

**Основы физиологии
органов кровообращения.
Основы физиологии сердца
(сердечный цикл, его фазы,
понятие об автоматии)**

Основные элементы кровеносной системы

- Главный сократительный орган, служащий для перекачивания крови по организму. В большинстве случаев таким органом является сердце;
- Артериальная система, отвечающая за распределение крови и играющая роль напорного резервуара;
- Капилляры, в которых происходит перенос веществ между кровью и тканями;
- Венозная система, представляющая собой резервуар для крови и обеспечивающая ее возврат к сердцу.

Движение крови в организме

- Кровь движется по организму под действием сил, создаваемых ритмичными сокращениями сердца, сдавливанием сосудов при движениях тела и (или) перистальтическими сокращениями гладких мышц в стенках сосудов.
- Однонаправленное движение осуществляется за счет клапанов.
- Просвет сосудов регулируется окружающими эти сосуды гладкими мышцами, что дает возможность управлять количеством крови, протекающей по тому или иному сосудистому руслу и тем самым перераспределять кровоток в организме.

Кровеносная система открытого типа (незамкнутая)

- Кровь, или гемолимфа, выбрасывается сердцем через артерию в гемоцель - открытую полость, расположенную между эктодермой и энтодермой.
- Гемолимфа, попавшая в гемоцель, не поступает в капилляры, а непосредственно омывает ткани.
- Давление крови в системах открытого типа низкое.
- У животных с незамкнутой сердечно-сосудистой системой возможности изменять скорость кровотока и перераспределять его обычно бывают ограниченными.
- Максимальная скорость поглощения кислорода на единицу массы обычно бывает низкой и может изменяться лишь довольно медленно.
- Экскретируемая жидкость (моча) обычно не может образовываться путем ультрафильтрации. Так, у насекомых первичная экскретируемая жидкость образуется в мальпигиевых сосудах с помощью секреции

Замкнутая кровеносная система

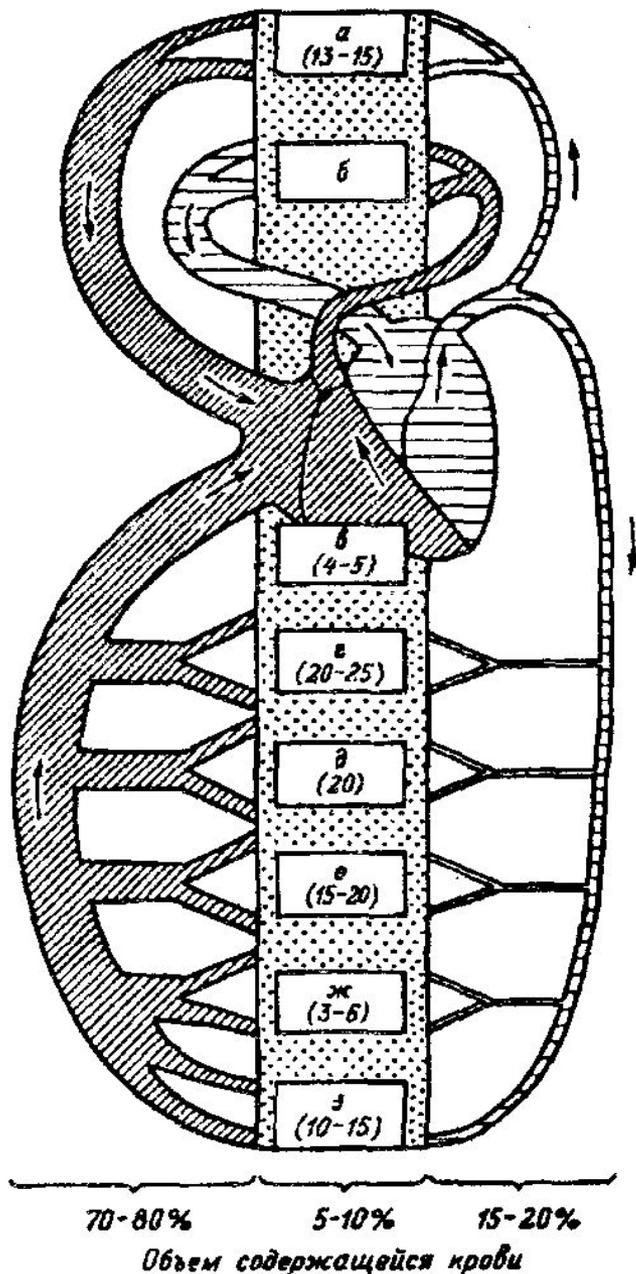
- Различные отделы обычно выполняют более специализированные функции, чем в открытых. Так, в замкнутой кровеносной системе главным насосным органом является сердце. Артериальная система в свою очередь играет роль напорного резервуара, подающего кровь в капилляры.
- Стенки капилляров тонкие, и поэтому в этих сосудах может происходить быстрый обмен веществами между кровью и тканями. Плотность капилляров в тканях велика, и поэтому каждая клетка обычно отделена от ближайшего капилляра не более чем 2-3 другими клетками. Капиллярные сети соединены между собой параллельно, и благодаря этому возможна точная регуляция перераспределения кровотока между различными тканями.
- Т.к. стенки капилляров обладают проницаемостью, а давление в этих сосудах высокое, жидкость может медленно проникать через эти стенки в межклеточное пространство.
- Давление крови достаточно высоко для того, чтобы в почках она могла подвергаться ультрафильтрации.

Системные и легочные сосуды

- Правая половина сердца выбрасывает кровь в легочные сосуды, а левая - в системные
- Правое сердце перекачивает дезоксигенированную кровь, а левое - оксигенированную
- Давление в легочных артериях (а следовательно, и в капиллярах) ниже, чем в системном артериальном русле
- Поэтому в легких млекопитающих эта фильтрация жидкости через стенки капилляров уменьшается

ВЕНОЗНАЯ СИСТЕМА

- Давление в венозной системе обычно низкое, а стенки вен весьма эластичны, и поэтому большие изменения объема крови в этих сосудах лишь незначительно сказываются на давлении в них.
- Таким образом, венозная система содержит большую часть всей крови и играет роль вместительного резервуара.



Сердечно-сосудистая система (функциональная схема).

Области: 1 — большого объема (венозная); 2 — транс-капиллярного обмена (капилляры); 3 — высокого давления (артериальная);

а — головной мозг; б — легкие; в — миокард; г — желудочно-кишечный тракт и печень;

д — почки; е — скелетные мышцы; ж — кожа; з — кости, костный мозг, жировая и соединительная ткани.

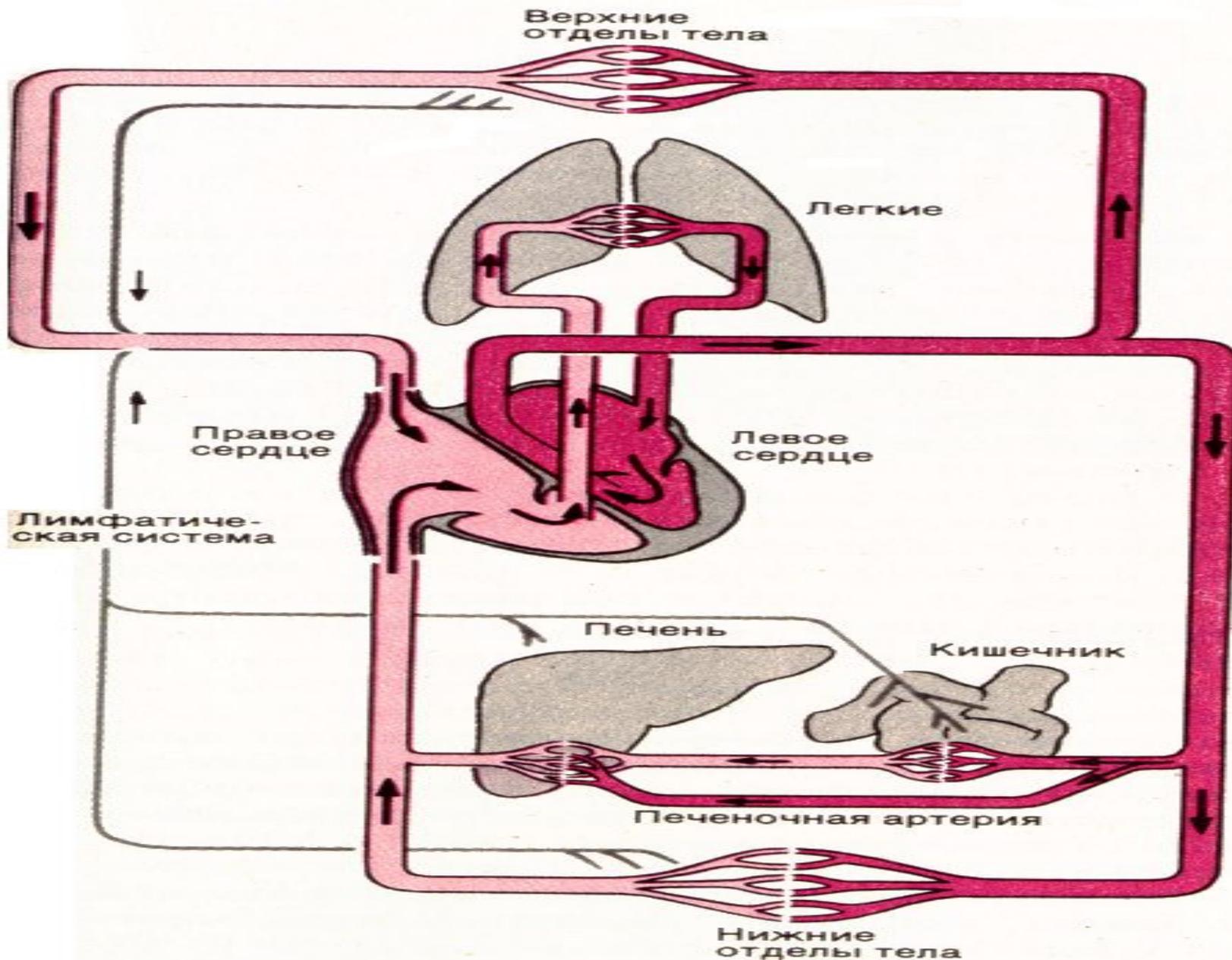
Цифры в скобках — величина кровотока в покое (в % к минутному объему), цифры внизу рисунка — содержание крови (в % к общему объему).

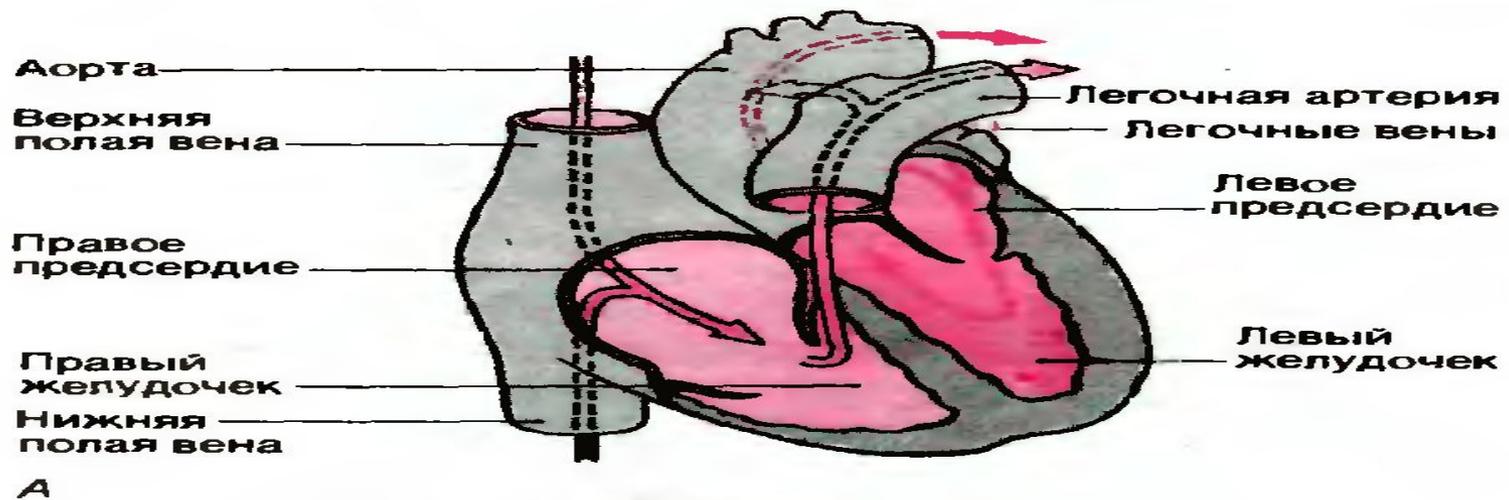
Вильям Гарвей (1578-1657)

В работе «О движении сердца и крови у животных» (1628) доказал наличие двух кругов кровообращения и опроверг доктрину волнообразного движения крови Галена

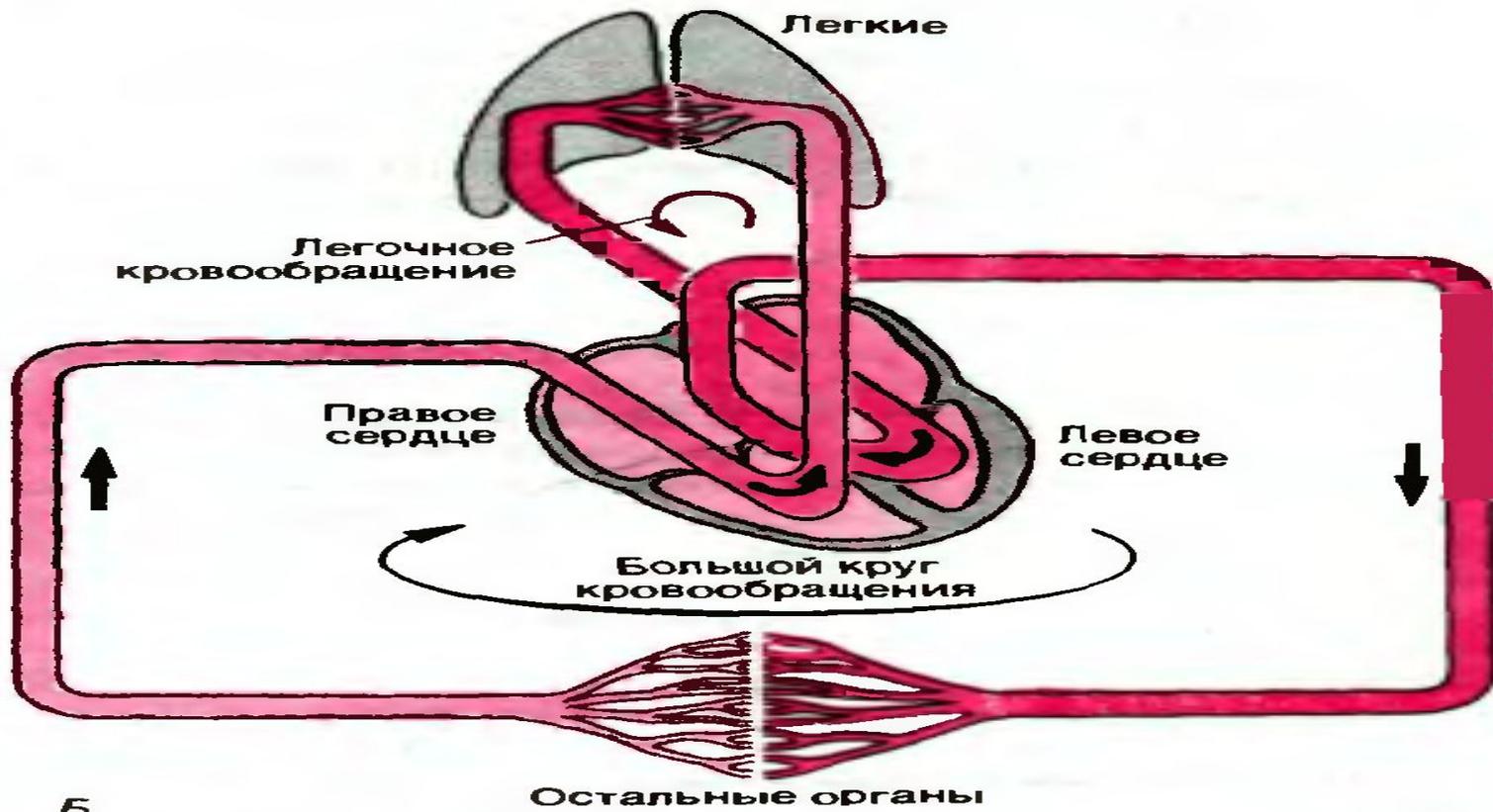


Схема кровообращения у взрослого человека





А



Б

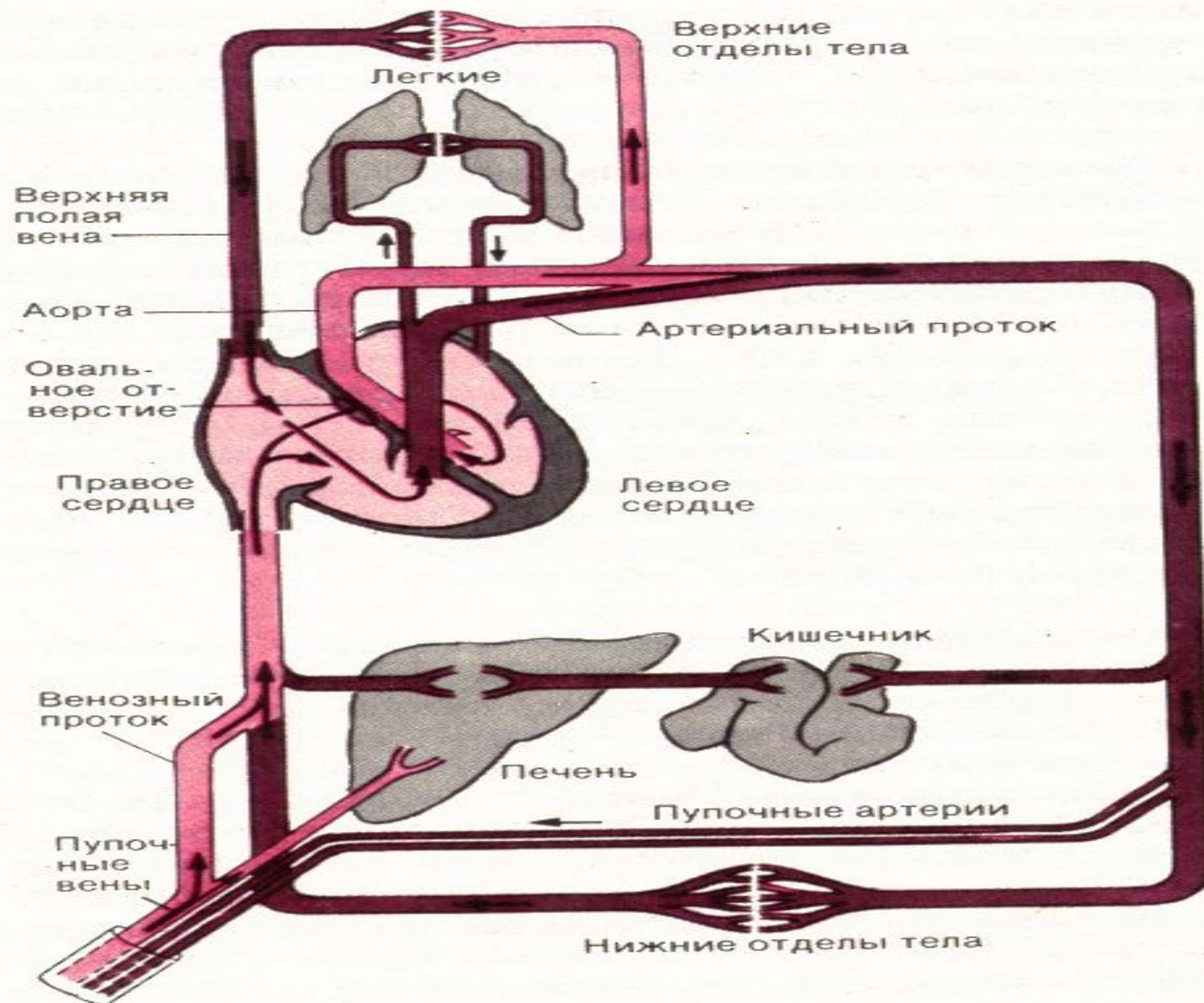
Систола и диастола

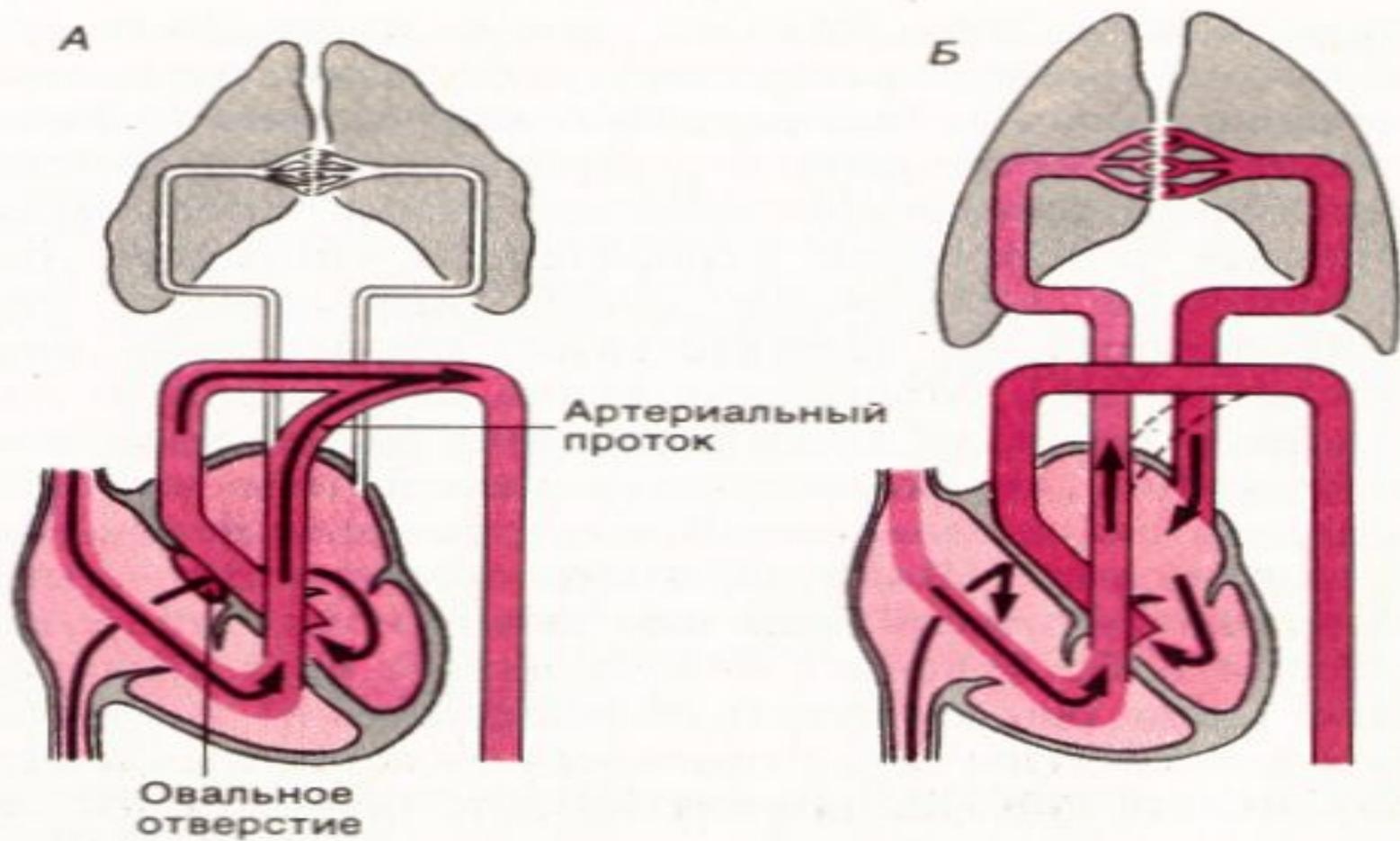
- Нагнетательная функция сердца основана на чередовании расслабления (диастолы) и сокращения (сistolы) желудочков.
- Во время диастолы желудочки заполняются кровью, а во время систолы они выбрасывают ее в крупные артерии (аорту и легочный ствол).
- У выхода из желудочков расположены клапаны, препятствующие обратному поступлению крови из артерий в сердце.
- Перед тем как заполнить желудочки, кровь притекает по крупным венам (полым и легочным) в предсердия. Систола предсердий предшествует систоле желудочков; таким образом, предсердия служат как бы вспомогательными насосами, способствующими заполнению желудочков.

Плацентарное кровообращение

- Особенностью кровообращения плода является слабое функционирование малого круга кровообращения в связи с отсутствием легочного дыхания.
- Кровь, в значительной части минуя малый круг, направляется из правого предсердия в левое предсердие через овальное отверстие и из легочной артерии через боталлов проток в аорту.
- Оксигенированная кровь поступает к плоду через пупочную вену, которая делится на две вены.
- Оксигенированная кровь из нижней полой вены направляется преимущественно в левое предсердие через овальное отверстие. Другая часть крови поступает из правого предсердия в правый желудочек и из него в легочную артерию. Основная часть крови из легочной артерии через боталлов проток поступает в аорту ниже места отхождения подключичной артерии.
- Кровь из левого желудочка, поступая в аорту, направляется преимущественно в систему больших сосудов
- Кровь от плода поступает в плаценту по подчревным артериям, от которых отходят две пупочные артерии

Схема кровообращения у плода





А. Сердце плода; обе половины сердца соединены параллельно; легочное сосудистое русло обособлено. **Б.** После рождения соединение правого и левого сердца становится последовательным в результате развития легочного кровообращения и закрытия «шунтов» — овального отверстия в межпредсердной перегородке и артериального протока, соединяющего аорту и легочную артерию

Стенка сердца

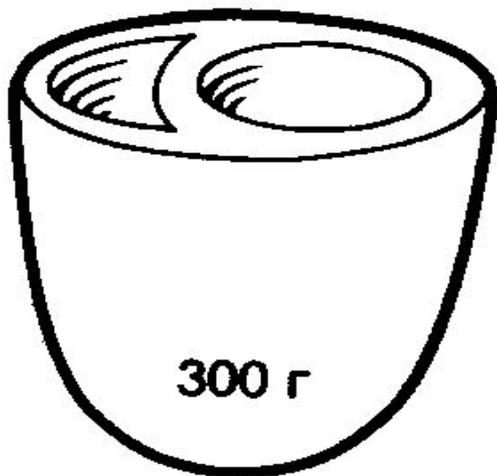
- **Эндокард** – тонкая внутренняя оболочка, выстилает изнутри полости сердца; в его состав входят преимущественно соединительная (рыхлая и плотная волокнистые) и гладкомышечная ткани. Дупликатуры эндокарда образуют атриовентрикулярные и полулунные клапаны, а также заслонки нижней поллой вены и венечного синуса
- **Миокард** – средний слой стенки сердца, самый толстый, представляет собой сложную многотканевую оболочку, основным компонентом которой является сердечная мышечная ткань
Миокард предсердий состоит из двух слоев: поверхностного (общего для обоих предсердий, в котором мышечные волокна расположены поперечно) и глубокого (раздельного для каждого из предсердий, в котором мышечные волокна следуют продольно, здесь встречаются и круговые волокна, петлеобразно в виде сфинктеров охватывающие устья вен, впадающих в предсердия).
- **Миокард желудочков** трехслойный: наружный (образован косо ориентированными мышечными волокнами) и внутренний (образован продольно ориентированными мышечными волокнами) слои являются общими для миокарда обоих желудочков, а расположенный между ними средний слой (образован круговыми волокнами) – отдельным для каждого из желудочков.
- **Эпикард** – наружная оболочка сердца, является висцеральным листком серозной оболочки сердца (перикарда), построен по типу серозных оболочек и состоит из тонкой пластинки соединительной ткани, покрытой мезотелием.

Новорожденный



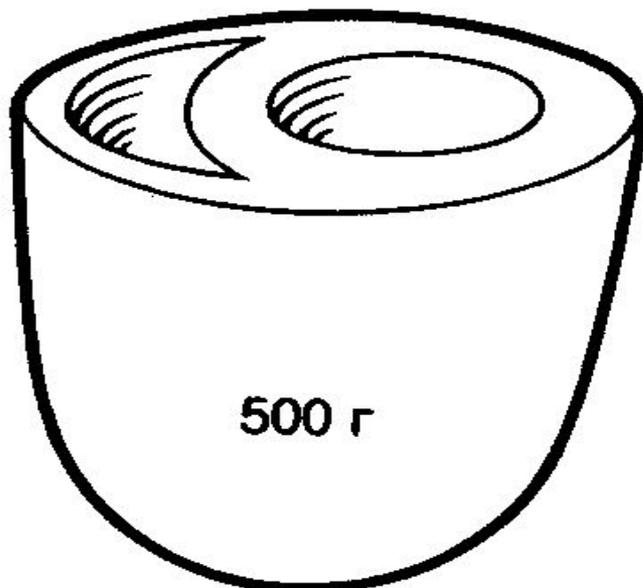
Масса сердца
20 г

Взрослый



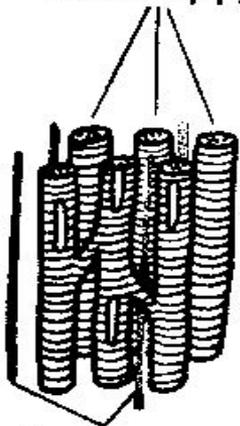
300 г

Спортсмен

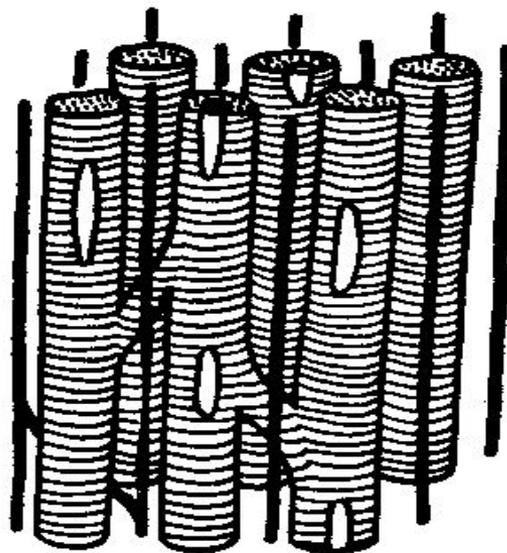
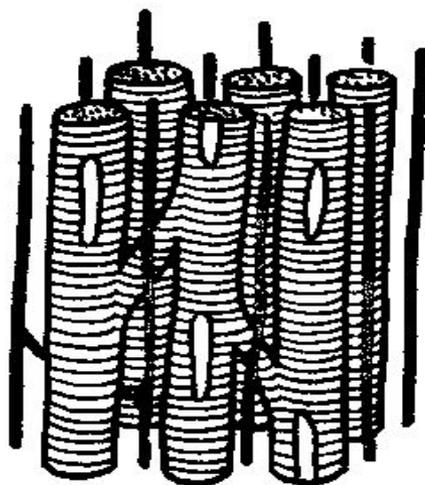


500 г

Волокна миокарда



Капилляры



Клапаны сердца и сосудов

□ Створчатые:

- правый атриовентрикулярный или правый предсердно-желудочковый (трикуспидальный или трехстворчатый)

- левый атриовентрикулярный или левый предсердно-желудочковый (двухстворчатый или митральный)

□ Полулунные:

- клапаны аорты

- клапаны легочного ствола

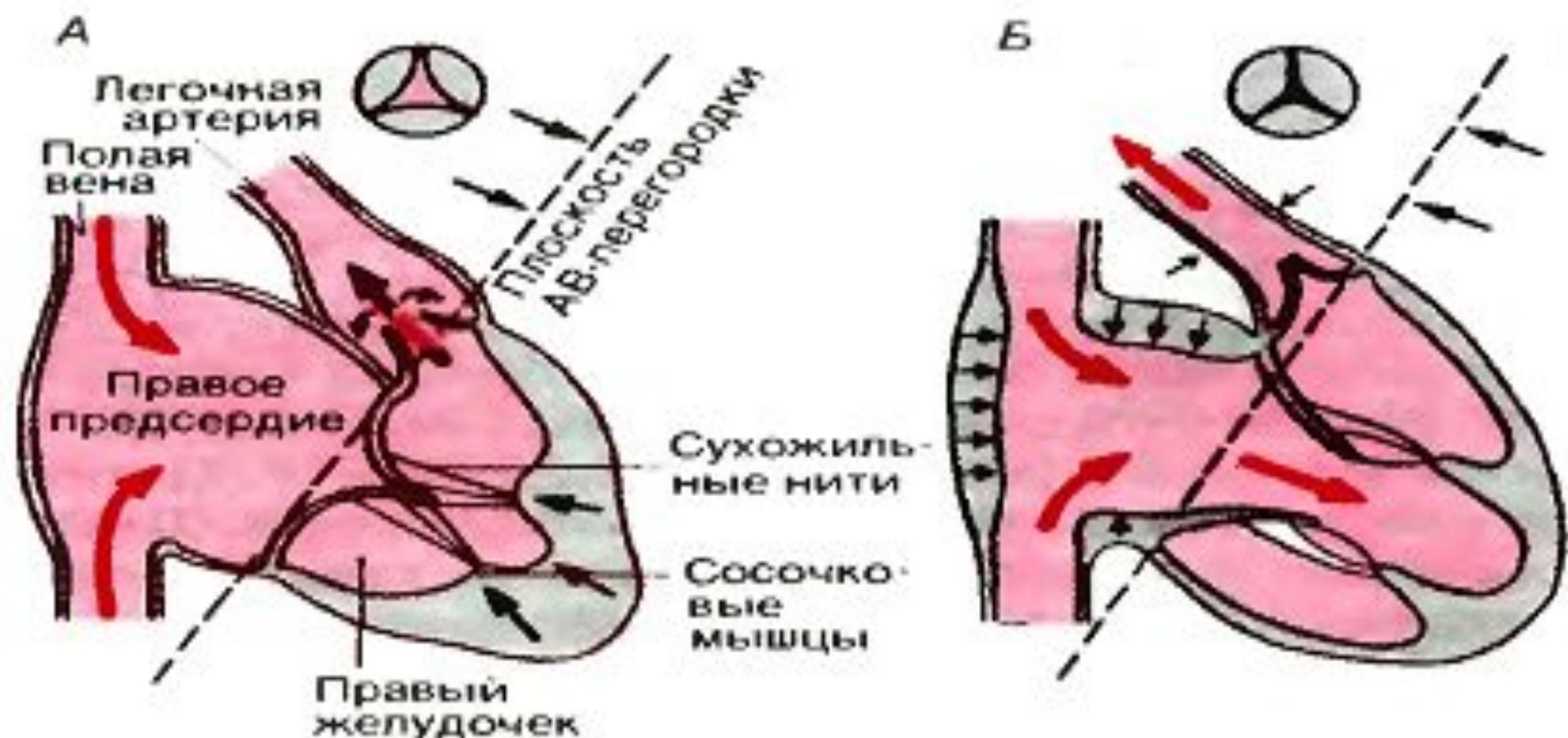


Схема продольного среза правого сердца, показывающая механизмы деятельности клапанов и присасывающего эффекта смещения атриовентрикулярной перегородки. **А.** Диастола предсердий, систола желудочков; трехстворчатый клапан закрыт, легочный открыт. **Б.** Систола предсердий, диастола желудочков; трехстворчатый клапан открыт, легочный закрыт. На врезках вверху изображен легочный клапан (вид со стороны полости желудочка)

Сердечный цикл

- Сердечный цикл — время одного полного сокращения сердца
- Включает систолу, диастолу и общую паузу
- Общая длительность сердечного цикла равна 60/ЧСС

Фазы сердечного цикла

Систола
желудочков —
0,33 с

Период напряжения — 0,08 с

Период изгнания крови — 0,25 с

Фаза асинхронного сокращения — 0,05 с

Фаза изометрического сокращения — 0,03 с

Фаза быстрого изгнания — 0,12 с

Фаза медленного изгнания — 0,13 с

Диастола
желудочков — 0,47 с

Период протодиастолический — 0,04 с

Период изометрического расслабления — 0,08 с

Период наполнения кровью — 0,25 с

Период пресистолический — 0,1 с

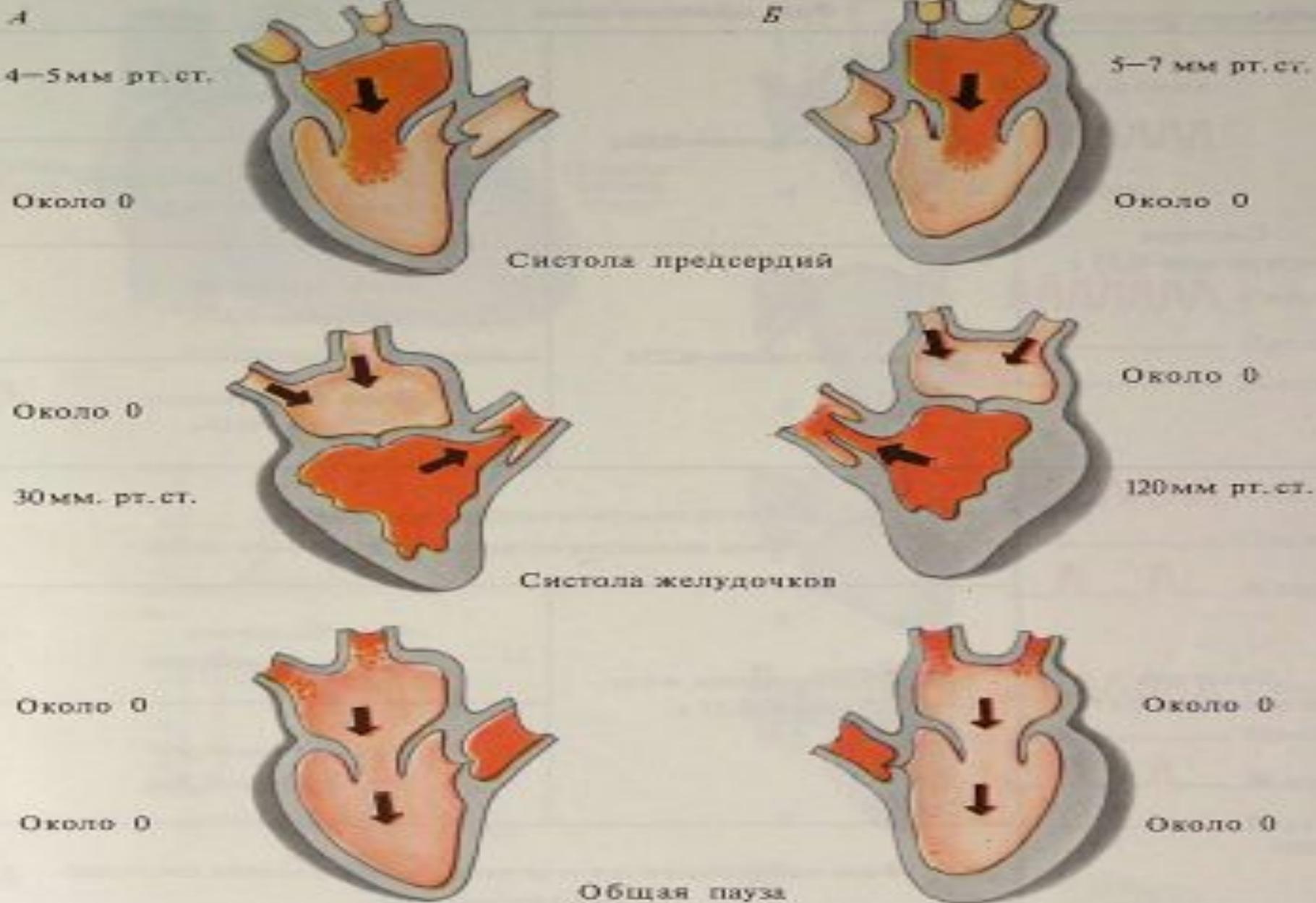
Фаза быстрого наполнения — 0,08 с

Фаза медленного наполнения — 0,17 с

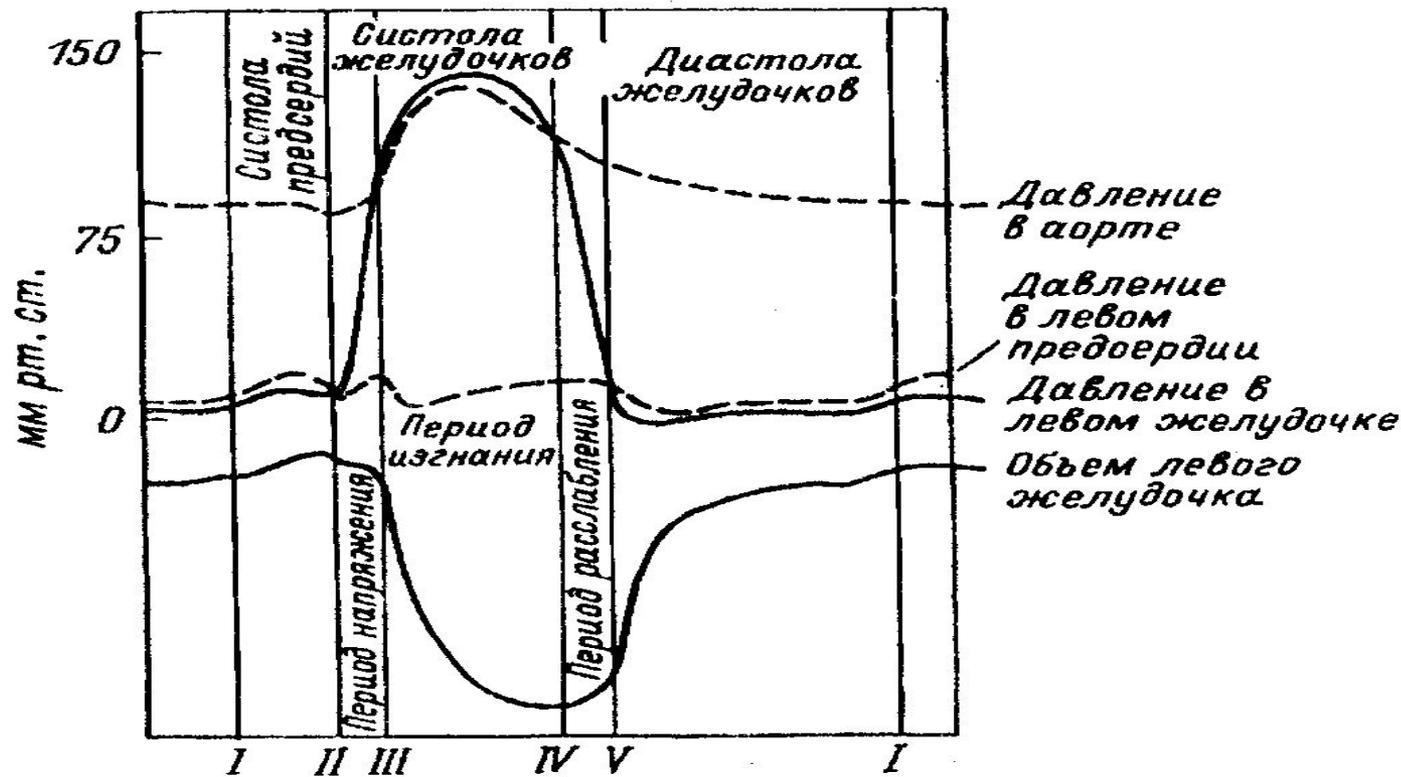
Средняя частота сокращений сердца в состоянии покоя у человека в постнатальном онтогенезе

Новорожденные	120—140	в минуту
В возрасте 1 года	120—125	»
В возрасте 2 лет	110—115	»
В возрасте 3 лет	105—110	»
В возрасте 4 лет	100—105	в минуту
В возрасте 7 лет	80—100	»
В возрасте 8—12 лет	75—85	»
В возрасте 15 лет	70—76	»
Взрослые	70	»

Давление в полостях сердца в разные фазы сердечного цикла



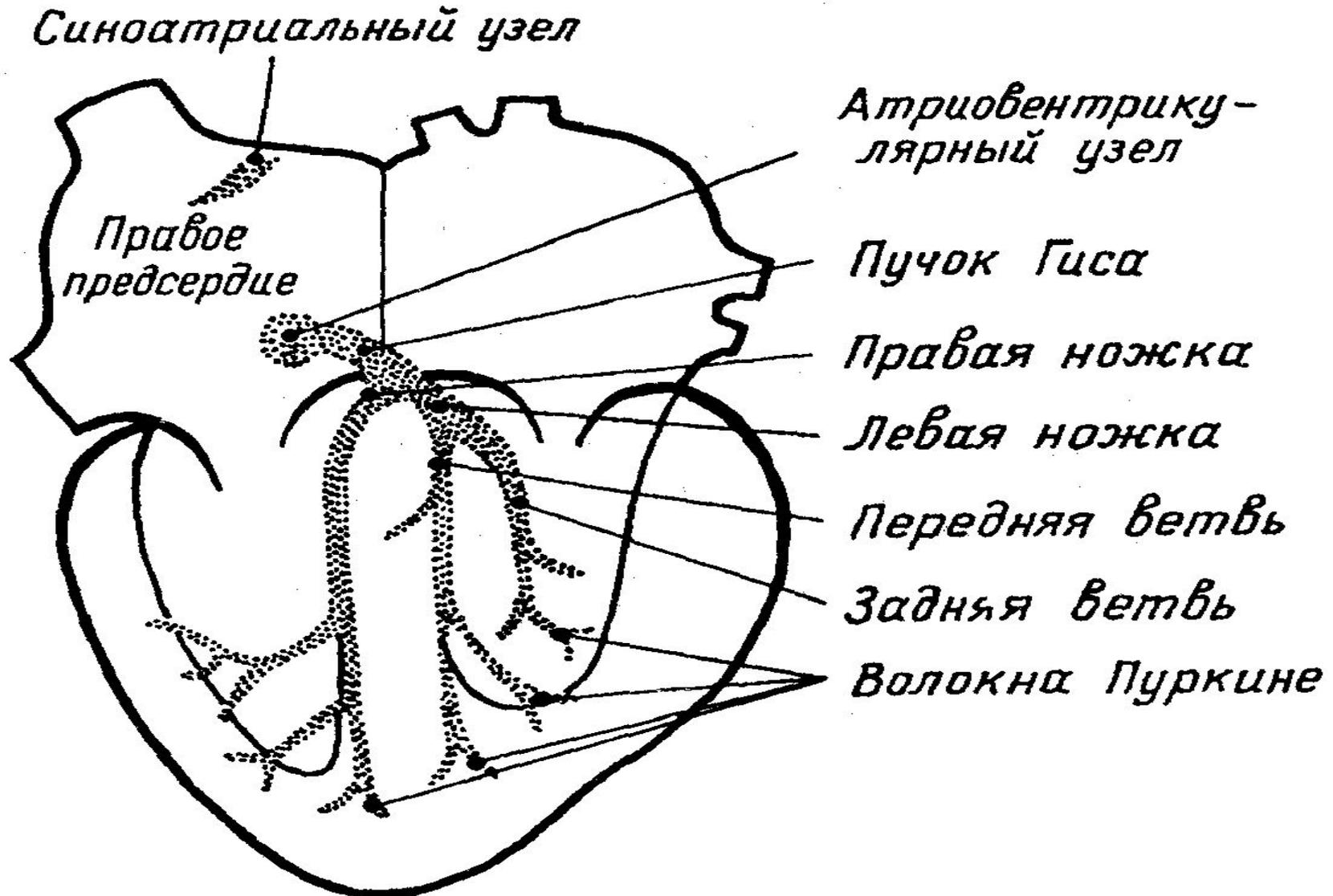
Давление в камерах сердца в различные фазы сердечного цикла



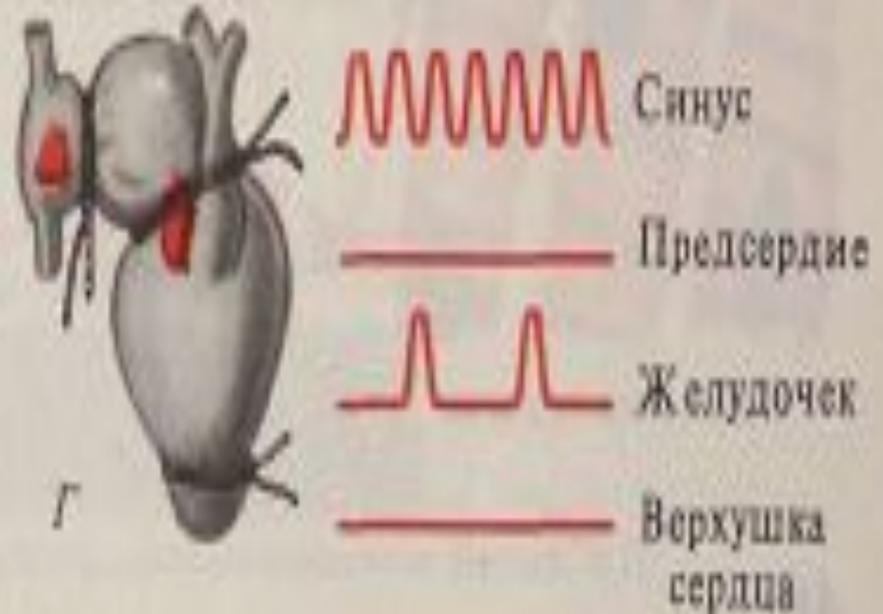
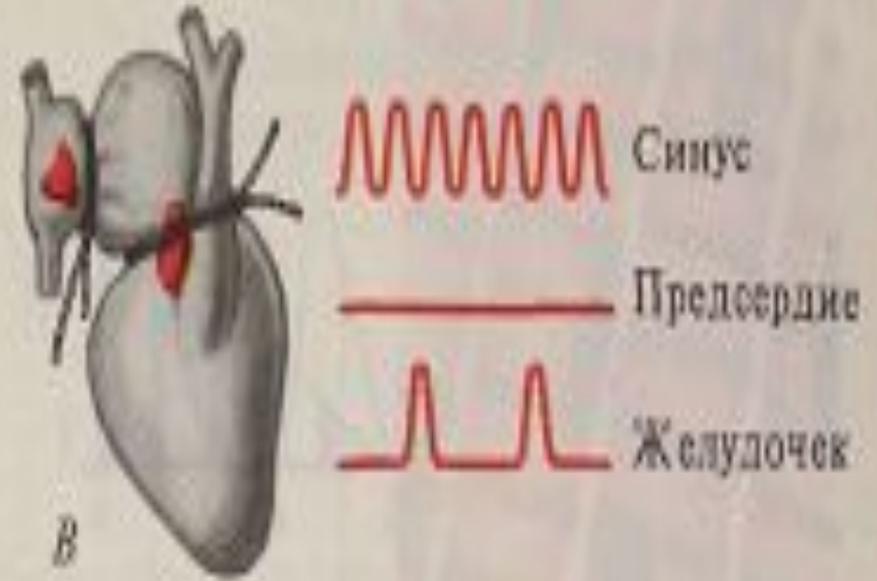
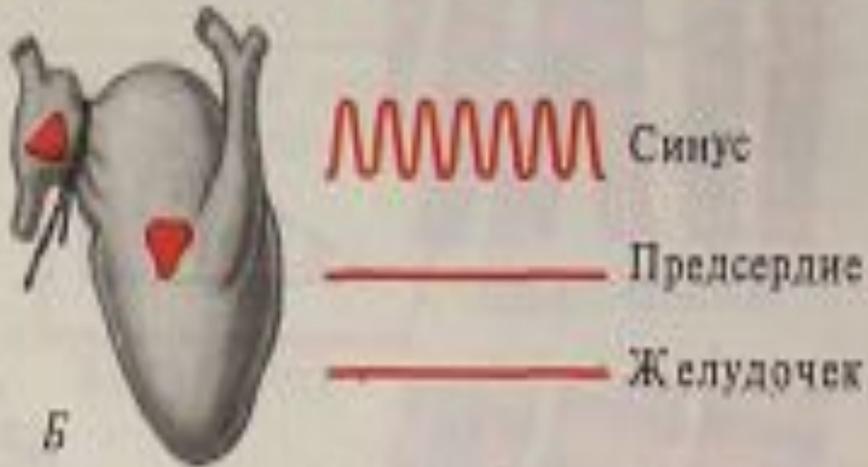
Изменения объема левого желудочка и колебания давления в левом предсердии, левом желудочке и аорте в течение сердечного цикла.

I — начало систолы предсердий; II — начало систолы желудочков и момент захлопывания атриовентрикулярных клапанов; III — момент раскрытия полулунных клапанов; IV — конец систолы желудочков и момент закрытия полулунных клапанов; V — раскрытие атриовентрикулярных клапанов. Опускание линии, показывающей объем желудочков, соответствует динамике их опорожнения.

Схематическое строение проводящей системы сердца



Опыт Станиуса с лигатурами



Структура миокарда

- 1) клетки рабочего миокарда,
- 2) клетки проводящей системы сердца
 - - клетки, генерирующие импульсы - пейсмекерные клетки,
 - - клетки переходные,
 - - клетки Пуркине
- 3) Эндокринные

Клетки рабочего миокарда

- Клетки вытянутой формы, миофибриллы развиты и расположены упорядоченно. Митохондрии крупные. Структура миофибрилл такая же, как в скелетных мышцах. Миофибриллы образуют пучки - миофиламенты.
- Клетки миокарда расположены в виде цепочки. В клетках рабочего миокарда имеется саркоплазматический ретикулум который включает систему поперечных трубочек (Т-система) и систему продольных трубочек (L -система).
- Поперечные трубочки представляют выпячивание плазматической мембраны на уровне полосок Z ,
- Т-система в сердце развита слабее, чем в скелетных мышцах, особенно в предсердиях. По некоторым данным в предсердиях вообще отсутствует Т-система.
- Система продольных трубочек в сердце также развита слабее.

Кардиомиоциты

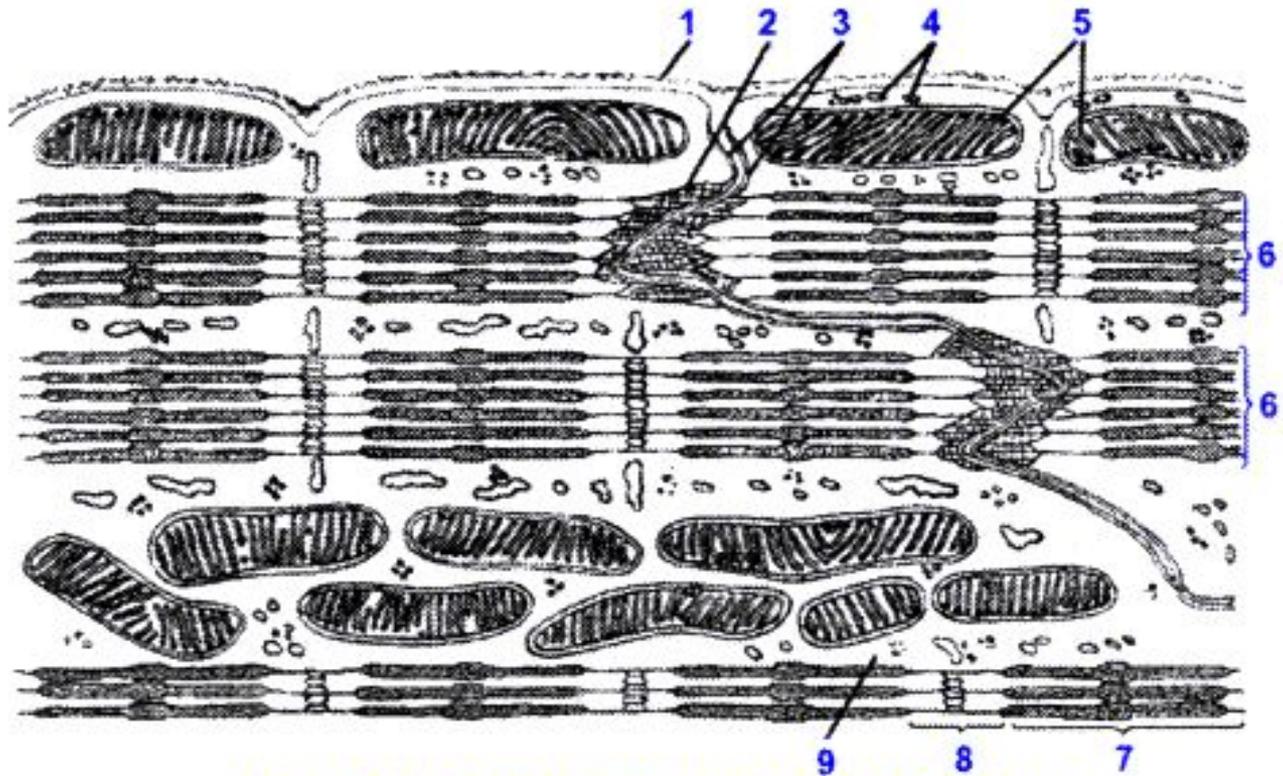
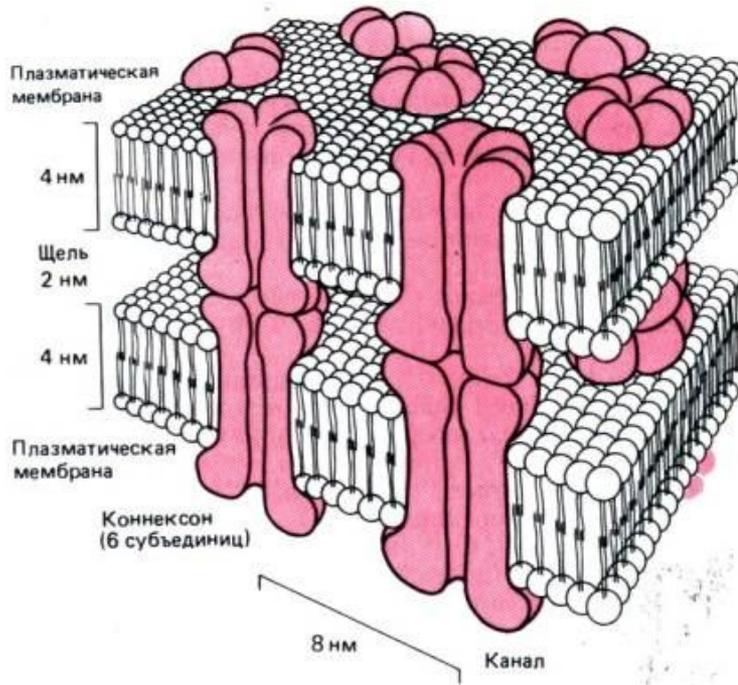


Рис. 126. Схема строения кардиомиоцита:

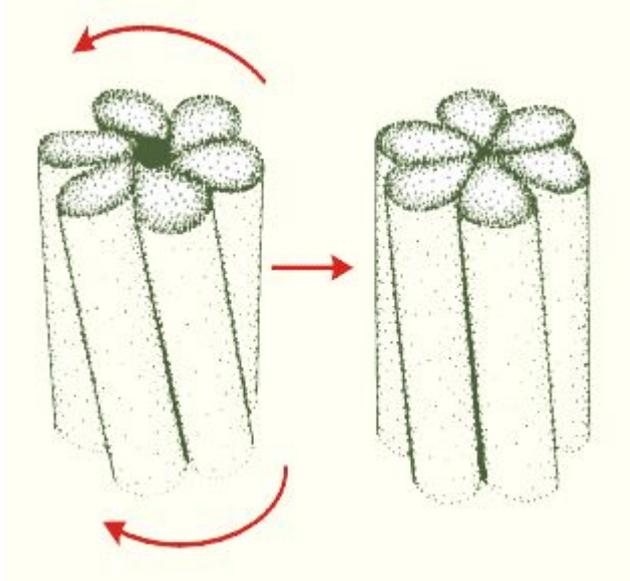
- 1 – базальная оболочка мышечного волокна;
- 2 – вставочный диск;
- 3 – окончание миофибрилл на цитолемме;
- 4 – эндоплазматическая сеть;
- 5 – митохондрии;
- 6 – миофибриллы;
- 7 – диск А (анизотропный диск);
- 8 – диск I (изотропный диск);
- 9 – саркоплазма (по Ф. Шестранду)

Щелевые контакты (нексусы)



- Обеспечивает ионное и метаболическое сопряжение клеток. Плазматические мембраны клеток, образующих щелевой контакт, разделены щелью шириной 2-4 нм.
- Коннексон - трансмембранный белок цилиндрической конфигурации; состоит из 6 СЕ коннексина. Два коннексона соседних клеток соединяются в межмембранном пространстве и образуют канал между клетками (рис. 4-5).
- Канал коннексона диаметром от 1,2 нм до 2,0 нм пропускает ионы и молекулы с M_r до 1,5 кД в обе стороны и обеспечивают электрическое сопряжение связанных клеток.

Нексус



- Нексусы – область вставочного диска, где плазматические мембраны двух соседних клеток тесно примыкают друг к другу
- Нексусы расположены преимущественно на продольной поверхности вставочного диска и имеют протяженность до 1 мкм

Р-клетки

- Малое содержание миофибрилл, отсутствие Т-системы, слабое развитие саркоплазматического ретикулума (L - системы) .
- Р-клетки объединяются в группы, окруженные базальной мембраной.
- Р-клетки соединяется между собой посредством контактов с расстоянием между мембранами клеток до 70 А.

Переходные клетки

- Обнаруживаются в предсердиях, атриовентрикулярном узле (наибольшее количество), в желудочках.
- Это тонкие, вытянутые клетки с более развитыми миофибриллами. Т-система отсутствует.
- Выполняют функцию передачи возбуждения с Р-клеток на другие клеточные элементы в предсердиях, в атриовентрикулярно. узле, с клеток Пуркине на клетки рабочего миокарда. Физиологической особенностью переходных клеток является медленное проведение возбуждения.

Клетки Пуркине

- Осуществляют передачу возбуждения на миокард желудочков. Клетки широкие и короткие.
- Количество миофибрил больше по сравнению с другими клетками проводящей системы, но меньше, чем в клетках рабочего миокарда. Саркоплазматический ретикулум также больше развит, но меньше по сравнению с его развитием в клетках рабочего миокарда. Т-система отсутствует.
- У человека более похожи на клетки рабочего миокарда. Соединяясь конец в конец, они образуют цепочки. Группы клеток образуют пучки, окруженные базальной мембраной.

Секреторные кардиомиоциты

- Встречаются преимущественно в правом предсердии и ушках сердца. В цитоплазме этих клеток располагаются гранулы, содержащие пептидный гормон - предсердный натрийуретический фактор (ПНФ).