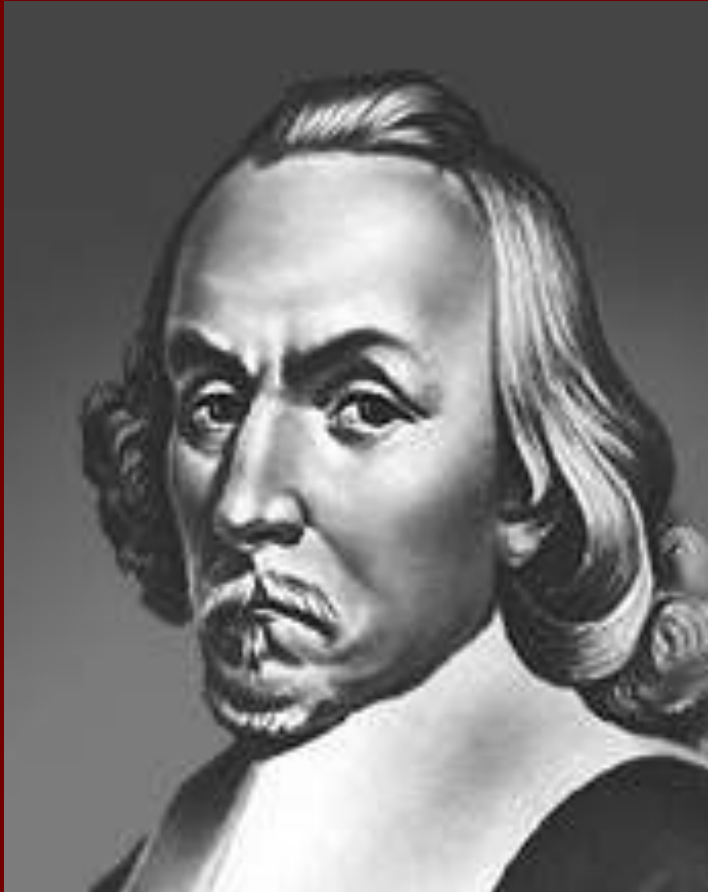


**Кровообращение как
функциональная система.
Анатомия сердца и сосудов.
Характерные черты строения и
функционирования сердечной
мышцы. Гемодинамика. Режимы
гемодинамики. Лимфообращение.**

МАРОЧКОВ А. В.

Кровообращение — непрерывное движение крови в организме.

Обеспечивается кровеносной системой.



***Уильям Гарвей
(1578–1657)***

**Английский врач.
Впервые дал правильное
представление о
кровеносной системе.**

Сердечно-сосудистая система

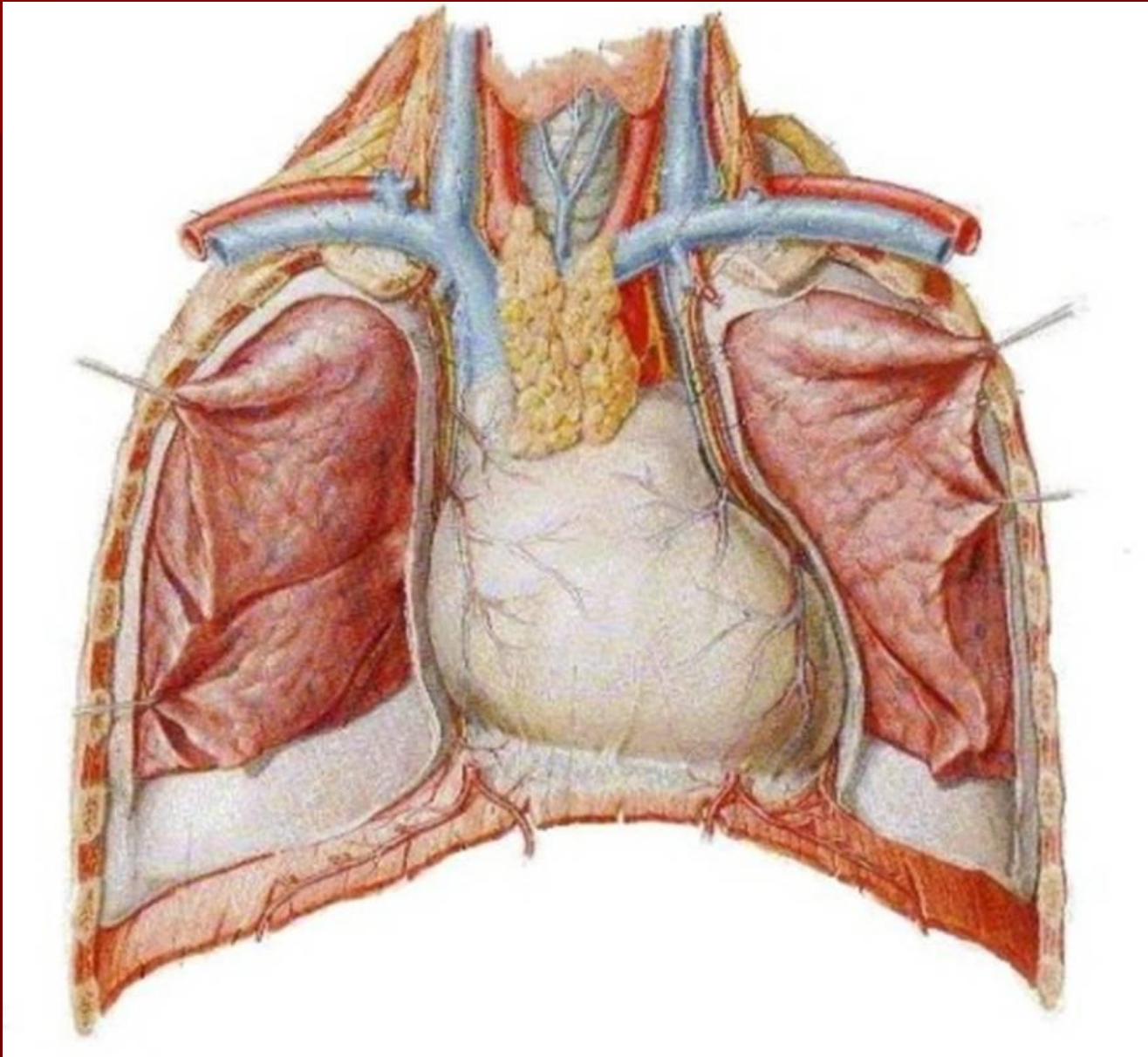


Сердце



**Кровеносные и
лимфатические
сосуды**

Топография сердца



Строение сердца

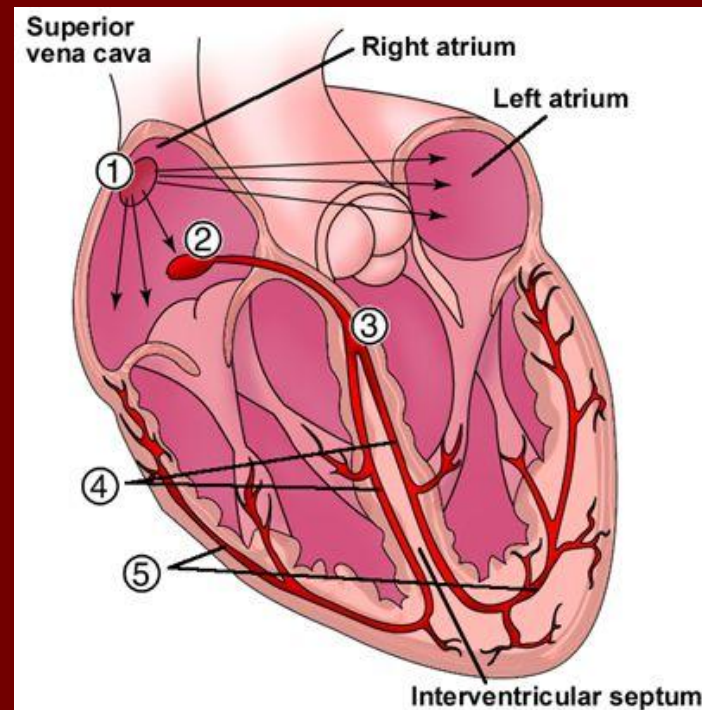
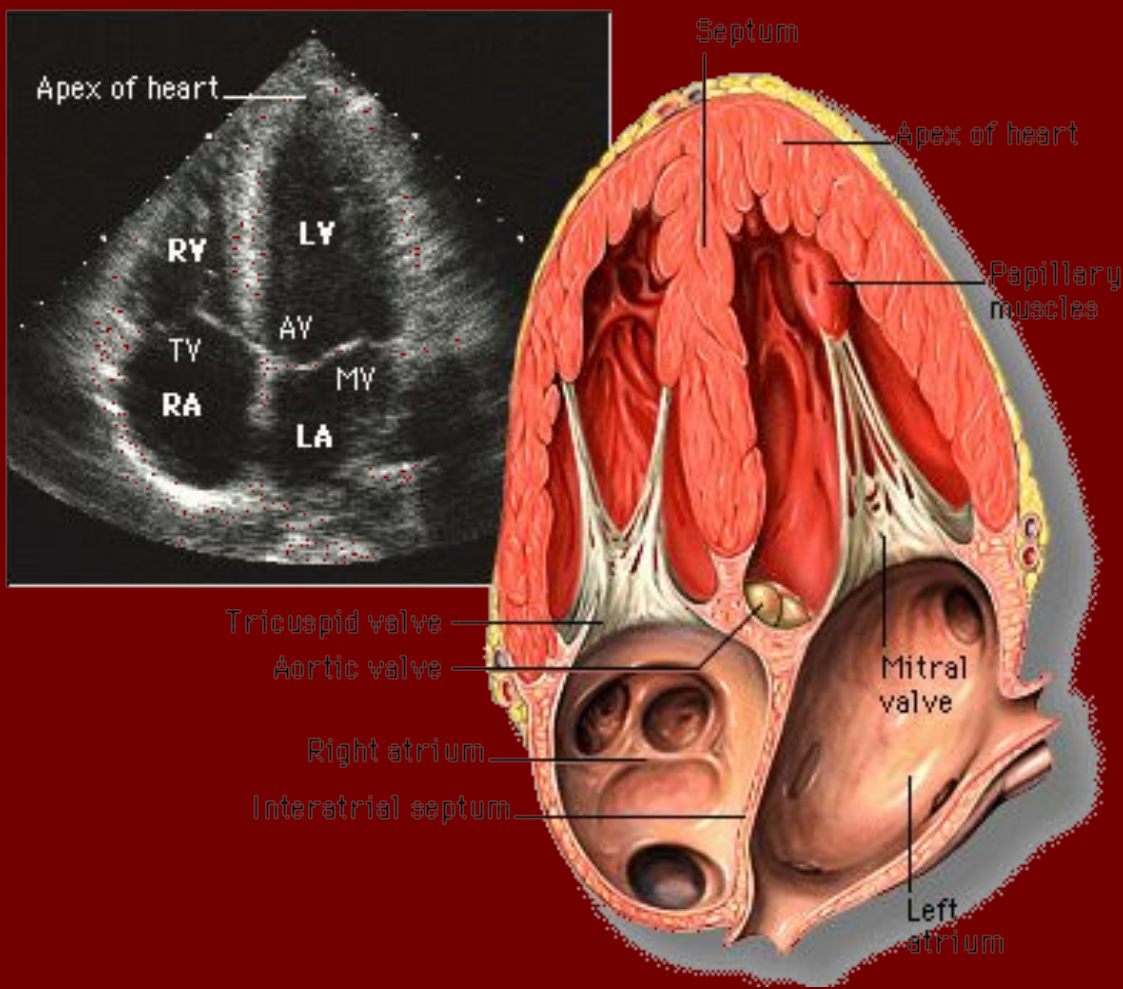
Автоматический
трехслойный полый мешок:

сверху – пленка (перикард)

-эпикард

-миокард

-эндокард 4 камеры по 135 мл



Пример изображения сердца
при ультразвуковой эхографии
(видны четыре камеры)

Движение крови в сердце

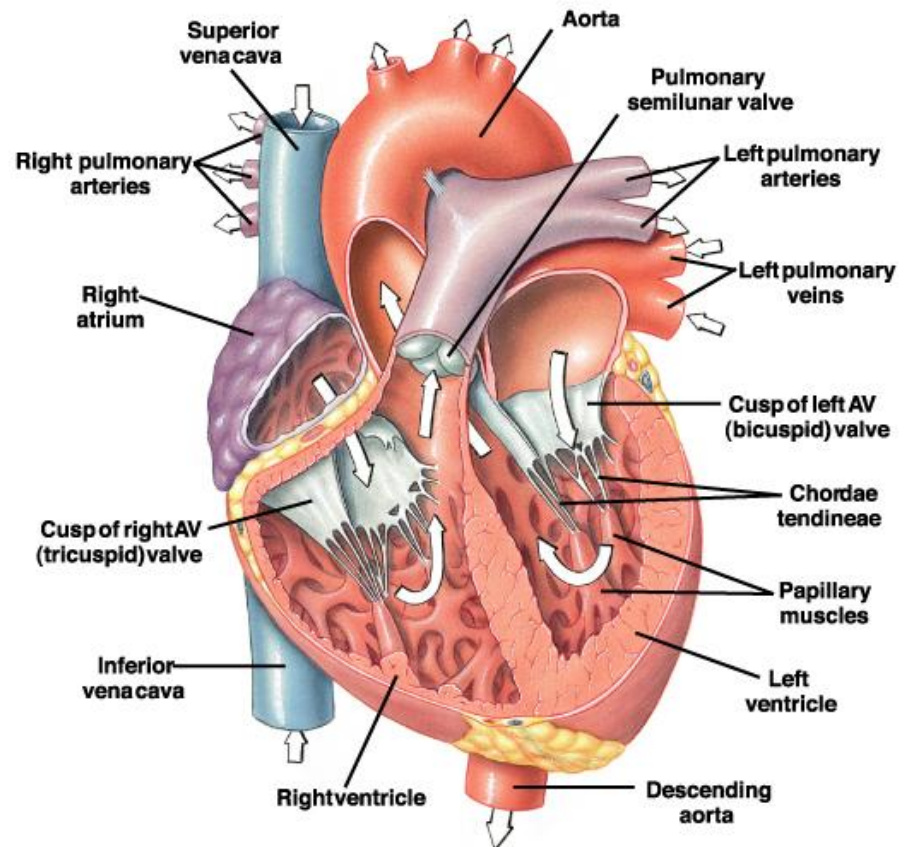
полые вены

↓
правое предсердие

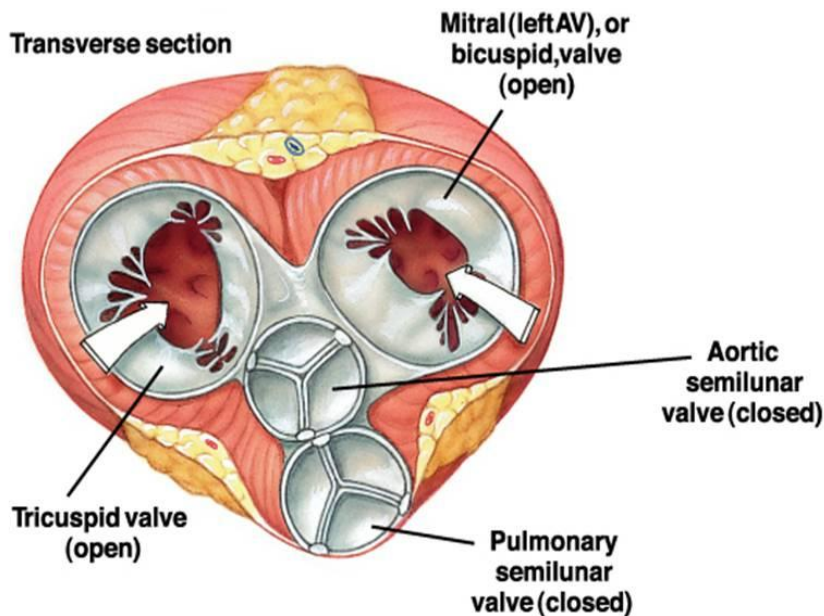
↓
правый желудочек

↓
легочная артерия

не закрываются- недостаточность
плохо открываются - стеноз



One-way flow through the heart is ensured by two sets of valves.



Клапаны:

на выходе из желудочков:

полулунные,

в перегородке:

левый —

двухстворчатый

легочные вены

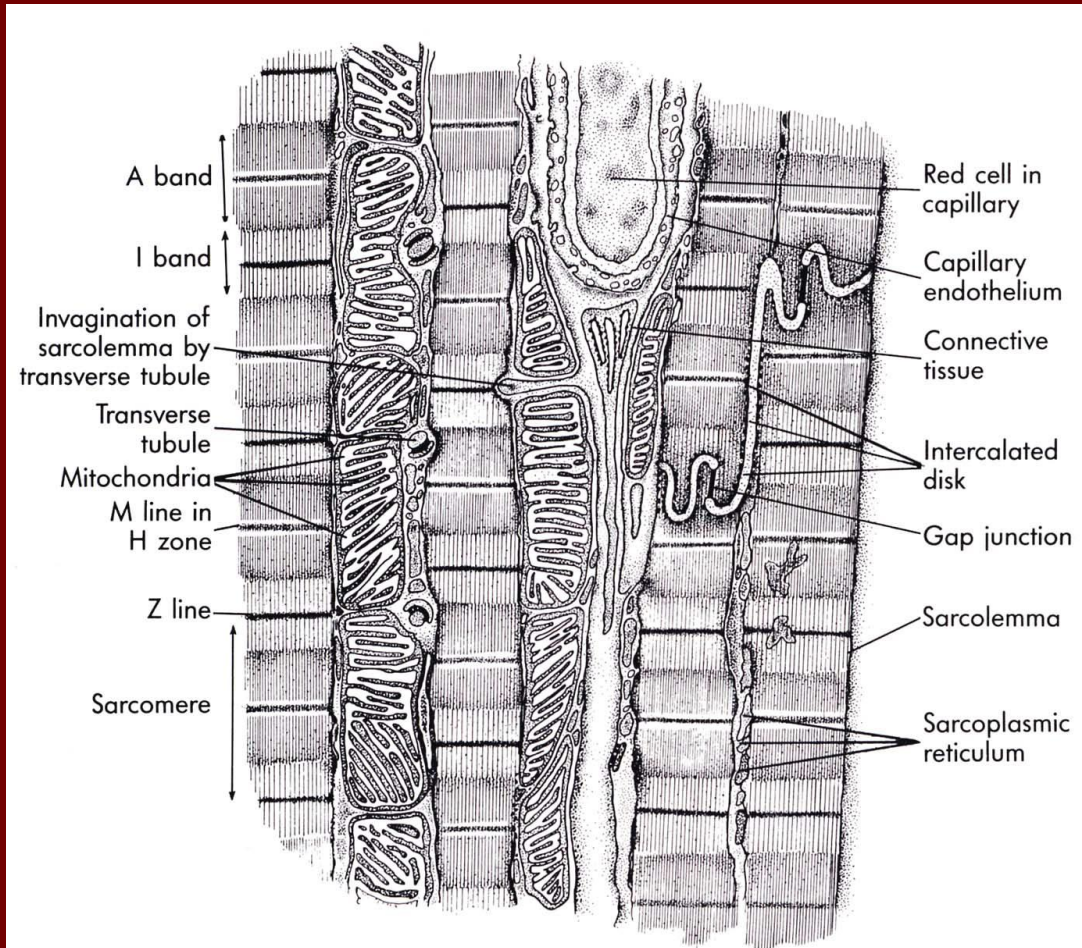
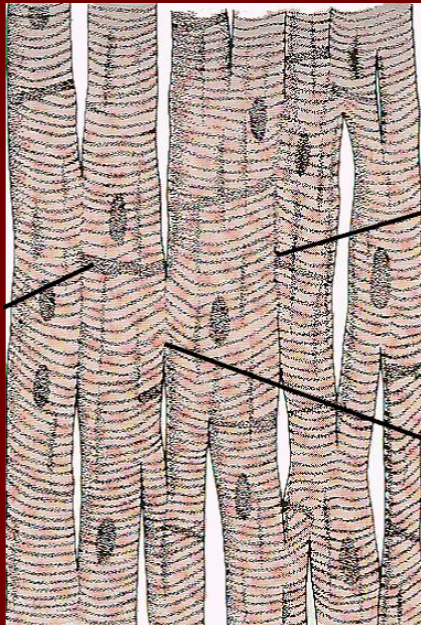
↓
левое предсердие

↓
левый желудочек

↓
аорта

Особенности строения сердечной мышцы

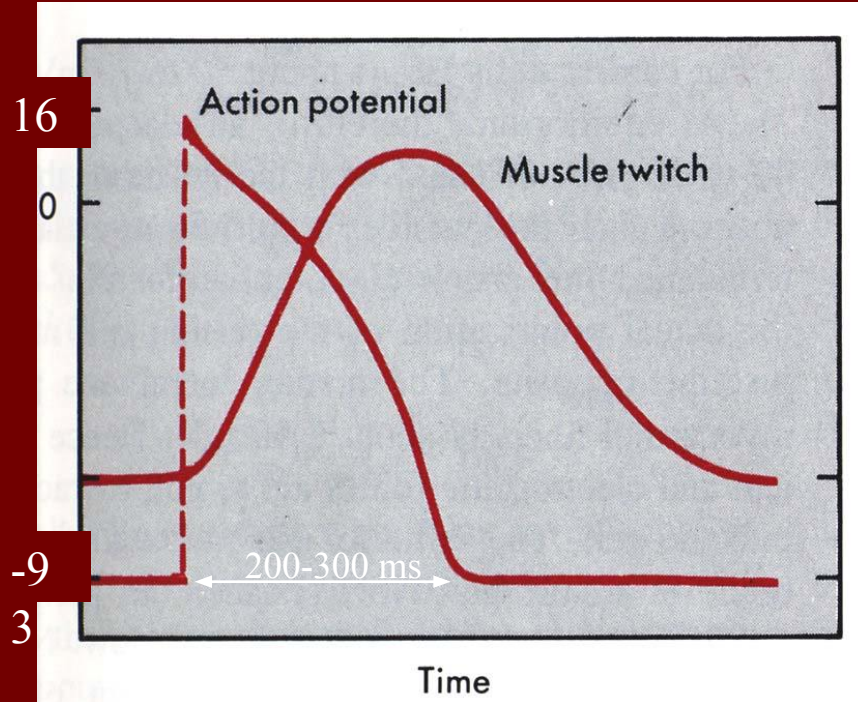
- миофиламенты аналогичны соматическим мышечным клеткам
- Т-система развита в 100 раз сильнее (около 30 % от объема цитоплазмы)
- между клетками - **вставочные диски**, состоящие из щелевых контактов (gap junction; вдоль продольной оси клетки)
- в кардиомиоцитах предсердий – секреторные гранулы (Na-уретический пептид)



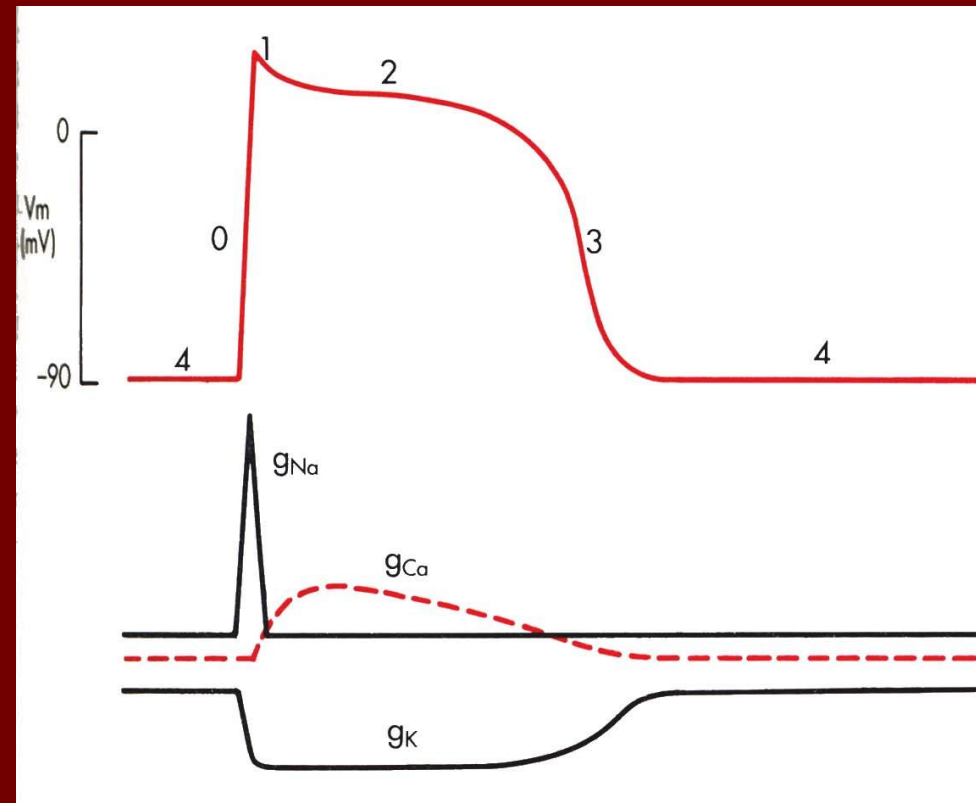
ПД кардиомиоцита

- 0 – деполяризация
- 1 – быстрая реполяризация
- 2 – плато
- 3 – окончательная реполяризация
- 4 – восстановление ионных концентраций

mV



Временные взаимоотношения между изменениями трансмембранного потенциала (ПД) полоски миокарда и развиваемой ею силой



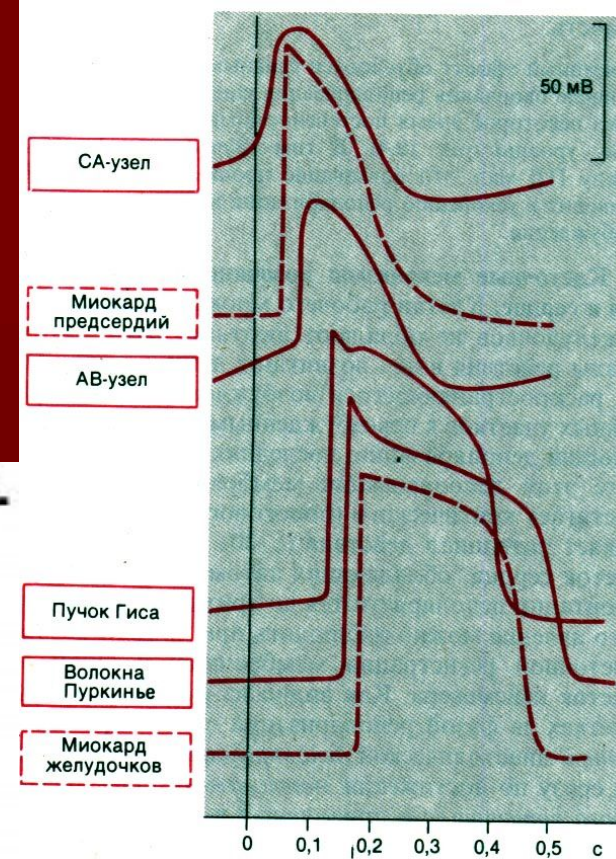
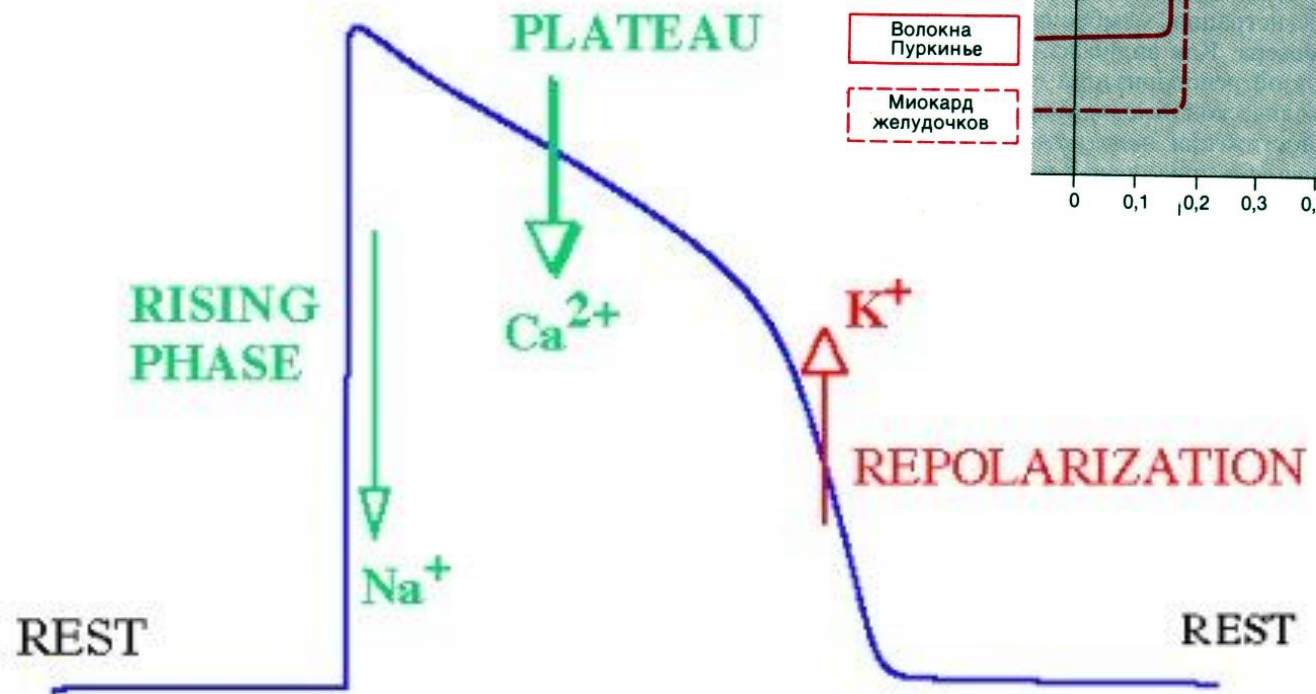
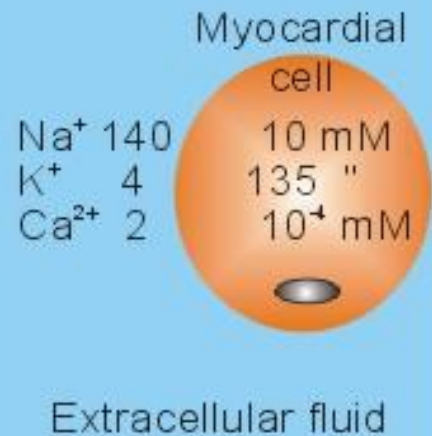
Ионные токи миоцитов

пороги активации:

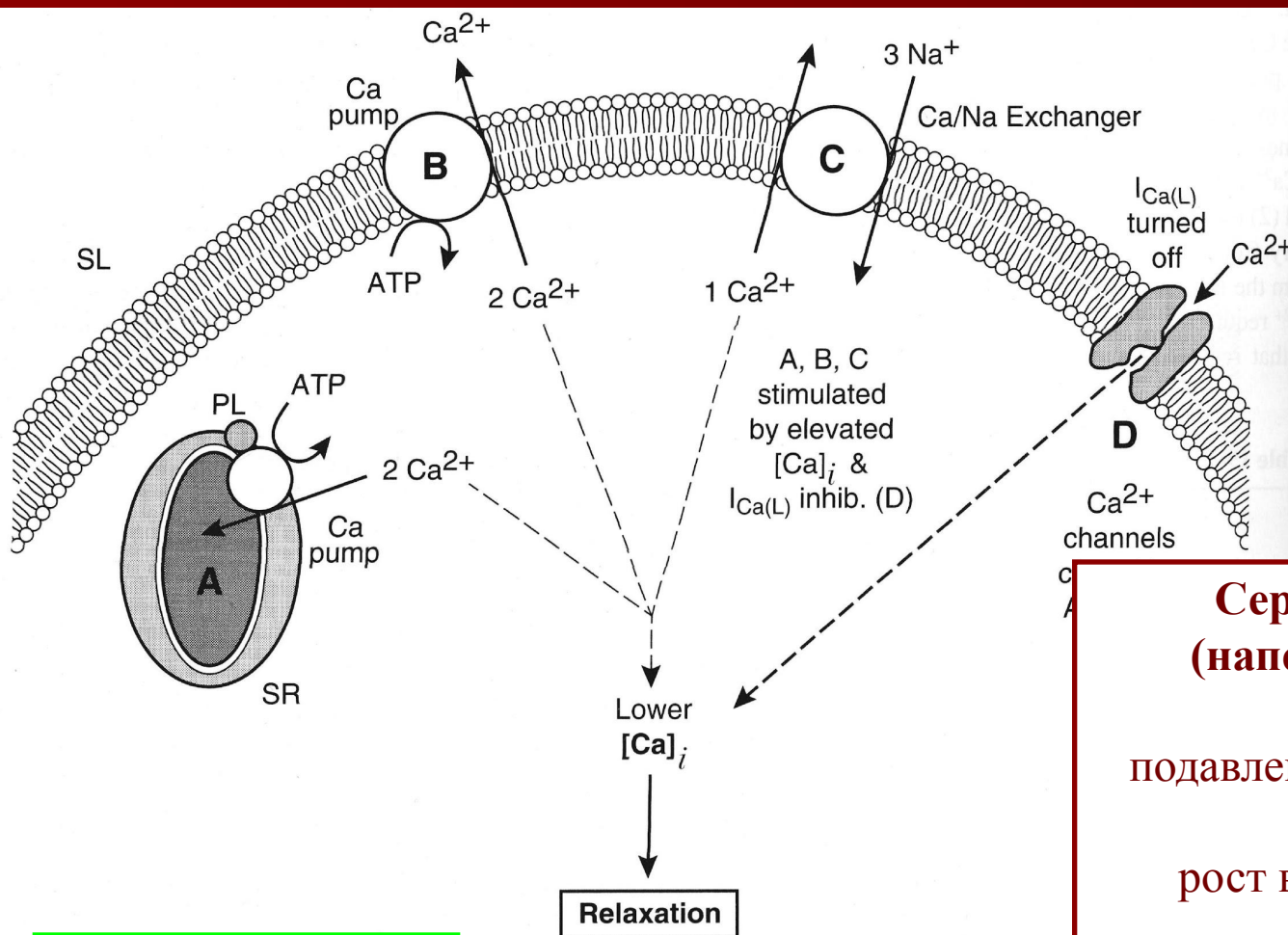
Na^+ -каналов - около -65 мВ

Ca^{2+} -каналов (L-тип) - около -30 мВ

CARDIAC ACTION POTENTIAL



Регуляция Ca^{++} тока сердечными гликозидами



Сердечные гликозиды (наперстянка, строфант)

подавление работы Na-K-насоса



рост внутриклеточного Na^{+}



подавление работы Na-Ca-насоса



накопление внутриклеточного Ca^{2+} и усиление сокращений

ДИГОКСИН



положительное
инотропное
действие (применение при

В среде с пониженным содержанием Ca^{2+}

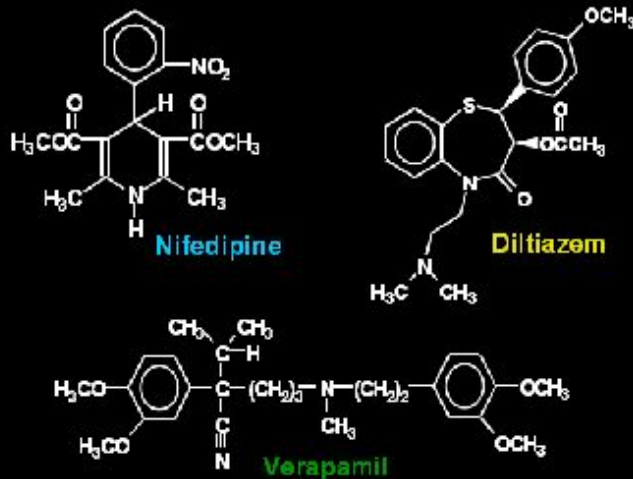
сила сокращений снижается,

а при удалении Ca^{2+} из внешней среды сокращения прекращаются

При этом длительность ПД практически не падает, поскольку:

- * *Ca-канал начинает пропускать заметные количества Na^+ (удлинение деполяризации)*
- * *Значительная доля K^+ -каналов является Ca-зависимой ; при падении входа Ca^{2+} в клетку K^+ -ток частично инактивируется (ослабление реполяризации)*

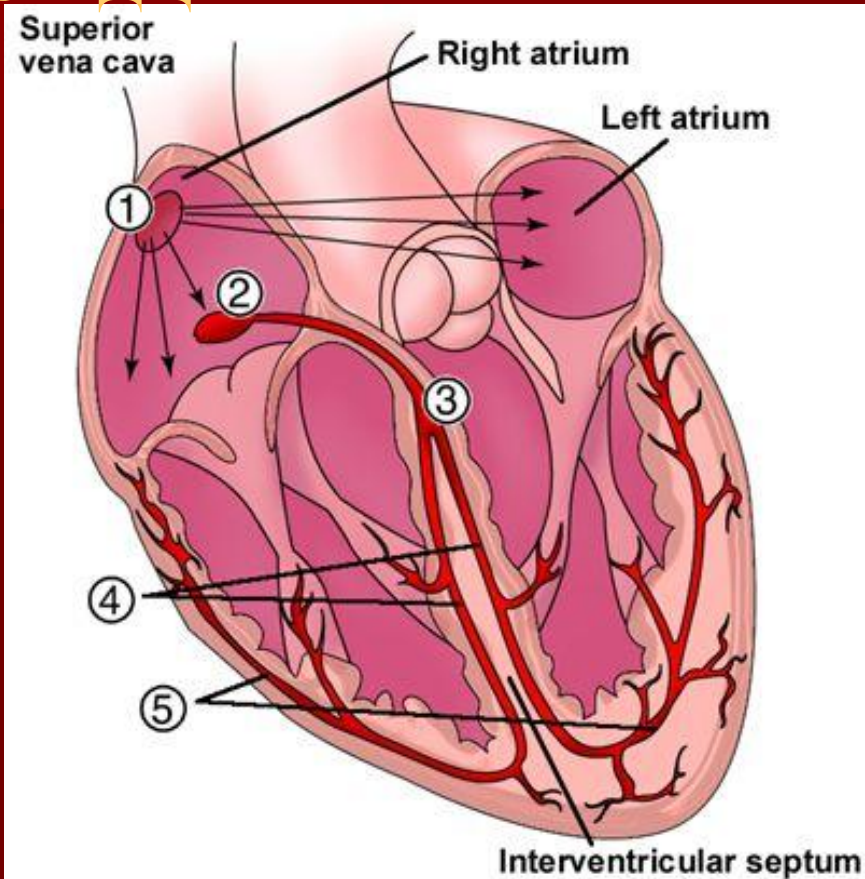
Voltage-Gated L-Type Calcium Channel Blockers



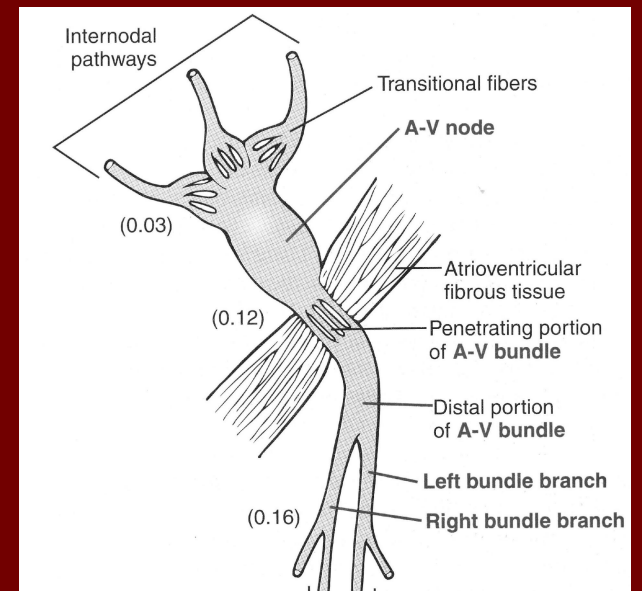
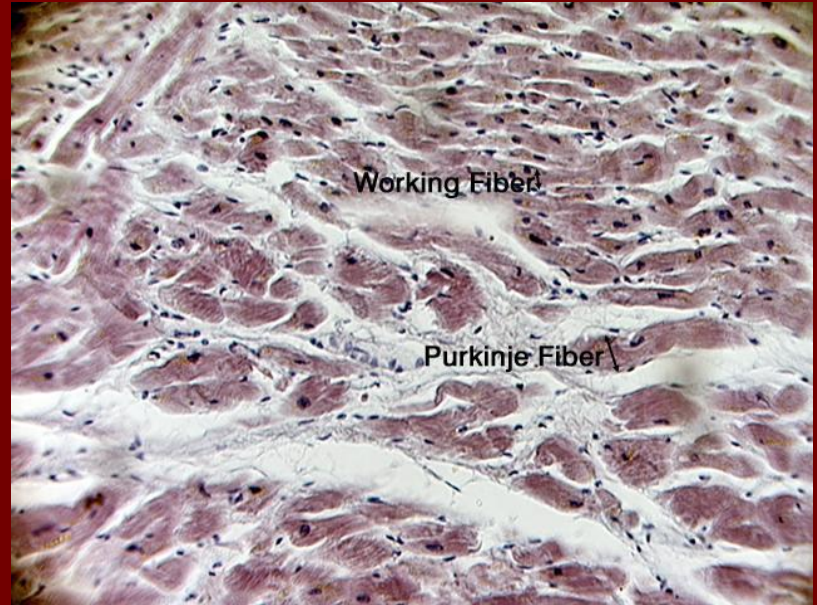
Отрицательное инотропное действие оказывают также антагонисты Ca^{2+} -каналов L-типа:

- Верапамил
- Дилтиазем
- Нифедипин

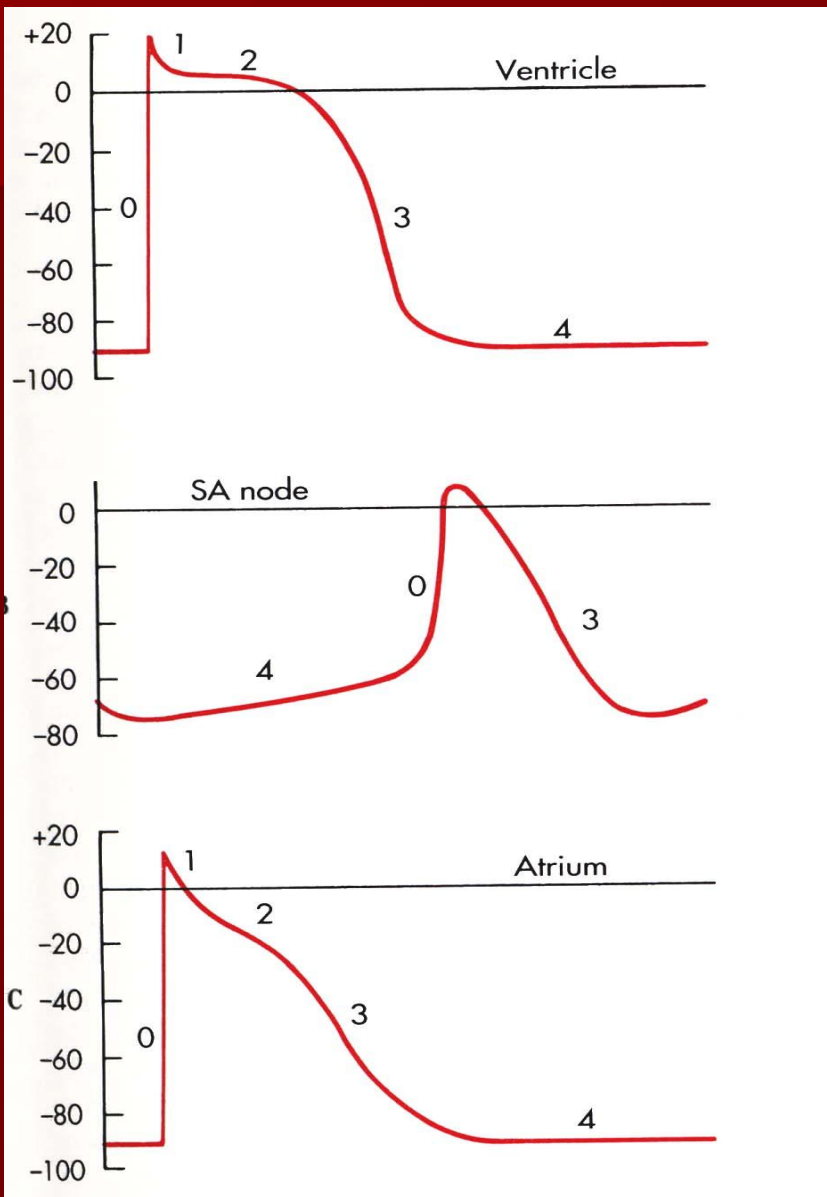
ПРОВОДЯЩАЯ СИСТЕМА СЕРДЦА



- 1 – синоатриальный узел
- 2 – атриовентрикулярный узел
- 3 – пучок Гиса
- 4 – правая и левая ветви пучка
- 5 – волокна Пуркинье



ПД синоатриального узла (SA)



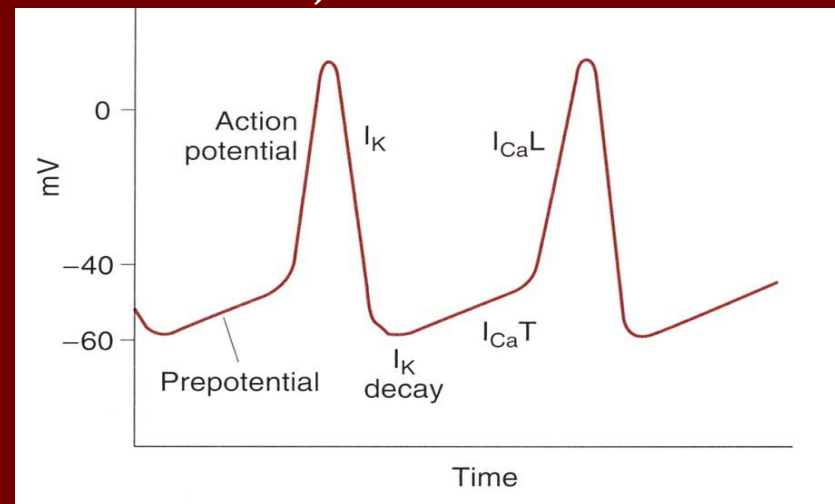
* меньший уровень поляризации
(максимальный диастолич. потенциал)

• наличие на стадии 4
медленной диастолической деполяризации (МДД),
приводящей к запуску ПД

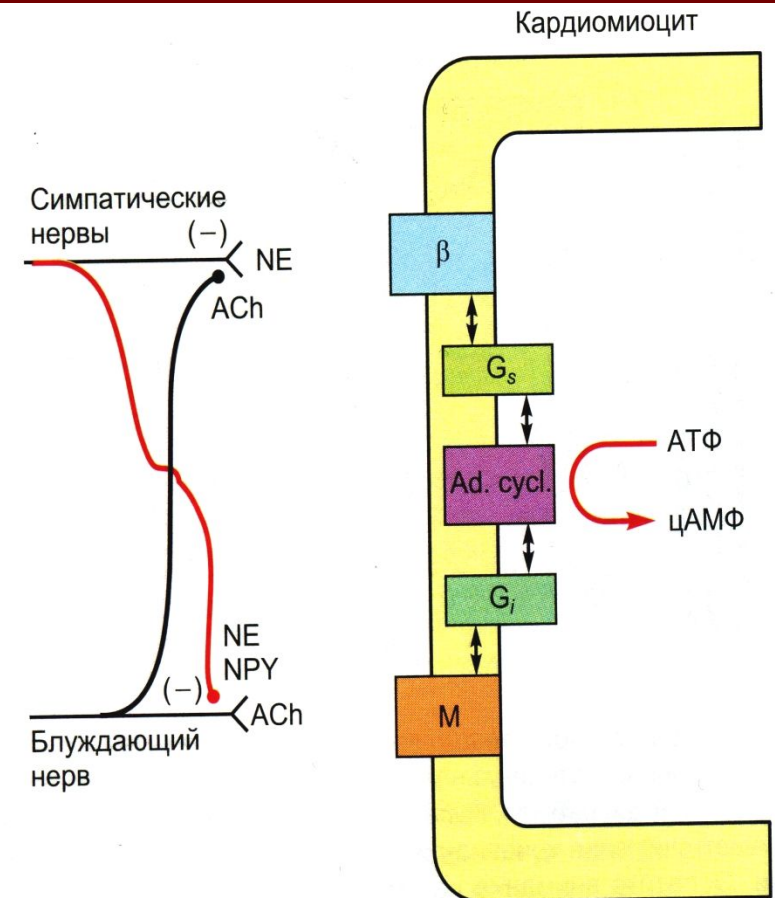
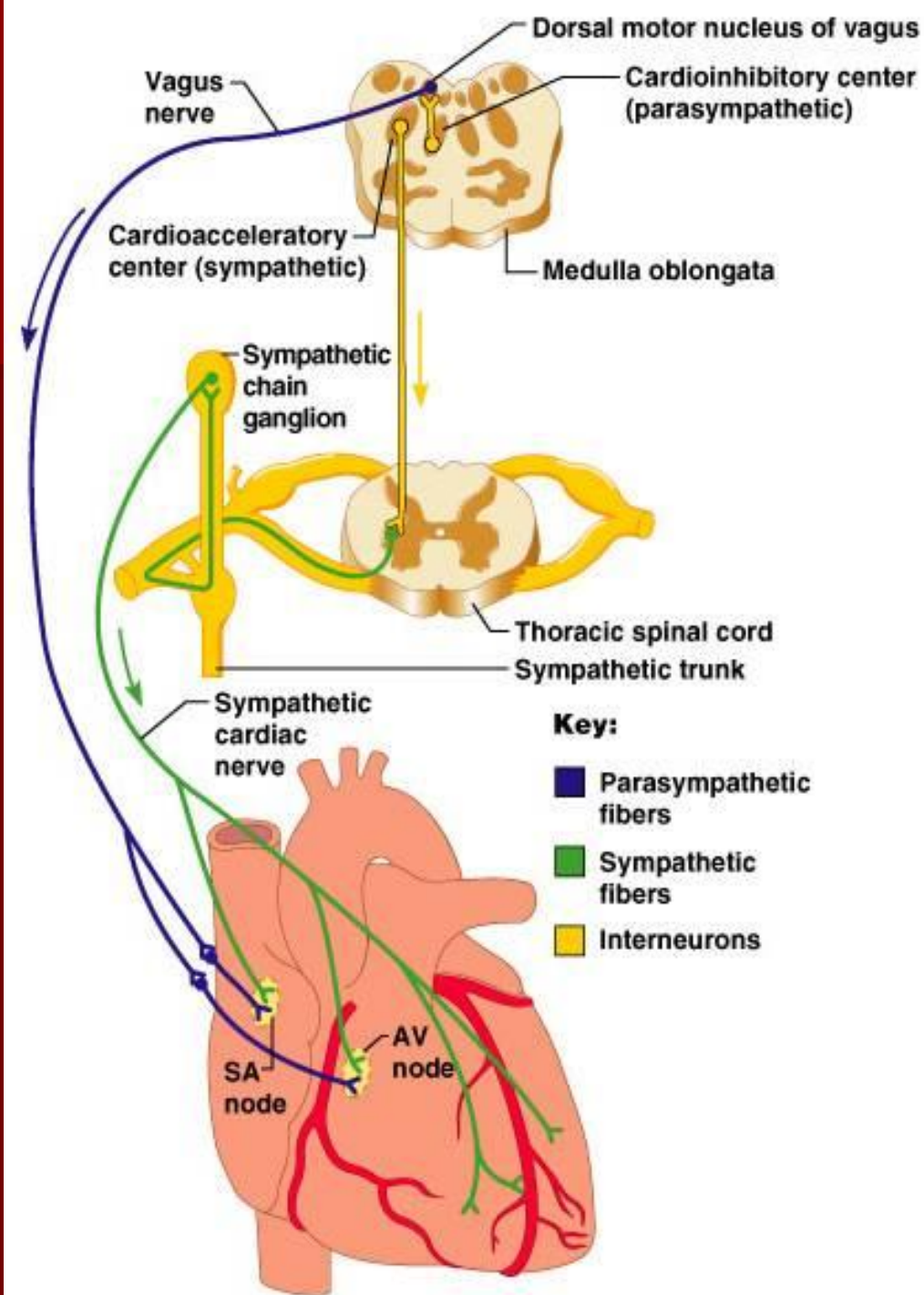
Причины МДД

– снижение K^+ -проницаемости
– фоновый Na^+ -ток.

Они запускают **Ca^{2+} -каналы Т-типа**
(порог около -50 мВ; низкая проводимость;
состояние не регулируется cAMP, в отличие от
каналов L-типа).



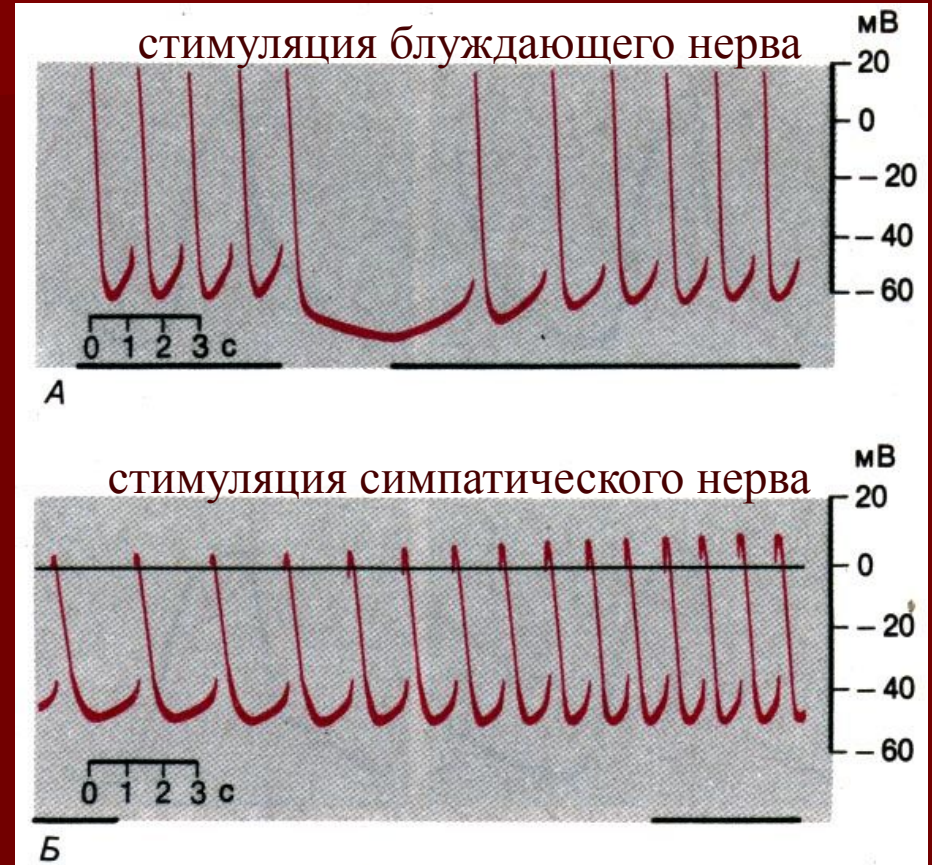
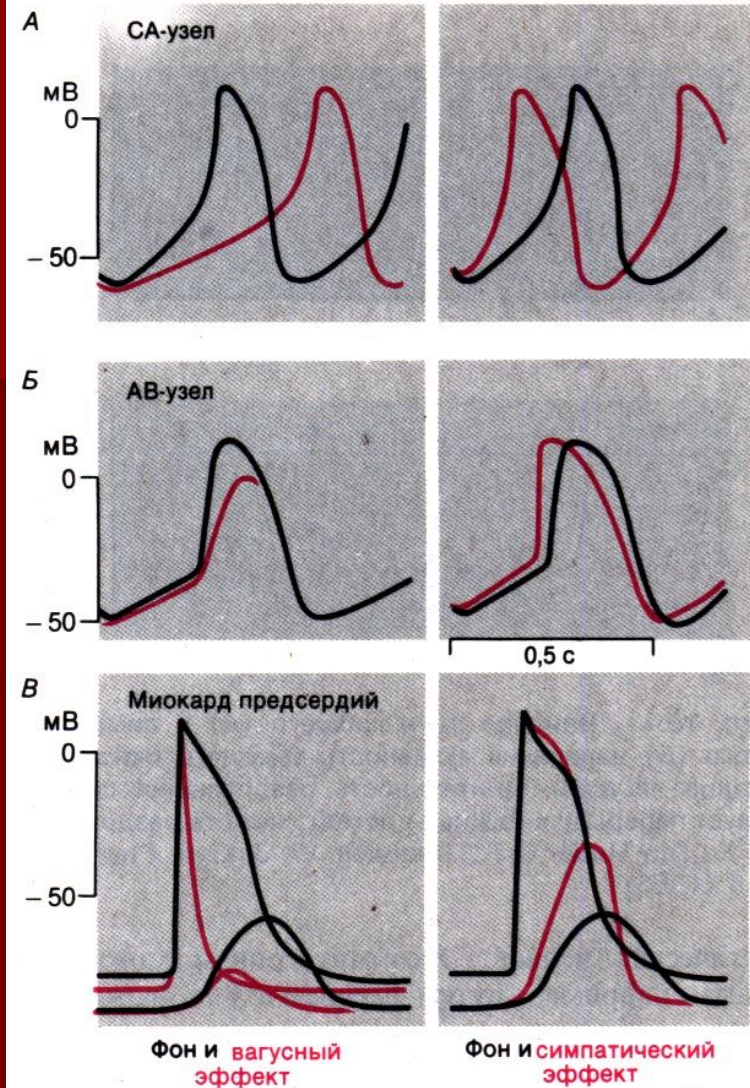
Вегетативная регуляция работы сердца



Действие ВНС на ПД сердца

SA

AV



AV лягушки

Симпатические эффекты – через повышение фонового Na^+ -тока, снижения K^+ - проводимости и влияния на Ca^{2+} -каналы

Парасимпатические эффекты (в фоне преобладают) – через повышение K^+ - проводимости и пресинаптическое торможение симпатических терминалей

Особенности влияния ПсНС на водитель ритма

Уменьшение
частоты разрядов
возможно за счет:

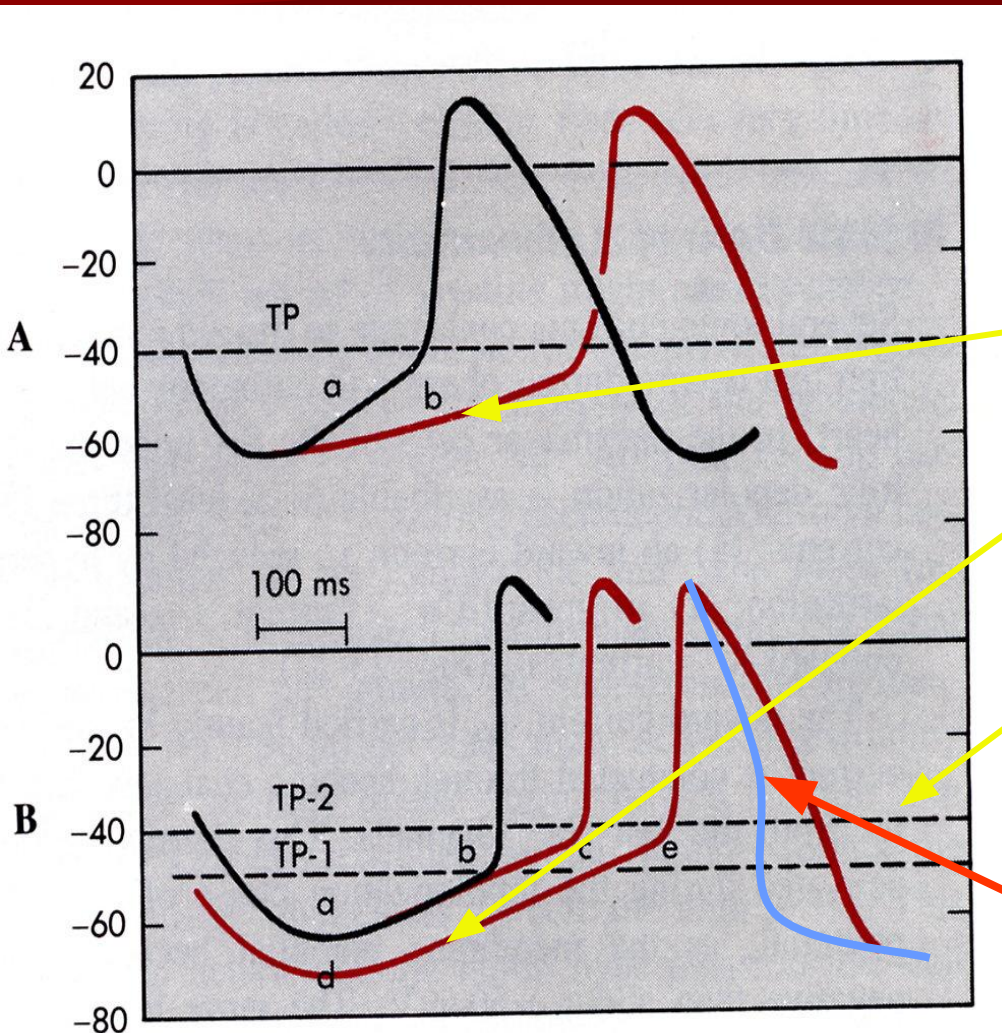
*замедления скорости медленной
деполяризации*

*понижения максимального
диастолич. потенциала*

повышения порога запуска ПД

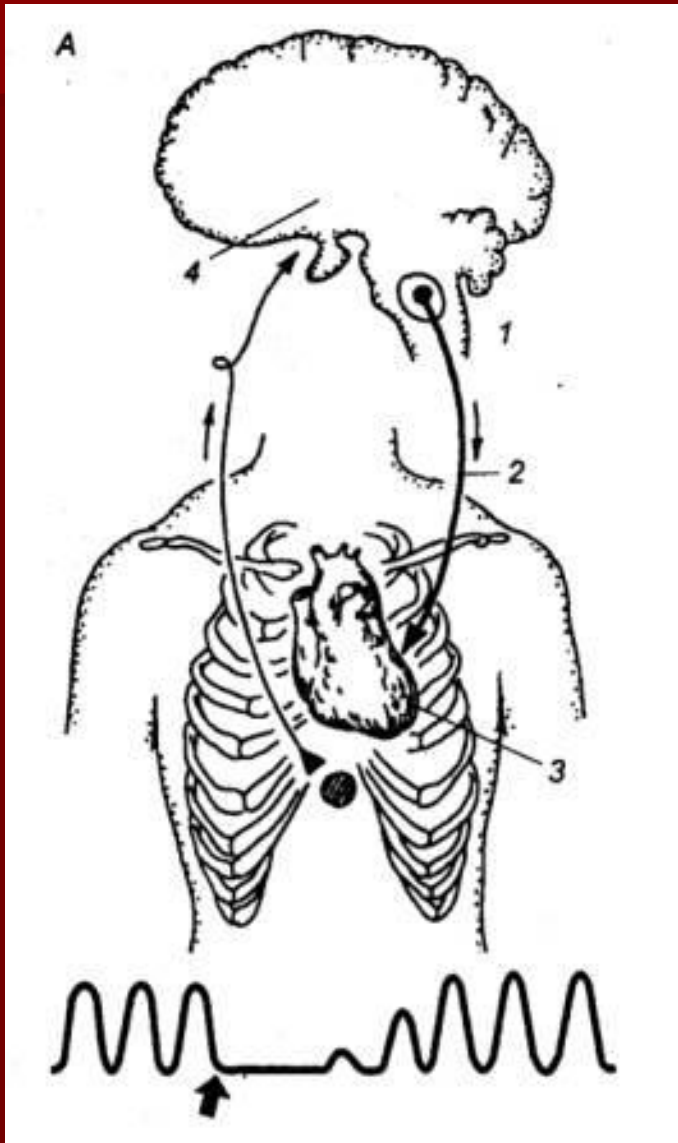
НО: бывает и увеличение!

Его можно наблюдать при ускорении
фронта реполяризации



Рефлекторная регуляция работы сердца

Рефлекс Гольтца



Рефлекс Даньини- Ашнера



Барорецепторные рефлекссы

Каротидный синус и рецепторы дуги аорты

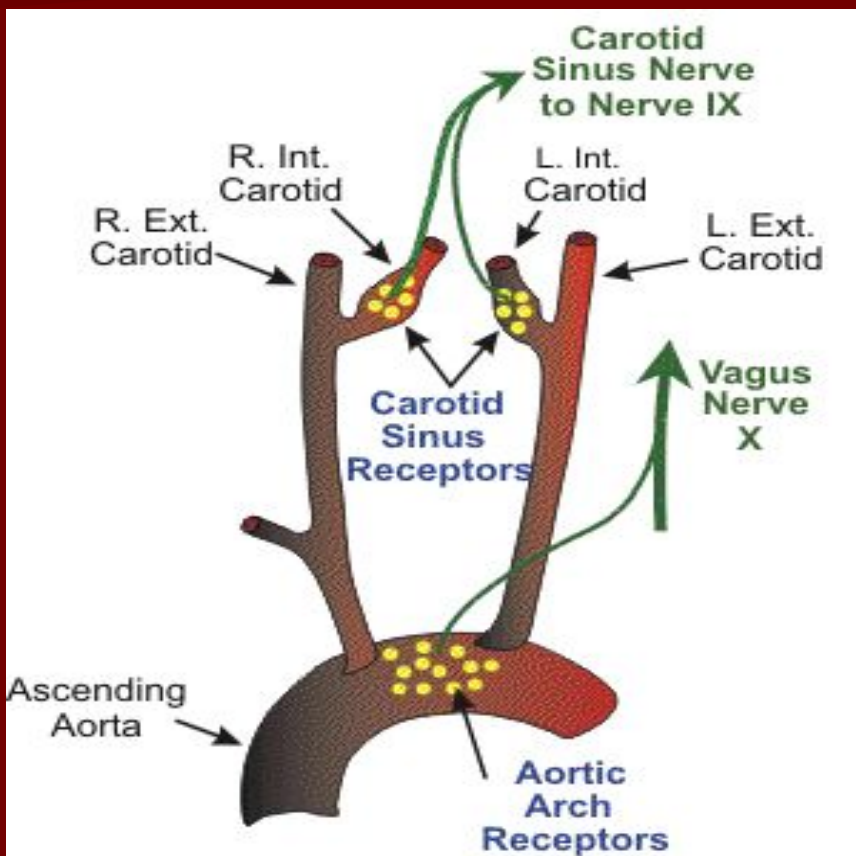
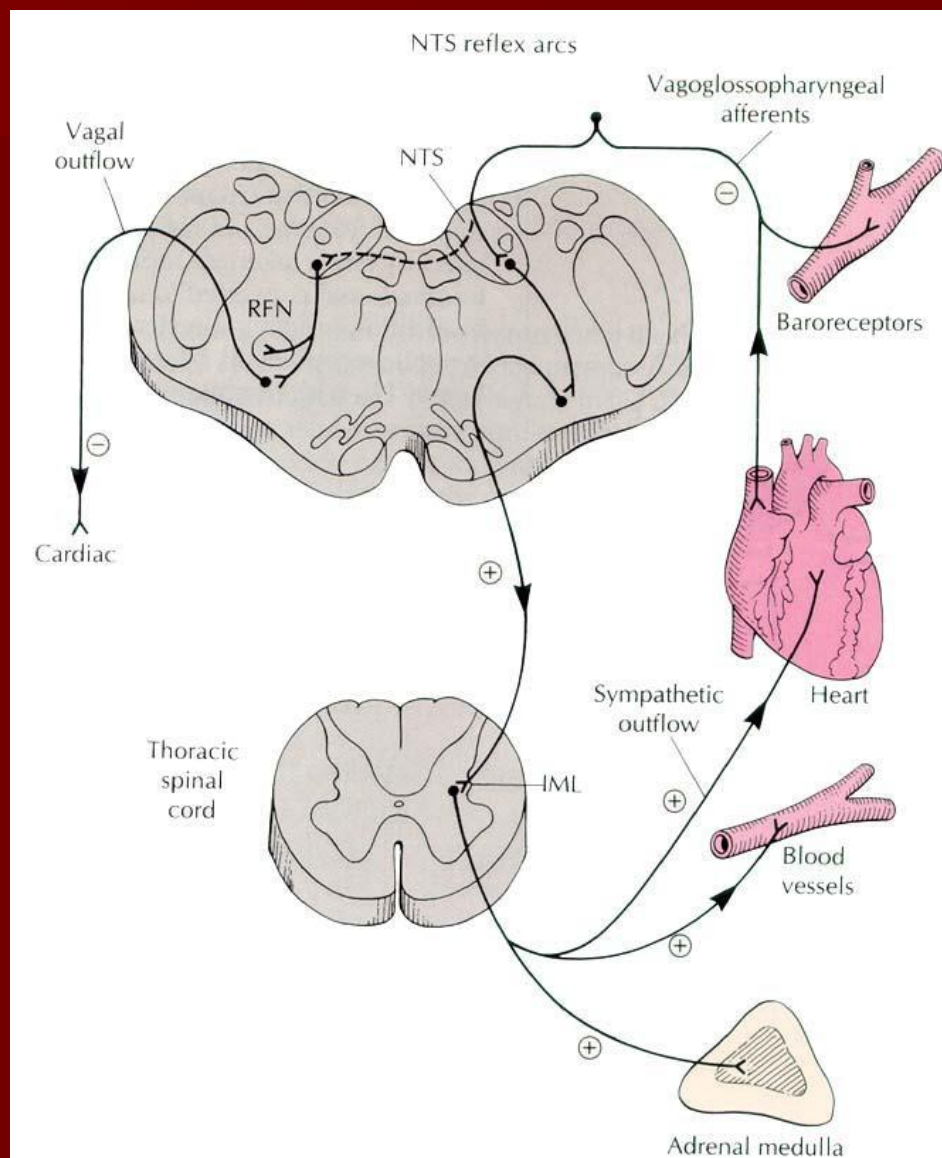


Figure 1. Location and innervation of arterial baroreceptors.



Сбой барорефлекса: проба Вальсальвы



Натуживание:

- рост давления воздуха в грудной клетке
- рост артериального давления (выдавливание крови из сердца)
- падение венозного возврата (сдавливание вен)
- резкое падение артериального давления
- **рефлекторный**: рост ЧСС и сужение периферических сосудов
- резкий подъем давления
- переполнение вен (красное лицо, шум в ушах)

Выдох:

- уменьшение давления воздуха в грудной клетке
- некоторое падение давления (на 2-3 сокращения)
- резкий скачок кровотока за счет венозного притока
- резкий скачок системного давления

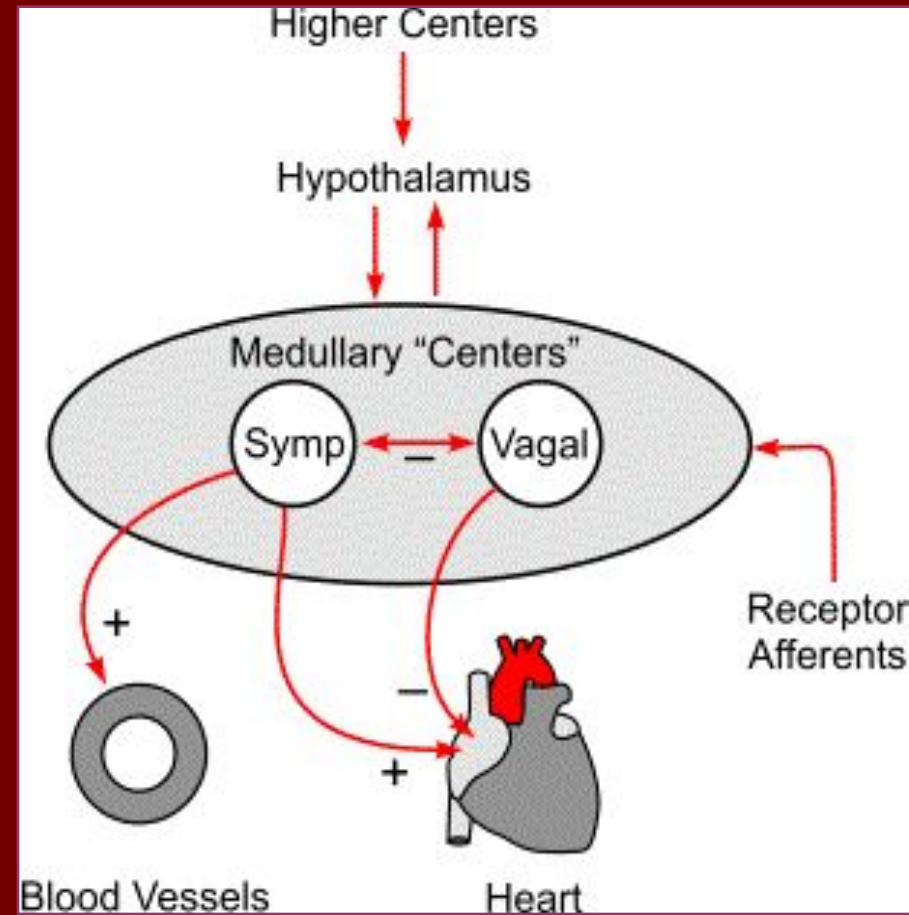
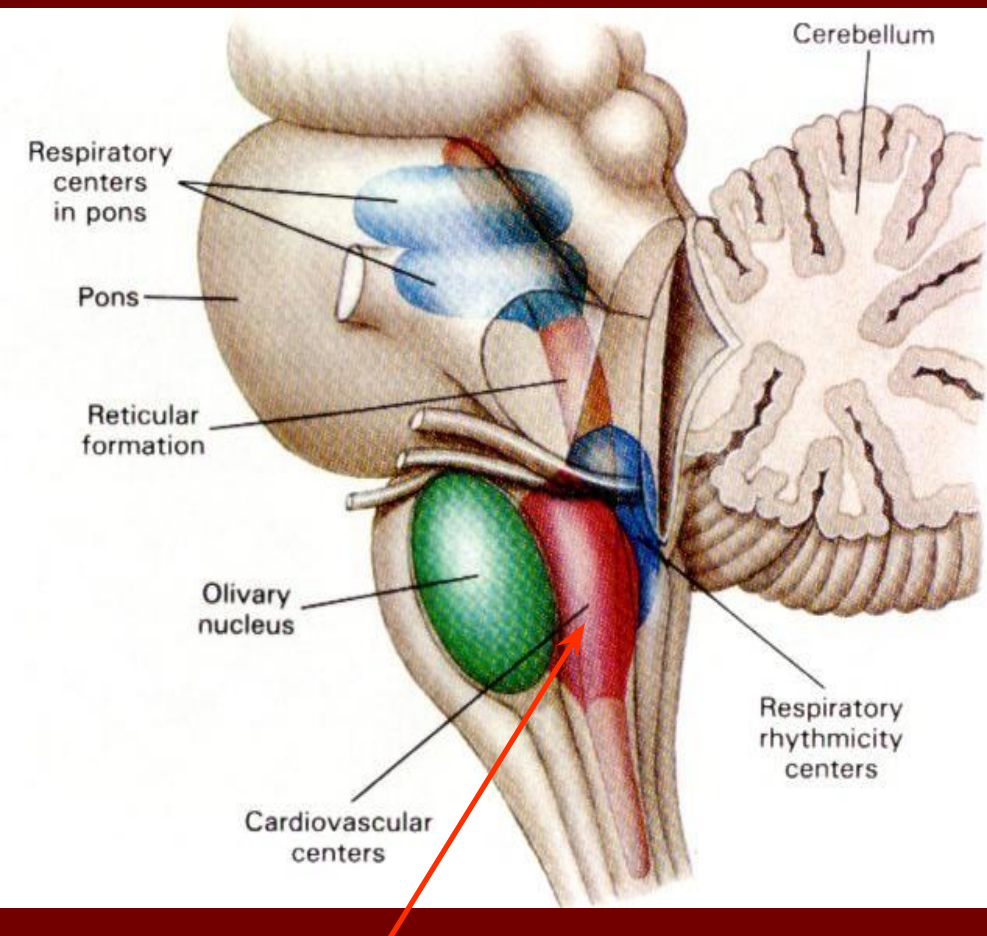
Т.О.: избыток крови в спазмированных артериальных сосудах

опасность разрыва сосудов

(тренировка – йога)

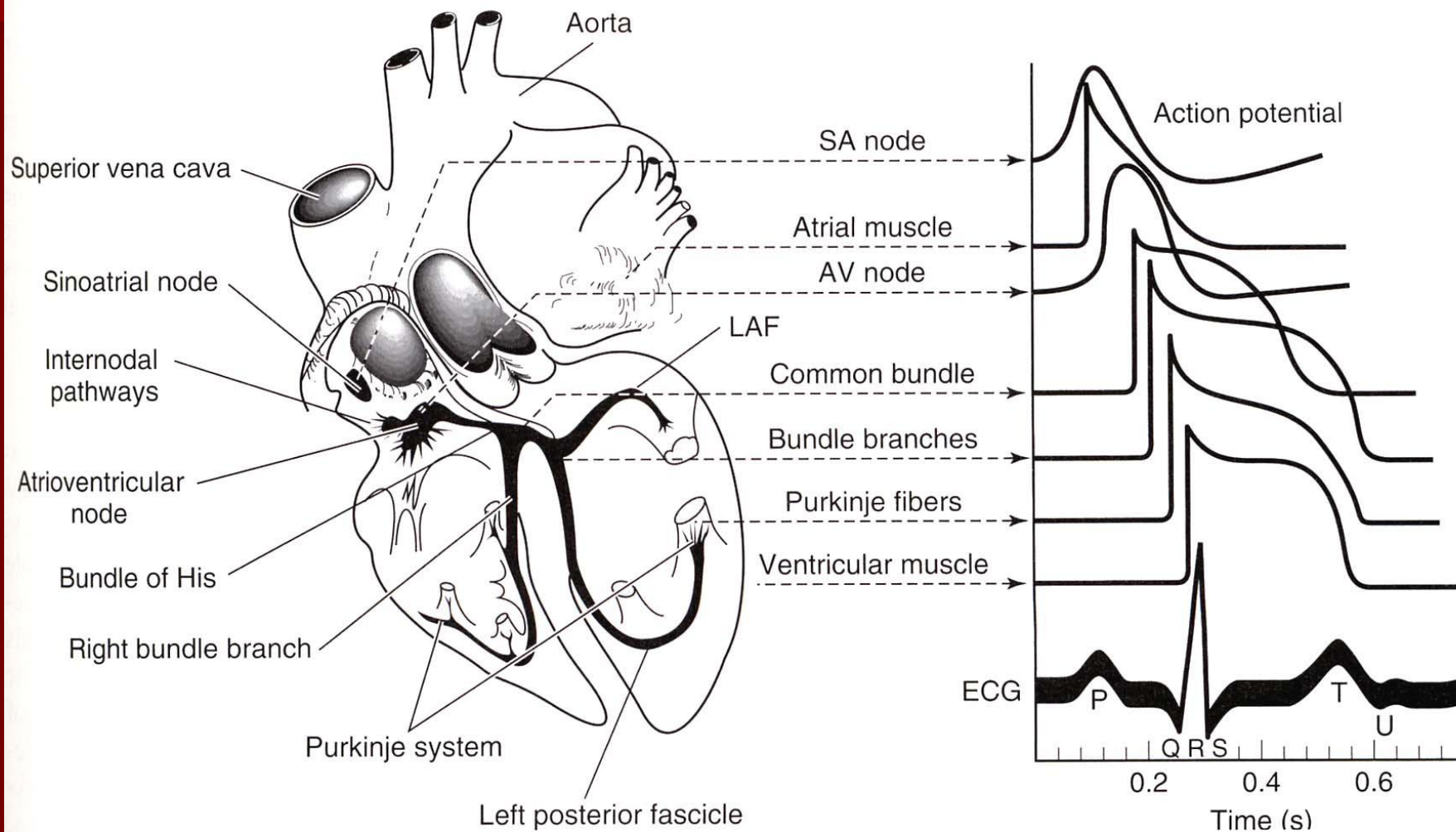


Стволовые центры регуляции кровообращения



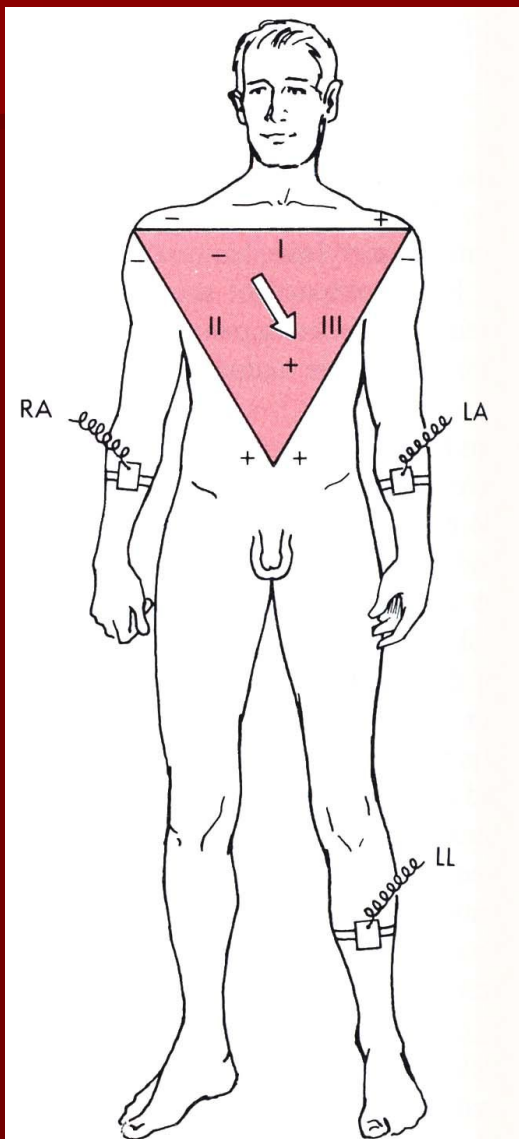
Вазомоторный центр продолговатого мозга

Электрокардиограмма



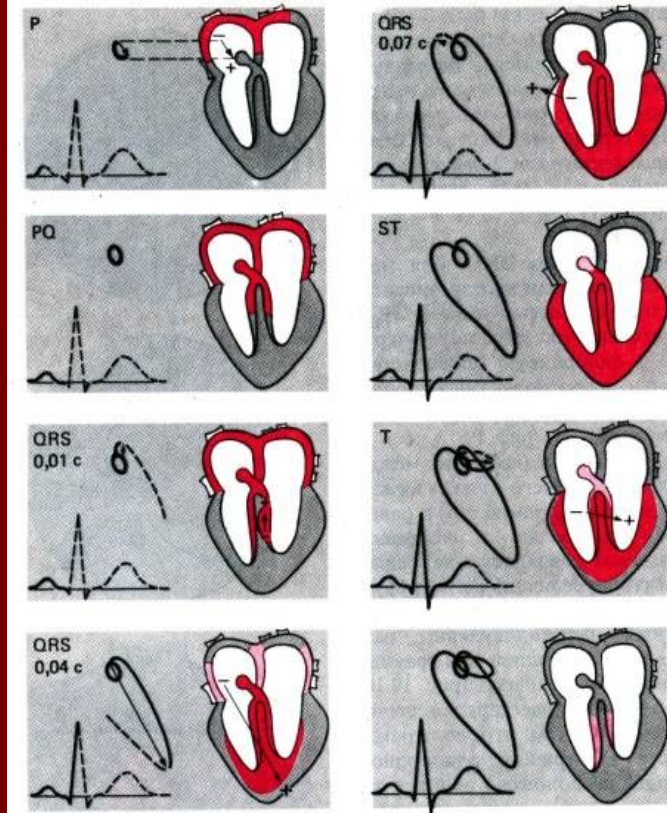
Регистрация ЭКГ

(по Эйнтховену, 1902)

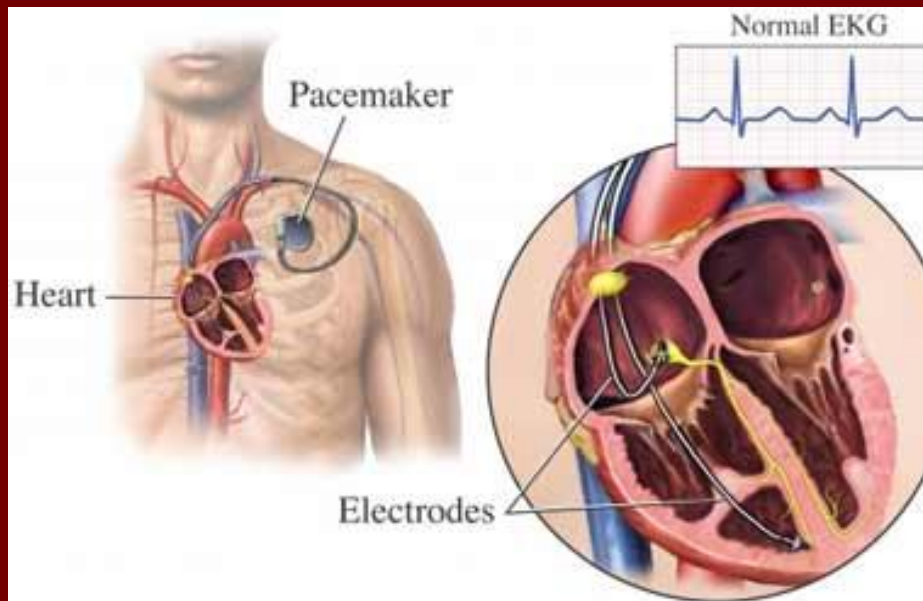


ЭКГ и вектор-кардиограмма

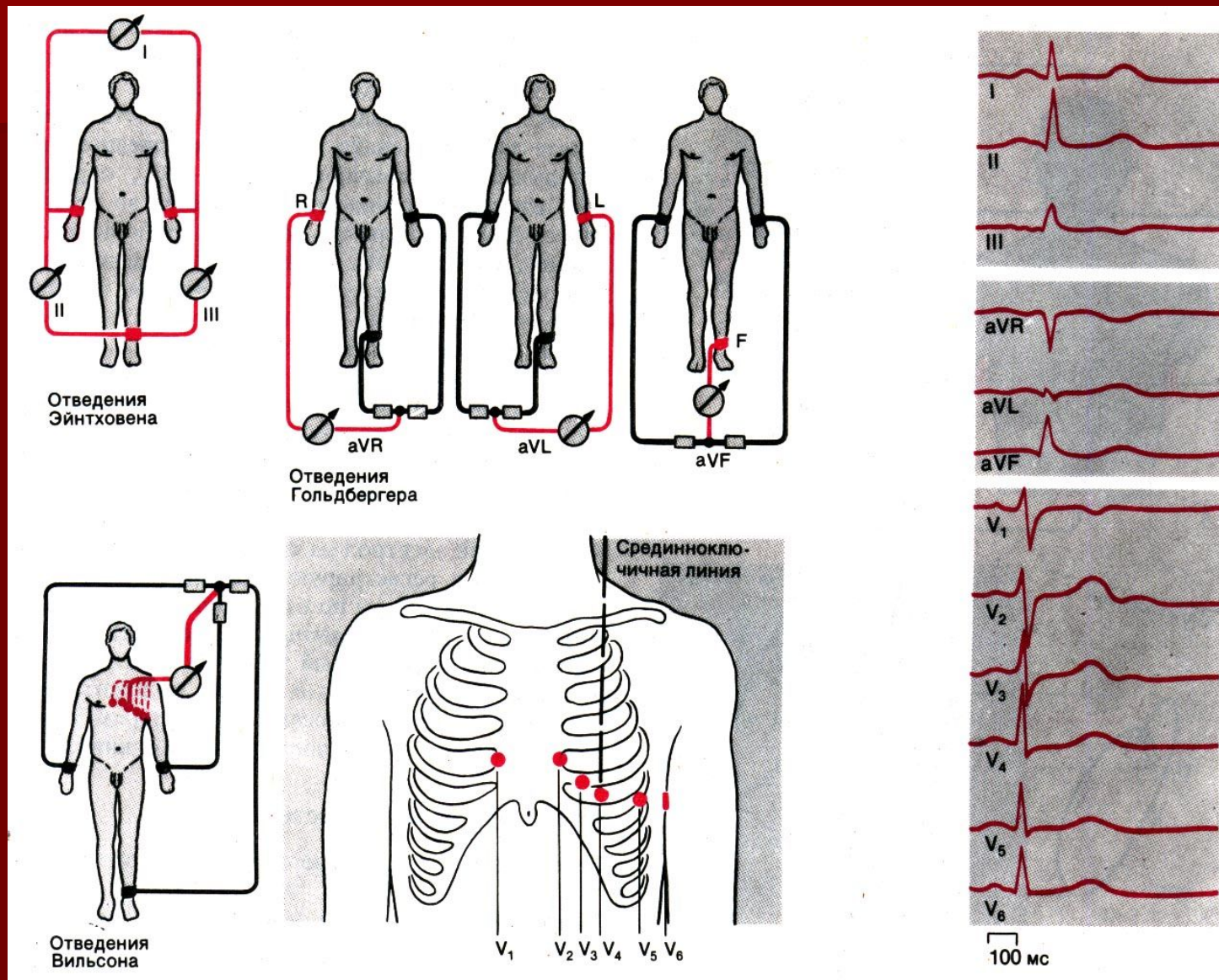
3 отведения:
биполярно (проекция
на три оси)



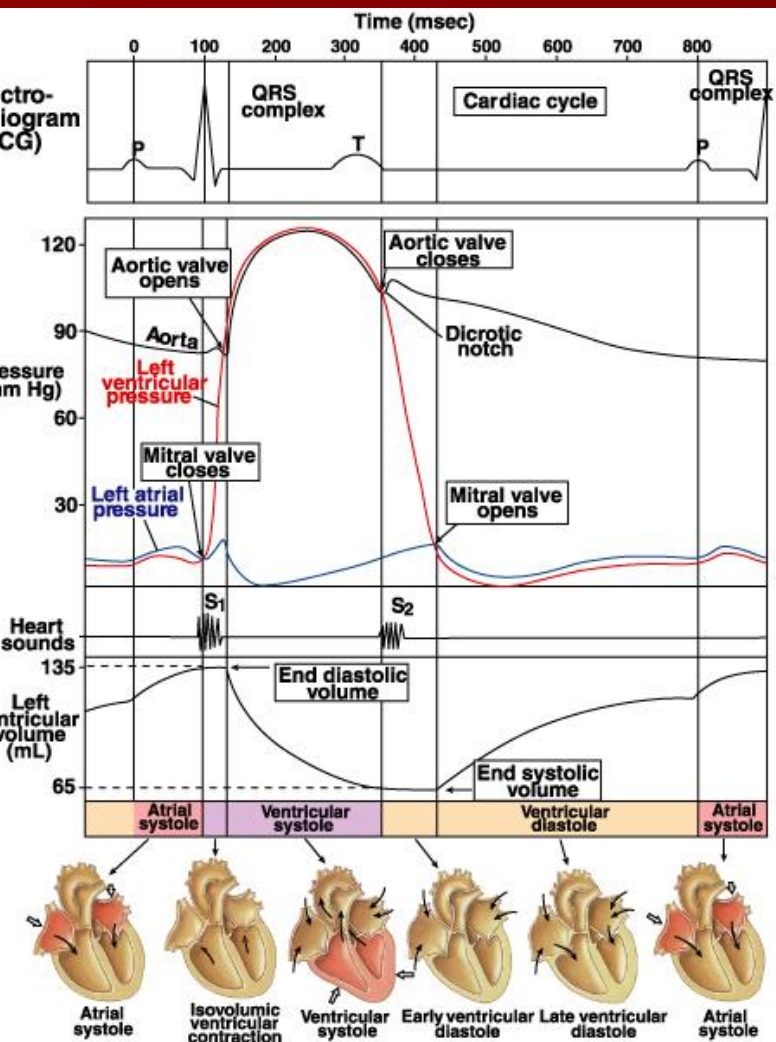
Вживленный в
САУ стимулятор



По Вильсону: униполярно (референтный электрод – объединенный от трех конечностей)



Механическая работа сердца



Ударный объем – около 70 мл.

КПД – около 15%

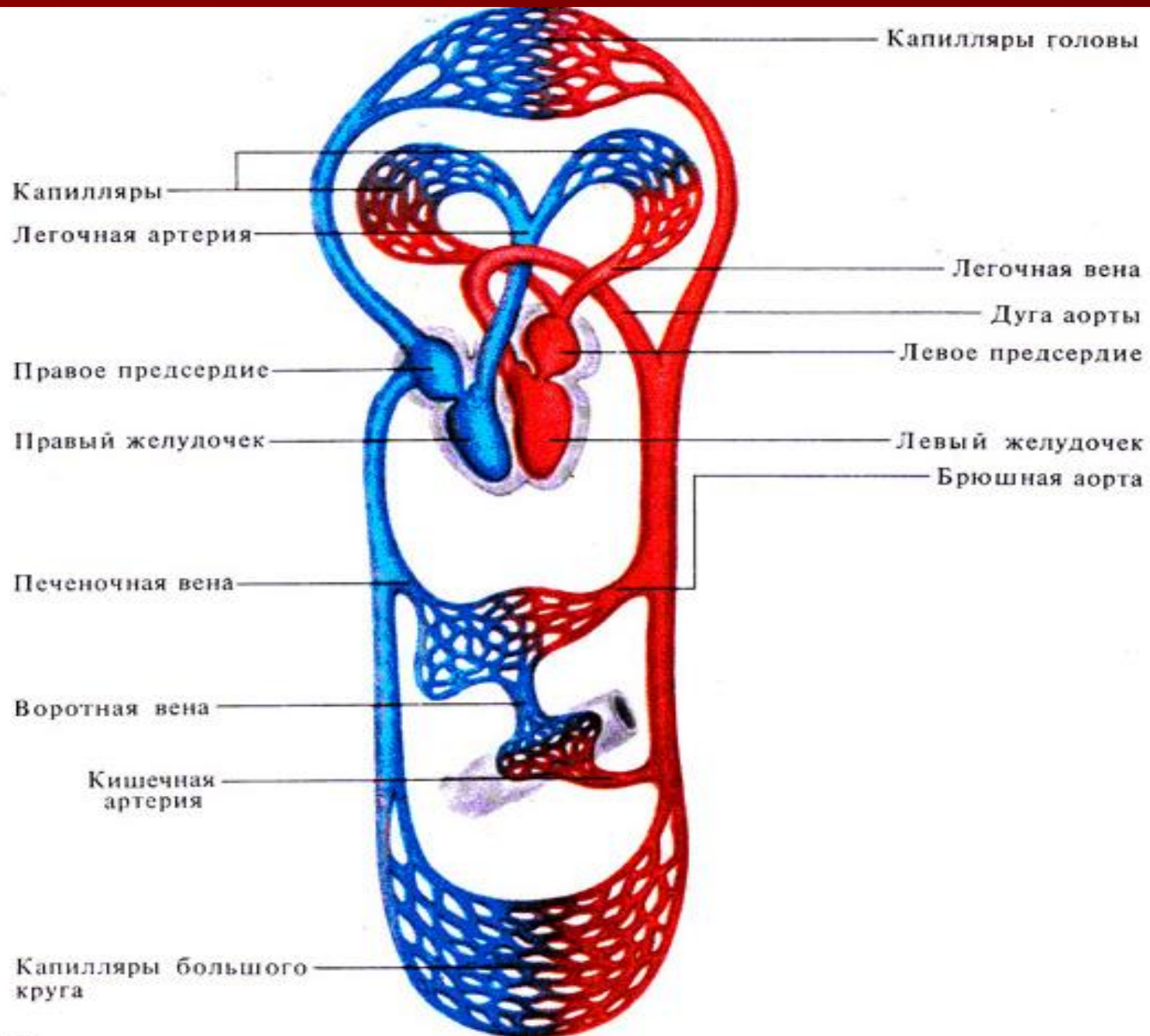
Механизм Франка-Старлинга:

изолированное сердце при постоянной частоте сокращений может самостоятельно приспособливаться к возрастающей нагрузке объемом, отвечая на растяжение увеличением силы сокращения.

Возможные причины:

- изменение взаимного расположения нитей миозина и актина (прежде всего, в H-зоне)
- механоэлектрическое сопряжение (механочувствит. каналы, Na^+ токи и рост Ca^{2+}_{in})
- внутрисердечные рефлексорные дуги

- Движение крови по сосудам, обеспечивающий ее кругооборот, называется системной, общей гемодинамикой., а кровообращение в органах – регионарной гемодинамикой. Обычно больше внимание уделяется системной общей гемодинамике.



- Морфологические особенности сосудов, определяя их функцию (резистивные, объемные).

Физиологические типы сосудов:

- Амортизирующие (эластические)
- Резистивные (мышечные)
- Крановые, сфинктеры (прекапилляры)
- Обменные (капилляры)
- Объемные (вены)
- Шунтирующие (анастомозы)

Показатели гемодинамики в различных отделах сосудистого русла



- Гемодинамика основывается на законах гидродинамики, согласно которому

- $$Q = P^1 - P^2 / R$$

- Объем жидкости прямо пропорционально разности давления и обратно пропорционально сопротивлению. В организме это уравнение будет $V = Q/S$.

- $Q = P/R$ отсюда вытекает $P = Q \times R$

- Сопротивление каждого сосуда по формуле Пуазейля

- $$R = 8L\eta / \pi r^4$$

- В сосудистой системе ток крови обеспечивается разностью давления, в начале и конце сосуда. Генератором движения крови и АД является сердце и сопротивление сосудов (артерии, артериолы). Ток крови и АД зависит от работы сердца, диаметра сосудов (сопротивления), объема и вязкости крови.

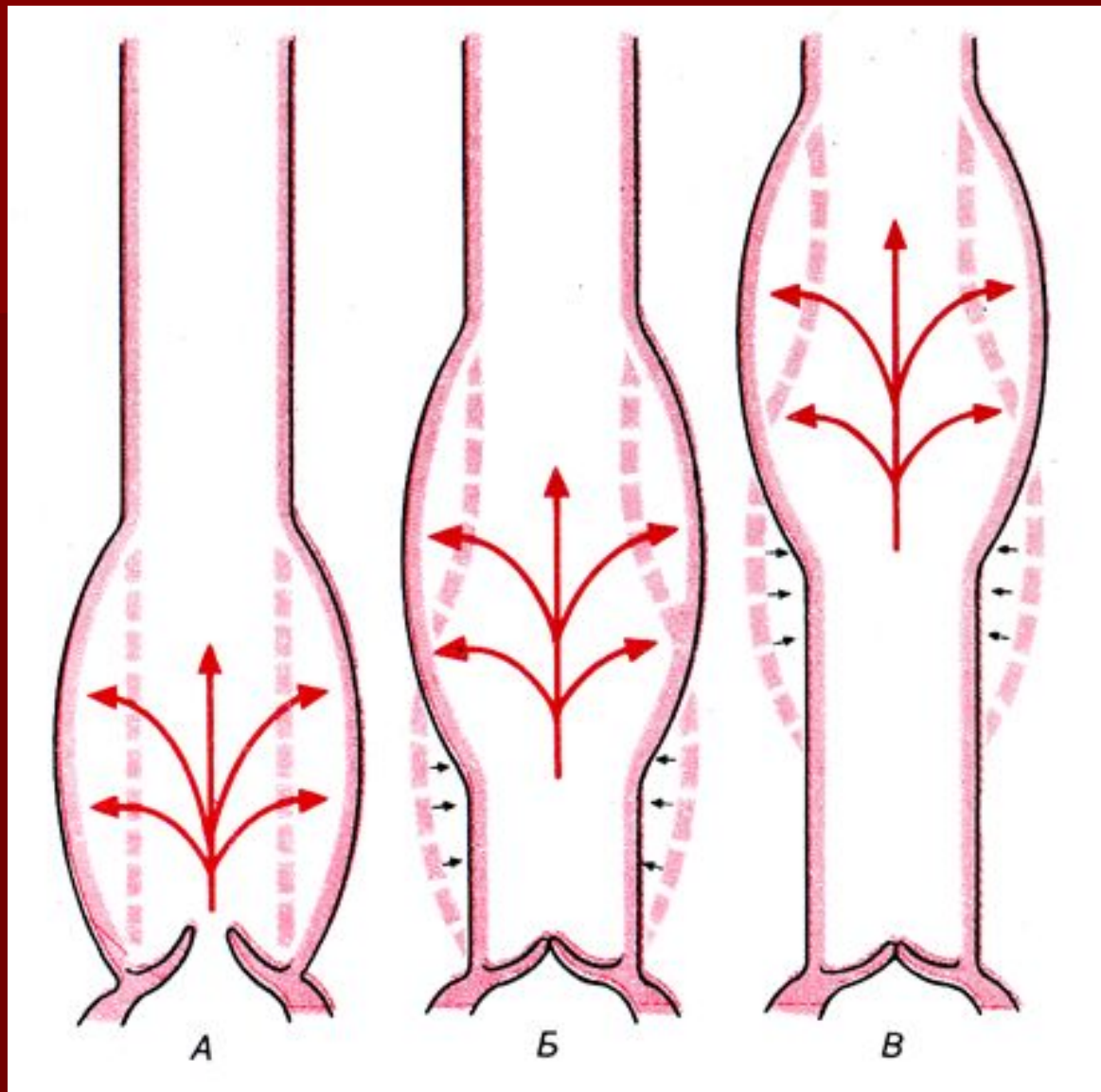
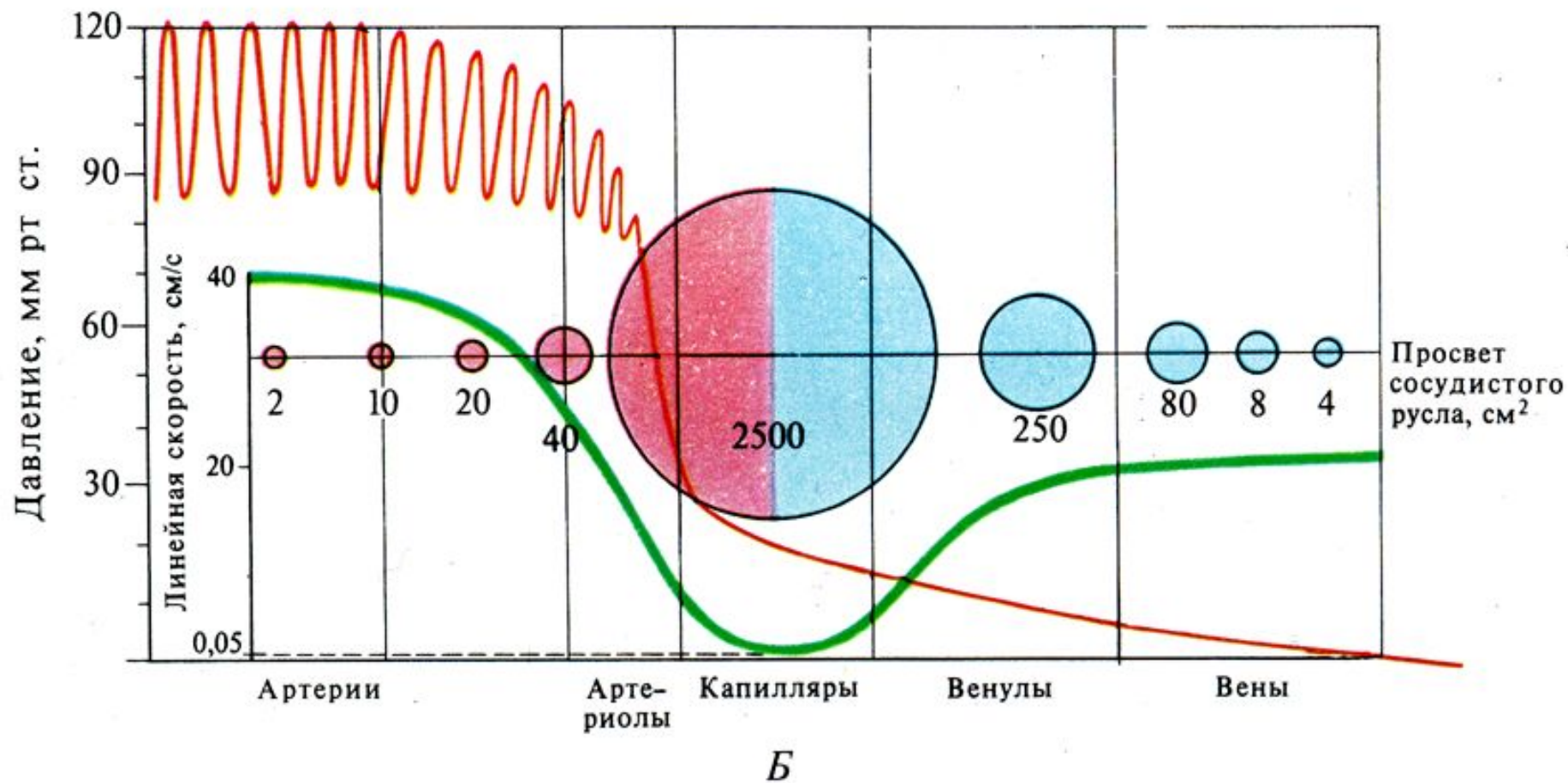


Схема функции «компрессионной камеры» и механизма распространения пульсовой волны. В период систолы сначала растягивается ближайший к сердцу участок аорты, и в нем накапливается кровь (А). Затем этот участок возвращается к исходному состоянию, и при этом (Б). Далее этот процесс повторяется, растягиваясь и накапливая кровь следующий участок (В).

Показатели гемодинамики в различных отделах сосудистого русла



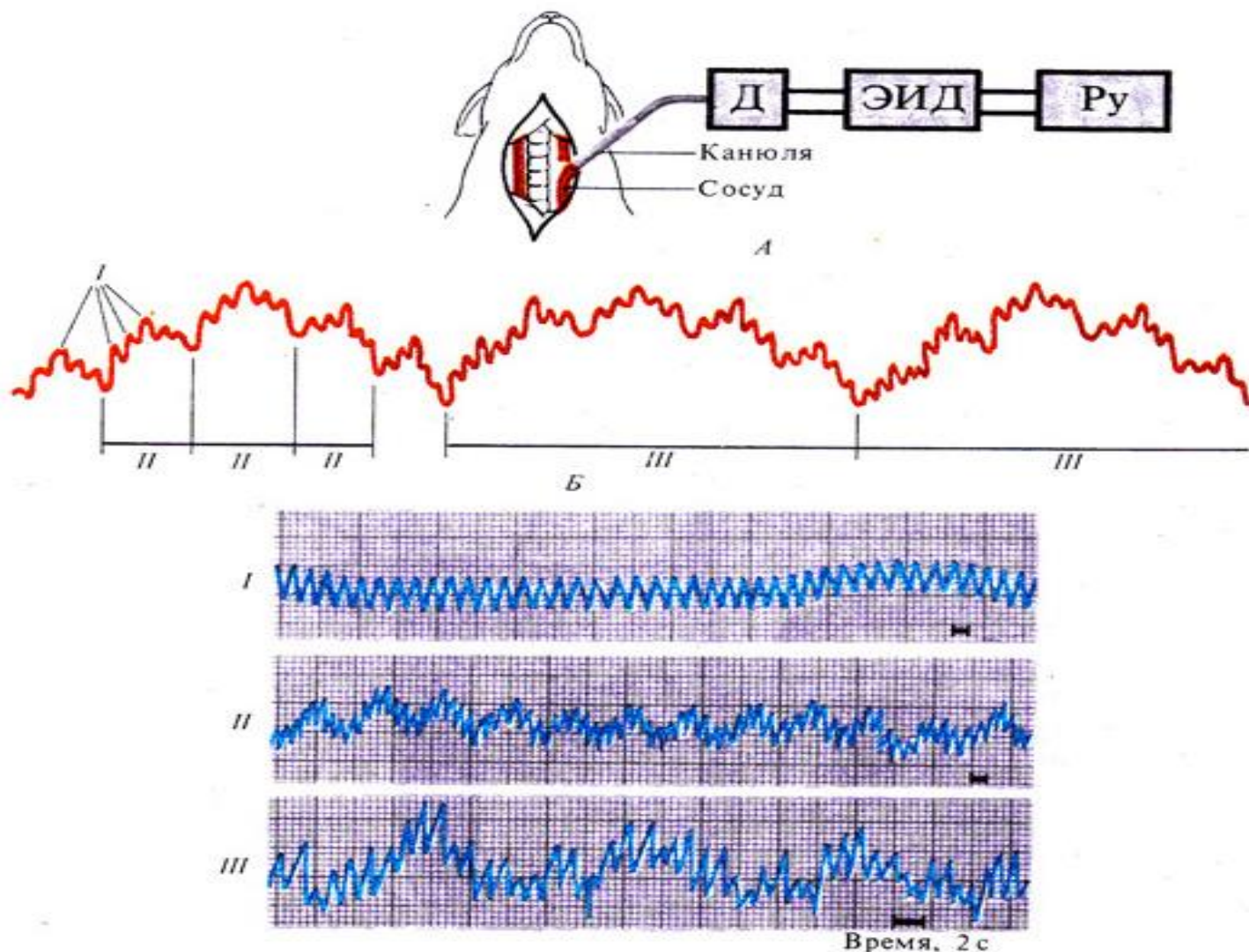
АД обеспечивается работой сердца (минутный объем), объемом крови и его вязкостью, диаметром сосудов (вазоконстрикция, вазодилатация).

$$P=Q \cdot R$$

P-АД; Q-объем крови; R-сопротивлении сосудов (диаметр).

- Артериальное давление крови (систолическое, диастолическое) в плечевой артерии измеряется методом Короткова, по появлению и исчезновению, тонов короткова. Тоны Короткова – это звуки, возникающие при прохождении крови через суженное место (турбулентное) в сосуде (манжетка) во время систолы, которые исчезают при исчезновении сужения (опорожнении манжетки).

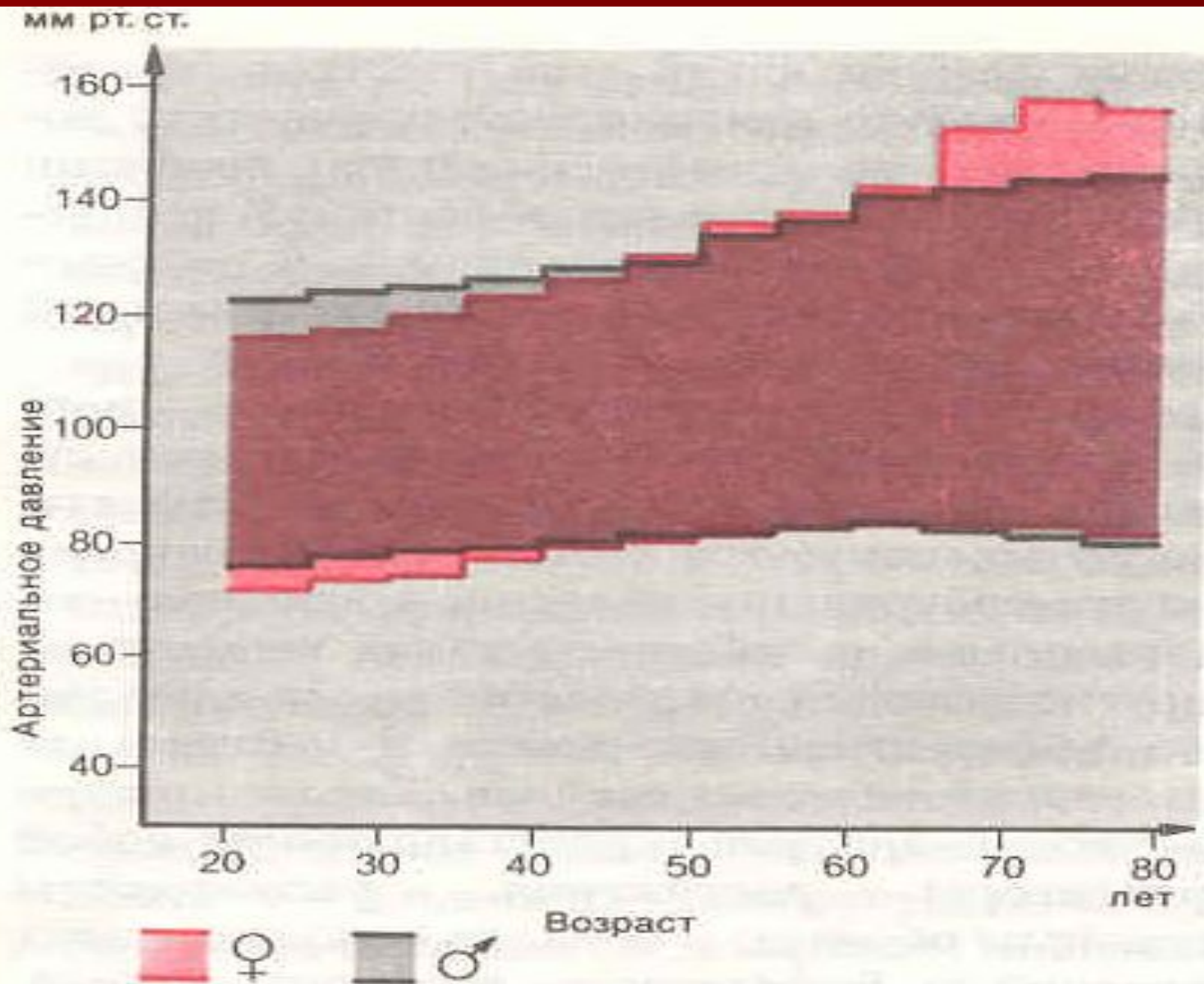
Регистрация артериального давления. Волны I, II, III порядка



ВИДЫ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ (АД)

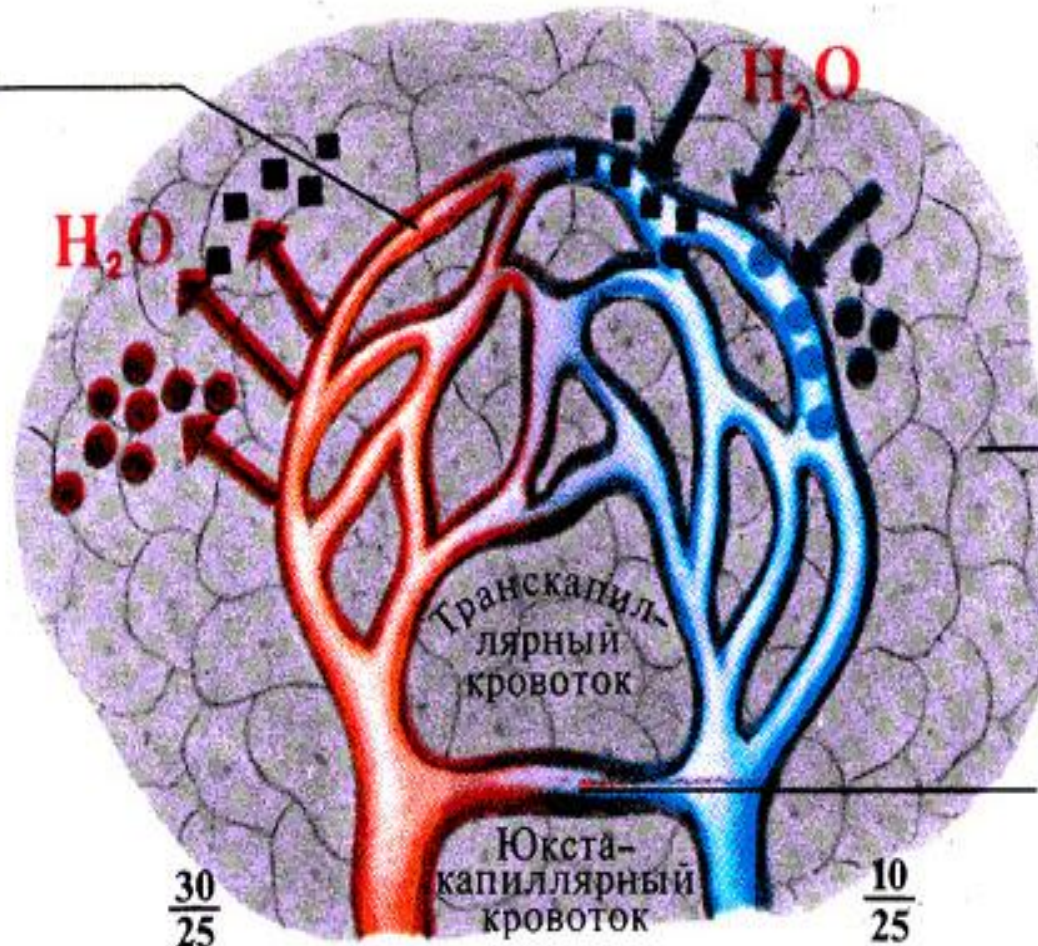
- Систолическое АД (САД)
- Диастолическое АД (ДАД)
- Пульсовое АД (ПАД) = САД-ДАД
- Среднее АД (АД_{ср}) = ДАД + 1/3 ПАД

Возрастные нормы АД



- Артериолы играют двоякую роль:
- поддержания уровня АД;
- регуляция кровотока в органе.
- 85% энергии сердца затрачивается на преодоление сопротивления артериол, соответственно, 85% падение АД в кровеносной системы приходится на долю артериол.

Капилляры



Ткани

Артерио-венозный
анастомоз

Юкста-
капиллярный
кровоток

Артериола

Венула

- Электролиты
- Питательные вещества
- Продукты метаболизма

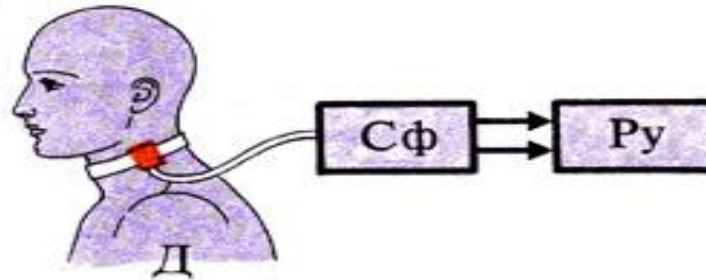
- Целью движения крови является обеспечение капиллярного кровообращения... Капилляры бывают магистральные, латеральные, плазменные, дежурные, анастомозы, соматические, висцеральные, синусоидальные.
- Общая их длина 100.000 км.
- - крови в них 250мл (одномоментно)
- - площадь – 1500 ГА
- - скорость кровотока в них 0,5 мм/с
- - количество их в 1 мм² – 2000
- - всего их 150 миллиардов
- - время протока 1сек.

- В обычных условиях функционируют дежурные магистральные и боковые капилляры, а остальные не работают. При интенсивной деятельности в работу включаются дополнительные капилляры. Давление крови в капиллярах обычно 32-15мм.Нг., а в почечных 60-70мм.Нг., в легком 6 мм.Нг.

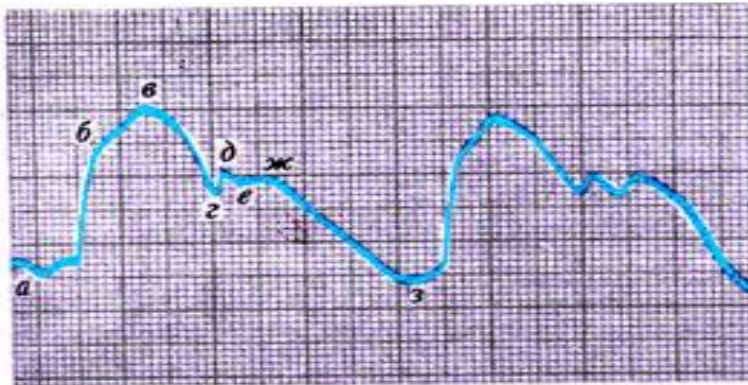
- Артериальный пульс – ритмические колебания стенки артерий, обусловленные повышением давления в период систолы. В начале аорты, растягивая стенку и эта волна с распространяется по всем сосудам. С возрастом, уменьшением эластичности сосудов, скорость распространения пульса увеличивается. При пальпации пульса определяется ритм, частота, скорость, напряжение, наполнение.

- Детальный анализ пульса осуществляется записью пульса сфигмографией. В сфигмограмме различают подъём – анакроту, спуск – катакроту, в который отмечается диокротический зубец.
- Сфигмограмма центрального и периферического пульса отличается крутизной (длительностью) анакроты и катакроты.

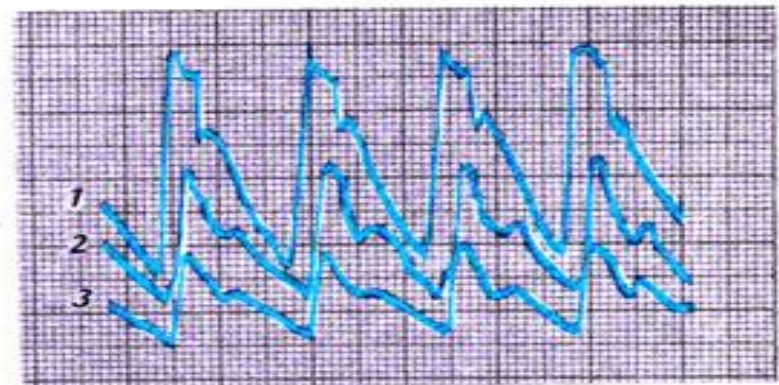
Регистрация пульса на сонной артерии (сфигмограмма)



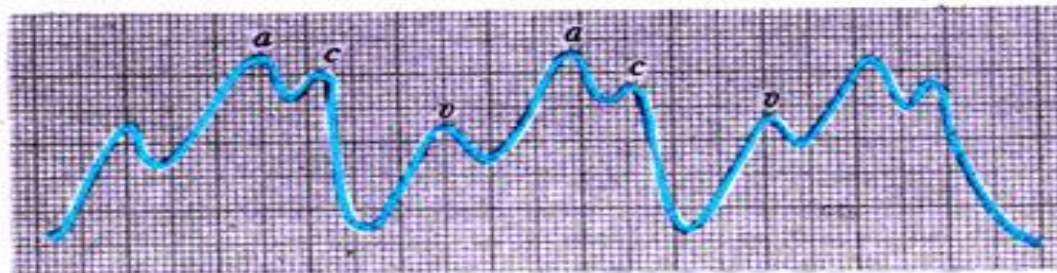
А



Б



В



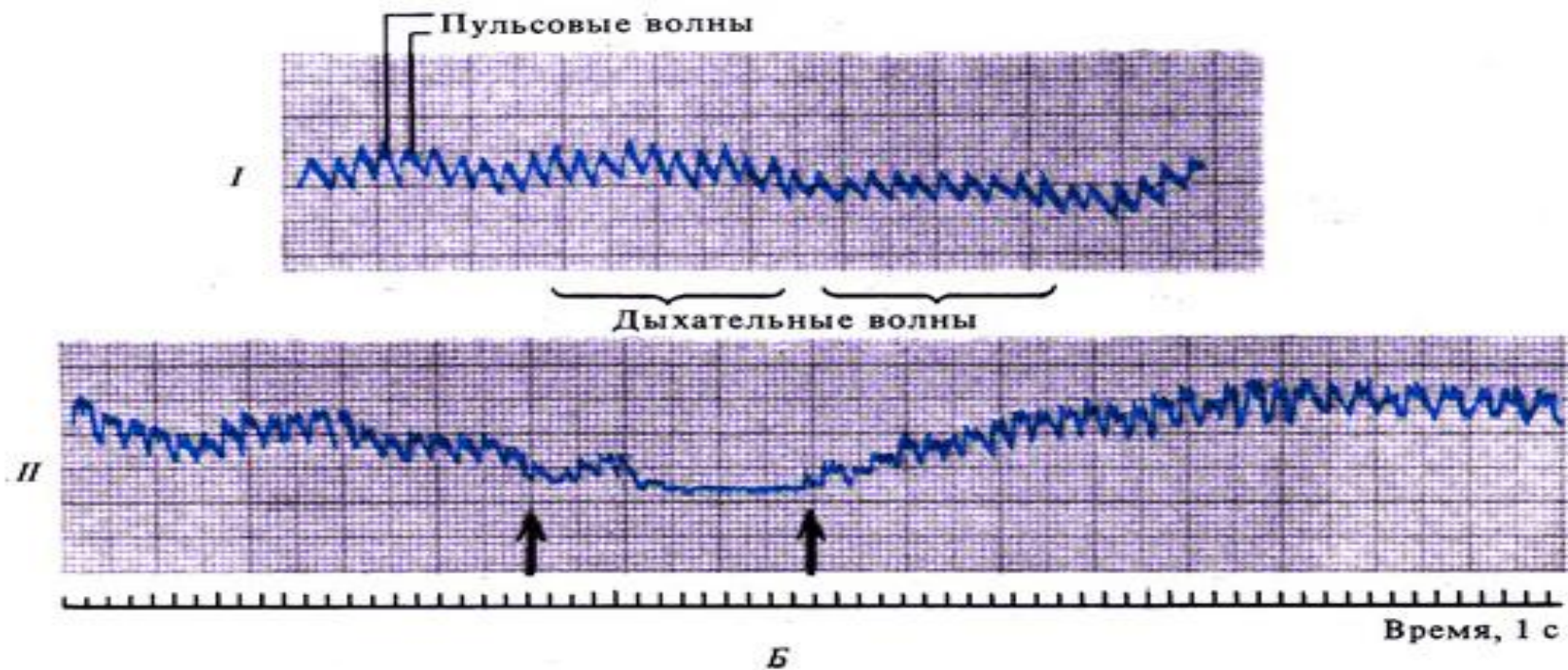
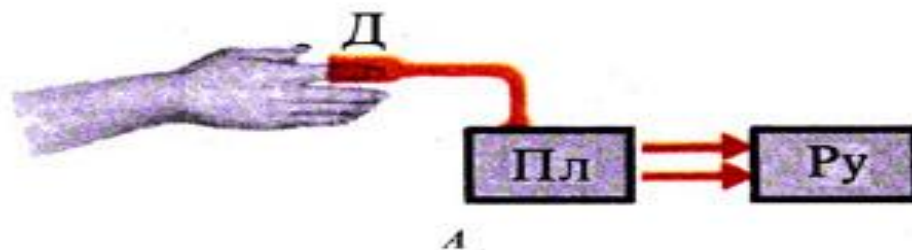
Г

- Кровь в кровеносных сосудах движется с определенной линейной $V=S/t$ и объемной $Q=P/R$ скоростью. При усиленной деятельности органа увеличивается объемная скорость кровотока (т.е. объем крови). Очень высоко объемная скорость в щитовидной железе, почках. Измерение объемной скорости осуществляют плетизмографией, реографией.

Величина кровотока в органах на 100г массы

- Щитовидная железа 560 мл/мин
- Почки 420 мл/мин
- Печень 150 мл/мин
- Сердце 85 мл/мин
- Селезенка 70 мл/мин
- Мозг 65 мл/мин
- Кишечник 50 мл/мин
- Желудок 35 мл/мин
- Мышцы рук и ног (в покое) 2-3 мл/мин

Плетизмография



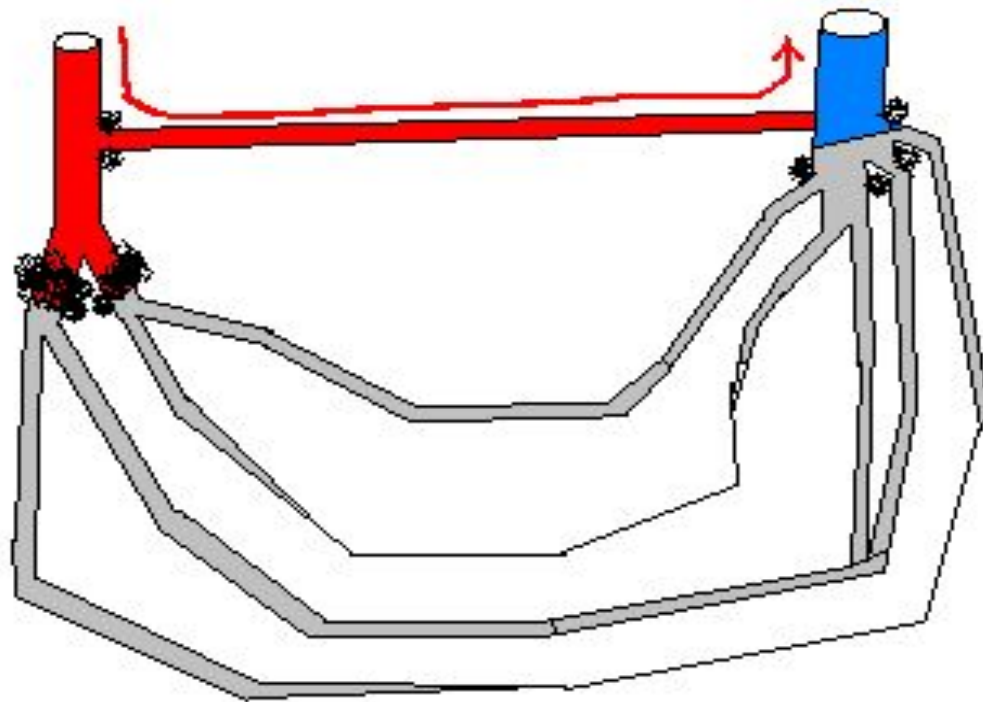
ТОНУС СОСУДОВ

- **СОСУДИСТЫЙ ТОНУС** - степень напряжения сосудистой стенки : $T = P \times r$
- где P - давление, r - радиус сосуда
- **Миогенный или базальный тонус**
- **Регуляторный тонус:**
 - а) **нейрогенный**
 - б) **химиогенный (гуморальный)**

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

- **Микроциркуляция** - движение крови в тканях по сосудам, диаметром менее 200 мкм
- Структурно-функциональная единица микроциркуляции - сосудистый модуль
- Составные части сосудистого модуля: артериола, метаартериола или прекапилляр, капилляры, посткапилляры, венулы, артериоло-венулярные анастомозы

СХЕМА АРТЕИО-ВЕНОЗНОГО АНАСТОМОЗА



ТИПЫ КАПИЛЛЯРОВ

- **Магистральные капилляры**
- **Боковые капилляры и капиллярные сети**
- **Дежурные капилляры (25%)**
- **Плазматические капилляры (10%)**
- **Молчащие капилляры (65%)**
- *Соматические*
- *Висцеральные или фенестрированные*
- *Синусоидальные со щелями*

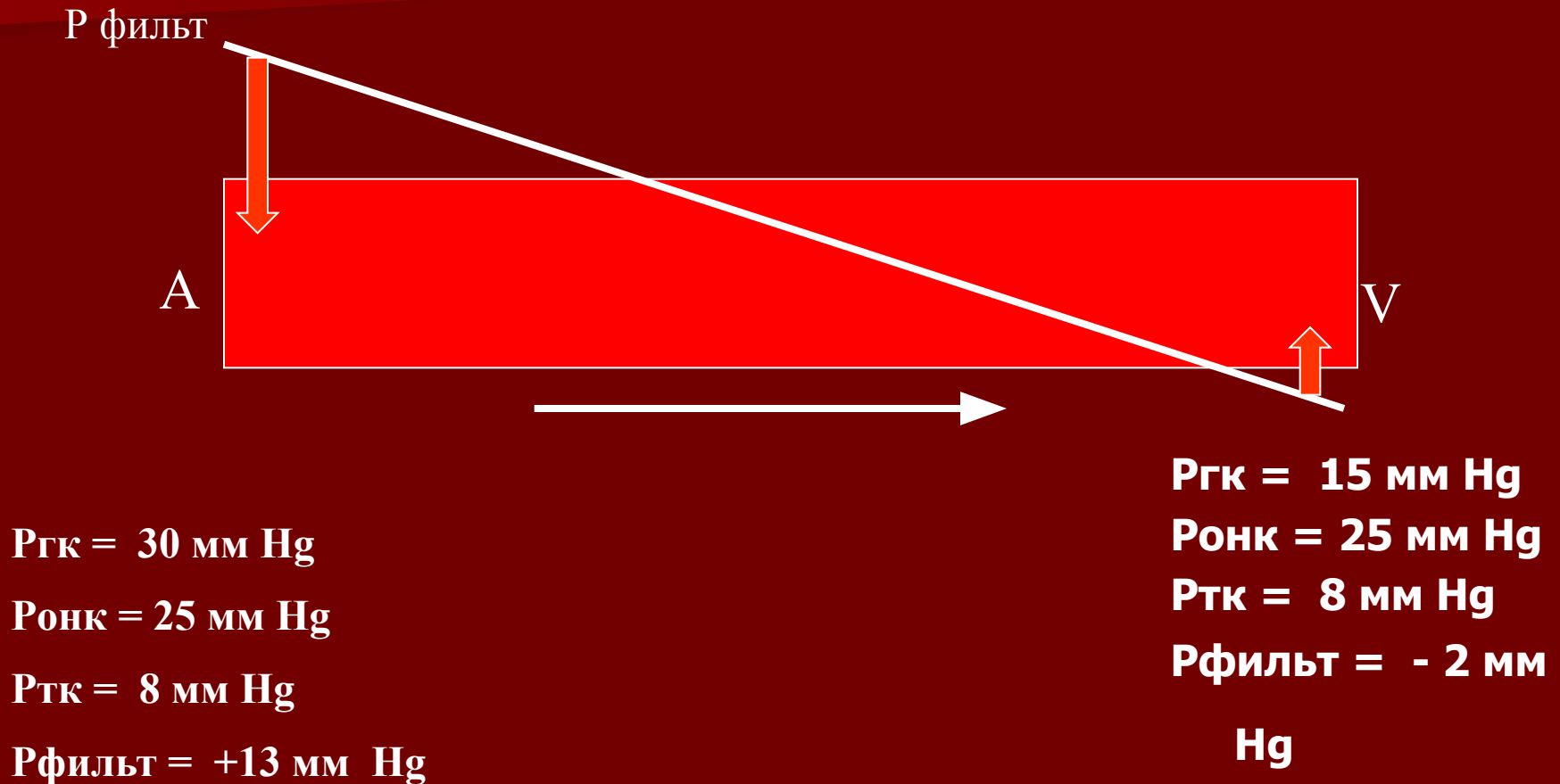
ОБЩИЕ СВОЙСТВА КАПИЛЛЯРОВ

- Общее количество - 40 миллиардов
- Диаметр - 5-8 мкм, длина 0,5 - 1,1 мм
- Суммарная длина всех капилляров - 100000км
- Наименьшая линейная скорость крови - $<1\text{мм/с}$
- Наибольшая площадь поверхности на единицу массы ткани - $>50\text{ см}^2/\text{г}$
- Очень малое расстояние между кровью и клетками ткани - $<50\text{ мкм}$

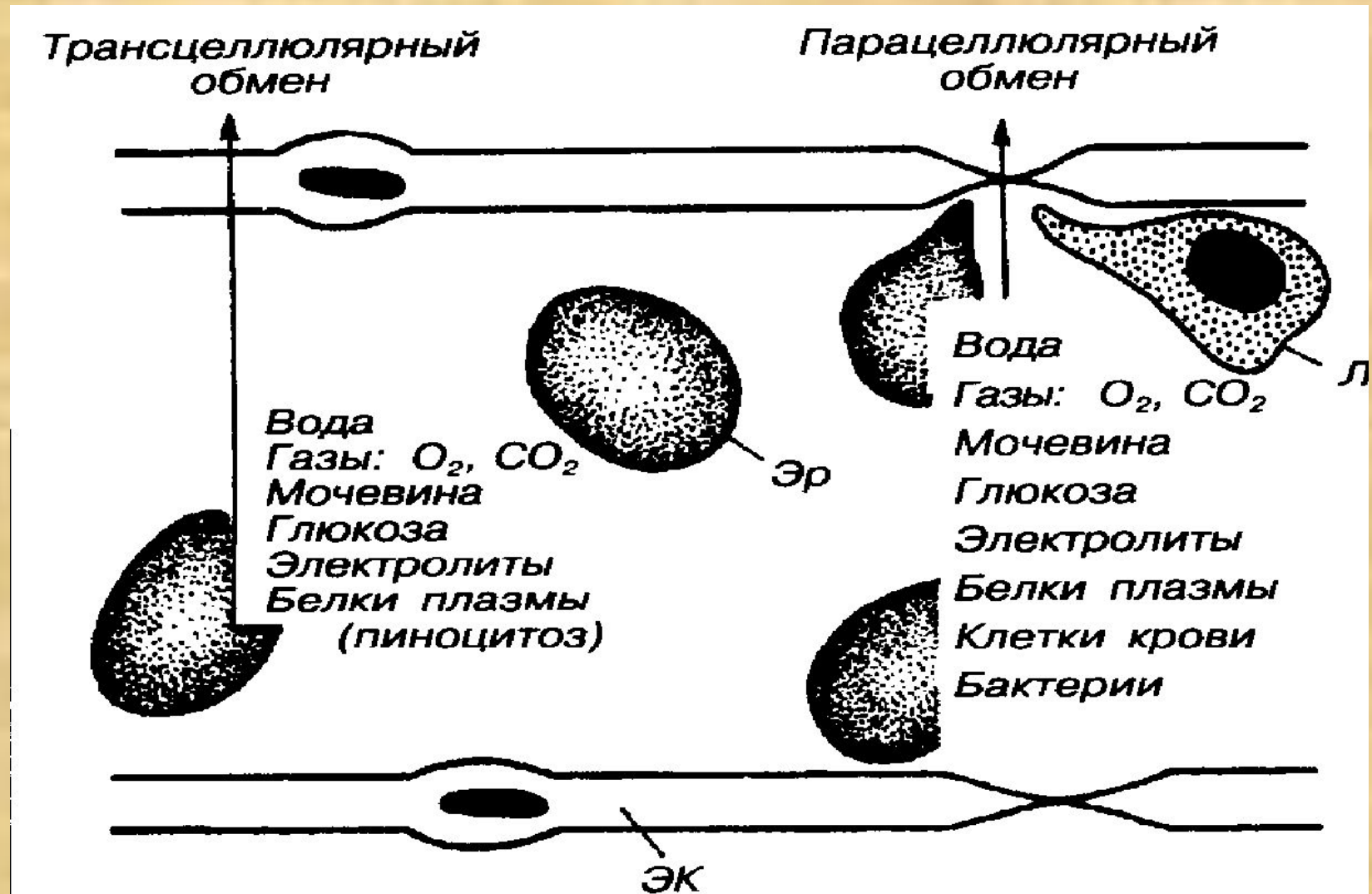
ПОКАЗАТЕЛИ ОБМЕНА ЖИДКОСТИ

- **Фильтруется через стенку капилляров из крови: 20 л/сут жидкости**
- **Реабсорбируется в кровь через стенку капилляров из тканей: 18 л/сут**
- **По лимфатическим сосудам оттекает из тканей в кровь: 2 л/сут**

Роль гидростатического давления крови для транскапиллярного обмена



Транспорт веществ через стенку капилляра



Факторы развития отека

- **Нарушения оттока лимфы**
- **Повышенная проницаемость капилляров для белков**
- **Сниженная концентрация белков плазмы**
- **Повышенное капиллярное гидростатическое давление(венозная обструкция, дисбаланс тонуса сосудов или высокий объем крови)**

Функции эндотелия микроциркуляторного русла

- **Самообеспечение структуры (саморегуляция клеточного роста и восстановления).**
- **Образование вазоактивных веществ, в том числе активация и инактивация циркулирующих в крови**
- **Местная регуляция гладкомышечного тонуса: синтез и секреция простагландинов, эндотелинов и NO**
- **Передача вазомоторных сигналов от капилляров и артериол более крупным сосудам**
- **Поддержание антикоагулянтных свойств поверхности**
- **Реализация защитных (фагоцитоз) и иммунных реакций (связывание иммунных комплексов)**

Лимфообращение

Лимфообращение — движение лимфы по лимфатическим сосудам и капиллярам. Основным условием, обеспечивающим движение лимфы по лимфатическим капиллярам в крупные лимфатические сосуды и далее — в венозное русло, является постоянный приток жидкости из тканевых пространств (тканевая жидкость), создающий напорное давление в капиллярах лимфатической системы.

Большое значение для лимфообращения имеет физиологическая активность отдельных органов, сократительная способность стенок: лимфатических сосудов, пульсовые движения артериальных сосудов и т. д.

Лимфообращение

Лимфообращение складывается из:

- 1) образования тканевой жидкости кровеносными капиллярами и тканями органов;
- 2) поступления избыточной тканевой жидкости из межклеточных пространств в систему лимфатических капилляров;
- 3) перемещения лимфы по лимфатическим сосудам к лимфатическим узлам;
- 4) поступления лимфы по магистральным лимфатическим протокам [грудной проток , правый лимфатический проток] в крупные венозные сосуды шеи.

Поступление тканевой жидкости через эндотелий лимфатических капилляров наступает в том случае, когда величина ее фильтрации из артериальной части кровеносного капилляра в межтканевые пространства преобладает над реабсорбцией в венозной части того же капилляра. Например, при активной деятельности органа (мышца) резко возрастает уровень давления крови в артериальном отделе капилляра и происходит непрерывное накопление тканевой жидкости. Повышение ее давления в межклеточных пространствах приводит к непрерывному поступлению тканевой жидкости в полость лимфатических капилляров.

Лимфообращение

Движение лимфы по лимфатическим сосудам обусловлено:

- более высоким уровнем давления лимфы в лимфатических капиллярах, чем в грудном протоке и крупных венах;
- наличием в лимфатических сосудах большого числа клапанов, препятствующих перемещению лимфы в ретроградном направлении;
- сокращениями окружающих скелетных мышц, а также перистальтическими движениями кишечника, сокращениями сердечной мышцы, пульсацией крупных артерий.
- В некоторых органах (брыжейка) обнаружены и собственные перистальтические движения лимфатических сосудов.

Спасибо за внимание!