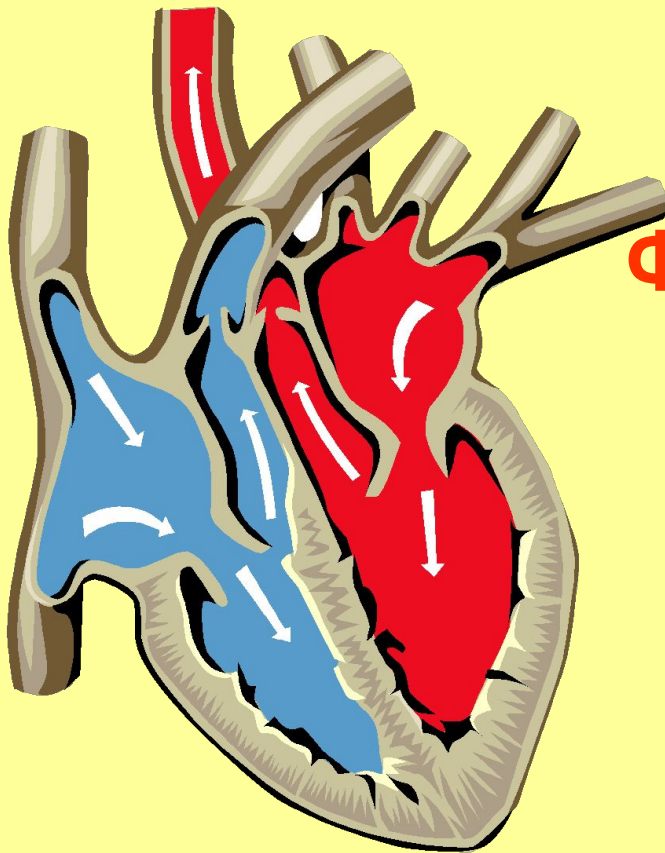


Кафедра нормальной физиологии СибГМУ.



ЛЕКЦИЯ
ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА
СЕРДЕЧНОЙ
МЫШЦЫ.

CARDIAC CYCLE

Цель:

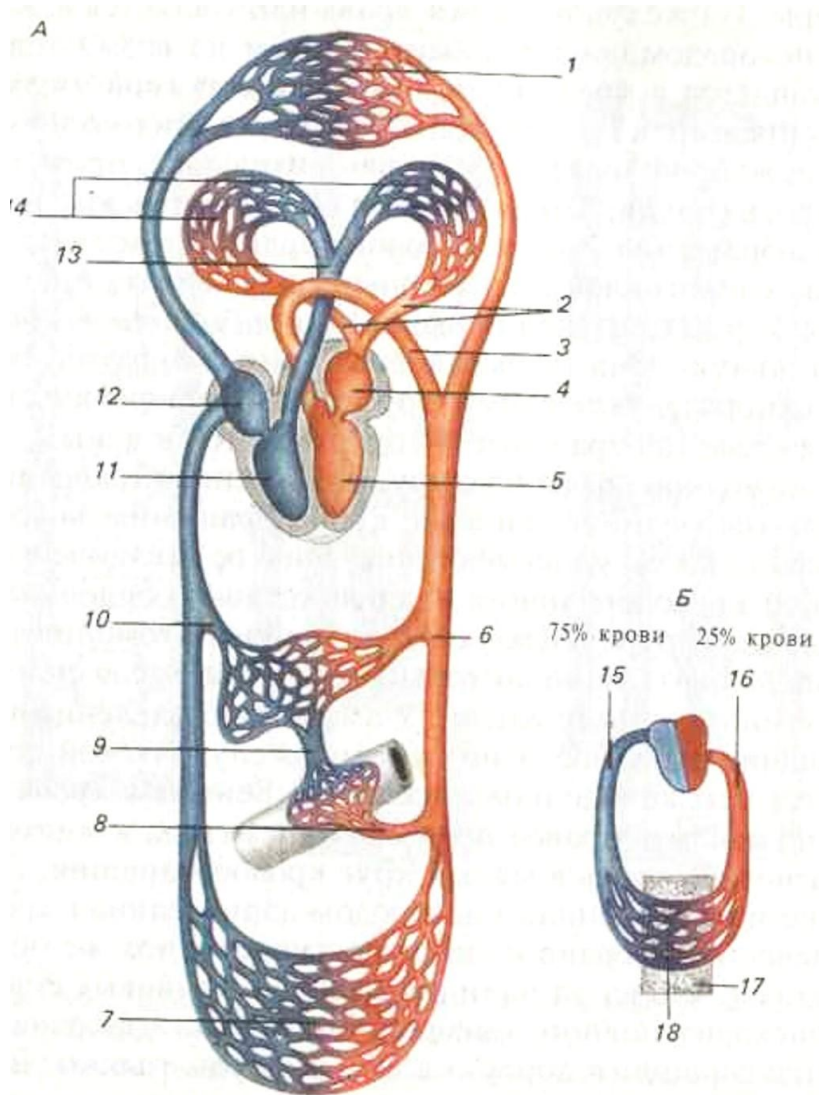
Изучить клеточные механизмы электрической и сократительной активности клеток сердца.

Мотивация:

Понять механизмы определяющие сердце – как генератор электрической и сократительной активности в организме.

План:

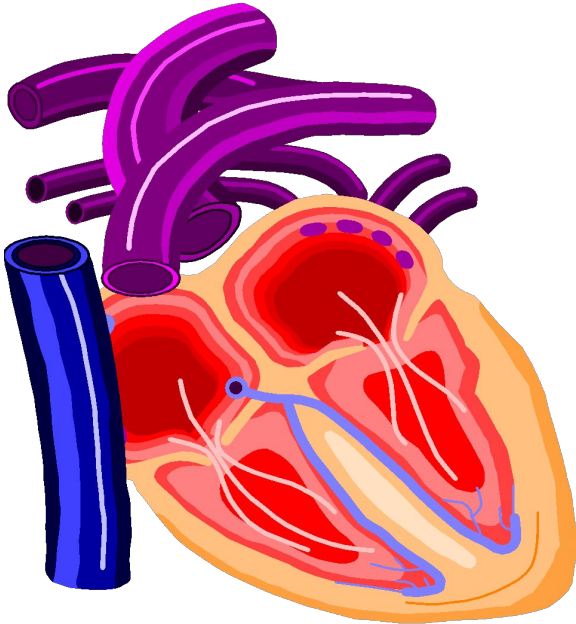
1. История изучения сердечно-сосудистой системы
2. Функции сердца
3. Электрофизиологические свойства и особенности атипических кардиомиоцитов и сократительного миокарда
4. Проведение возбуждения по сердцу
5. Электромеханическое сопряжение
6. Физиологические свойства и особенности сердца
7. Цикл работы сердца
8. Электрокардиограмма
9. Регуляция работы сердца:
 - - миогенные механизмы саморегуляции
 - - механизм регуляции
 - - гуморальная регуляция



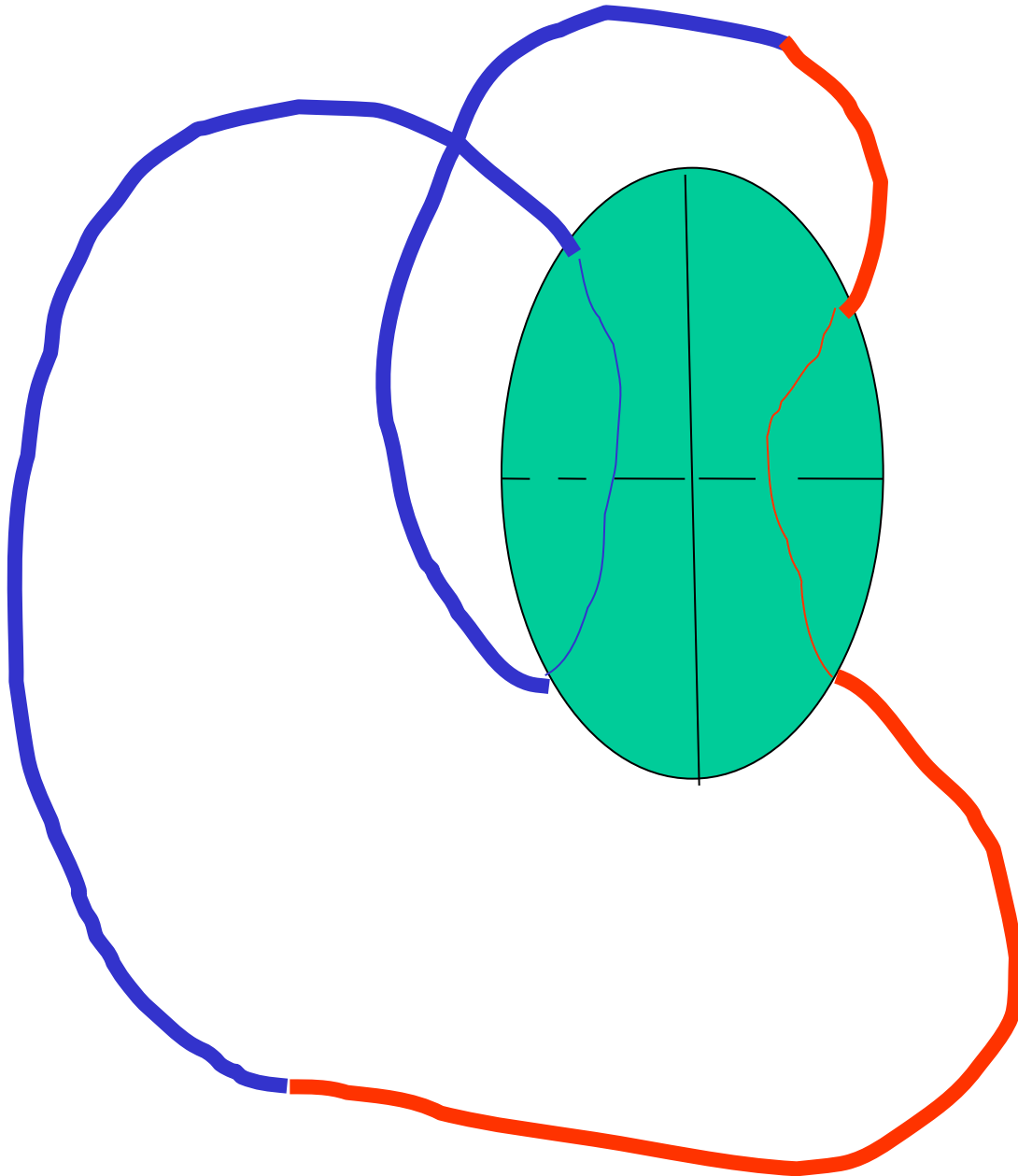
**Кровообращение
млекопитающих (А) и
распределение крови в
сосудах различного типа (Б)**

- 1 — капилляры головы,**
- 2 — легочная вена,**
- 3 — дуга аорты,**
- 4 — левое предсердие,**
- 5 — левый желудочек,**
- 6 — брюшная аорта,**
- 7 — капилляры большого круга,**
- 8 — кишечная артерия,**
- 9 — воротная вена,**
- 10 — печеночная вена,**
- 11 — правый желудочек,**
- 12 — правое предсердие,**
- 13 — легочная артерия,**
- 14 — капилляры,**
- 15 — русло емкостных сосудов,**
- 16 — русло резистивных сосудов,**
- 17 — ткани,**
- 18 — русло обменных сосудов.**

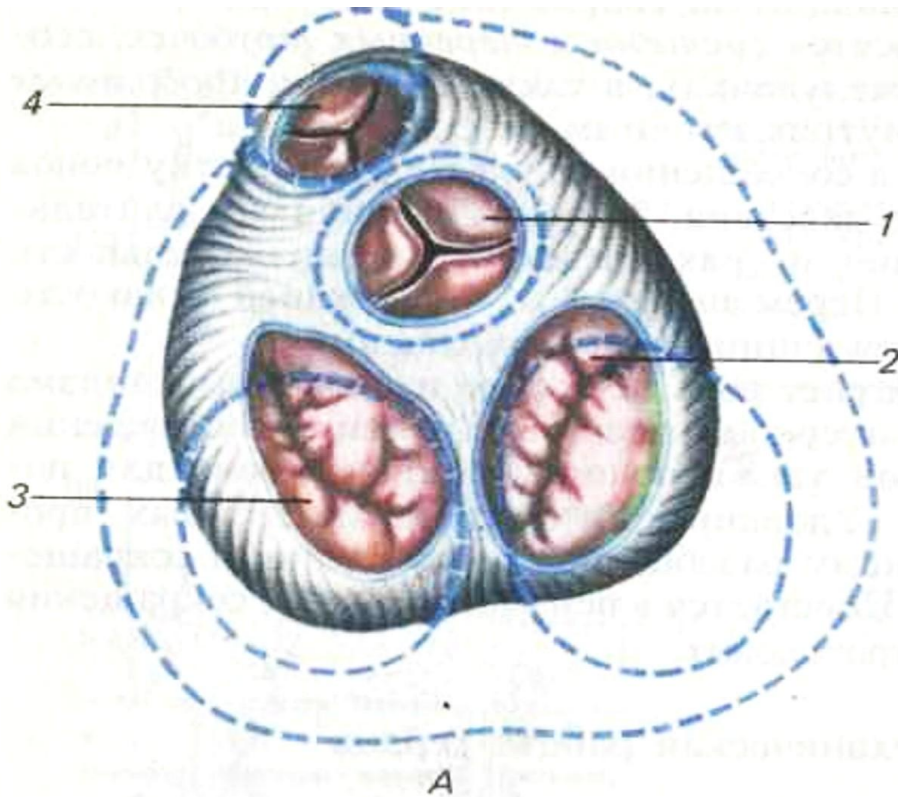
Функции сердца:



- 1. Резервуарная
- 2. Насосная
- 3. Распределительная
- 4. Эндокринная

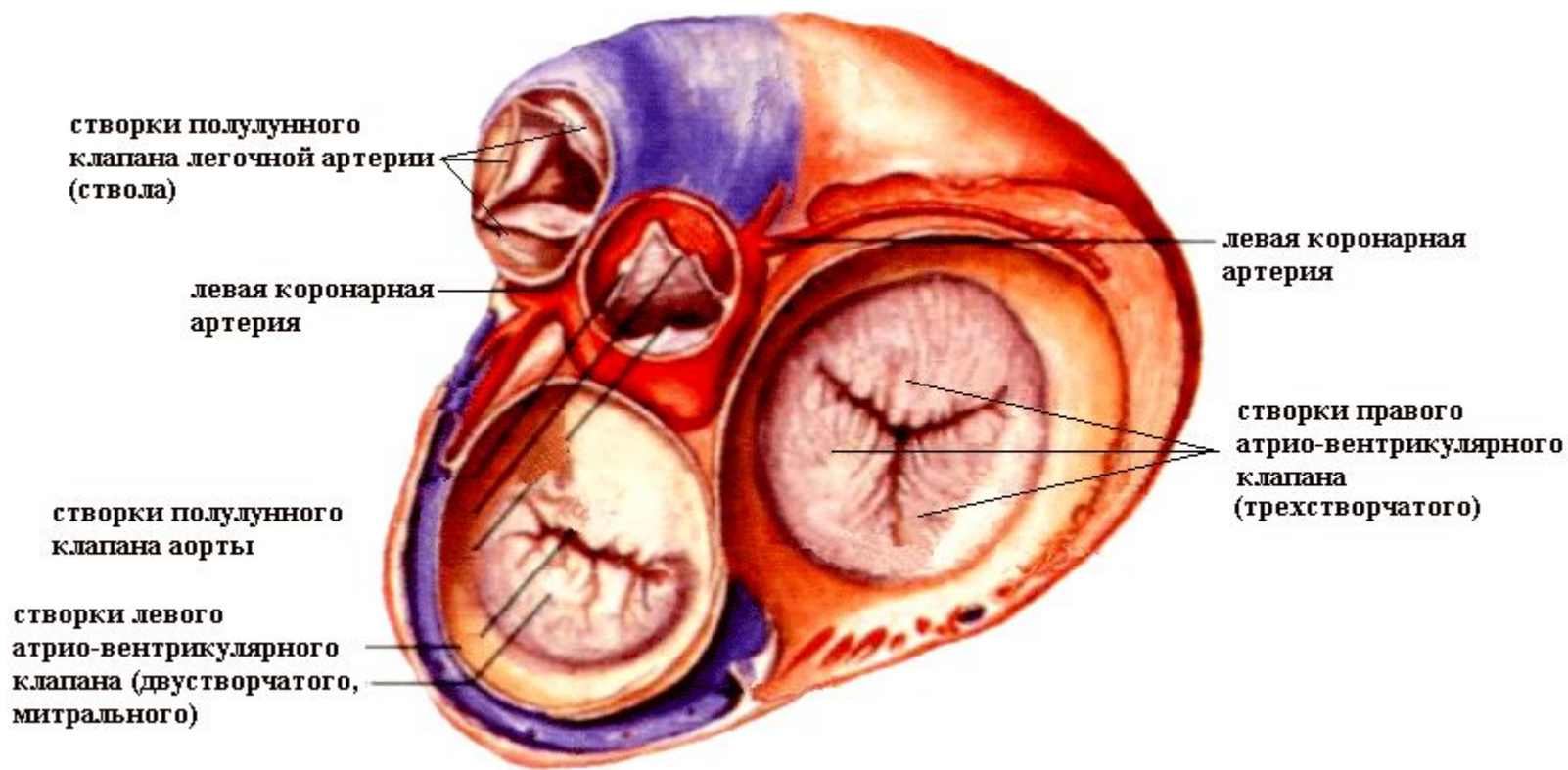


Клапанный аппарат сердца

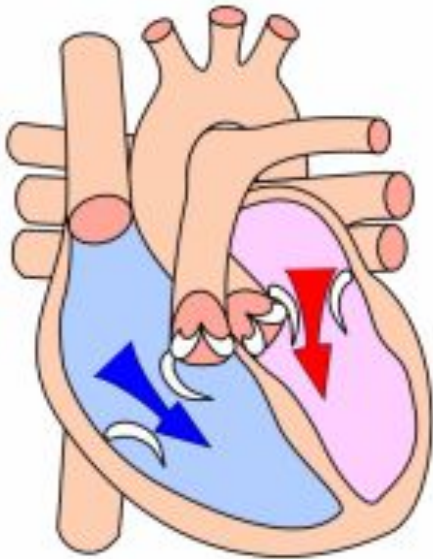


- 1 — клапан аорты
- 2 — правый предсердно—
желудочковый
(трехстворчатый) клапан.
- 3 — левый предсердно—
желудочковый (митральный,
двухстворчатый) клапан
- 4 — клапан легочного ствола
(артерии)

Клапаны представляют собой складки эндокарда и закрывают предсердно-желудочковые отверстия. С помощью сухожильных нитей края створок клапанов соединены с сосочковыми мышцами стенок желудочков, что не позволяет створкам выворачиваться в сторону предсердий, и не допускает обратного тока крови из желудочков в предсердия.



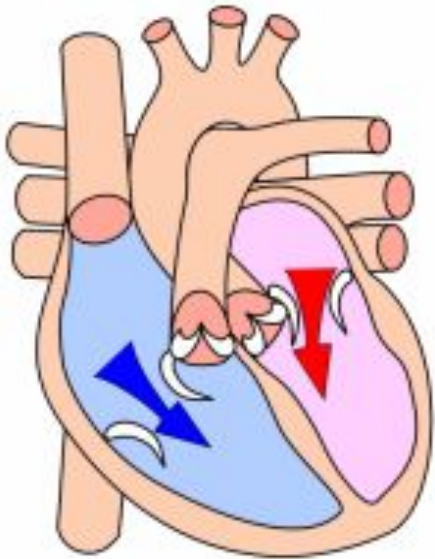
Физиологические свойства и особенности сердечной мышцы



Физиологические особенности:

- ПД натрий-кальциевой природы
- большая продолжительность ПД
- длительный рефрактерный период
- **меньшая возбудимость,**
- **меньшая сократимость,**
- **меньшая проводимость,**
- длительный латентный период,
- **способность к автоматии**

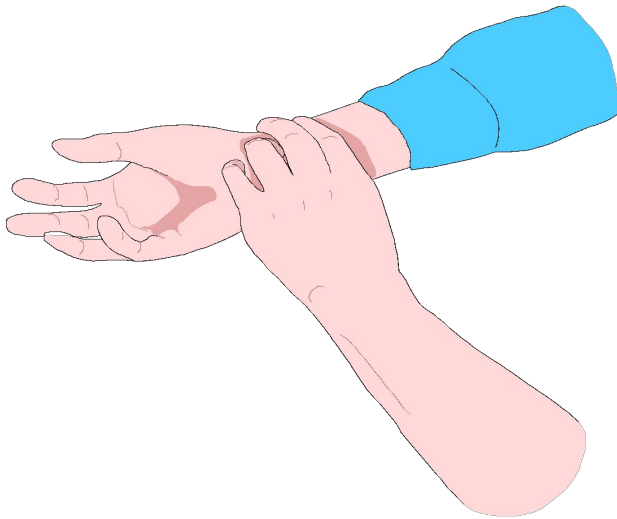
Физиологические свойства и особенности сердечной мышцы



Физиологические свойства:

- возбудимость,
- сократимость,
- проводимость,
- автоматия

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ АВТОМАТИИ ПО ЧАСТОТЕ ПУЛЬСА



- **Выше автоматия - чаще пульс - тахикардия**
- **Ниже автоматия - реже пульс – брадикардия.** При адаптации к физическим нагрузкам происходит функциональная гипертрофия сердца (систолический объем возрастает), наблюдается брадикардия спортсменов.
- **Меняющаяся автоматия - пульс разной частоты - синусовая аритмия**



Энергетические потребности сердца

обеспечиваются **аэробными процессами** (глюкоза, ЖК, молочная кислота)

Главная опасность для работы сердца состоит в дефиците кислорода - гипоксии и аноксии.

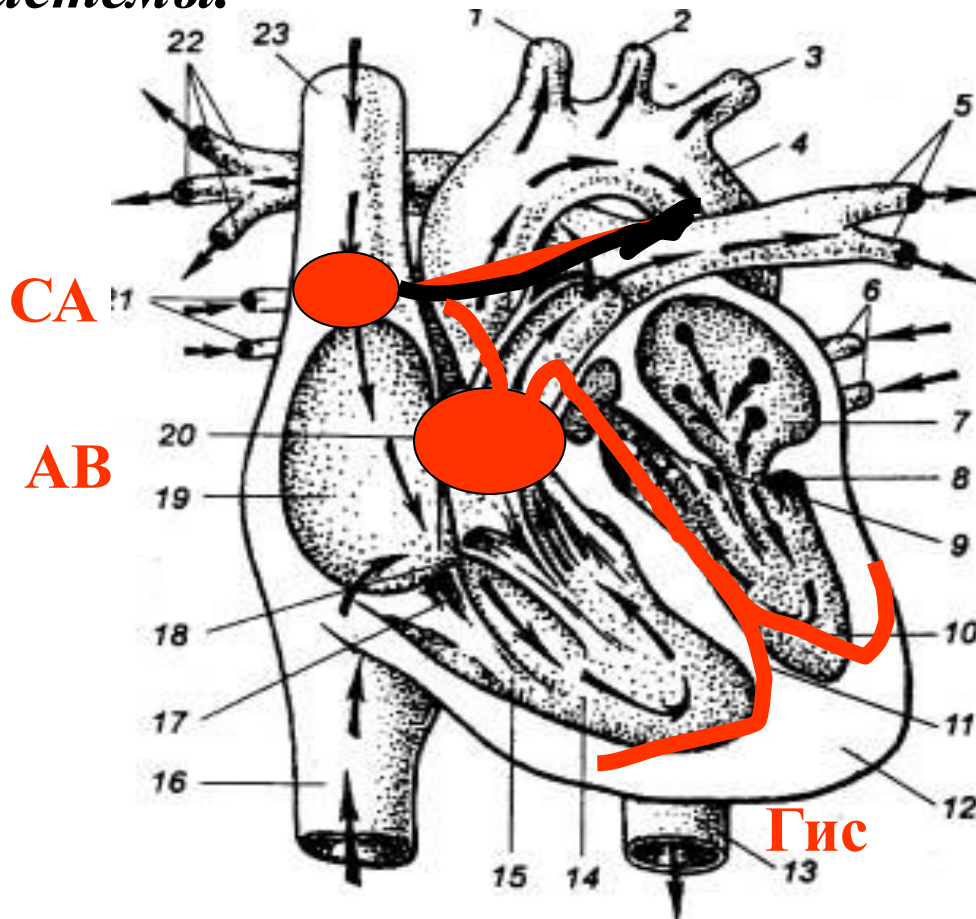
В условиях аноксии:

- снижается частота и сила сокращений сердца,
- остановка сердца (6 - 10 мин) ,
- необратимые изменения в сердце (30 мин)

Проводящая система сердца

В сердце выделяют два типа мышечных волокон:

1. *волокна рабочего миокарда предсердий и желудочков*
2. *волокна водителей ритма (пейсмейкеров) и проводящей системы.*

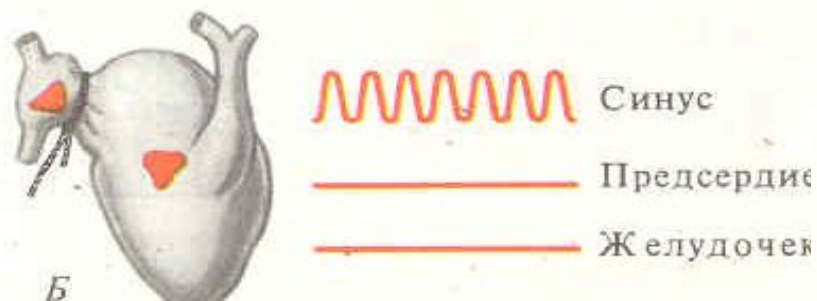


СА - синоатриальный узел – проводящие пучки (Бахмана, Торреля, Венкенбаха)

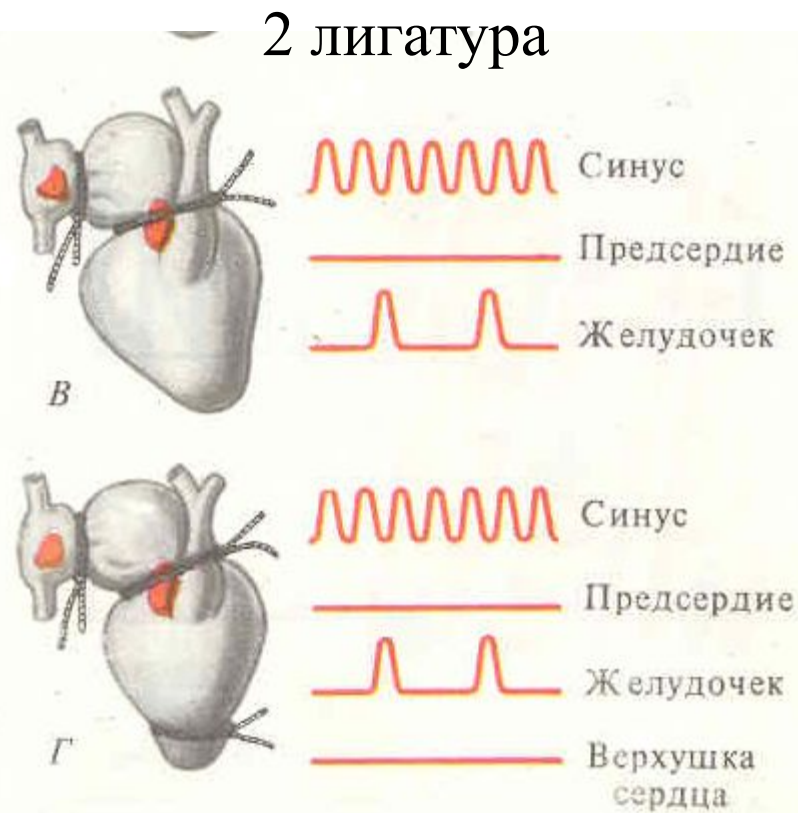
АВ – атриовентрикулярный узел

Гис - пучок Гиса - ножки Гиса - волокна Пуркинье

ЛИГАТУРЫ СТАННИУСА



1 лигатура



3 лигатура

Проводящая система сердца

Градиент автоматии

СА 60 - 80 имп/мин

АВ узел 40 - 50 имп/мин

Пучок Гиса 30 - 40 имп/мин

Ножки Гиса 20 – 25 имп/мин

Волокна Пуркинье – менее 15 имп/мин

Снижение способности к автоматии от основания к верхушке сердца носит название градиента автоматии

Проведение возбуждения по сердцу

Пучки и СА узел - 1 м/с,

АВ узел - **0,02 - 0,04** м/с (АВ - задержка),

Пучок Гиса – **2 - 4** м/с,

Волокна Пуркинье - около **2** м/с.

Как упоминалось выше, нормальная сократительная (насосная) функция сердца человека и млекопитающих зависит от собственной электрической активности, что отражается в последовательности активации клеток в специализированных («пейсмейкерных») регионах и распространение электрической активности через желудочки. Если электрическая активность сердца является атрибутом генерации ПД в отдельных кардиальных клетках, то нормальное координированное распространение возбуждения по сердцу определяется на ЭКГ.

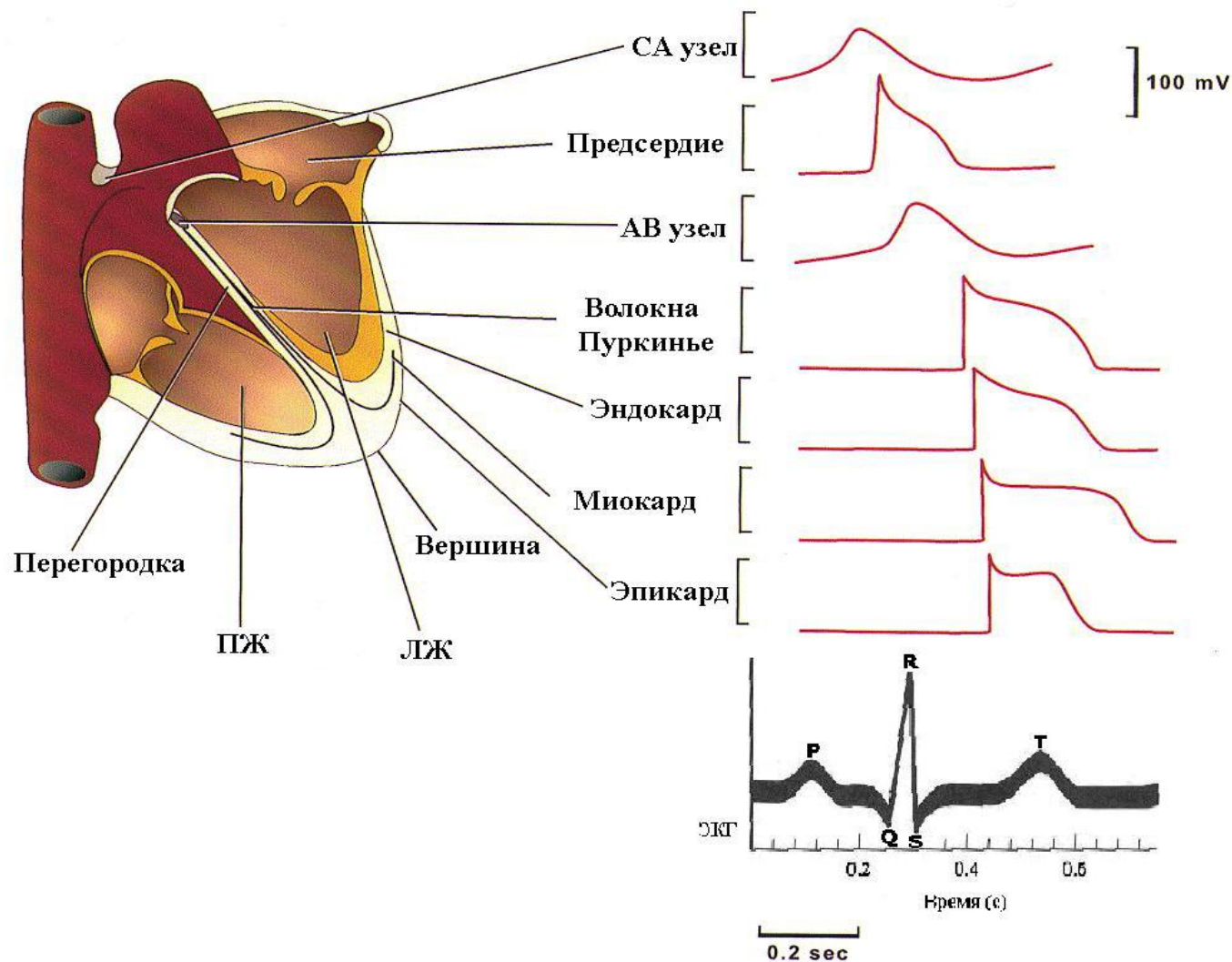
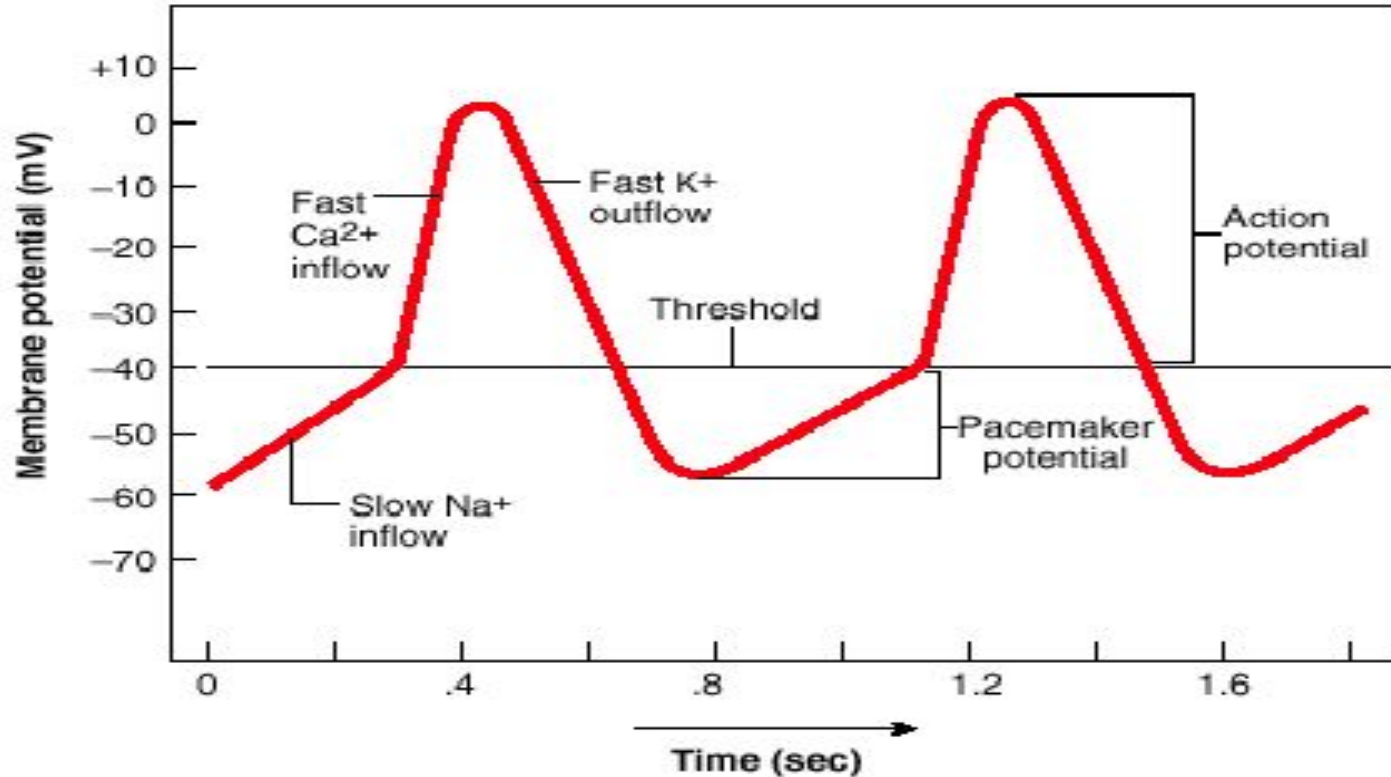


Рис.

ПД атипического кардиомиоцита



Slow Na⁺ inflow – медленный вход натрия

Fast Ca²⁺ inflow – быстрый вход кальция

Fast K⁺ outflow – быстрый выход калия

Threshold – уровень критической деполяризации

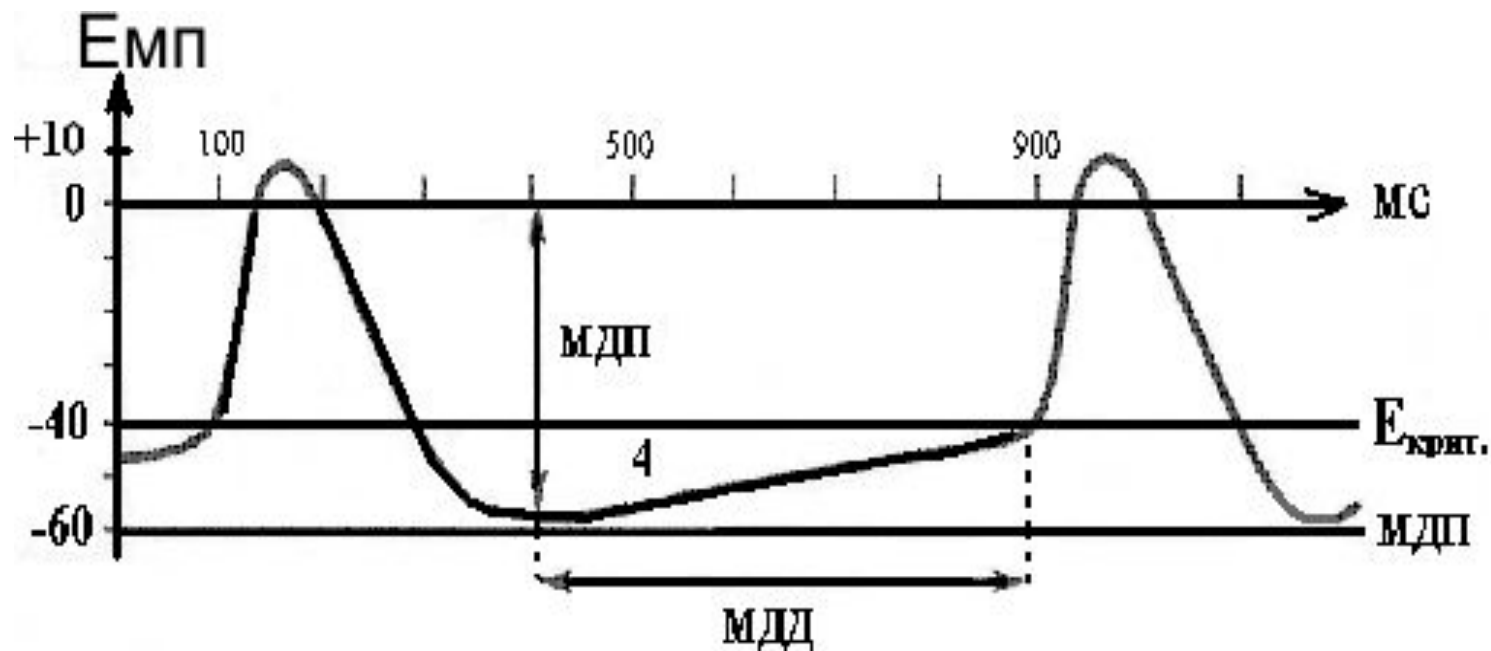
Pacemaker potential – пейсмеккерный потенциал

Action potential – потенциал действия

Электрофизиологические особенности атипичных кардиомиоцитов.

- в покое увеличена натриевая проводимость мембраны ($P_{\text{Na}^+} : P_{\text{K}^+} : P_{\text{Cl}^-} = 0,48 : 1 : 0,02$).
- ПД натрий-кальциевой природы
- амплитуда ПД 60 -70 мВ
- низкая величина потенциал покоя (-50 ... -60 мВ)
- низкий уровень критической деполяризации (-40... -50 мВ),
- способны к самовозбуждению (МДД).

Каждая из Р- клеток обладает автоматией и способна генерировать **медленную диастолическую деполяризацию (МДД)**, которая приводит к возникновению «медленных» и низкоамплитудных **потенциалов действия (ПД)**.



Причины стадии МДД:

- - спонтанное уменьшение выходящего тока калия в фазу покоя
- - увеличение входящего тока натрия и кальция
- - снижение активности K^+ / Na^+ насоса.

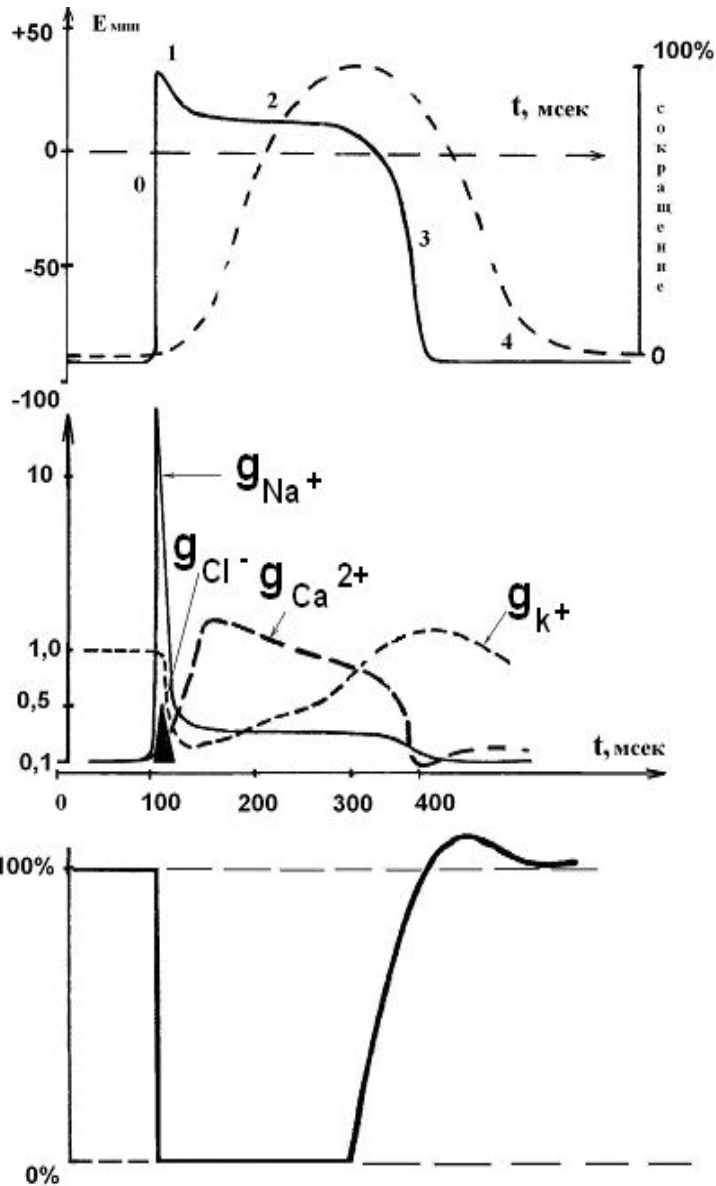


МЕХАНИЗМЫ АВТОМАТИИ АВ-УЗЛА

В норме возбуждение клеток АВ-узла обеспечивается за счет волны возбуждения, приходящей от СА-узла. Однако, в тех случаях, когда имеется блокада проведения возбуждения от СА-узла, по разным причинам, то клетки АВ-соединения способны генерировать собственные спонтанные ПД.

Отличительной особенностью этих ПД в АВ-узле от ПД СА-узла является более значительная максимальная диастолическая поляризация клеток, достигающая **-65 ÷ -70 мВ**. Это, в свою очередь, обуславливает более продолжительную по времени фазу МДД до $E_{\text{крит}}$. Следовательно, и меньшую автоматию (примерно в 2 раза) клеток АВ-узла (40 - 50 импульсов в мин). В остальном динамика ионных токов клеток АВ-узла сходна с таковой клеток СА-узла.

Конфигурация ПД волокон Пуркинье считается «типичной» формой «быстрых» ПД миокарда, в котором выделяют несколько фаз:



фаза 0 - фаза быстрой начальной деполяризации, имеет овершут (+40 мВ), обусловлена активацией быстрых Na-каналов и входом ионов Na^+ . Ее длительность 1-2 мсек.

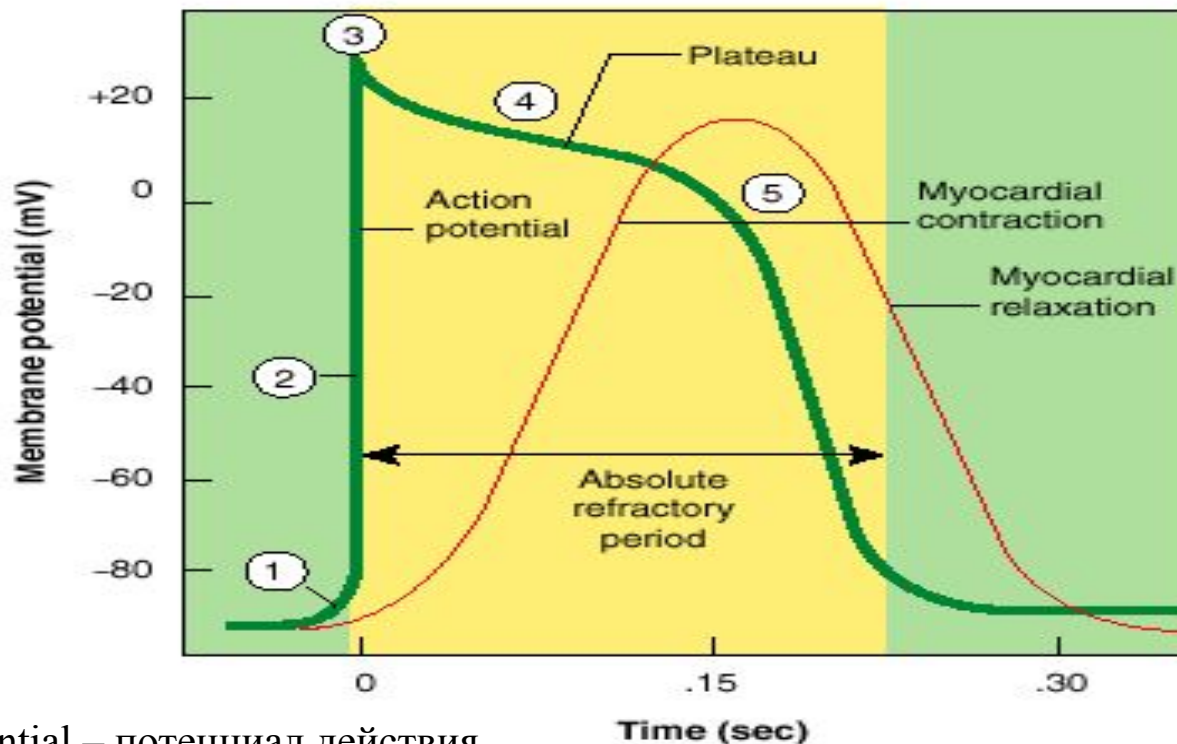
фаза 1 - ранняя фаза быстрой реполяризации связана с закрытием Na-каналов и входом ионов Cl^- .

фаза 2 - продленная фаза **плато** медленной реполяризации (**фаза плато - ПД**), обусловлена активацией Ca-каналов L-типа ($E_{крит.} = -30 \div -40$ мВ) и входом ионов Ca^{2+} и Na^+ . Ее длительность до 300 мсек.

фаза 3 - конечная фаза быстрой реполяризации связана с закрытием Ca-каналов и выходом ионов K^+ через K-каналы до уровня МПП.

фаза 4 - фаза медленной диастолической деполяризации, приводящая к развитию фазы 0 ПД, обусловлена работой неспецифических каналов, пропускающих ионы Na^+ и K^+ .

Потенциал действия рабочего кардиомиоцита



Action potential – потенциал действия

Absolute refractory period – абсолютный рефрактерный период

Plateau – плато (замедленная реполяризация)

Myocardial contraction – сокращение миокарда

Myocardial relaxation - расслабление миокарда

1 – открытие потенциалзависимых натриевых каналов

2 – открытие дополнительных Na^+ - и «быстрых» Ca^{++} - каналов

3 – начало быстрой реполяризации (выход K^+ и вход Cl^-)

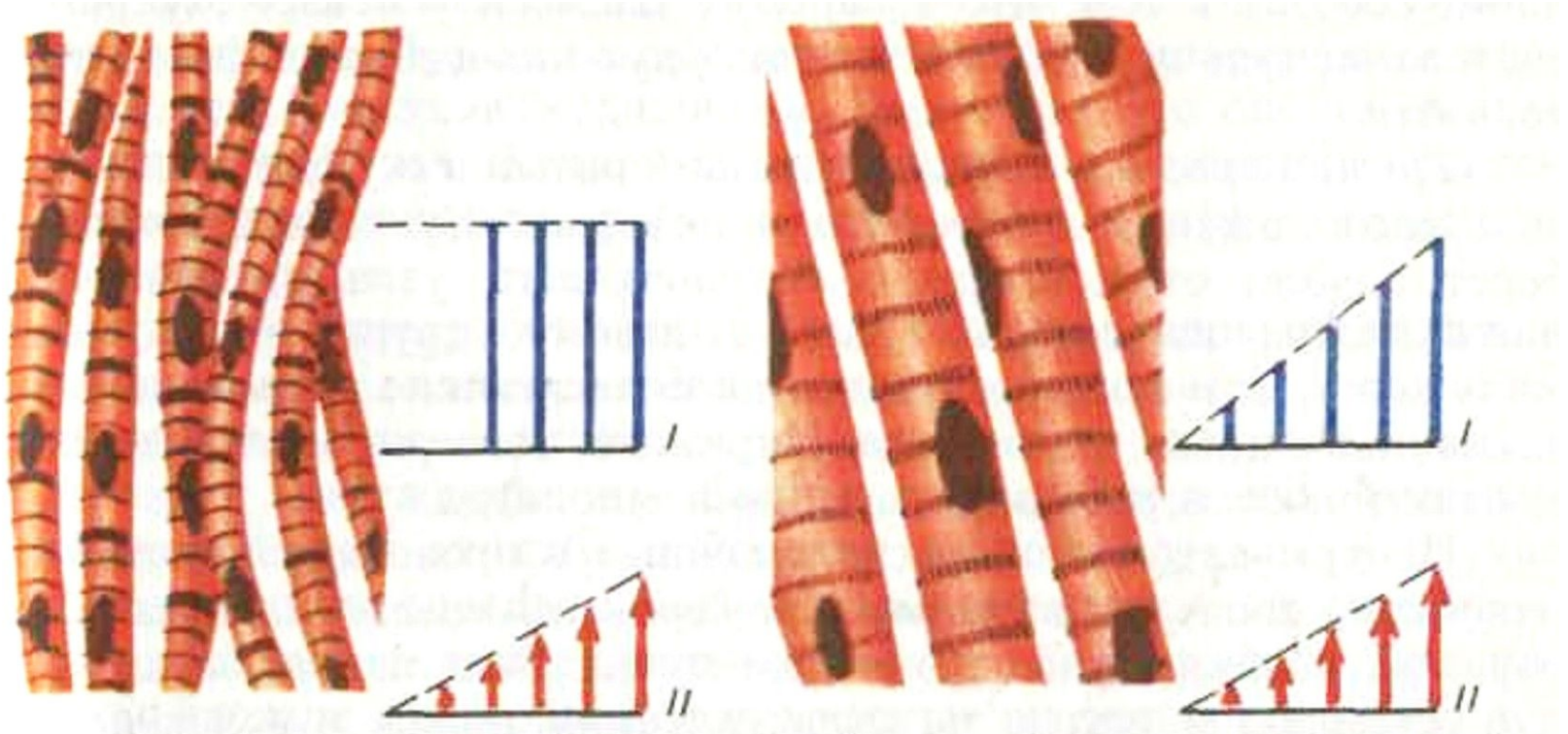
4 – открытие «медленных» кальциевых каналов, вход ионов кальция

5 – открытие дополнительных каналов для K^+

Особенности типических (рабочих) кардиомиоцитов

- *Потенциал покоя типических кардиомиоцитов калиевой природы*
- *Его величина составляет около - 90 мВ*
уровень критической деполяризации - -50 мВ
- *Потенциал действия имеет амплитуду 120 мВ и длительность 200 - 400 мс*
- *Характерно наличие фазы «плато»*
- *В отличие от скелетной мышцы, кардиомиоциты связаны электрическими синапсами, объединяющими их в функциональный синцитий. Возбуждение, возникающее в одном участке сердца, распространяется на все остальные.*

Правило “Всё или ничего”



Сократительные свойства сердечной мышцы (закон «все или ничего» — А) и

скелетной мышцы (закон градуальности — Б)

I — амплитуда сокращений, II — сила раздражения.

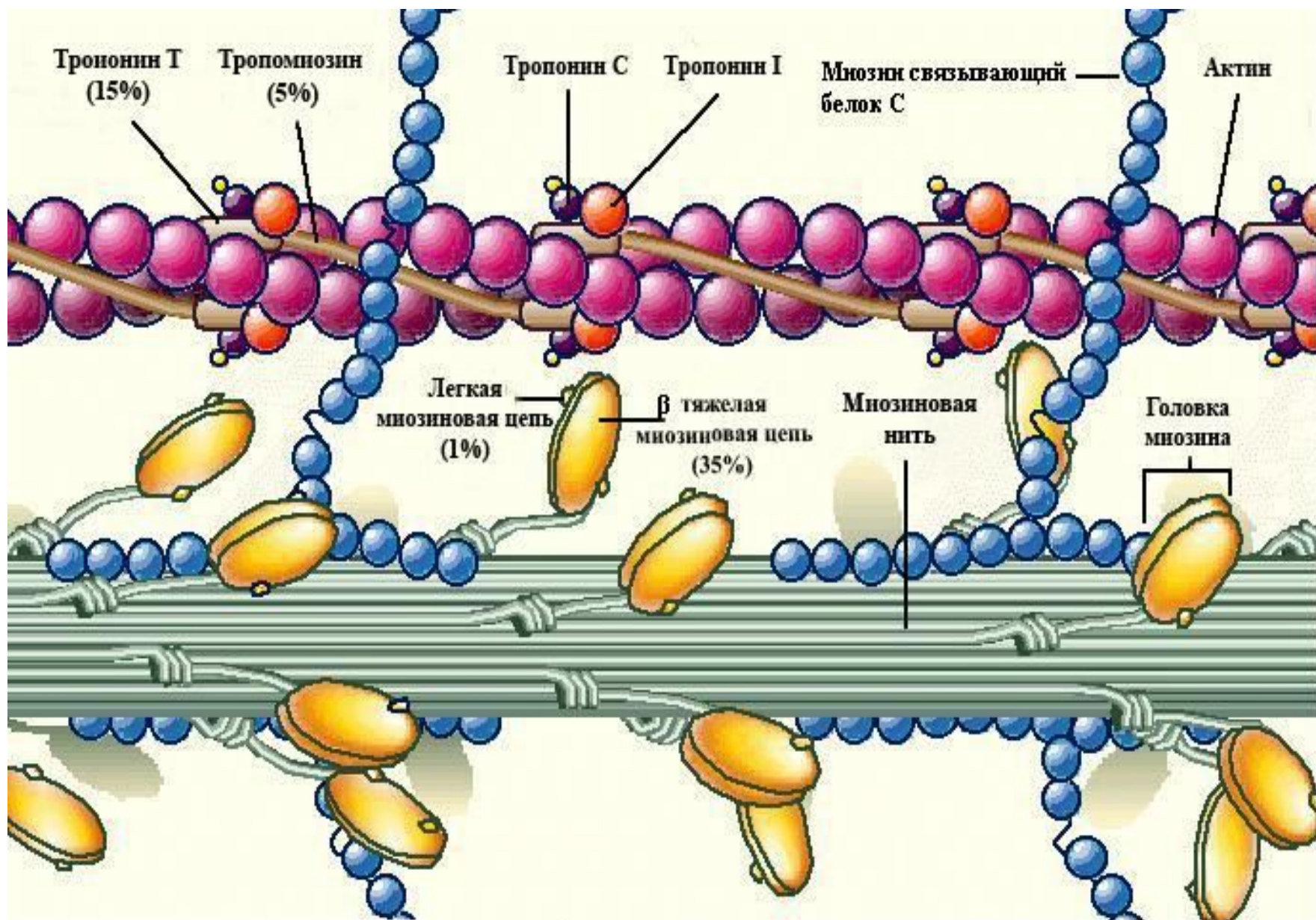
Сопряжение возбуждения и сокращения в сердце.

Сокращение инициирует вход кальция в клетку через систему **поперечных** трубочек.

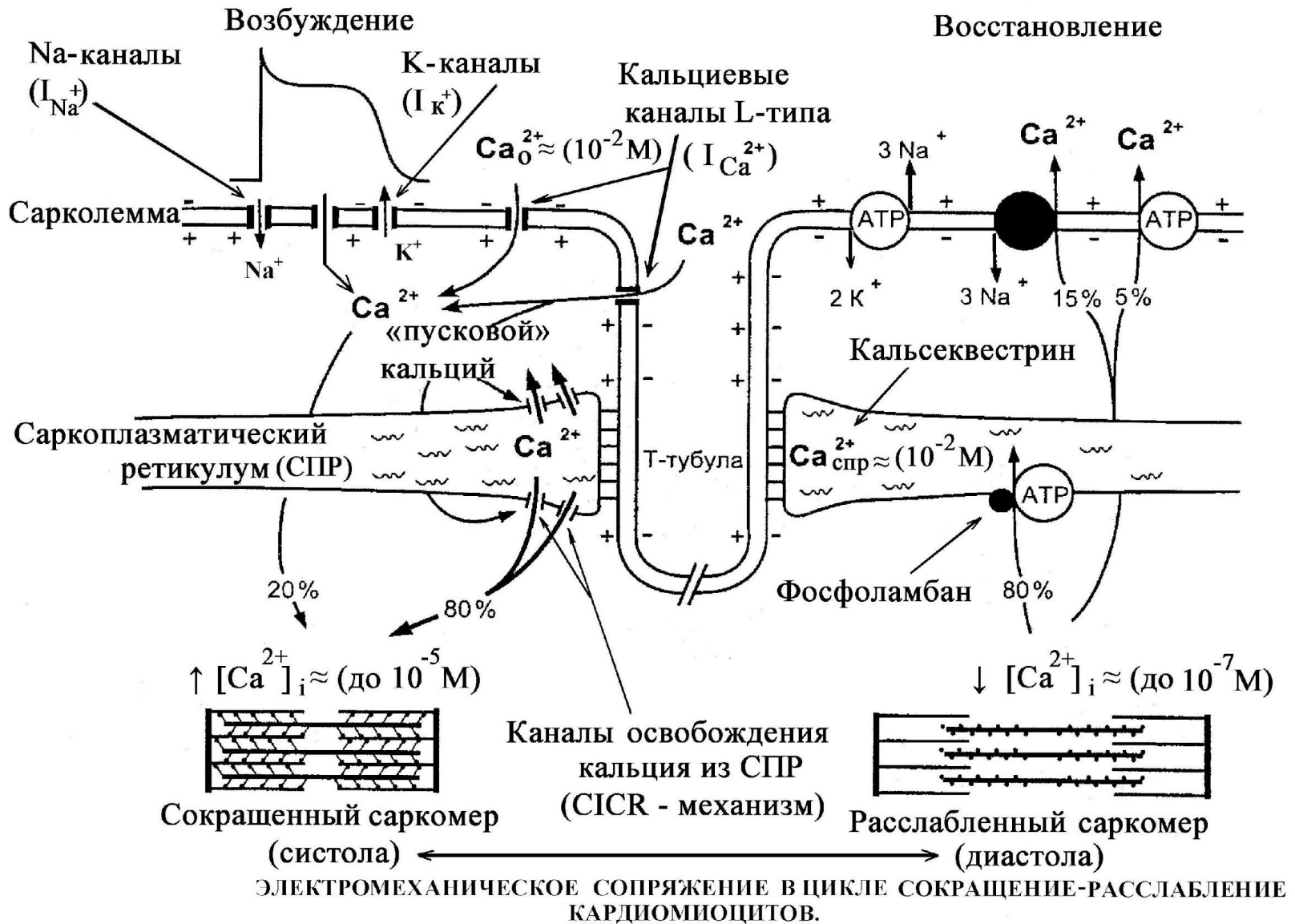
Входящий кальций увеличивает продолжительность потенциала действия и пополняет запасы внутриклеточного кальция в системе **продольных** трубочек.

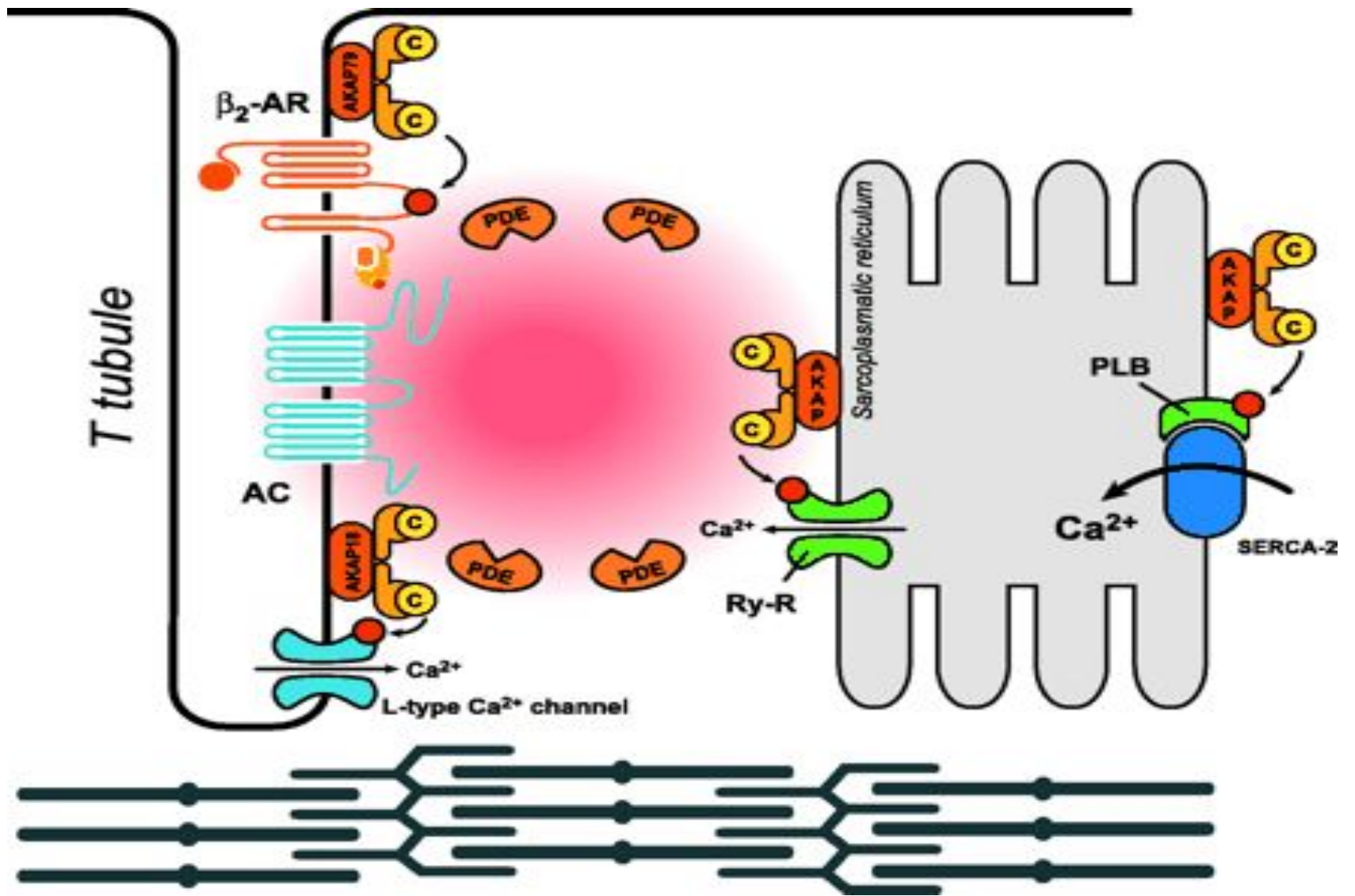
Таким образом, потенциал действия не только вызывает процесс сокращения (как в скелетной мышце), но и влияет на силу сокращения, пополняя запасы кальция.

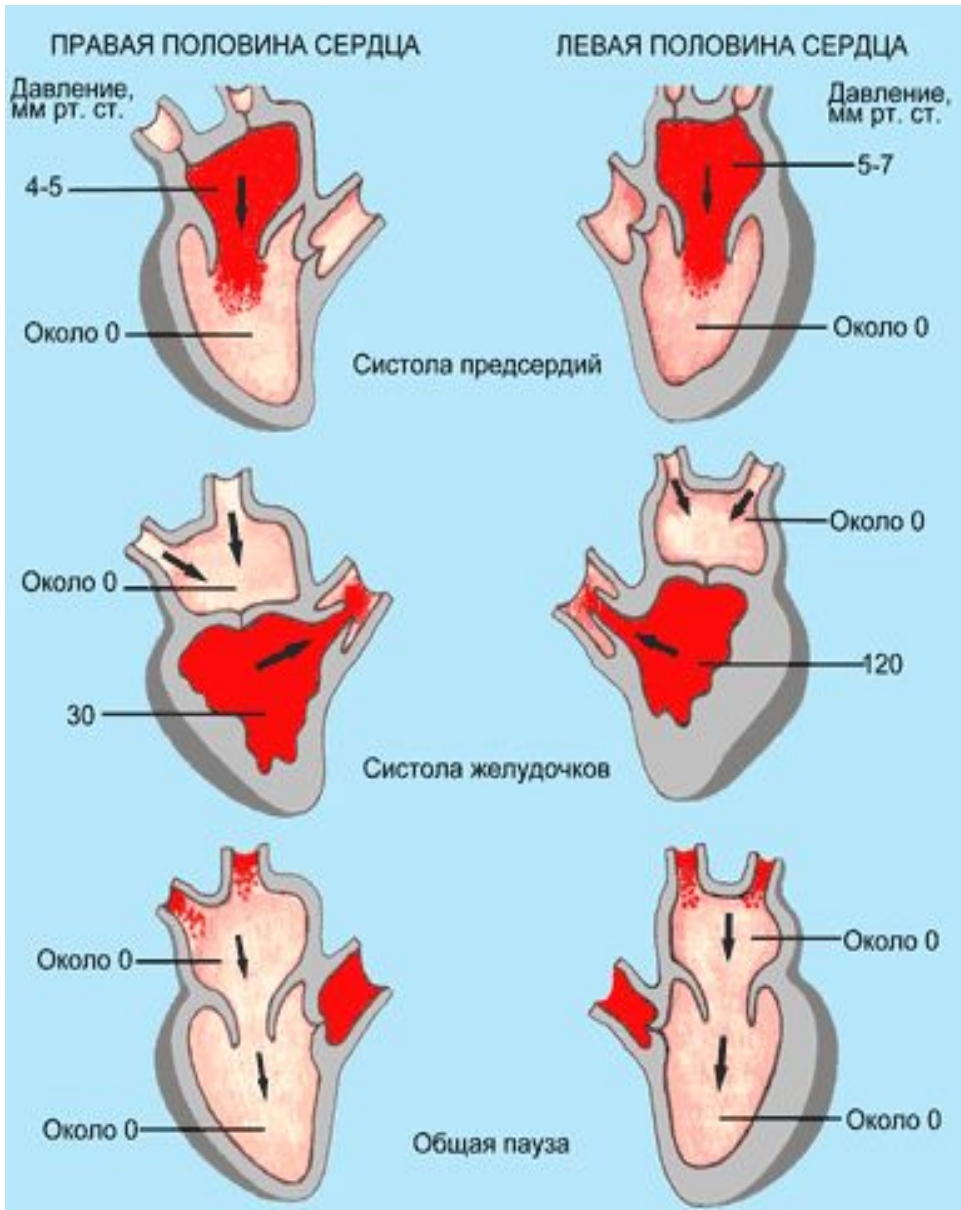
Чем больше длительность потенциала действия, тем больше амплитуда сокращения.



Компоненты саркомера







Давление в полостях сердца в разные фазы сердечного цикла

Верхние цифры означают давление в предсердиях, нижние — в желудочках (мм рт. ст.).

Цикл работы сердца

предсердия



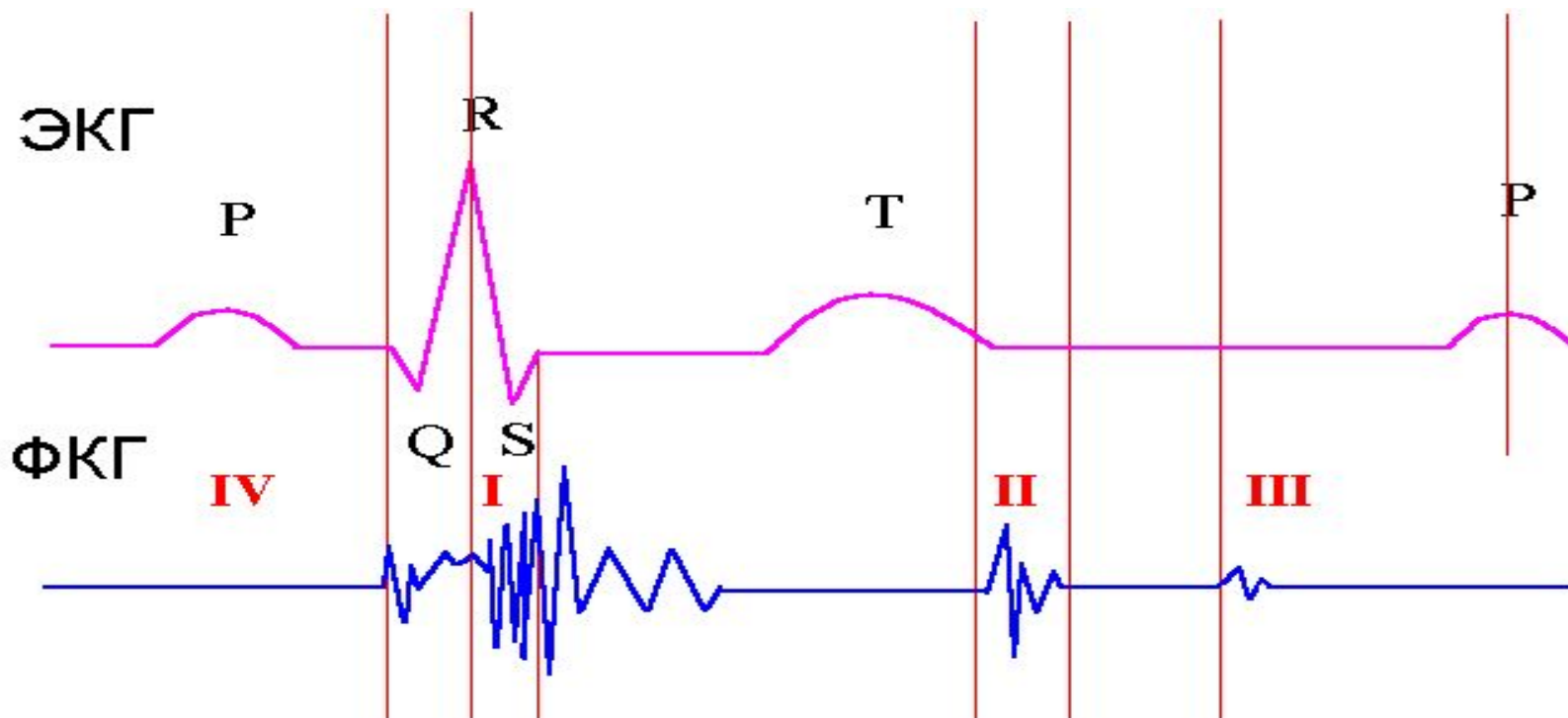
Часть сердечного цикла, когда совпадают по времени *диастола желудочков с диастолой предсердий*, является ***общей паузой***

Фазы сердечного цикла

Систола желудочков 0,33 с	Период напря- жения: 0,08 с	Фаза асинхронного сокращения – 0,05 с
		Фаза изометрического сокращения – 0,03 с I
	Период изгна- ния: 0,25 с	Фаза быстрого изгнания – 0,12 с
		Фаза медленного изгнания – 0,13 с
Диастола желудочков 0,47 с	Протодиастолический период – 0,04 с II	
	Период изометрического расслабления – 0,08 с	
	Период напол- нения: 0,25 с	Фаза быстрого наполнения – 0,08 с III
		Фаза медленного наполнения – 0,17 с
	Пресистолический период (систола предсердий) – 0,1 с IV	

Примечание. Цифрами I, II, III и IV отмечено появление соответствующего тона сердца.

Сопоставление ЭКГ и ФКГ при их синхронной регистрации

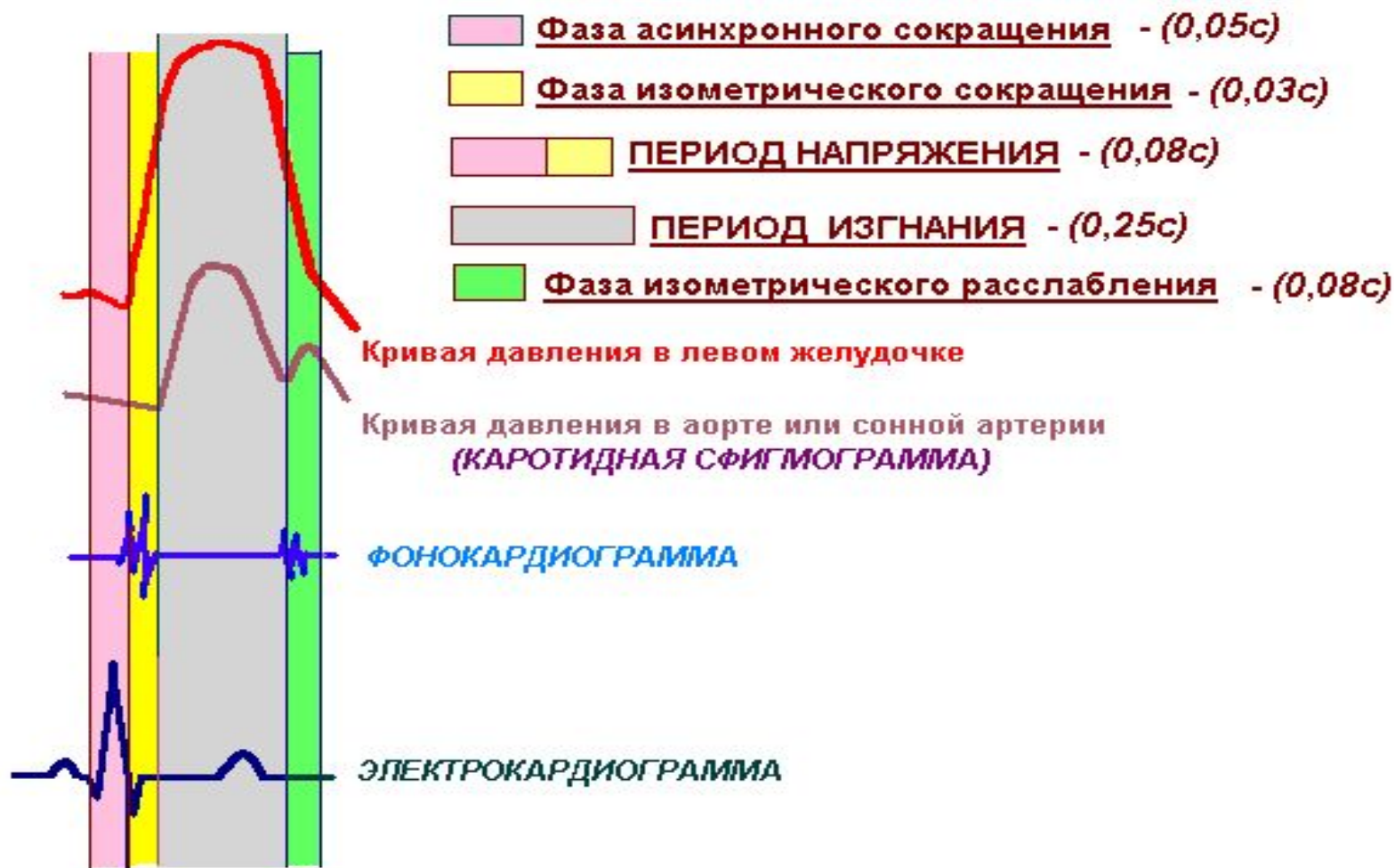


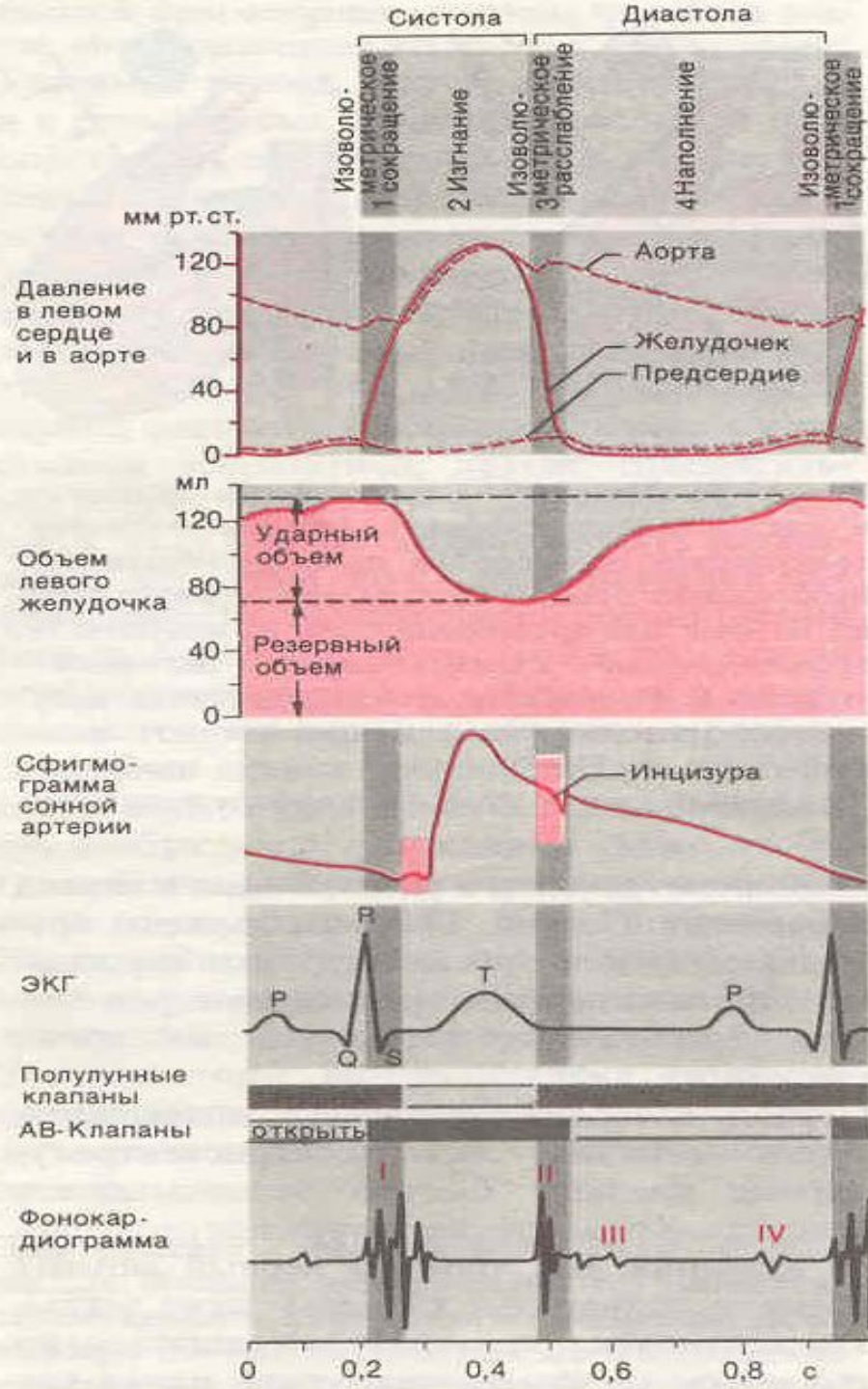
Тоны сердца Во время работы сердца возникают звуки, называемыми тонами сердца. Их можно прослушать, если приложить ухо или фонендоскоп к грудной стенке. Различают два тона сердца: I тон, или систолический, и II тон, или диастолический. Первый тон более низкий, глухой и продолжительный, II тон короткий и более высокий.

МЕХАНИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СЕРДЦА

- Механическая деятельность сердца -
распределение во времени основных функциональных состояний сердца: напряжения, укорочения, изгнания крови, расслабления, наполнения полостей
- Основная характеристика - хронокардиограмма
- Основной метод определения -
поликвардиография

ПРИНЦИП ПОЛИКАРДИОГРАФИИ – одновременная регистрация нескольких показателей работы сердца и их анализ





АНАЛИЗ ПОЛИКАРДИО- ГРАФИЧЕСКОЙ КРИВОЙ

Основные общие показатели механической деятельности сердца

- **ИНДЕКС
НАПРЯЖЕНИЯ
МИОКАРДА** = **ИНМ** =
$$\frac{\text{Период напряжения}}{\text{Механическая систола}} \quad \%$$
- **КОЭФФИЦИЕНТ
БЛЮМБЕРГЕРА** = **КБ** =
$$\frac{\text{Период изгнания}}{\text{Период напряжения}}$$
- **СРЕДНЯЯ СКОРОСТЬ
ПОВЫШЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ
В ПОЛОСТИ ЖЕЛУДОЧКА** =
$$\Delta P / \Delta t = \frac{\text{ДАД} - 5}{\text{Фаза изометр. сокр.}}$$

ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАСОСНОЙ ФУНКЦИИ СЕРДЦА

Систолический объем, сердечный выброс или ударный объем крови (*УОК*) - 65 - 70 мл (при ЧСС 70 уд/мин)

Минутный объем крови: ($МОК=УОК \times ЧСС$) - 4,5 - 6,0 л/мин (при ЧСС 70 уд/мин) и - до 25 - 30 л/мин (при физической нагрузке и ЧСС до 200 уд/мин)

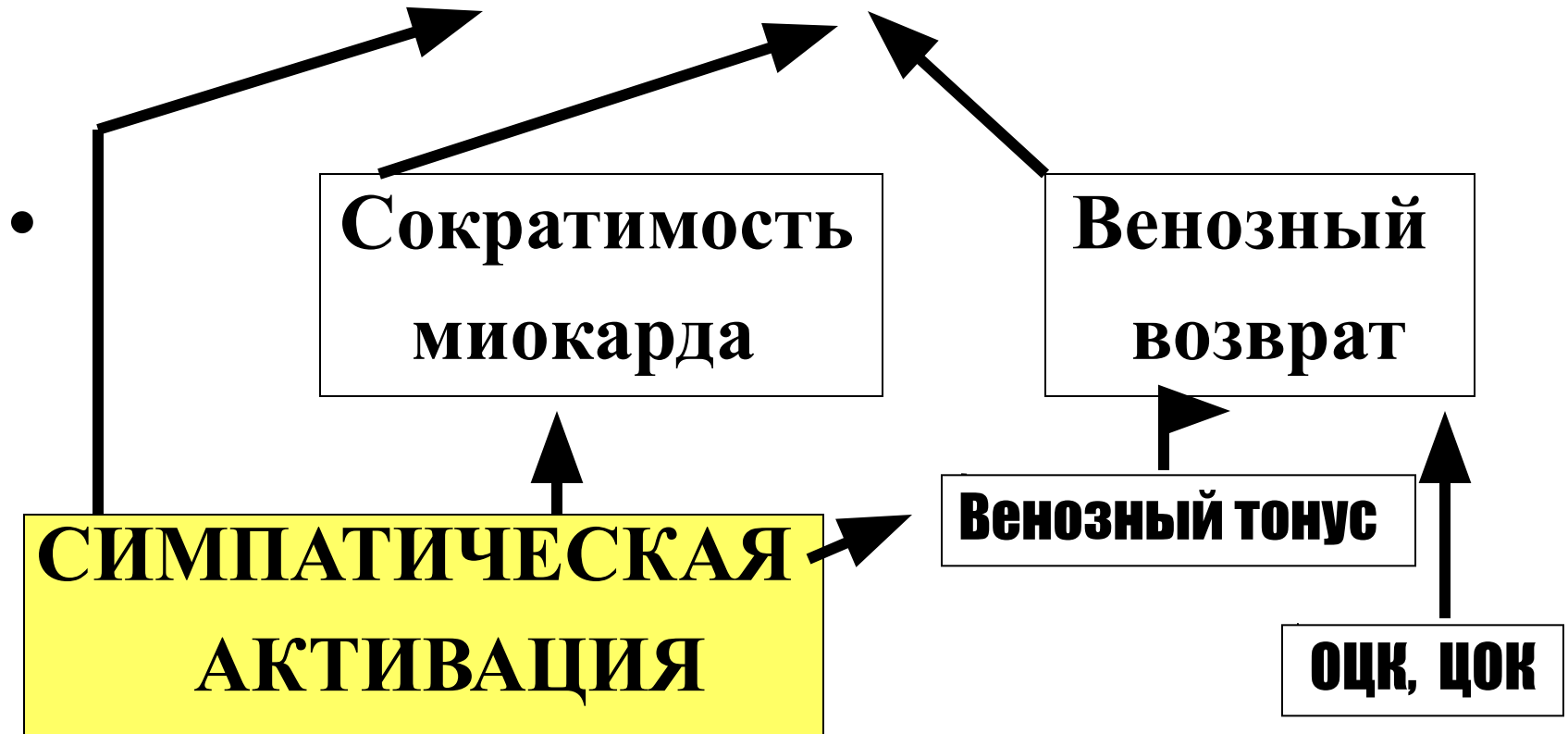
Сердечный индекс - отношение минутного объема к поверхности тела.

Норма - 2- 4 л/мин/кв.м

Фракция выброса: $УОК / КДО \times 100 \%$

ФАКТОРЫ, ПОВЫШАЮЩИЕ МОК

• $МОК = ЧСС \times УОК$





Основные виды регуляции деятельности сердца



- **Миогенная саморегуляция**
- **Внутрисердечная нейрогенная**
- **Внесердечная рефлекторная**
- **Внутрисердечная гуморальная**
- **Внесердечная гуморальная**

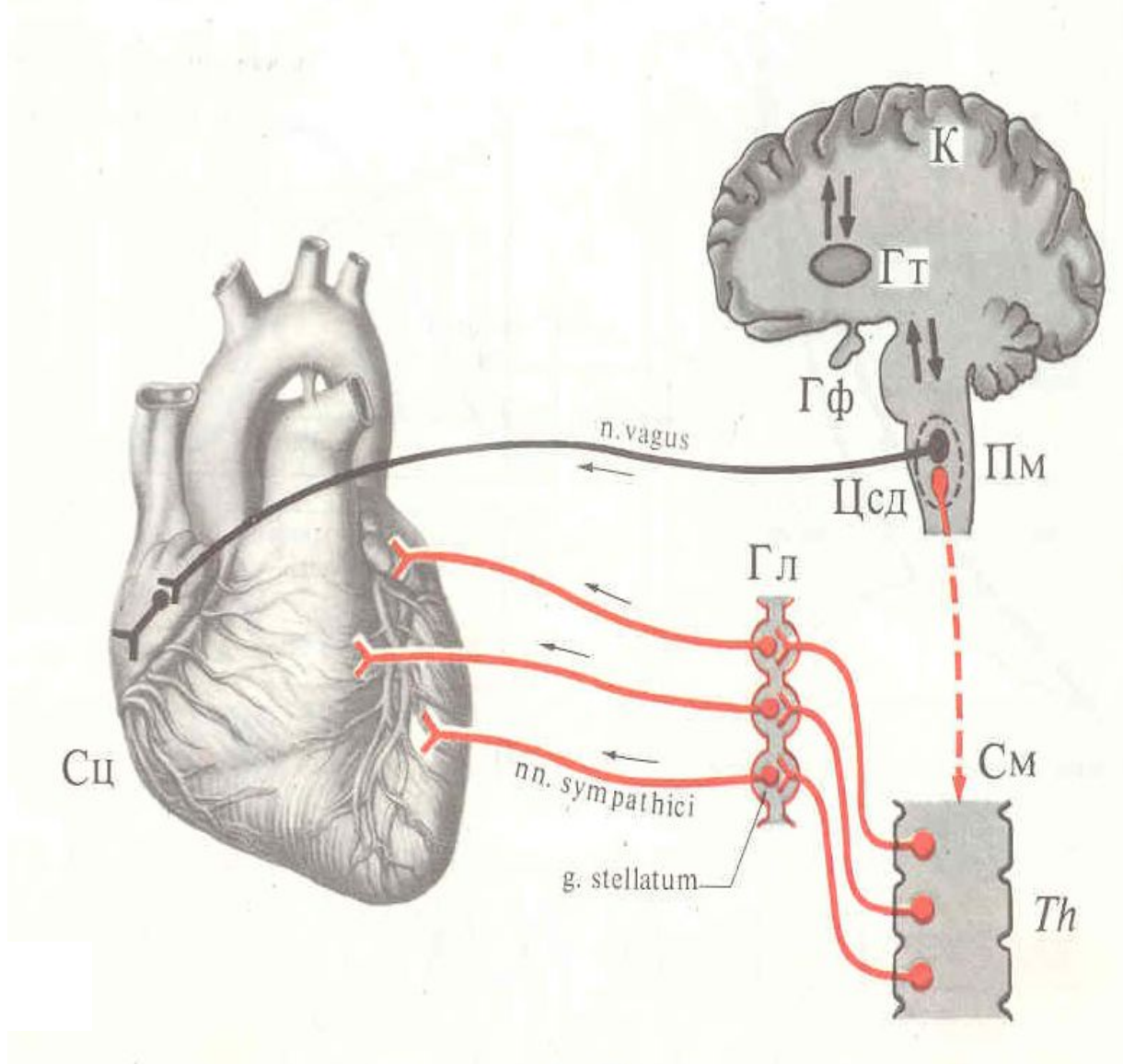
НЕКОТОРЫЕ ИСТОРИЧЕСКИЕ ФАКТЫ

- **1846 - братья Вебер - раздражение индукционным током вагуса, его перерезка, раздражение продолговатого мозга**
- **1866 - братья Цион - раздражение симпатического нерва**
- **1887 - И.П. Павлов - открытие симпатического усиливающего нерва**
- **1921 - Отто Леви - открытие медиаторной передачи**

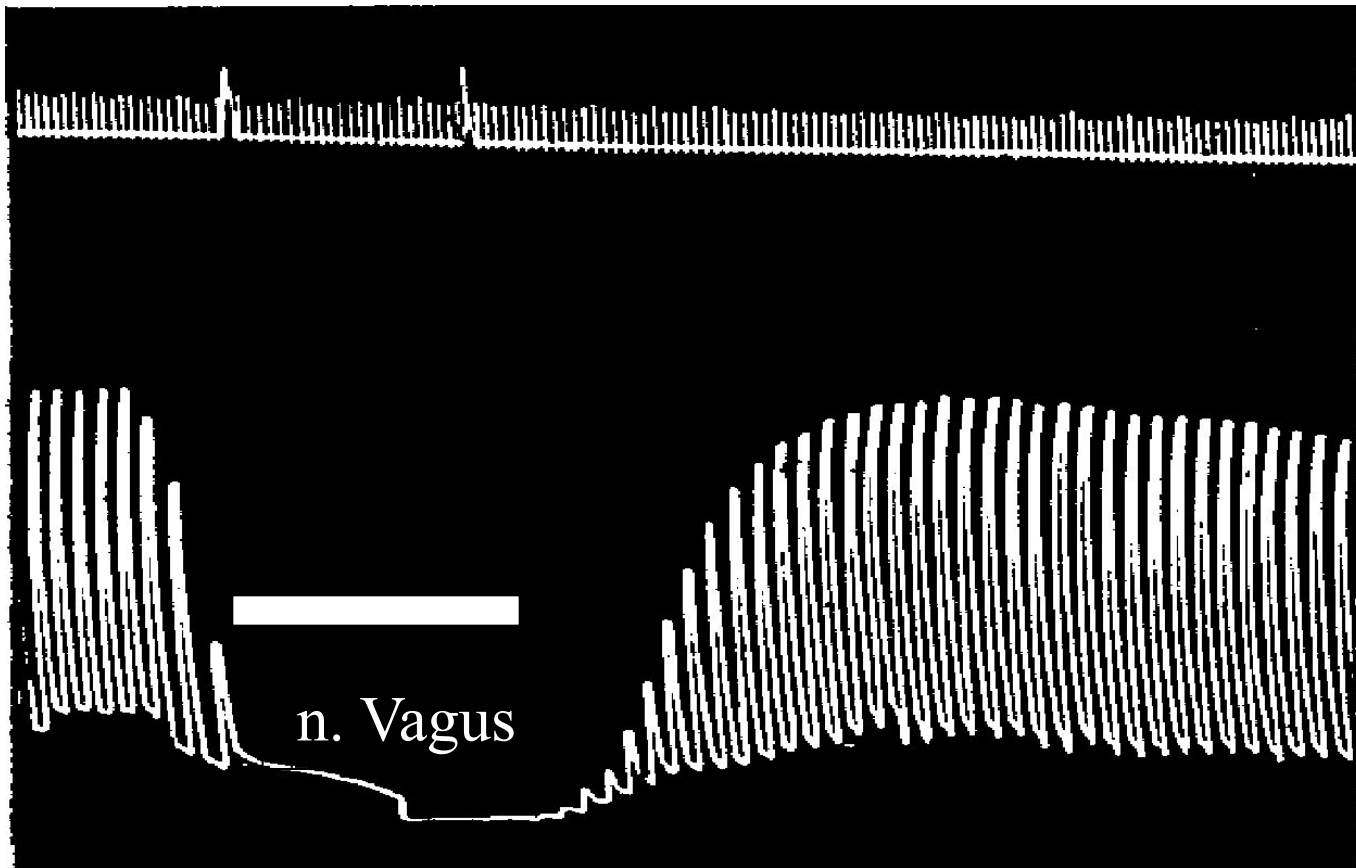
4 типа регуляторных эффектов на сердце

- **СИМПАТИКУС: положительные, особенно 1,2,3**
- **ВАГУС: отрицательные, особенно 1, 4**
- **1. ХРОНОТРОПНЫЙ ЭФФЕКТ** - влияние на частоту сокращений (изменение автоматии)
- **2. ИНОТРОПНЫЙ ЭФФЕКТ** - влияние на силу и скорость сокращений (изменение сократимости)
- **3. БАТМОТРОПНЫЙ ЭФФЕКТ** - влияние на возбудимость миокарда
- **4. ДРОМОТРОПНЫЙ ЭФФЕКТ** - влияние на проводимость в миокарде

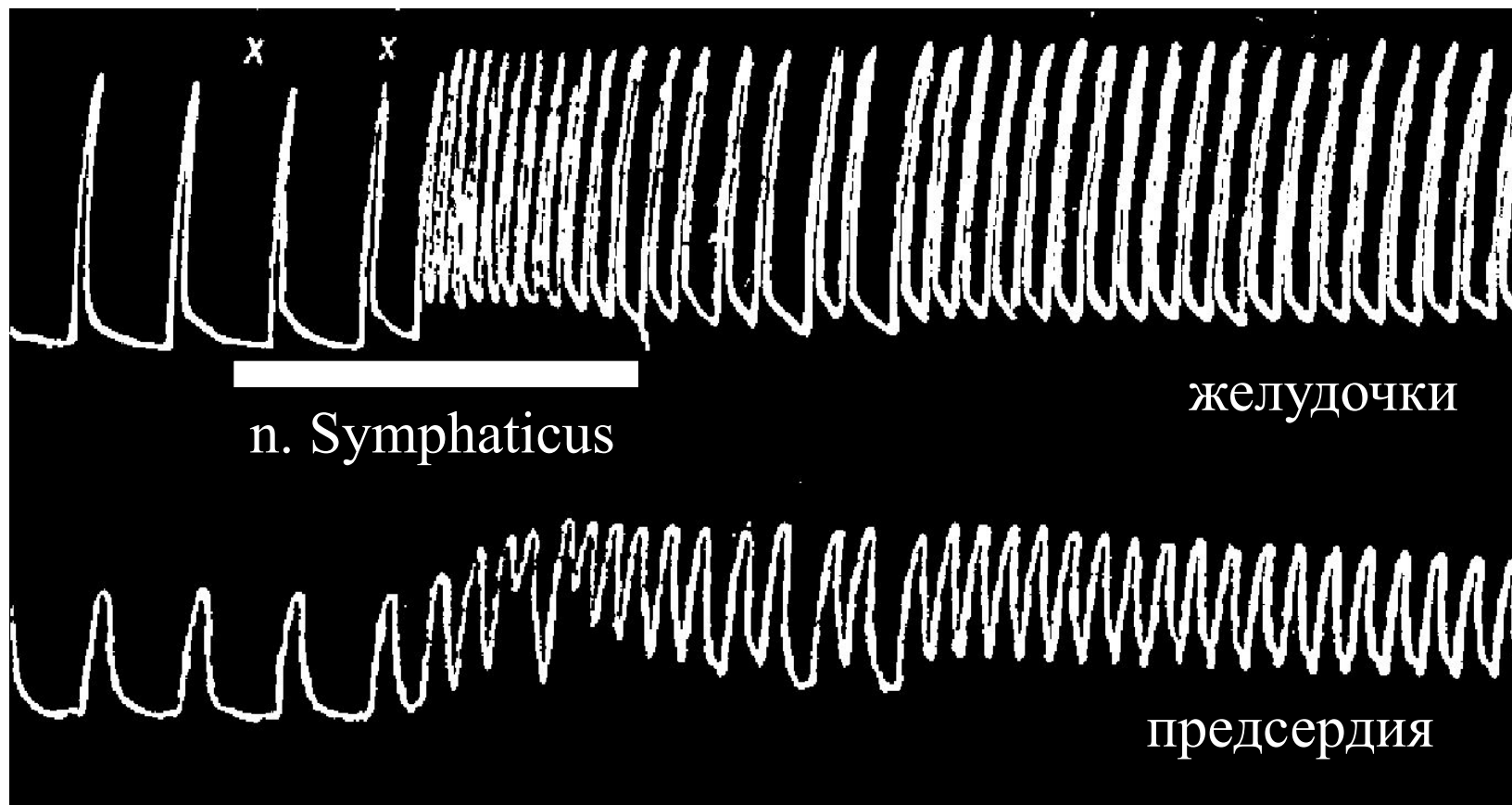
Вегетативная иннервация сердца



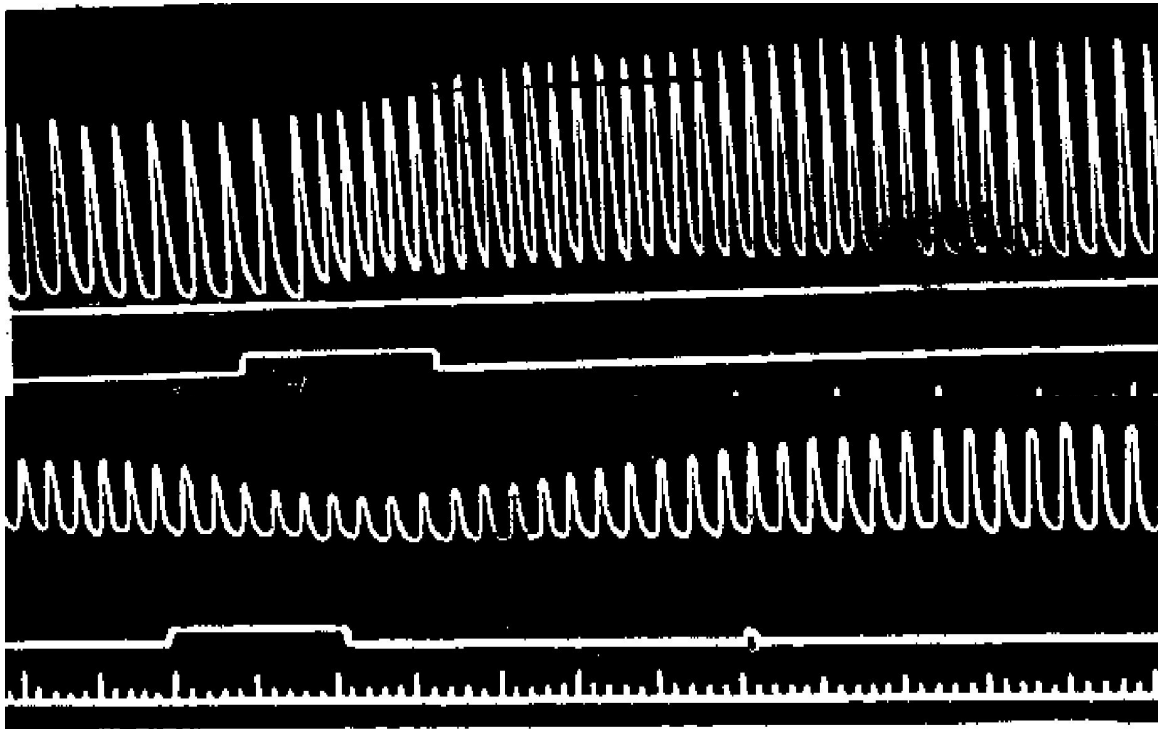
Влияние блуждающих нервов на сердце лягушки



ВЛИЯНИЕ РАЗДРАЖЕНИЯ УСКОРЯЮЩЕГО СИМПАТИЧЕСКОГО НЕРВА НА СЕРДЦЕ ЛЯГУШКИ.



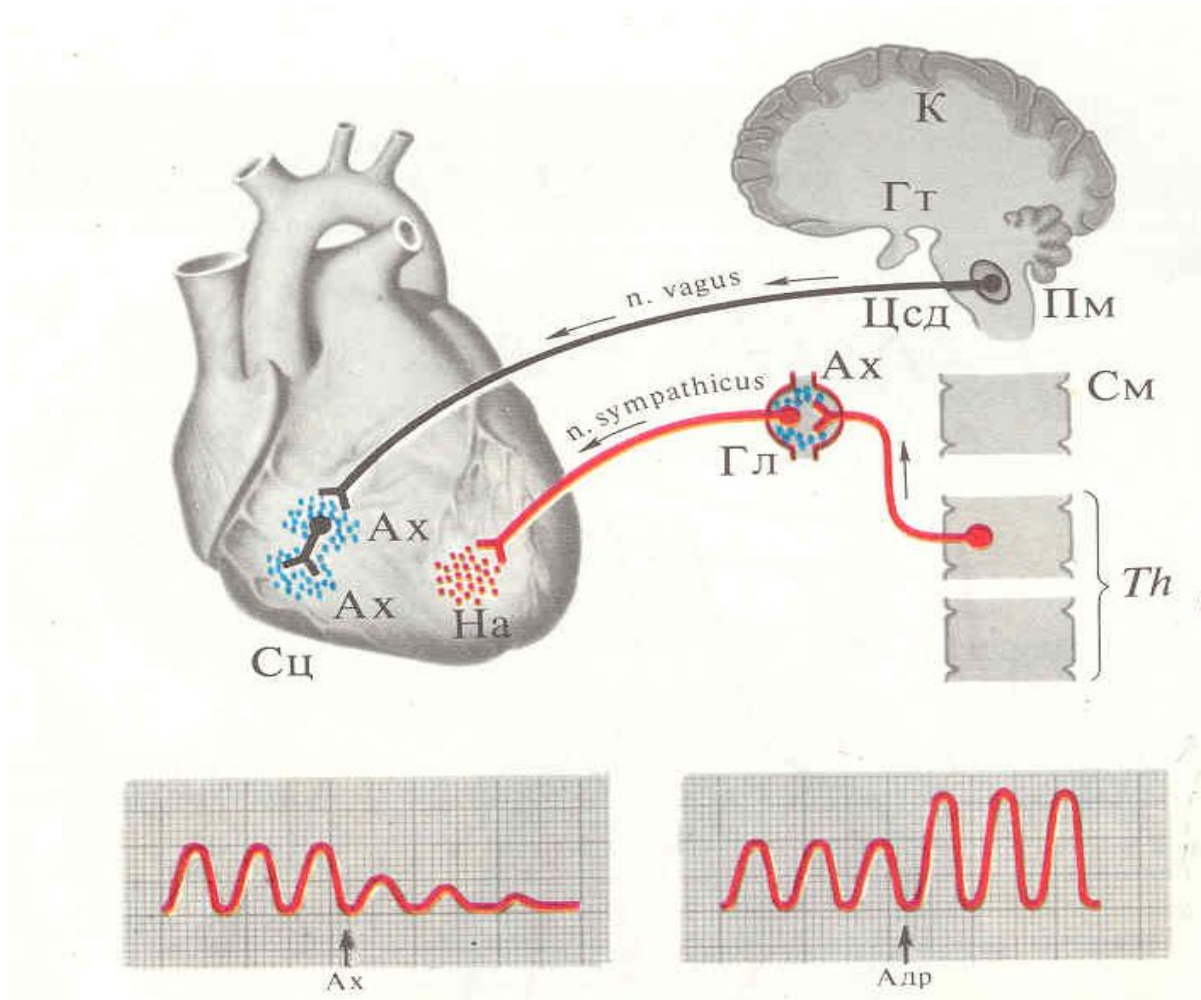
Инотропный эффект сердечных нервов



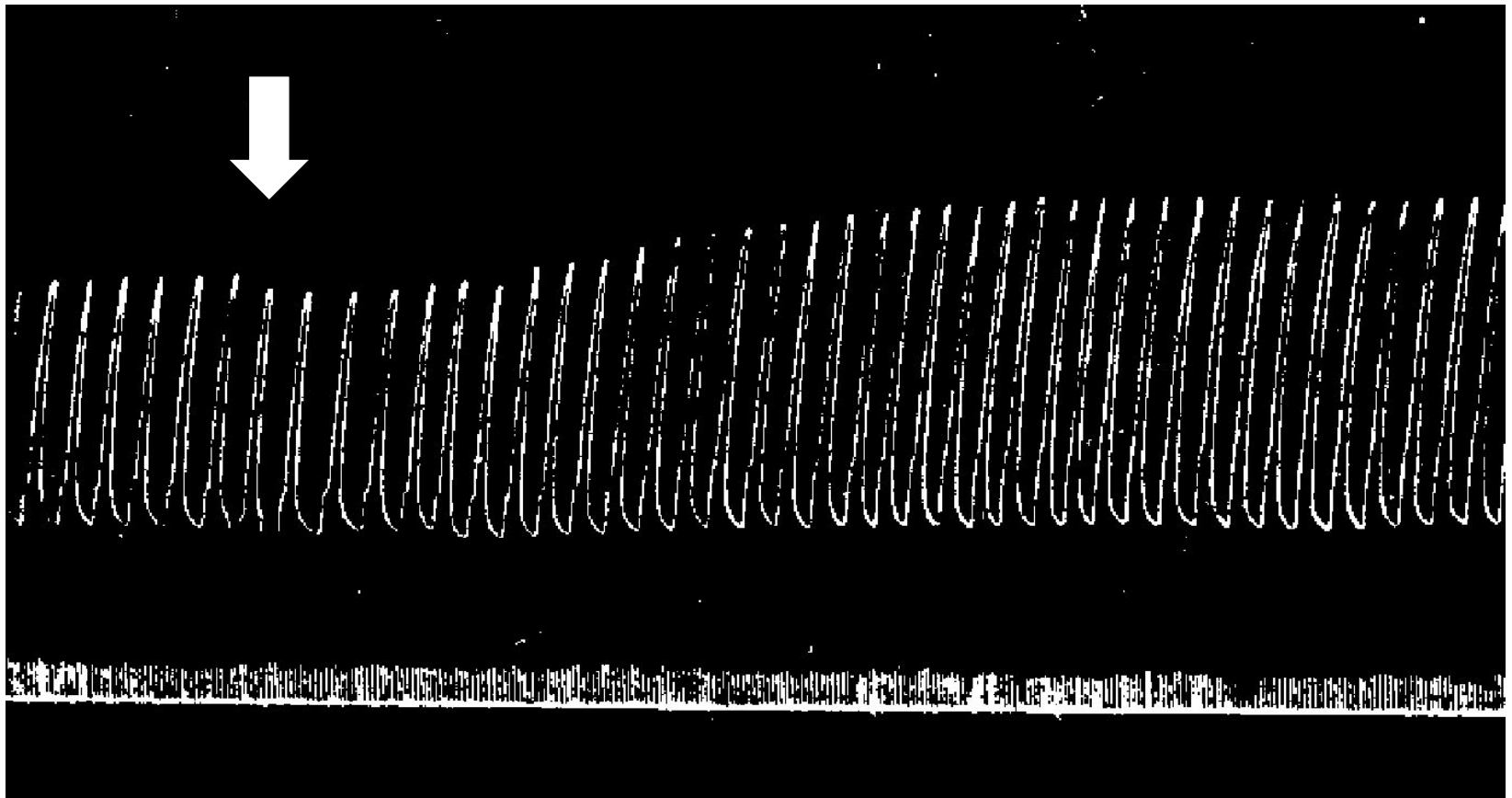
ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЙ
ИНОТРОПНЫЙ ЭФФЕКТ
ПРИ РАЗДРАЖЕНИИ
СИМПАТИКУСА

ОТРИЦАТЕЛЬНЫЙ
ИНОТРОПНЫЙ ЭФФЕКТ
ПРИ РАЗДРАЖЕНИИ
ВАГУСА

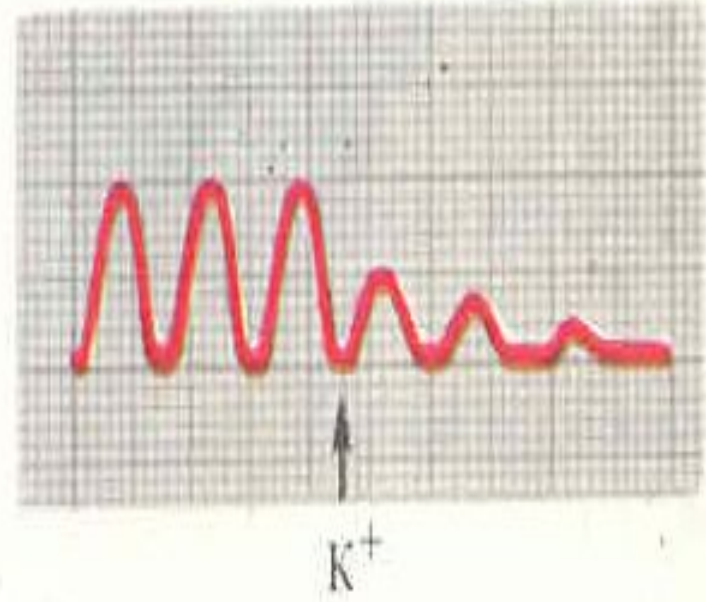
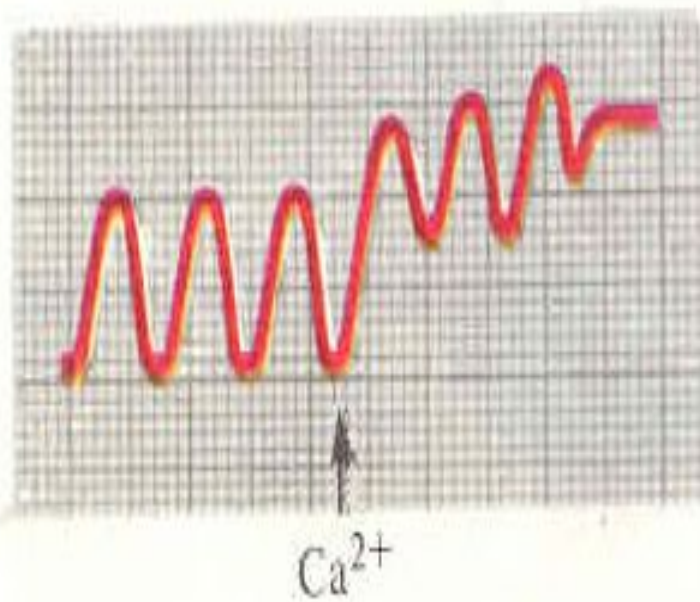
Медиаторы сердечных нервов и их эффекты



Эффект адреналина на сердце



Влияние ионов на сокращение миокарда



ОСНОВНЫЕ ЭФФЕКТЫ ЭЛЕКТРОЛИТНЫХ СДВИГОВ НА АВТОМАТИЮ СЕРДЦА

- **$> K_{OUT}$ - гиперполяризация - падение автоматии**
- **$< K_{OUT}$ - гиперполяризация - падение автоматии**
- **$> Ca_{OUT}$ - ускорение деполяризации - рост автоматии**

РЕФЛЕКТОРНАЯ РЕГУЛЯЦИЯ СЕРДЦА

- **Внутрисердечные рефлексy**

рефлексy Г.И.Косицкого

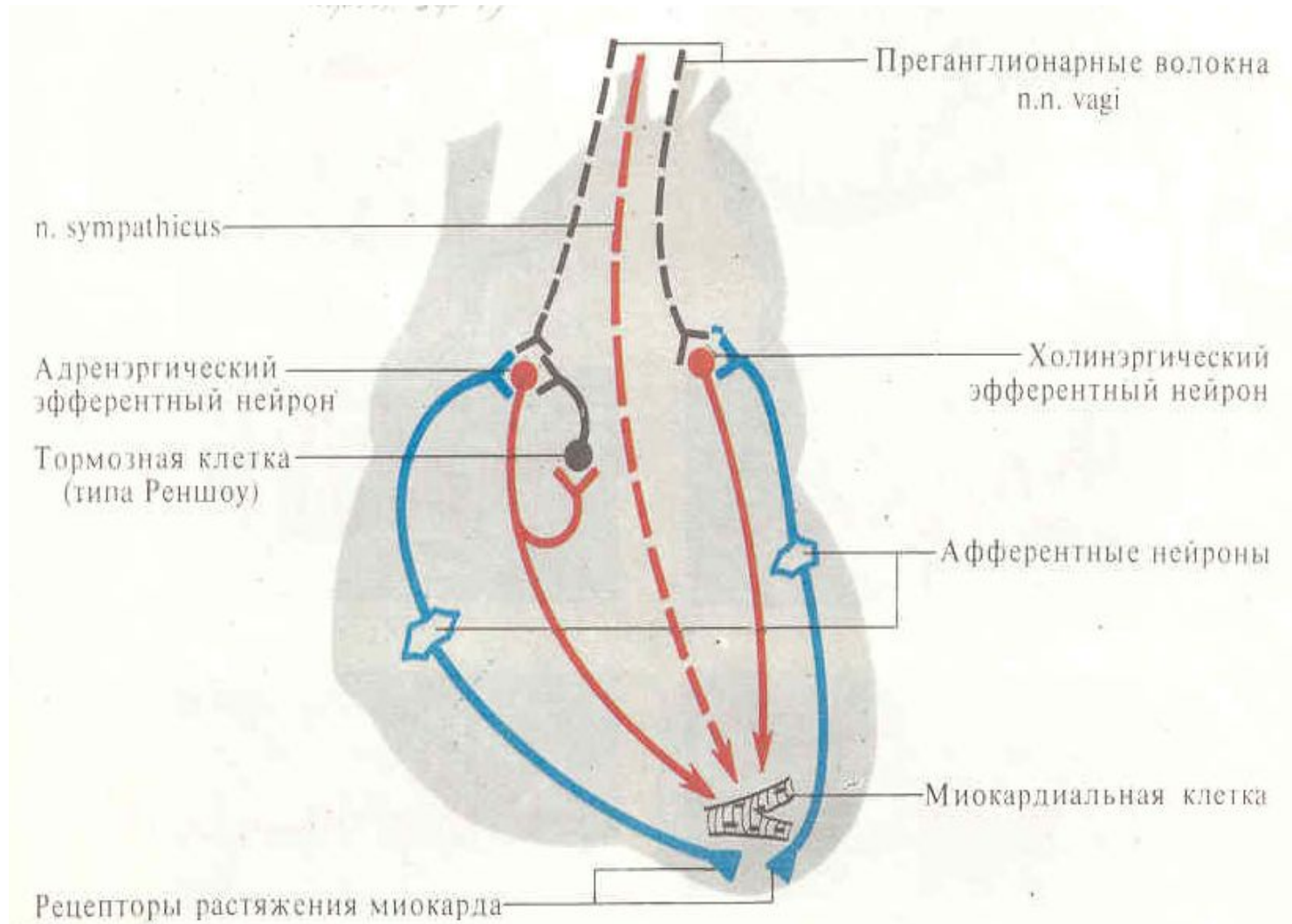
- **Внутрисистемные рефлексy:**

**рефлекс Геринга, рефлекс Парина,
рефлекс Бейнбриджа**

- **Межсистемные рефлексy:**

рефлекс Гольца, рефлекс Ашнера-Даньини, рефлексy с капсулы печени и желчных путей, рефлекс с вентральной поверхности продолговатого мозга, болевые рефлексy, дыхательно-сердечные рефлексy, условные рефлексy

СТРУКТУРА ВНУТРИСЕРДЕЧНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ



Внутрисердечные рефлексy Г.И. Косицкого

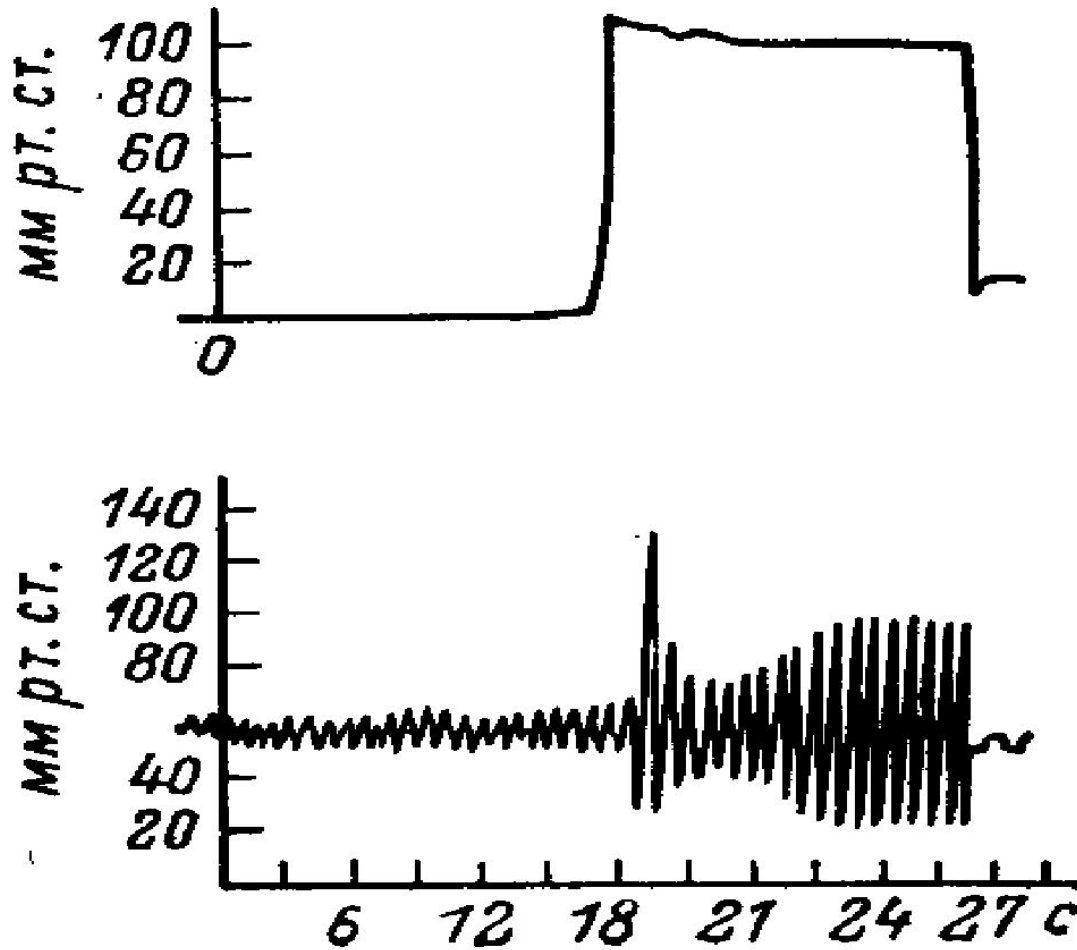
- **1. При низком давлении крови в полостях:**

повышение растяжения правого предсердия усиливает сокращения левого желудочка, чтобы освободить место притекающей крови и разгрузить систему

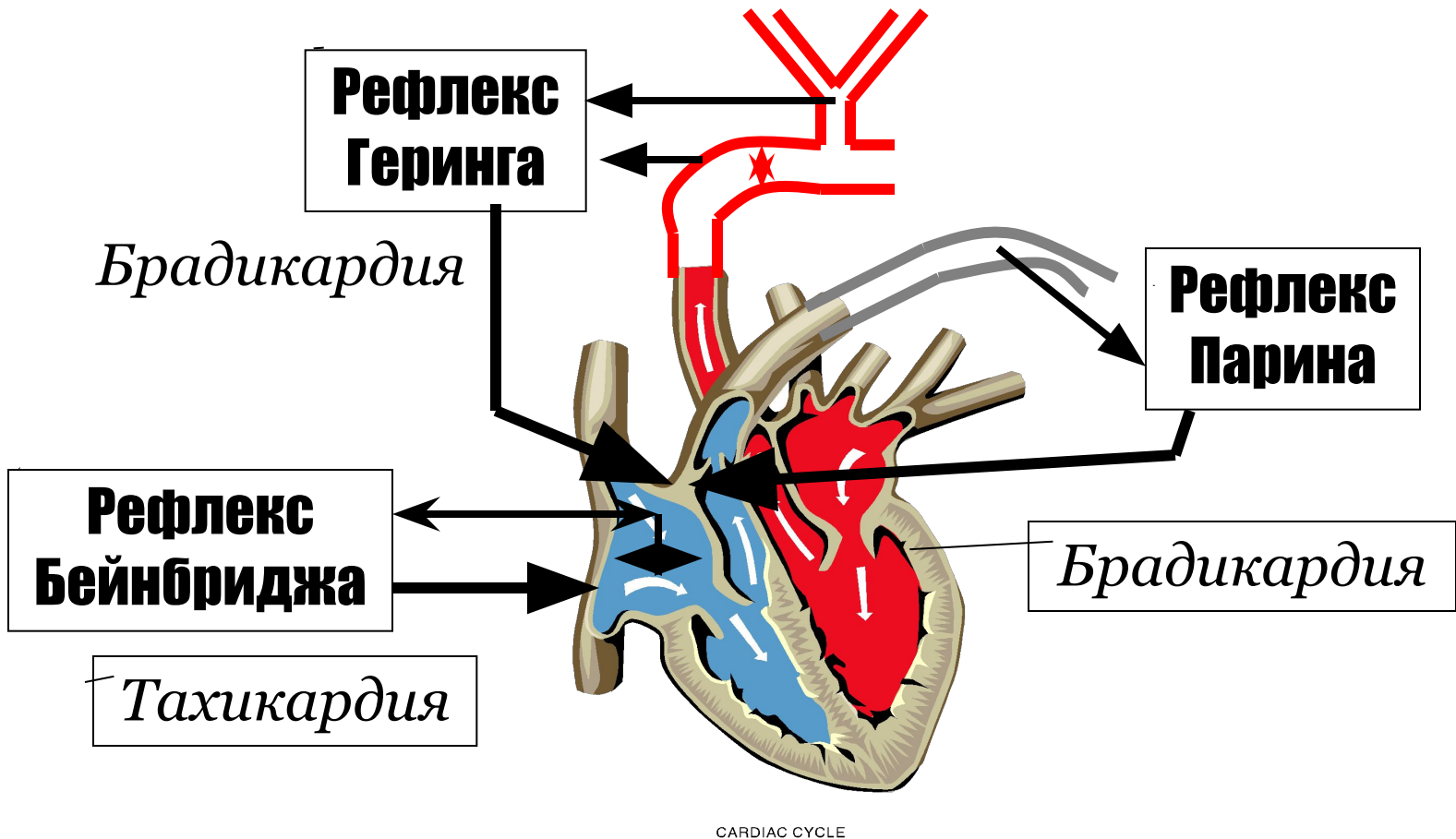
- **2. При высоком давлении крови в устье аорты:**

переполнение камер сердца кровью снижает силу сокращений, крови выбрасывается меньше и она депонируется в венозной части системы

Изменение силы сокращения левого желудочка сердечно-легочного препарата кошки при растяжении стенки правого предсердия резиновым баллончиком



Внутрисистемные рефлекссы

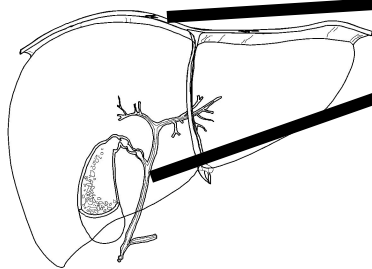


ВАГУСНЫЕ МЕЖСИСТЕМНЫЕ РЕФЛЕКСЫ

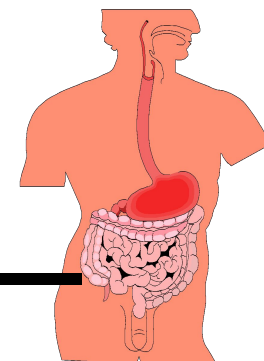
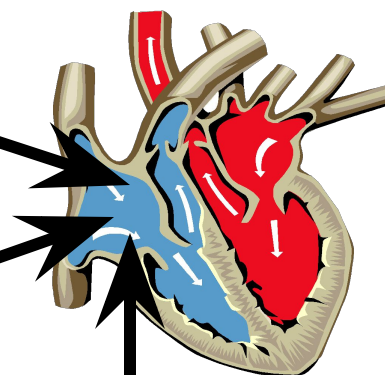


Рефлекс Ашнера-Даньини

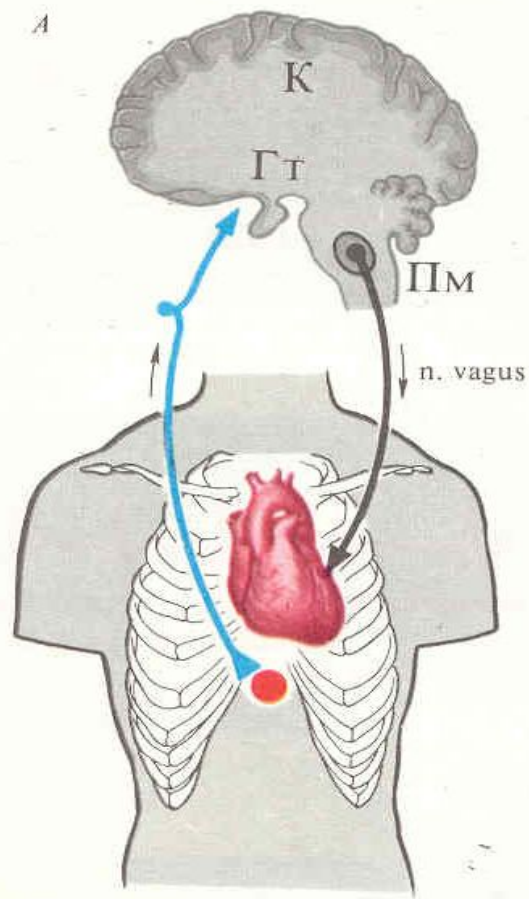
Рефлекс с капсулы печени и желчных путей



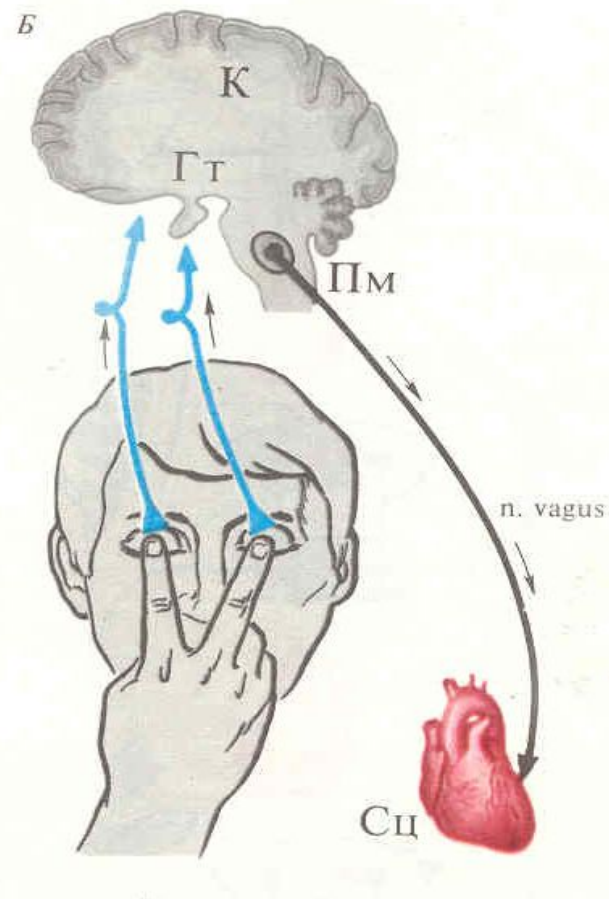
Рефлекс Гольца



Интероцептивные рефлекссы на сердце



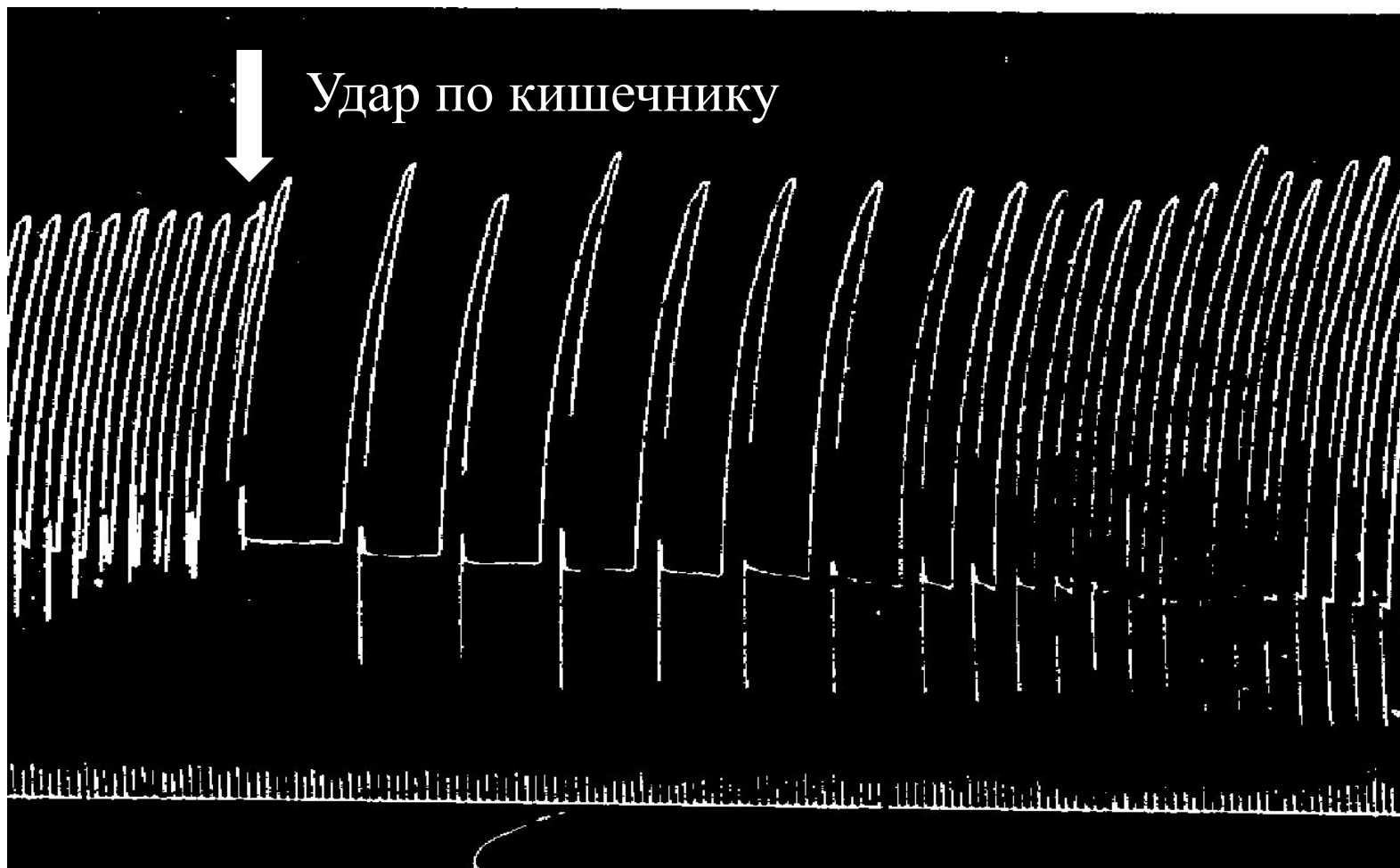
Рефлекс Гольца



Рефлекс Данини-Ашнера



Рефлекс Гольца у лягушки



гуморальная регуляция сердца

- **Адреналин - β - адренорецептор - 4 положительных эффекта**
- **Глюкагон - положительный инотропный эффект**
- **Тироксин - положительный хронотропный эффект**
- **Ангиотензин - положительный инотропный эффект**

Основные регуляторные влияния на автоматию синоатриального узла

- **АЦЕТИЛХОЛИН** - повышение проницаемости мембраны для калия - *гиперполяризация, снижение скорости (крутизны) МДД.*
- **НОРАДРЕНАЛИН** - повышение проницаемости мембраны для Ca^{++} - *повышение скорости (крутизны) МДД, снижение порогового потенциала*

Изменения показателей работы сердца в разных условиях

ЧСС	АД	СОК
------------	-----------	------------

КОНТРОЛЬ

ЧСС	АД
------------	-----------

НОРАДРЕНАЛИН

ЧСС	АД	СОКРАТИМ
------------	-----------	-----------------

ДОФАМИН

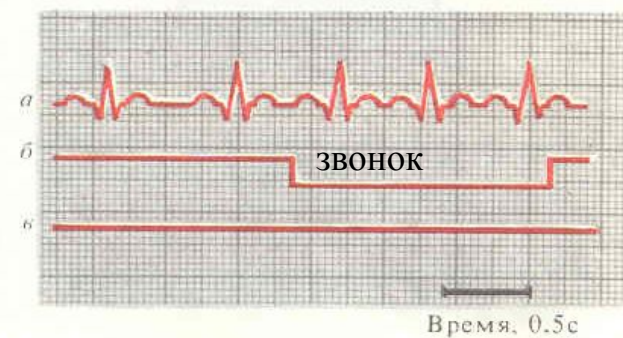
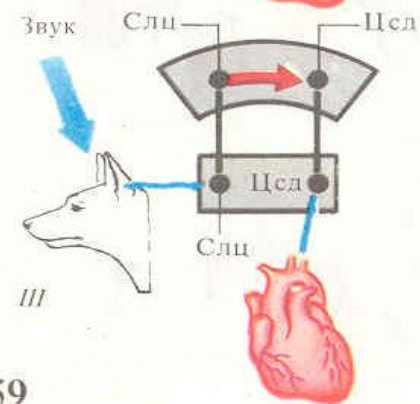
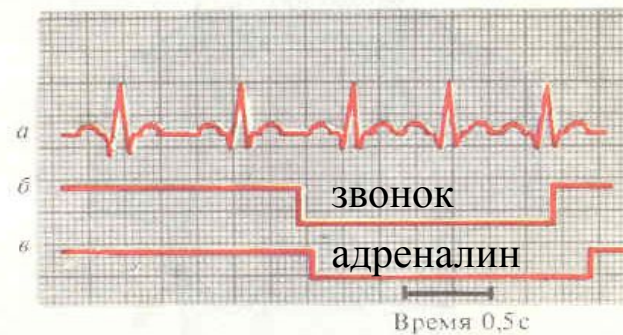
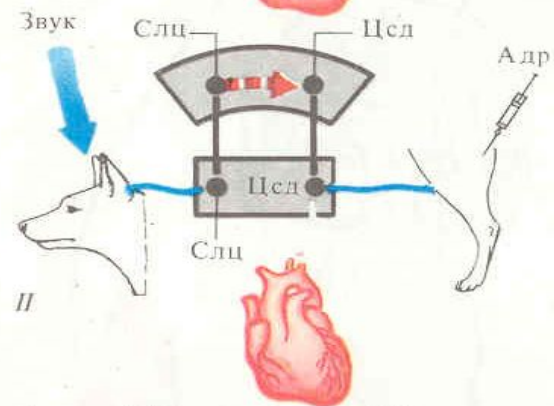
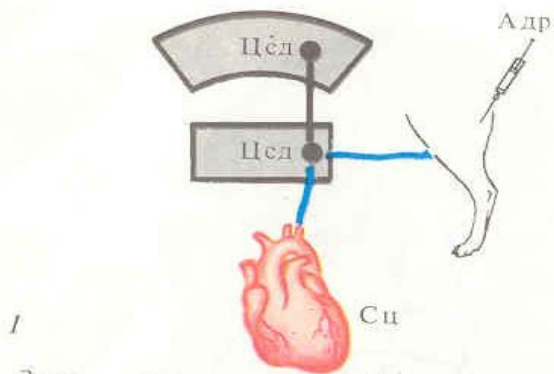
ЧСС	АД	СОКРАТ
------------	-----------	---------------

ХОДЬБА

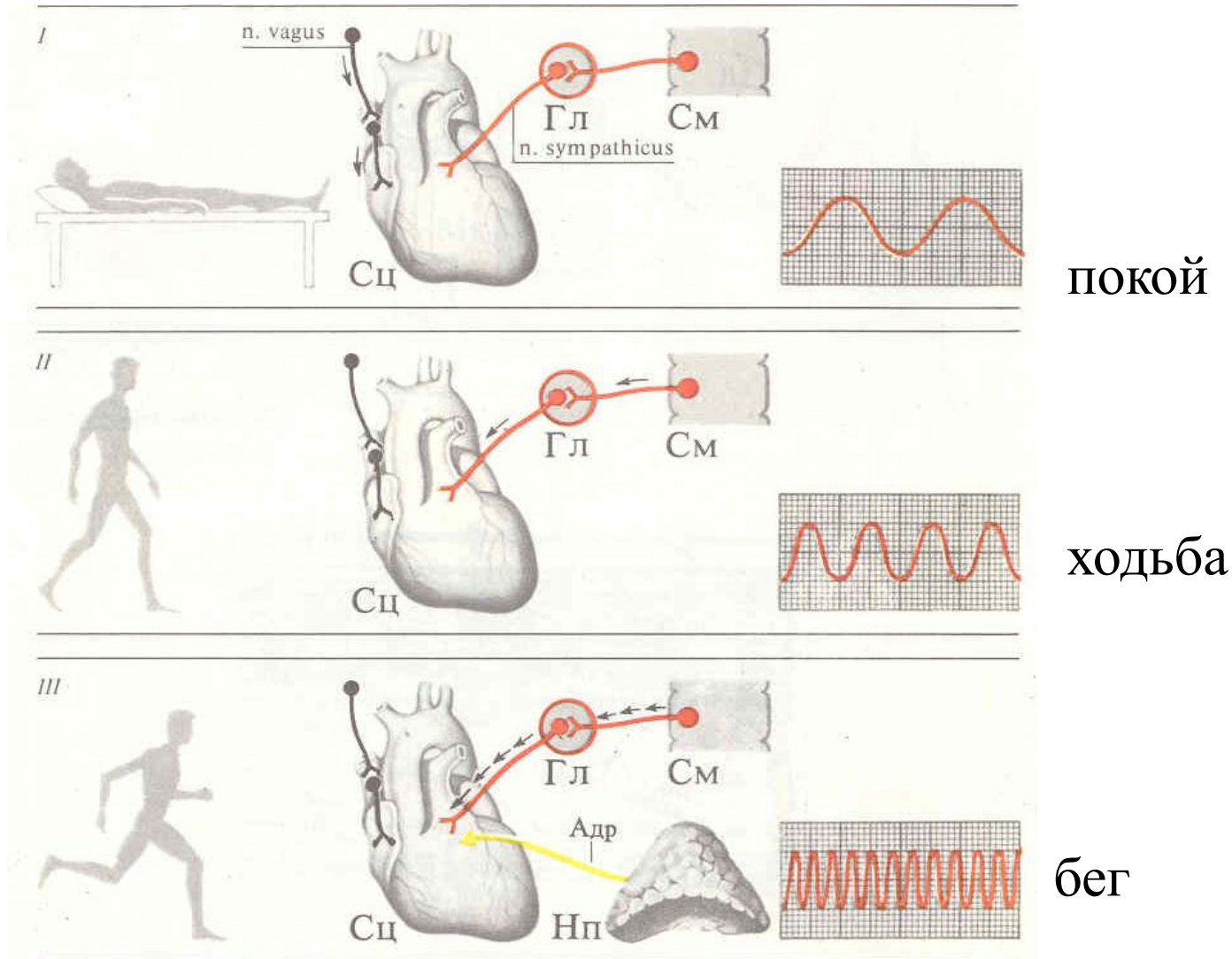
ЧСС	АД	СОКРАТИМОСТЬ
------------	-----------	---------------------

ФИЗИЧЕСКАЯ РАБОТА

Условные рефлексы на сердце



Изменение работы сердца при нагрузке



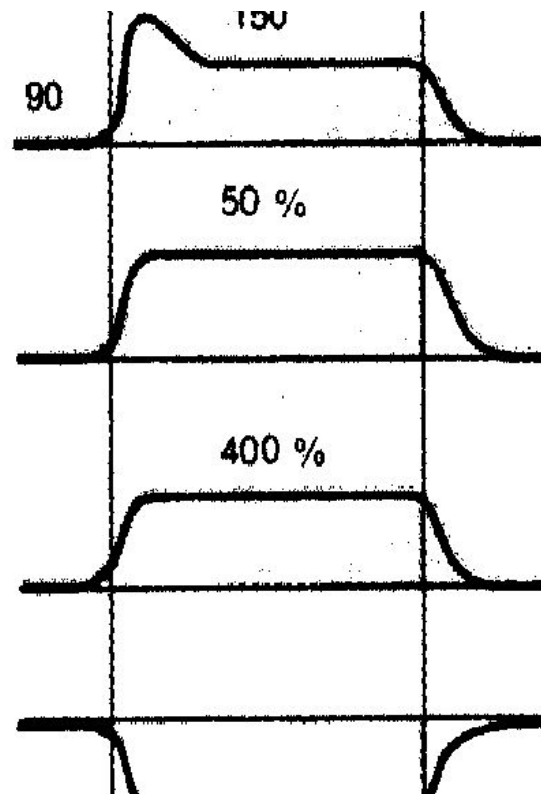
Изменение показателей сердечной деятельности при мышечной работе

Частота сокращений
сердца

Ударный объем

Сердечный выброс

Общее периферическое
сопротивление



- Предсердная тахикардия. Пароксизмальная предсердная тахикардия может встречаться у молодых лиц и даже детей без какого-либо сердечнососудистого заболевания, в то же время у людей пожилых наиболее частой причиной этого нарушения ритма сердца является ИБС. Точный диагноз ставят с помощью регистрации ЭКГ — выявляется правильный ритм сердца с частотой сокращений желудочков 150—250 в минуту, перед каждым из которых виден зубец Р.
- Если тахикардия развивается у молодых людей, то клинически она обычно проявляется ощущением сердцебиения, усталостью. У людей, страдающих ИБС, предсердная тахикардия может привести к развитию приступа стенокардии, сердечной недостаточности, артериальной гипотензии или даже шоку. В таких ситуациях необходимо неотложное вмешательство для восстановления синусового ритма.
- При купировании пароксизма предсердной тахикардии вначале пытаются повысить тонус блуждающего нерва, с тем, чтобы замедлить проведение импульсов через атриовентрикулярный узел. Для этого надавливают на каротидный синус в течение 5—10 секунд, желательно под контролем ЭКГ. Сначала надавливают на правый, затем — на левый каротидный синус. Следует помнить, что нельзя одновременно сдавливать оба каротидных синуса.
- Для купирования пароксизма предсердной тахикардии используют также пробу Вальсальвы. Больного просят сделать глубокий вдох, а затем выдохнуть с закрытым надгортанником, т. е. натужиться в течение как минимум 10 секунд. Эта проба приводит к рефлекторной активации симпатической нервной системы и повышению АД, что вызывает через парасимпатическую стимуляцию рефлекторную брадикардию и восстановление синусового ритма.
- Еще один метод повышения парасимпатического тонуса — так называемый рефлекс ныряльщика — больной опускает лицо в холодную воду. Иногда оказывается эффективным надавливание на глазные яблоки, однако эта процедура небезопасна.
- Если названные выше механические приемы оказываются неэффективными, то прибегают к медикаментозному лечению.



Спасибо

за

Внимание

!