем (мл) □

■ Диастолическое давление в желудочке (мм рт. ст.)

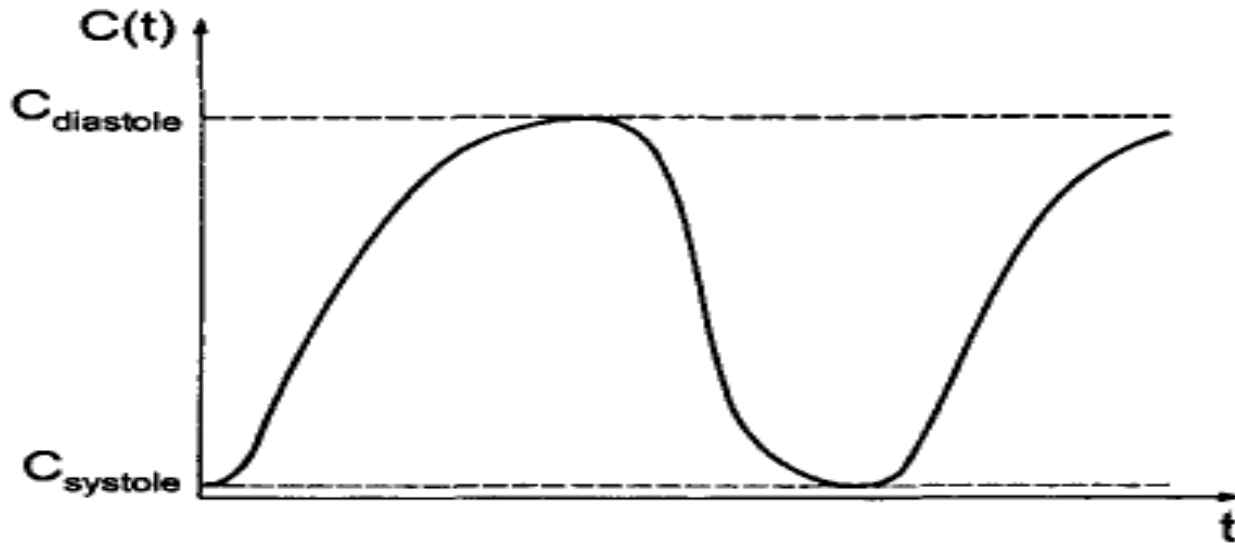


Механические или
электромагнитные колебания?

Механические колебания

Какие физические величины
меняются в процессе
механических колебаний?

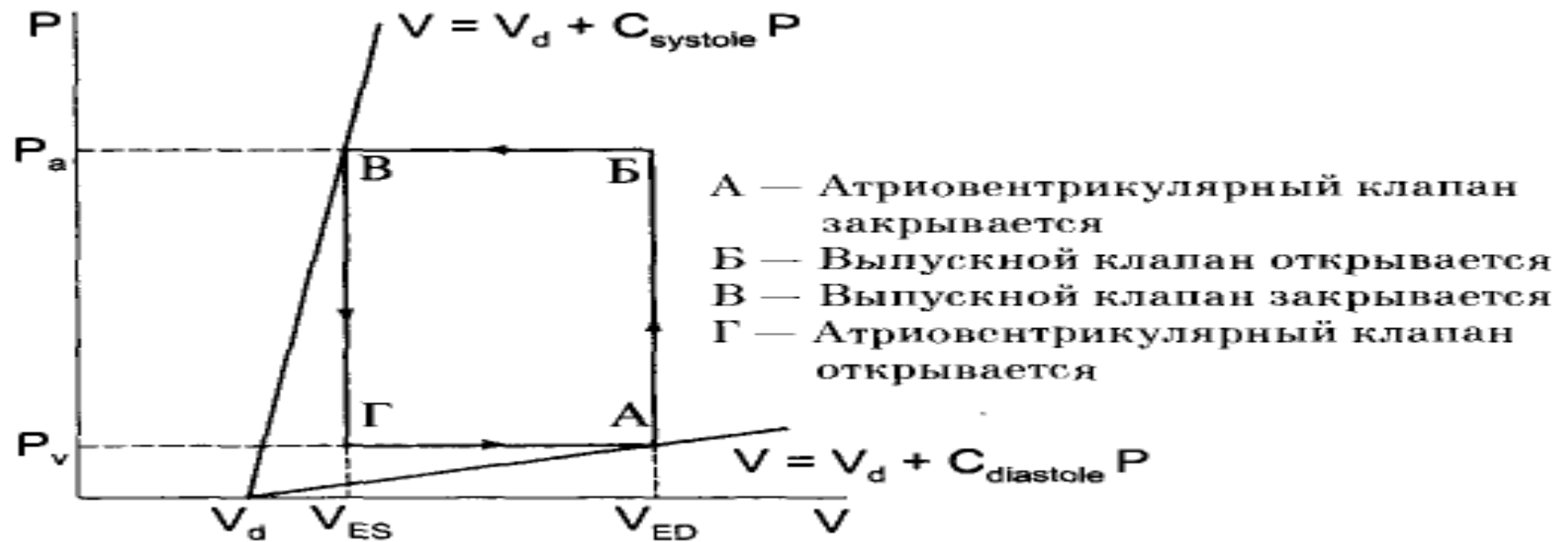
Желудочек сердца человека в состоянии покоя при каждом сокращении выбрасывает около 60 мл крови.



Изменение емкости желудочка в ходе сердечного цикла.

Емкость меняется

- от очень маленькой величины, когда мышцы напряжены во время систолы
- до большой величины, когда мышцы во время диастолы расслабляются.



Упрощенная модель цикла изменения давления и объема в каждом из желудочков. Цикл представлен прямоугольником ABCD. Наклонные линии, выходящие из точки, соответствующей мертвому объему (V_d), отображают соотношения между давлением в желудочке и его объемом в конце систолы и в конце диастолы.

Рассмотрим левый желудочек, который представляет собой самый мощный из «сердечных насосов»; моделирование правого желудочка можно осуществить, используя аналогичные процедуры.

желудочком практически равно давлению в крупных артериях большого Круга. Оно увеличивается от низкого уровня (примерно равного давлению в левом предсердии) до 80 мм рт. ст.

По окончании систолы давление в желудочке быстро снижается практически до нуля.

Когда диастаортальный клапан закрыт объем желудочка не меняется.

Во время диастолы кровь притекает в левый желудочек из левого предсердия под очень низким давлением, практически равном давлению в легочных венах = 5 мм рт. ст.

Затем аортальный клапан открывается и начинается изгнание крови из желудочка. Давление в желудочке увеличивается до 120 мм рт. ст.

Ударный объем правого желудочка, разумеется, равен ударному объему левого желудочка.

А вот давление, развиваемое правым желудочком (как систолическое, так и диастолическое), примерно **в пять раз меньше** давления, развиваемого левым желудочком.

$$\sigma \simeq \frac{3V_i}{2V_{wall}} P_i$$

Поскольку материал стенки желудочка является несжимаемым, ясно, что объем стенки не меняется при изменении давления.

Эта формула показывает, что **увеличение внутрижелудочкового давления**, и **увеличение объема желудочка**,

приводит к **увеличению напряжения**, развиваемому стенкой этой камеры сердца.

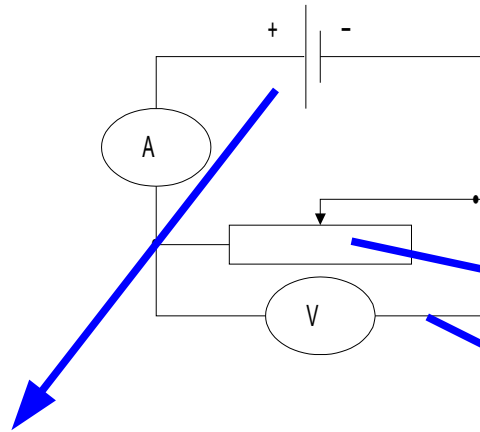
гидростатическое давление пытается увеличить **радиус аневризмы** (или артерии), в то время как напряжение, развиваемое стенкой, противостоит изменению радиуса. Эти соображения позволяют записать уравнение

Это уравнение выглядит так же, как уравнение движения простого гармонического осциллятора, где в правой части стоит вынуждающая сила, обусловленная колебаниями давления с частотой

$$r_p(t) = \frac{P_p}{\rho \cdot \omega_p \cdot \omega_0^2} \cdot \cos(\omega_p t)$$

Электрические колебания

2. О системе электричества человеческого организма



человек является
автономной саморегулирующейся
электрической системой.

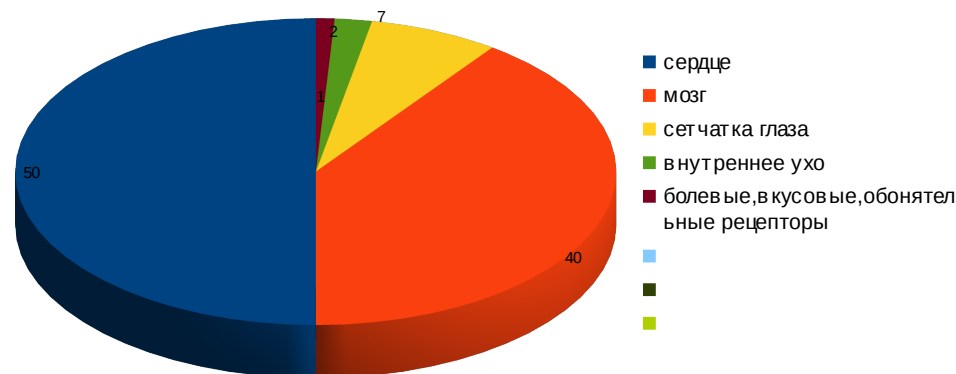
**Источники
электрического тока**
7 биологических
генераторов биотоков
внутренние
головной мозг,
Сердце,
наружные
сетчатка глаза,
внутреннее ухо,
вкусные рецепторы ..

**система
электропередачи**

**потребители
электричества**

2. система

электричества
человеческого
организма



Если все электричество, которое вырабатывается соответствующими тканями на протяжении суток принять за 100%,

50% этого количества вырабатывает сердце,

40% - мозг,

7%-сетчатая оболочка глаза ,

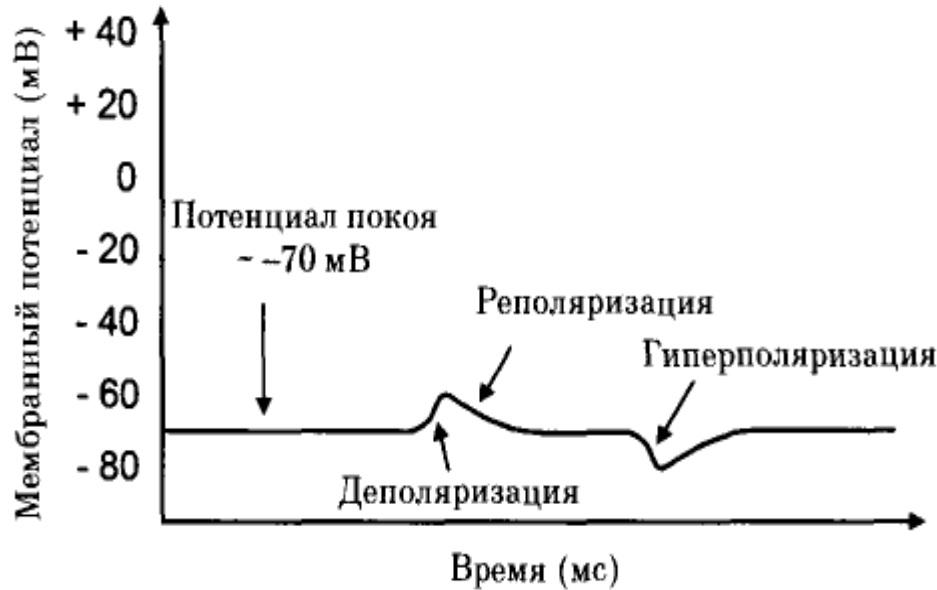
2%-внутреннее ухо ,

1% -болевые, обонятельные и вкусовые рецепторы.

Конечно, если человек перенёс сильную травму, то тогда болевые рецепторы могут выработать до 90% всего количества биоимпульсов, выработанных человеком за сутки.

Электрическое поле в клеточной мембране

можно моделировать в виде электрического диполя



поляризованное состояние.

Мембранный потенциал равный 70 мВ (внутренняя поверхность мембраны заряжена отрицательно относительно наружной поверхности)

При деполяризации потенциал увеличивается; реполяризация возвращает мембранный потенциал к исходному уровню (к потенциалу покоя), гиперполяризация означает уменьшение мембранного потенциала

Поляризованная **клетка сердечной мышцы** представляет собой набор таких диполей.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕРДЦА

Сердце электрически нейтрально и во время сокращения **общий заряд сердца равен нулю.**

При каждом сокращении возникает динамическое разделение между положительными и отрицательными зарядами.

Вследствие этой разделения зарядов образуется **электрический диполь, который вращается, становясь в ходе каждого сердечного цикла сначала больше, а затем меньше по величине.**

Модель

С электрической точки зрения сердце может быть описано как **электрический диполь**, **величина и направлении** которой **меняется циклическим образом**, повторяясь в ходе каждой сердечной цикла.

Положение зарядов в клетках сердечной мышцы меняется в процессе

- **деполяризации клеток (во время их сокращения)**
- **реполяризации (во время расслабления).**

В реальном сердце волна реполяризации распространяется в противоположном направлении по сравнению с волной деполяризации.

Поскольку и **кровь, и все ткани организма** являются, благодаря содержанию в них ионов, проводящими электричество средами,

ЭТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛА ВЫЗЫВАЮТ ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТОКОВ, ТЕКУЩИХ В ТЕЛЕ,

что приводит, в конечном счете, к **изменению потенциала на большом удалении от сердца.**

которые воспринимаются электродами электрокардиографа.

Создается электрический потенциал на поверхности тела, и именно этот изменяющийся в ходе сердечного цикла потенциал и регистрируется в определенных точках тела в виде электрокардиограммы (ЭКГ).

Каждый из четырех циклов (деполяризация и гиперполяризация предсердий и желудочков) происходит в определенной последовательности во времени, отражаясь соответствующим пиком на кардиограмме.

Разность потенциалов между различными точками регистрации составляет **30-500 мкВ.**

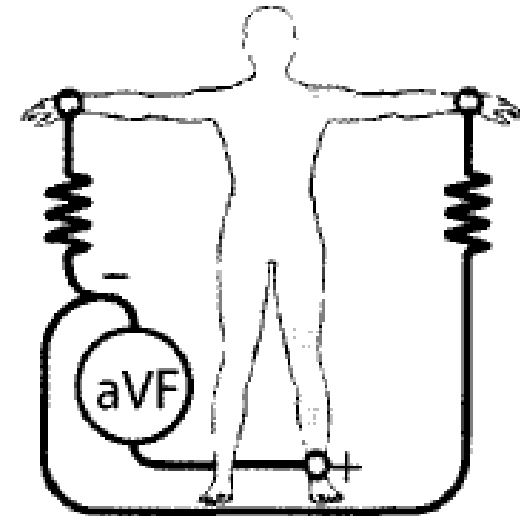
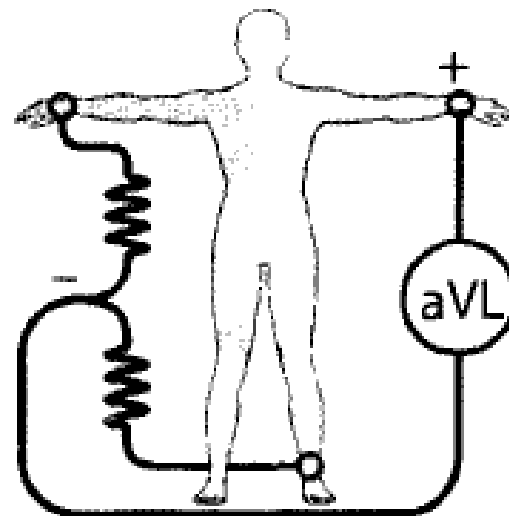
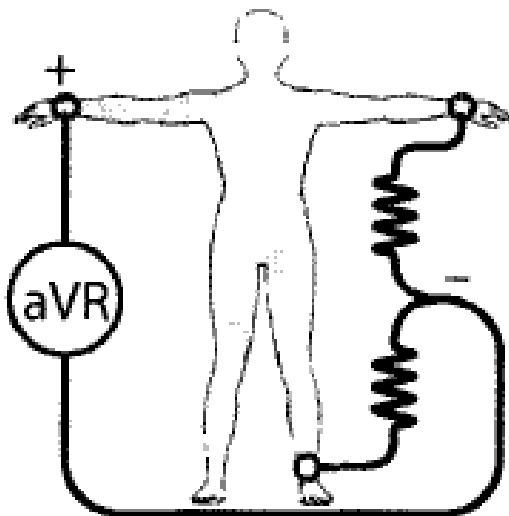
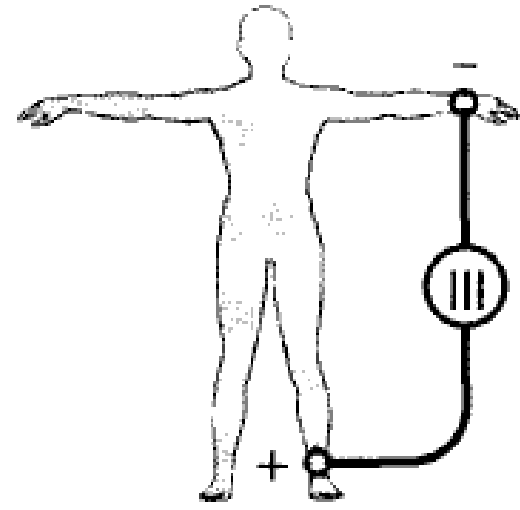
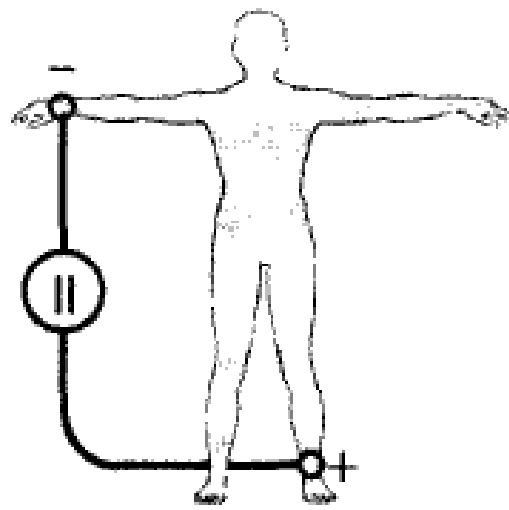
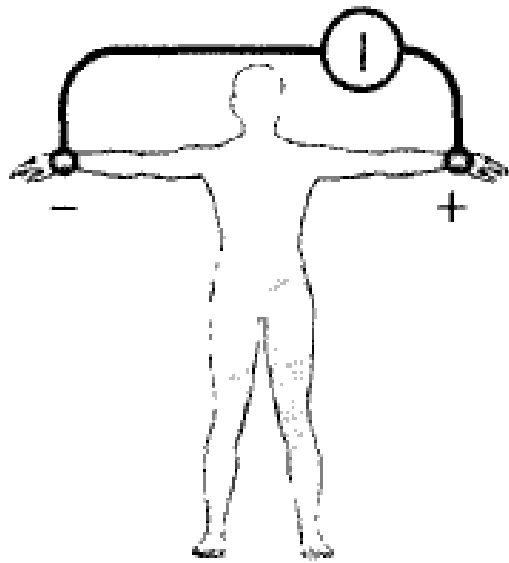
Модель

Сердечная мышца помещена в некий объемный проводник, и изменения потенциала вблизи сердца проявляется в виде изменений потенциала на поверхности этого проводника.

электрокардиограмму регистрируют по 12 отведениям;

такая регистрация ЭКГ дает наиболее полную информацию об эволюции сердечного диполя.

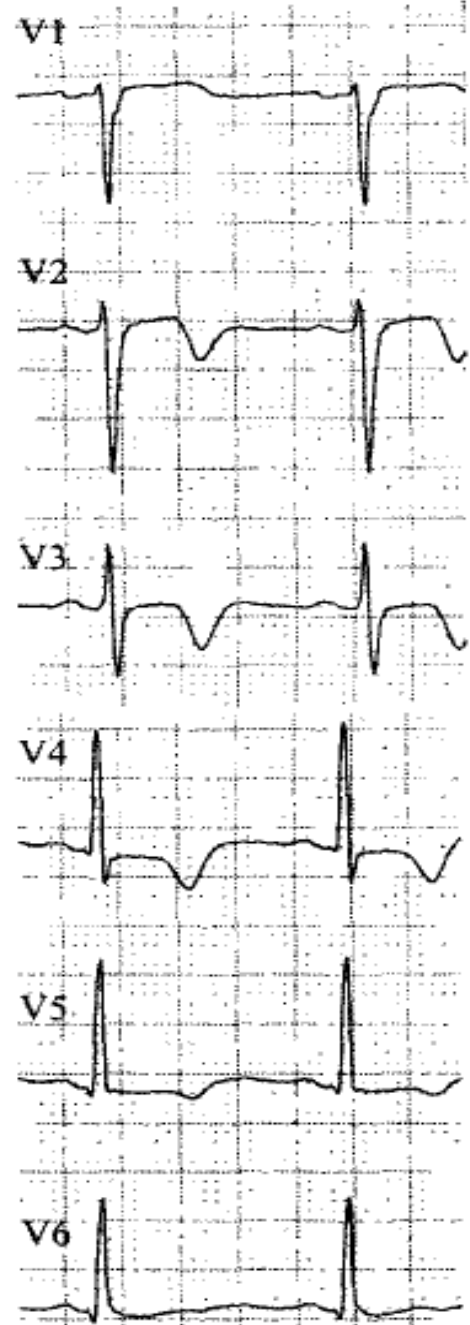
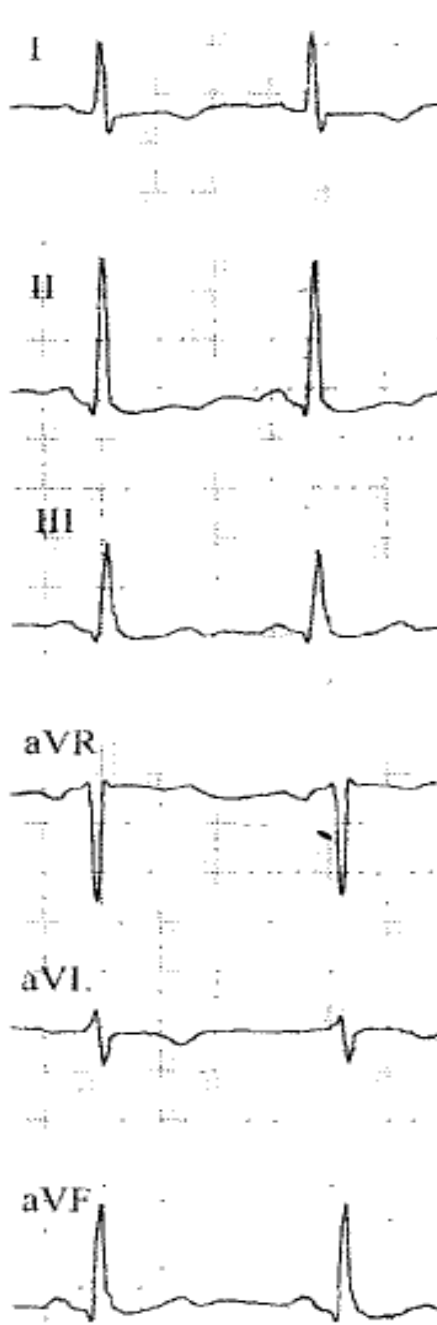
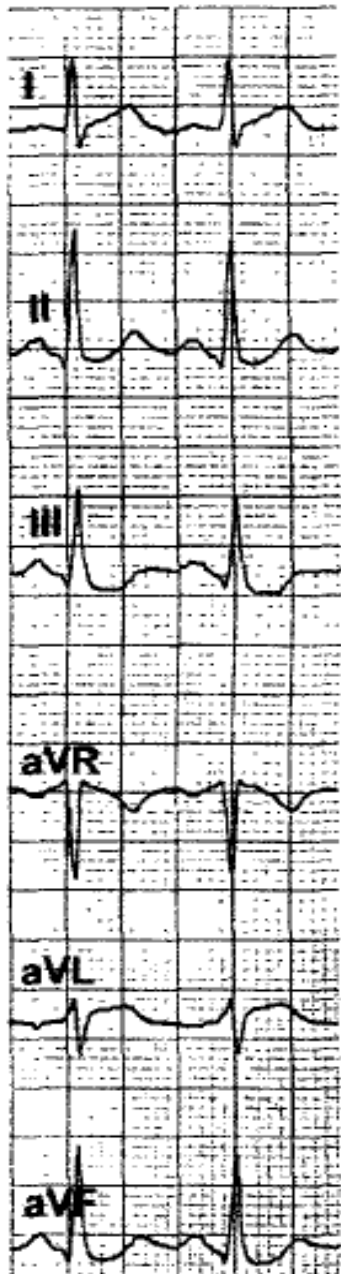
используется **векторная электрокардиограмма**, которая дает ещё более полную информацию об эволюции сердечного диполя в ходе сокращения.

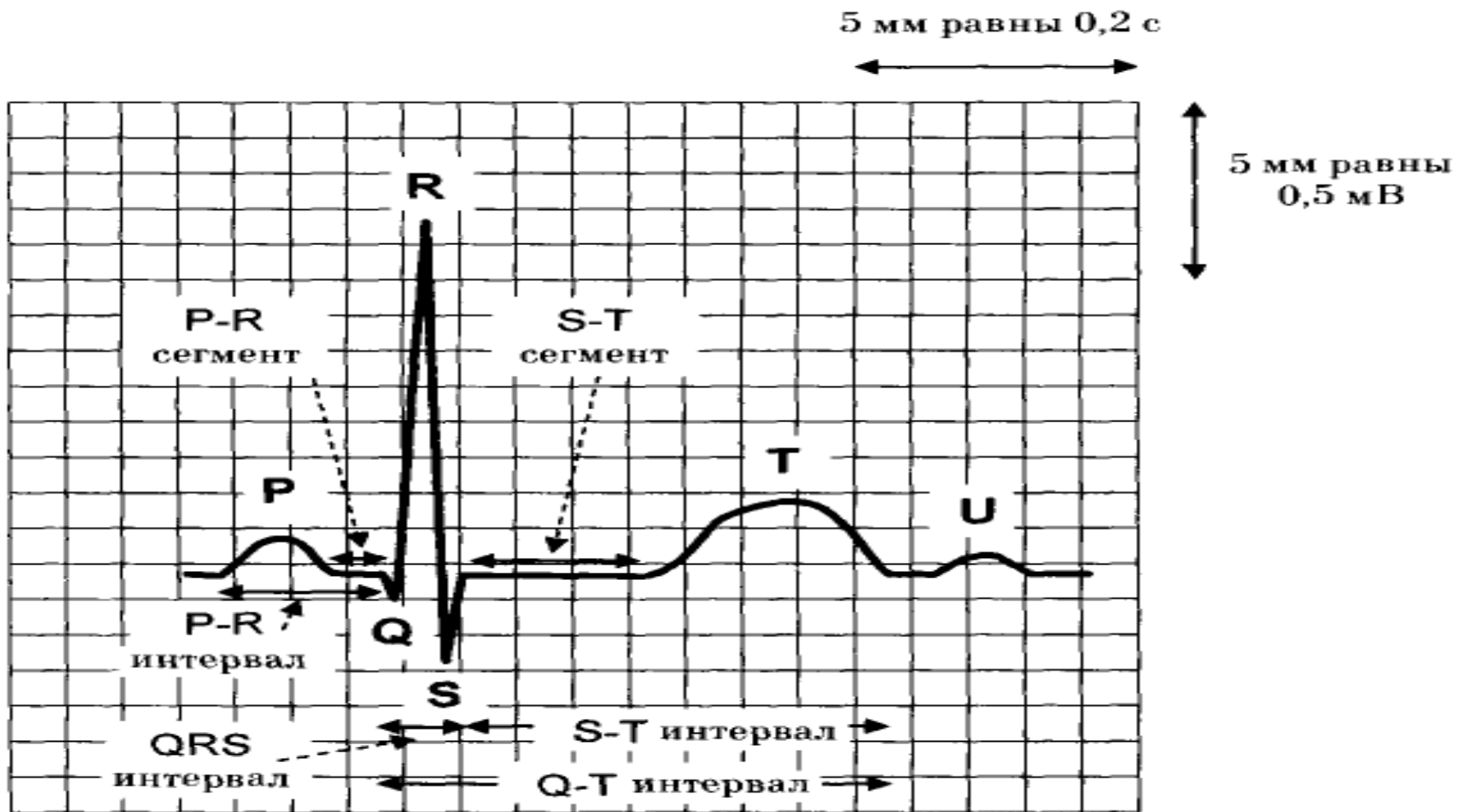


Учитывая, что в **руках и ногах нет собственного источника ЭДС**, а также нет и падения напряжения из-за протекания тока от сердца в усилитель потенциалов (из-за очень высокого входного сопротивления этого усилителя),

то потенциал руки (и ноги) постоянен на всем протяжении конечности как если бы рука (нога) была простым медным проводником.

Таким образом, можно считать, что измерительная аппаратура подключена не к запястьям или к лодыжке, а к плечам и к нижней части туловища.





Нормальная электрокардиограмма

P волна – сокращение правого и левого предсердий (деполяризация предсердий),

QRS комплекс – сокращение правого и левого желудочков (деполяризация желудочков),

T волна – расслабление (реполяризацией желудочков).

s1802.ru

1. Является ли работа сердца колебаниями?

Докажите.

2. Чему равен период колебаний?

3. Свободные, вынужденные или автоколебания?

4. Какое внешнее воздействие заставляет сердце периодически сокращаться?

5. От чего зависит амплитуда колебаний?

6. Особенности способов увеличения амплитуды.

7. Наличие внешней регуляции?

8. Можно ли считать сердце саморегулирующейся системой? Обоснуйте ответ.

9. Какие физические параметры изменяются в процессе механических колебаний?

10. Какова их амплитуда?

Построить графики изменения давления за период и электрокардиограммы и сравнить их.