

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ИВАНОВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ МЕДИЦИНСКАЯ АКАДЕМИЯ»
ФЕДЕРАЛЬНОГО АГЕНТСТВА ПО ЗДРАВООХРАНЕНИЮ
И СОЦИАЛЬНОМУ РАЗВИТИЮ
Кафедра нормальной физиологии

НОРМАЛЬНАЯ ФИЗИОЛОГИЯ В ВОПРОСАХ И ОТВЕТАХ

ФИЗИОЛОГИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ

Выпуск 2

**Гемодинамика, региональное кровообращение,
клинические методы исследования
сердечно-сосудистой системы**

Учебно-методические разработки
для иностранных студентов

Иваново 2009

Составители: А.Н.Булыгин
И.Г.Колодина
С.Б.Назаров

Научный редактор – зав. кафедрой нормальной физиологии, физики, математики и информатики ГОУ ВПО ИвГМА Росздрава, доктор медицинских наук, профессор **С.Б.Назаров**

Учебно-методические разработки составлены для иностранных студентов 2 курса, изучающих курс нормальной физиологии в соответствии с учебной программой по этому предмету для студентов высших медицинских учебных заведений (Москва, 2006). В этом выпуске рассматриваются вопросы раздела «Физиология сердечно-сосудистой системы» по темам: «Гемодинамика», «Региональное кровообращение», «Клинические методы исследования сердечно-сосудистой системы». В ответах на вопросы использованы как основные учебные пособия для студентов, так и сведения из лекционного материала.

Гемодинамика

1. Что называется гемодинамикой?

Гемодинамика – это раздел физиологии, в котором рассматриваются закономерности движения крови в сердечно-сосудистой системе. В основе гемодинамики лежат законы *гидродинамики* – раздела физики, в котором изучаются причины, особенности и общие принципы движения жидкостей по различным гидродинамическим системам.

2. Почему кровь в сосудистой системе движется в строго определенном направлении? Что является движущей силой, обеспечивающей кровоток?

В гидродинамике причины движения жидкости по трубам в одном направлении описываются уравнением:

$$Q = \frac{P_1 - P_2}{R} \quad (1), \text{ где}$$

Q – объемная скорость движения жидкости;

P_1 – гидростатическое давление жидкости в начале трубы;

P_2 – гидростатическое давление жидкости в конце трубы;

R – сопротивление движению жидкости.

Таким образом, чем больше разность давлений между начальным и конечным участком трубы и чем меньше сопротивление току жидкости, тем больше жидкости протекает через участок этой трубы за единицу времени.

Чем больше сопротивление движению жидкости, тем меньший ее объем протекает по сосудистой системе.

По аналогии с этим уравнением, в гемодинамике для описания причин движения крови по сосуду или сосудистой системе в целом, используется то же самое уравнение, только с другими обозначениями. Например, для анализа причин кровотока в большом круге кровообращения это уравнение будет выглядеть следующим образом:

$$Q = \frac{P_a - P_v}{R} \quad (2), \text{ где}$$

Q – объемная скорость движения крови;

P_a – гидростатическое давление крови в аорте;

P_v – гидростатическое давление крови в полых венах;

R – общее сопротивление движению крови в сосудах большого круга кровообращения.

Следовательно, основной движущей силой, обеспечивающей кровоток в сосудистой системе, является разность давлений в начале и в конце этой системы. Для большого круга это разность кровяного давления в аорте и полых венах; для малого круга – в легочном стволе и легочных венах. Основной движущей силе противодействует сопротивление (R), которое испытывает кровь при движении по сосудам.

Объемная скорость кровотока – это показатель, характеризующий объем крови, протекающий через поперечное сечение сосуда (участка сосудистого русла) за единицу времени. Измеряется в л/мин, мл/с и др.

Гидростатическое давление крови – это давление крови на стенку сосуда. Измеряется оно в мм рт. ст. и называется **кровяным давлением**. Если кровяное давление измеряется в артериях, его называют **артериальным**, если в капиллярах – **капиллярным**, если в венах – **венозным** (см. вопрос 5).

Общее сопротивление движению крови в сосудистой системе будет рассмотрено в вопросе № 6.

3. Какова объемная скорость кровотока в большом и малом кругах кровообращения?

Объемная скорость кровотока может быть представлена как МОК, то есть минутный объем крови (см. «Физиология сердечно-сосудистой системы» № 1, вопрос 31). МОК в покое составляет у взрослого человека около 5 литров в минуту, как для большого, так и для малого кругов кровообращения.

Если в большом и малом кругах кровообращения объемная скорость кровотока *будет разной*, то это быстро вызовет переполнение кровью одного из них. Следствием *переполнения большого круга кровообращения* будет *излишнее депонирование и застой крови в тканях и органах, что приведет к отекам тканей, увеличению объема трансудата (жидкости внутри брюшной и грудной полости)*. Переполнение малого круга кровообращения приведет к *отеку легких, а значит, к нарушению газообмена, прекращению дыхания и летальному исходу*.

При физической нагрузке или эмоциональном возбуждении объемная скорость кровотока возрастает в связи с усилением работы сердца (необходимо больше поставлять тканям кислорода и питательных веществ, так как возрастает уровень метаболизма!). В этих ситуациях МОК может составлять 15-20 л/мин и более.

4. Какова величина артериального давления в начале большого и малого кругов кровообращения?

Артериальное давление меняется на протяжении сердечного цикла. Поэтому различают следующие его виды:

- **систолическое** – максимальное давление в крупных артериях, отмечаемое в конце фазы быстрого изгнания (у взрослого человека в норме составляет 100-140 мм рт. ст. для большого круга и 25-35 мм рт. ст. для малого круга кровообращения);
- **диастолическое** – минимальное давление в крупных артериях, отмечаемое перед началом периода изгнания (у взрослого человека в норме состав-

ляет 60-90 мм рт. ст. для большого и 15-20 мм рт. ст. для малого круга кровообращения);

- **пульсовое** – разность между систолическим и диастолическим давлением (из приведенных выше данных видно, что величина пульсового давления больше в сосудах большого круга кровообращения);

- **среднее (среднее динамическое)** – расчетное давление, которое могло бы в отсутствии пульсовых колебаний артериального давления обеспечивать ту же самую гемодинамику в микроциркуляторном русле, как и при обычном колебании артериального давления (из приведенных выше данных видно, что величина среднего артериального давления значительно выше в сосудах большого круга кровообращения).

Для гемодинамических расчетов используется обычно среднее артериальное давление, которое при нормальной частоте работы сердца рассчитывается по следующей формуле:

$$P_{CP} = P_D + \frac{1}{3}P_n \quad (3), \text{ где}$$

P_{CP} – среднее артериальное давление;

P_D – диастолическое давление;

P_n – пульсовое давление.

Из приведенной формулы видно, что **среднее артериальное давление не является средним арифметическим между систолическим и диастолическим** артериальным давлением и по своему значению несколько **ближе к диастолическому**. Это объясняется тем, что продолжительность диастолы больше, чем продолжительность систолы, что повышает «удельный вес» (вклад) диастолического давления в создании среднего артериального давления

В начале кругов кровообращения артериальное давление существенно различается. Если в аорте **среднее артериальное давление** составляет 90-100 мм рт. ст., то в легочном стволе 20-25 мм рт. ст.

Отклонение величины АД от нормы обозначают терминами **гипертензия** (повышение) и **гипотензия** (понижение). Исходя из границ нормы (приведены выше):

гипертензия – СД \geq 140 мм рт. ст.; ДД \geq 90 мм рт. ст.;

гипотензия – СД $<$ 100мм рт. ст.; ДД $<$ 60 мм рт. ст.

5. Какова величина кровяного давления в конце большого и малого кругов кровообращения?

В конце большого и малого кругов кровообращения, то есть, в полых и легочных венах кровяное давление близко к 0 и в расчетах гемодинамических показателей это давление (P_e) практически принимают за 0 (см. вопрос 2). Таким образом, формула (2) принимает следующий вид:

$$Q = \frac{Pa}{R} \quad (4).$$

6. От чего зависит сопротивление движению крови?

Сопротивление движению крови (R) создается *вязкостью самой крови и силой ее трения о стенки сосуда*. **Вязкость крови** зависит от концентрации форменных элементов крови и, прежде всего, эритроцитов. Кроме того, на вязкость крови влияет концентрация белков плазмы крови. То есть чем больше будет концентрация эритроцитов и концентрация белков плазмы крови, тем выше будет вязкость крови. **Сила трения** при прочих равных условиях будет тем выше, чем больше площадь соприкосновения движущейся крови со стенкой сосуда. Таким образом, сопротивление кровотоку зависит от целого ряда причин, описываемых формулой, производной из уравнения Гагена-Пуазейля:

$$R = \frac{8\eta l}{\pi r^4} \quad (5), \text{ где}$$

- η – вязкость крови;
- l – длина сосуда (сосудистого русла);
- π – пи (постоянная величина);
- r – радиус сосуда.

Таким образом, при анализе этой формулы видно, что наибольшее сопротивление кровотоку оказывают мелкие сосуды микроциркуляторного русла. Специальные расчеты и эксперименты убеждают, что из мелких сосудов самое большое сопротивление оказывают артериолы (И.М.Сеченов называл артериолы «кранами» сердечно-сосудистой системы, так как от их состояния зависит с одной стороны количество крови, попадающее в сосуды микроциркуляторного русла, а с другой стороны – величина системного артериального давления).

При сопоставлении величины R для сосудистого русла большого и малого кругов кровообращения становится понятным, что для большого круга эта величина значительно *выше*, так как *больше* общая протяженность сосудов, а просвет мелких сосудов *меньше* по сравнению с аналогичными сосудами малого круга.

7. Какие факторы влияют на величину артериального давления?

Исследование артериального давления имеет большое клиническое значение. Измеряя его, врач должен четко понимать причины (факторы), от изменения которых зависит величина артериального давления (АД). Для понимания этих факторов удобно воспользоваться уравнением (4), из которого можно вывести следующее уравнение:

$$P_a = Q \times R \quad (6)$$

Анализируя каждую его составляющую, из него можно логически вывести все факторы, от которых зависит артериальное давление:

- ***Q*** (**объемную скорость кровотока**) можно представить как:

$$Q = ЧСС \times CO,$$

следовательно, величина АД зависит от **частоты сердечных сокращений** и величины **систолического объема**. На величину систолического объема, в свою очередь, влияют **сила сердечных сокращений** и **объем циркулирующей крови**.

- ***R*** (**сопротивление движению крови**). Из анализа величины **R** ($R = \frac{8\eta l}{\pi r^4}$) вытекают следующие факторы (см. вопрос 6): **вязкость крови, длина** и **просвет сосудов**.

Исходя из вышесказанного, на величину АД будут влиять:

1. Частота сокращений сердца

С увеличением частоты сокращений, увеличивается артериальное давление. При этом, прежде всего, возрастает диастолическое давление, так как укорачивается время диастолы, и кровяное давление в артериях после систолы не успевает снизиться до исходного уровня диастолического давления.

2. Сила сокращения желудочков

Чем больше сила сокращения желудочков, тем выше артериальное давление. В этом случае, прежде всего, повышается систолическое давление, так как оно прямо зависит от величины систолического объема крови.

3. Объем циркулирующей крови (ОЦК)

Чем больше ОЦК, тем выше артериальное давление.

4. Вязкость крови

С увеличением вязкости крови, например, при увеличении концентрации эритроцитов, артериальное давление возрастает.

5. Длина сосудов (сосудистого русла)

У взрослого человека в норме длина сосудов практически не меняется. Но в процессе роста человека этот фактор является одним из определяющих возрастное увеличение артериального давления.

6. Просвет сосудов

В данном случае, прежде всего, речь идет о просвете мелких артериальных сосудов, сужение которых затрудняет отток крови из артериальной системы в сосуды микроциркуляторного русла. Тем самым создаются условия, способствующие повышению диастолического артериального давления, вслед за которым возрастает и систолическое давление.

8. Как и почему изменяется линейная скорость кровотока в сосудах разного калибра?

Как было сказано выше (см. вопрос 3), гемодинамика характеризуется понятием **объемная скорость** кровотока. Но для характеристики кровотока существует и другая немаловажная величина – **линейная скорость**.

Линейная скорость – это показатель, характеризующий расстояние, которое проходит частица крови вдоль продольной оси сосуда за единицу времени; измеряется в см/с или мм/с.

Понятия объемная и линейная скорость кровотока тесно взаимосвязаны. Из курса физики известна схема (рис.1), отражающая особенности движения жидкости в гидродинамической системе, состоящей из труб разного диаметра. Суть ее заключается в том, что если, например, в узкий конец трубы за единицу времени притекает какой-то объем крови, то это означает, что тот же самый объем в это время вытекает из широкого ее конца. То есть объемная скорость (Q) движения жидкости по данной гидродинамической системе величина постоянная.

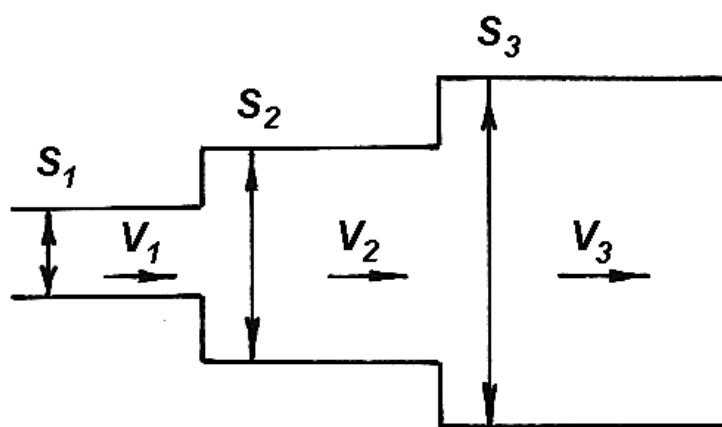


Рис. 1. Зависимость между линейной скоростью кровотока (V) и суммарной площадью поперечного сечения сосудов (S); $S_1 < S_2 < S_3$; $V_1 > V_2 > V_3$

Исходя из формул (7,8) становится ясно, что для участков трубы (1), (2), и (3) будет верным выражение $V_1 S_1 = V_2 S_2 = V_3 S_3$, так как $Q_1 = Q_2 = Q_3$. Но если $S_1 < S_2 < S_3$, то это означает, что $V_1 > V_2 > V_3$, то есть чем больше диаметр трубы, тем меньше линейная скорость движения жидкости. И, наоборот, чем уже труба, тем больше в ней линейная скорость движения жидкости.

$$v = \frac{Q}{S} \quad (7), \quad Q = v \cdot S \quad (8), \text{ где}$$

- V - линейная скорость движения жидкости;
- Q – объемная скорость движения жидкости;
- S - площадь поперечного сечения участка трубы.

Подобная взаимосвязь между линейной и объемной скоростью имеет место и в сосудистой системе. Например, понятно, что *по ходу большого круга кровообращения объемная скорость величина постоянная*. Это означает, что если из левого желудочка через аорту за одну минуту вытекает 5 литров крови, то и через поперечное сечение всех ее ветвей в это время протекает 5 литров крови. А, значит, через поперечное сечение всех артериол, или всех капилляров за ту же самую минуту протекает тот же объем крови. Те же 5 литров крови за эту минуту попадают в правое предсердие из

полых вен. То есть, для всех выше названных сечений сосудистого русла будет одинаковым выражение:

$$Q=V \cdot S \quad (9), \text{ где}$$

Q – объемная скорость кровотока на различных участках (сечениях) сосудистого русла;

V – линейная скорость кровотока на различных участках (сечениях) сосудистого русла;

S - площадь поперечного сечения сосудистого русла на различных его участках (сечениях).

Но суммарная площадь поперечного сечения ветвей аорты больше, чем площадь поперечного сечения самой аорты. А суммарная площадь поперечного сечения самых узких сосудов–капилляров больше площади поперечного сечения аорты в 600-1000 раз. Таким образом, получается, что аорта – самый широкий сосуд в нашем организме, одновременно является самым узким местом в сердечно-сосудистой системе и здесь наибольшая средняя линейная скорость кровотока (20-25 см/сек). С другой стороны в капиллярах - самых узких сосудах, суммарная площадь поперечного сечения которых во много раз превосходит площадь сечения аорты, линейная скорость движения крови минимальна (3-5мм/сек). Динамика линейной скорости кровотока в сосудах разного калибра представлена на рисунке 2.

Таким образом, как следует из формулы (7) *линейная скорость кровотока (V) зависит от объемной скорости кровотока (Q) и от суммарной площади поперечного сечения сосудов (S).*

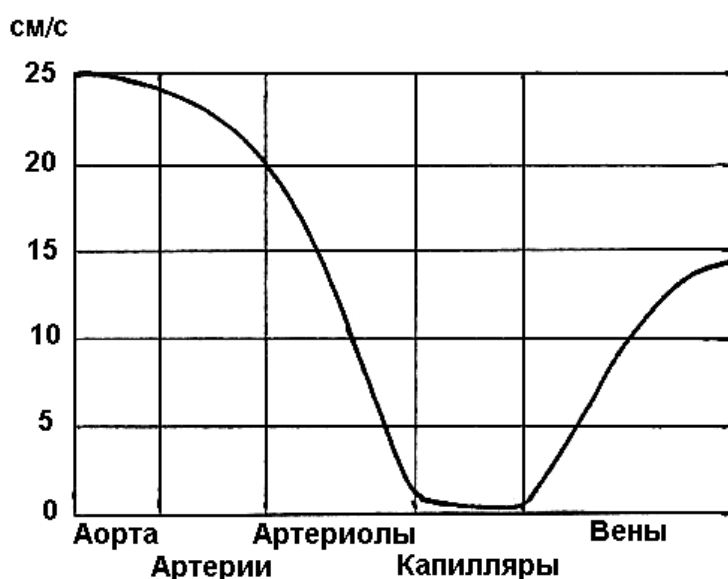


Рис. 2. Линейная скорость кровотока в сосудах большого круга кровообращения

9. Каково функциональное значение различной линейной скорости кровотока в сосудах разного калибра?

Высокая линейная скорость кровотока в артериальных сосудах необходима для быстрой доставки крови к сосудам микроциркуляторного русла. В состоянии повышенной функциональной активности организма (например, при физической нагрузке) линейная скорость кровотока в сосудах артериальной системы существенно возрастает за счет увеличения объемной скорости кровотока. Это необходимо для еще более быстрой доставки крови к тканям, остро нуждающимся в кислороде и питательных веществах.

Резкое замедление кровотока в капиллярах необходимо для обеспечения нормального транспорта питательных веществ, продуктов метаболизма и газов через гистогематические барьеры. В состоянии повышенной функциональной активности линейная скорость в капиллярах возрастает незначительно, так как включаются (раскрываются) множество дополнительных резервных капилляров, обеспечивающих *функциональную гиперемия* органа или ткани (при этом суммарная площадь поперечного сечения капилляров значительно возрастает, благодаря чему не происходит существенного увеличения линейной скорости кровотока).

Возрастание линейной скорости кровотока в венах необходимо для более быстрого венозного возврата крови к сердцу, что должно обеспечить достаточный выброс крови из сердца и нормальное системное артериальное давление крови.

10. Что способствует венозному возврату крови по венам из нижних конечностей?

В отличие от животных, человек значительную часть жизни проводит в вертикальной позе. При этом возникают естественные затруднения с возвратом крови к сердцу из нижних конечностей и нижней части туловища в связи с тем, что кровь, имеющая определенную массу, должна двигаться против силы земного притяжения. В связи с этим у человека, в процессе эволюции появились приспособительные механизмы, которые в норме способствуют продвижению крови вверх к сердцу. Эти механизмы обеспечиваются как анатомическими, так и физиологическими особенностями организма человека:

- отрицательное давление в грудной полости, которое «присасывает» кровь, движущуюся по нижней полой вене;
- расслабление правого предсердия, в результате которого кровь «присасывается» из нижней полой вены;
- сокращение диафрагмы и повышение внутрибрюшного давления на вдохе, что способствует выходу некоторой порции крови из печени (депо крови);
- наличие клапанов в глубоких венах нижних конечностей, которые препятствуют движению крови вниз по венам;
- сокращение скелетных мышц нижних конечностей, которое приводит к «выдавливанию» крови из вен и движению ее вверх (движению вниз мешают клапаны).

11. Что понимают под микроциркуляцией?

Микроциркуляция – это движение крови по мельчайшим кровеносным и лимфатическим сосудам, перемещение интерстициальной жидкости около капилляров, а также транспорт жидкости через стенку капилляров.

Транспорт жидкости через стенку мельчайших кровеносных и лимфатических сосудов имеет первостепенное значение для нормального метаболизма клеток, тканей, а значит, и всего организма.

12. Какова причина транспорта воды и растворенных в ней веществ через стенку кровеносного капилляра в системе большого круга кровообращения?

Причины транспорта воды и растворенных в ней веществ через стенку капилляра (гистогематический барьер) были описаны Э. Старлингом (1909). Таких причин две:

- **гидростатическое давление** крови и тканевой жидкости (см. вопрос 2);
- **онкотическое давление** крови и тканевой жидкости, то есть давление, обусловленное белками, удерживающими около себя воду или «притягивающими» ее из другой среды.

Соотношение этих величин на артериальном и венозном конце капилляра разное.

На артериальном конце капилляра **гидростатическое давление** ($ГД_{кр}$) крови составляет около 30 мм рт. ст. Эта величина способствует процессу фильтрации жидкости из капилляра, так как гидростатическое давление тканевой жидкости принимается за 0 (то есть равно атмосферному давлению). Фильтрации воды способствует **онкотическое давление** ($ОД_{тк}$) тканевой жидкости, обусловленное небольшим количеством содержащегося в ней белка. Но содержание белка в крови значительно больше. Поэтому и онкотическое давление крови выше и составляет около 25 мм рт. ст. Это давление препятствует фильтрации воды на артериальном конце капилляра. Поэтому общее **фильтрационное давление** ($\Phi Д$) на артериальном конце будет равно:

$$\Phi Д = ГД_{кр} + ОД_{тк} - ОД_{кр} = 30 + 5 - 25 = 10 \text{ мм рт. ст.}$$

Под действием фильтрационного давления вода и растворенные в ней питательные вещества выходят в тканевую жидкость.

На венозном конце капилляра гидростатическое давление крови и онкотическое давление тканевой жидкости препятствуют реабсорбции, а онкотическое давление крови способствует реабсорбции. Гидростатическое давление крови составляет около 15 мм рт. ст., а онкотическое давление тканевой жидкости и крови остаются практически без изменений. В связи с этим вода с растворенными в ней веществами будет поступать из тканевой жидкости в кровь, то есть реабсорбироваться. Исходя из выше приведенных данных, **реабсорбционное давление** ($РД$) на венозном конце капилляра будет равно:

$$PD = OD_{кр} - GD_{кр} - OD_{тк} = 25 - 15 - 5 = 5 \text{ мм рт. ст.}$$

Под действием реабсорбционного давления вода и растворенные в ней продукты метаболизма уходят из тканевой жидкости в кровь.

13. Какой физиологический смысл имеет существенная разность между фильтрационным и реабсорбционным давлением в капилляре?

Во-первых, следует иметь в виду, что *проницаемость стенки венозного конца капилляра для воды больше, чем стенки артериального конца*. Это способствует уравниванию потоков жидкости через стенку капилляра, но не в полном объеме.

Во-вторых, *преобладающий поток жидкости из крови в тканевую жидкость* создает постоянное давление интерстициальной жидкости, необходимое для фильтрации части ее в лимфатические капилляры, то есть **способствует процессу лимфообразования**.

Если объем жидкости, фильтрующейся на артериальном конце капилляра будет существенно преобладать над объемом жидкости, реабсорбируемой на венозном конце, то это приведет к отекам. Отеки, то есть застой жидкости в тканях, в свою очередь будут способствовать более интенсивному лимфообразованию. Если объем жидкости, фильтрующейся на артериальном конце капилляра сравняется или станет меньше объема жидкости, реабсорбируемой на венозном конце капилляра, то это приведет к обезвоживанию тканей и к нарушению процесса лимфообразования, а значит, к нарушению функций лимфатической системы в организме человека.

14. Какие причины способствуют образованию лимфы?

Образованию лимфы способствуют следующие факторы:

- процесс фильтрации интерстициальной жидкости в лимфатические капилляры, если ее гидростатическое давление превышает гидростатическое давление в лимфатическом капилляре;
- отрицательное давление (ниже атмосферного) в лимфатических капиллярах, которое создается за счет активного сокращения стенки лимфатических сосудов, способствующих тем самым продвижению лимфы по лимфатическим сосудам (движению лимфы способствует и отрицательное давление в грудной полости);
- транспорт белков через стенку лимфатического капилляра путем пиноцитоза;
- активный транспорт целого ряда веществ (например, хиломикронов) через эндотелиоциты лимфатических капилляров.

15. Каковы функции лимфатической системы?

Лимфатическая система с одной стороны является самостоятельной системой, а с другой стороны является существенным дополнением к сердечно-сосудистой системе. Поэтому и функции лимфатической системы тесно связаны с функциями сердечно-сосудистой системы. Наиболее важными среди них являются ниже перечисленные функции.

1) Дренажная

Эта функция обеспечивает динамическое постоянство объема и состава интерстициальной жидкости. Благодаря этой функции из межклеточного пространства удаляются излишки жидкости, попавшей туда из системы кровообращения. Это препятствует возникновению отеков в тканях, а значит, сдавлению клеток и нарушению их трофики. Таким образом, лимфатическая система участвует в обмене воды в организме человека.

2) Детоксикационная

С лимфой происходит удаление из межклеточного пространства измененных по своей структуре белков, накапливающихся при нарушениях обмена или отравлениях токсинами, разрушенных клеток и др.

3) Защитная

Лимфатическая система участвует в реализации клеточного и гуморального иммунитета, транспортируя антигены, антитела, формируя первичный и вторичный иммунные ответы и др. В лимфатических узлах идет дифференцировка попавших сюда лимфоцитов (в основном Т-лимфоцитов)

4) Участие в обмене белков и солей

Через лимфатическую систему постоянно идет возврат в кровь белков и электролитов, попавших в тканевую жидкость и не подвергшихся реабсорбции на венозном конце капилляра.

5) Участие в обмене веществ

В процессе пищеварения происходит всасывание в лимфу в виде мономеров подвергшихся гидролизу питательных веществ (в основном липидов).

16. Что способствует продвижению лимфы по лимфатическим сосудам?

Движению лимфы способствуют те же факторы, которые облегчают движение крови по венам (см. вопрос 10). К этому нужно добавить, что стенка лимфатических сосудов способна ритмически сокращаться за счет работы пейсмекерных клеток гладких мышц.

Таким образом, мы рассмотрели основные закономерности гидродинамики по отношению к движению крови, интерстициальной жидкости и лимфы. Понятно, что нормальное состояние микроциркуляции – это главное условие нормального метаболизма. Одним из основных факторов, определяющих интенсивность микроциркуляции, является системное артериальное давление (зона высокого артериального давления!), благодаря которому создается возможность движения крови по сосудистой системе. Конкретное же количество крови, которое подойдет к органу, во многом зависит от его функциональной активности и ряда других факторов, о которых мы поговорим ниже.

А сейчас перед нами стоит задача – рассмотреть вопросы саморегуляции артериального давления, то есть выяснить механизмы, благодаря которым обеспечивается постоянство АД в состоянии покоя и изменение его в случае необходимости.

В вопросе № 7 рассматривались факторы, от которых зависит системное артериальное давление. При изменении любого из этих факторов будет меняться и артериальное давление. В качестве иллюстрации рассмотрим уменьшение объема циркулирующей крови, которое происходит при любой кровопотере. При этом, естественно, снижается системное артериальное давление. Рассмотрим некоторые механизмы, с помощью которых в организме человека происходит восстановление артериального давления без вмешательства извне.

17. Каким образом можно классифицировать механизмы, обеспечивающие поддержание артериального давления на стабильном уровне?

Эти механизмы могут быть *нервными* и *гуморальными* и после изменения артериального давления по какой-либо причине они развиваются с разной скоростью. Поэтому в упрощенном виде выделяют следующие механизмы:

- ***быстрого реагирования;***
- ***медленного реагирования.***

Часто все эти механизмы в совокупности называют ***механизмами саморегуляции артериального давления.***

18. Каковы механизмы быстрого реагирования по поддержанию артериального давления?

Эти механизмы реагируют в течение нескольких секунд после изменения артериального давления. Они представлены *рефлексами с баро- и хеморецепторов* сосудов и направлены на изменение работы сердца и просвета сосудов.

В обеспечении этих реакций важное место уделяется многочисленным *барорецепторам* (механорецепторам), располагающимся в различных артериальных сосудах. Особенно много таких рецепторов в дуге аорты, в каротидном синусе, в легочном стволе (рефлексогенные зоны). Есть они и в камерах сердца, в перикарде, в коронарных и других органах сосудах. Эти рецепторы обеспечивают ***барорецепторный механизм*** саморегуляции АД.

В качестве примера функционирования механизмов быстрого реагирования мы договорились (см. выше) рассмотреть ситуацию со снижением артериального давления после кровопотери: в ответ на снижение артериального давления барорецепторы крупных сосудистых рефлексогенных зон активируются в меньшей степени, чем в норме, а значит, импульсы с меньшей частотой поступают к ядру блуждающего нерва и к депрессорному отделу сосудодвигательного центра. В результате тонус этих центров понижается.

Если *снижается тонус блуждающего нерва* (уменьшается его тормозное влияние на сердце), то усиливается и учащается работа сердца (см. вопросы по регуляции работы сердца) и увеличивается сердечный выброс.

Если *снижается тонус депрессорного отдела сосудодвигательного центра* (уменьшается его тормозное влияние на прессорный отдел), то происходит системное сужение кровеносных (артериол и венул) и лимфатических сосудов и затрудняется отток крови из артериальной системы, стимулируется выход крови из депо, увеличивается объем циркулирующей крови и венозный приток крови к сердцу.

В результате описанных изменений будет наблюдаться ***тенденция к восстановлению артериального давления или его полная нормализация.***

Особое место в механизмах быстрого реагирования занимают рефлекторные реакции с барорецепторов, располагающихся в устье полых вен. Например, при переполнении устьев полых вен происходит рефлекторное усиление работы сердца за счет торможения центра блуждающего нерва и активации симпатических кардиальных центров. В литературе этот рефлекс известен под названием ***рефлекс Бейнбриджа.***

Помимо барорецепторов, на понижение АД реагируют и хеморецепторы (так называемый ***хеморецепторный механизм*** саморегуляции АД). Например, при достаточно сильной кровопотере развивается гипоксемия (понижение содержания кислорода в крови) и гиперкапния (повышение содержания двуокси углерода). Эти изменения вызывают чрезмерное раздражение ***хеморецепторов*** сосудистых рефлексогенных зон, в результате чего повышается тонус прессорного отдела сосудодвигательного центра и системное сужение сосудов, быстро приводящее к восстановлению артериального давления.

Баро- и хеморецепторный механизмы достаточно эффективны, однако их особенностью является ***кратковременность действия***: около пяти минут – барорецепторный механизм и один час – хеморецепторный механизм. Нервные влияния дополняются ***действием гормонов***, в первую очередь ***адреналина и норадреналина***, выделяемыми мозговым веществом надпочечников. При различных воздействиях, вызывающих возбуждение симпатической нервной системы, происходит усиленное выделение этих гормонов (вспомните понятие ***«симптоадреналовая система»***).

19. Каковы механизмы медленного реагирования по поддержанию артериального давления?

Эти механизмы развиваются значительно медленнее и проявляются в течение несколько минут (или даже десятков минут). Среди них различают следующие механизмы, которые можно разобрать на том же примере с понижением артериального давления вследствие кровопотери:

- ***активация системы РААС***, то есть в ответ на уменьшение притока крови к почкам в ЮГА увеличивается выработка ***ренина***; ренин активирует в плазме крови переход ангиотензиногена в ангиотензин I; ангиотензин I превращается в ***ангиотензин II***; который является мощным сосудосуживающим веществом, стимулирует работу сердца и усиливает выработку ***альдостерона*** в корковом веществе надпочечников; альдостерон активирует симптоадре-

наловую систему (сужение сосудов) и, кроме того, увеличивает обратную реабсорбцию в почках ионов натрия, а значит, и воды;

- уменьшается выработка **натрийуретического гормона** (*атриального пептида - антагониста альдостерона*) в секреторных кардиомиоцитах предсердий, что также способствует задержке натрия и воды в организме;

- в связи со снижением гидростатического давления крови **в капиллярах увеличивается реабсорбция жидкости**, а значит, увеличивается и объем циркулирующей крови, что необходимо для восстановления артериального давления;

- **увеличивается выработка вазопрессина (АДГ)**, так как уменьшается частота импульсов, поступающих в ЦНС от волюморецепторов (механорецепторов) предсердий, полых и легочных вен; вазопрессин увеличивает обратную реабсорбцию воды в собирательных трубках почек и объем циркулирующей крови восстанавливается, а также вызывает сужение мелких сосудов;

- **возрастает базальный тонус сосудов;**

- при сильном падении артериального давления (ниже 70 мм рт. ст.) **прекращается процесс фильтрации в почках (анурия)**, что также приводит к сохранению жидкости в организме и в сосудистой системе, но одновременно приводит к тяжелейшему последствию – нарушению выделительной функции почек.

На рассмотренном примере кровопотери видно, что нормализация АД после его снижения обеспечивается многими механизмами. Эти механизмы сформировались в ходе филогенетического развития организма человека, так как наибольшую опасность для первобытного человека представляли состояния (травмы, кровопотеря), которые безусловно сопровождались снижением АД. В последнее время, наоборот, человек испытывает воздействие многочисленных факторов, вызывающих повышение АД (информационные и эмоциональные перегрузки и т. д.), однако механизмов, обеспечивающих нормализацию АД путем понижения, очень мало. К ним можно отнести барорецепторный механизм, изменение секреции АДГ (уменьшение), увеличение выработки атриального пептида в кардиомиоцитах (в тяжелых случаях натрийуретический гормон может вырабатываться даже рабочими кардиомиоцитами). Имеются еще два **пассивных механизма**, работающих в условиях патологии – усиление фильтрации в капиллярах:

- почек (увеличивает диурез);
- большого круга кровообращения (приводит к отекам).

Мы рассмотрели системные механизмы саморегуляции артериального давления, которые поддерживают его на постоянном уровне, несмотря на внешние воздействия, которые могли бы привести к его понижению или повышению.

Вместе с тем, как мы уже знаем, артериальное давление обеспечивает лишь системную гемодинамику (доставку крови к капиллярам), а кровоснабжение отдельных органов и тканей во многом зависит от особенностей местного (органного) кровотока. Рассмотрим особенности регионального кровообращения в некоторых органах.

20. Каковы особенности кровотока в сосудах легких?

В легких выделяют сосуды, относящиеся как к большому, так и к малому кругам кровообращения. Кровообращение в системе сосудов малого круга имеет следующие особенности:

- **относительно низкое кровяное давление** (в легочной артерии – систолическое давление 25-35 мм рт. ст., диастолическое – 12-15 мм рт. ст.; в капиллярах – 6-7 мм рт. ст.; в легочных венах – около нуля);
- **низкое сопротивление сосудов микроциркуляторного русла** (короткие и относительно широкие капилляры);
- **неравномерное кровоснабжение различных участков легких** (в вертикальном положении лучше кровоснабжаются нижние, а хуже – верхние участки легкого);
- **низкий базальный тонус легочных вен и их хорошая растяжимость** (благодаря этому сосуды легких играют роль депо, вмещая дополнительно до 500 мл крови; объем крови в легких зависит от фазы дыхания – на вдохе возрастает, а на выдохе уменьшается);
- **просвет артериол и венул регулируется в основном гуморальными факторами;**
- **гипоксемия и гиперкапния вызывают не расширение** (как в других органах), **а сужение сосудов** (благодаря этому механизму не вентилируемые участки легкого выключаются из кровообращения).

21. Каковы особенности кровотока в сосудах головного мозга?

В сосудистой системе головного мозга есть **единая система распределения крови – это виллизиев круг, образуемый двумя позвоночными и двумя внутренними сонными артериями.** Из этого бассейна кровь поступает ко всем отделам головного мозга, кровоснабжение которых имеет следующие особенности:

- **сосуды мозга не могут вмещать дополнительно более 200 мл крови,** так как вместе с веществом мозга находятся в плотной черепной коробке, ограничивающей их расширение;
- **взаимосвязь гемодинамики и ликвородинамики** прослеживается в том, что избытки жидкости переходят в случае необходимости из одной системы в другую;
- **неравномерность кровотока** в различных отделах головного мозга:
 - лучше кровоснабжается серое вещество головного мозга, по сравнению с белым веществом;
 - степень кровоснабжения головного мозга убывает по мере отдаления от коры больших полушарий и с приближением к спинному мозгу;

- **относительная независимость кровотока головного мозга при изменении системного артериального давления в диапазоне от 60 до 180 мм рт. ст.**, она обеспечивается рядом факторов:

- **разветвление сосудов мозга чаще происходит под прямым или тупым углом**, что создает дополнительное сопротивление кровотоку и приводит к снижению высокого артериального давления;

- **наличие метаболической регуляции сосудов мозга**, то есть активно работающие участки мозга получают больше крови, чем участки, находящиеся в состоянии меньшей функциональной активности (проявляется влияние гиперкапнии, гипоксемии и ацидоза, развивающихся в активно функционирующих участках мозга);

- **наличие миогенной регуляции просвета сосудов** (феномен Остроумова-Бейлиса);

- **высокая плотность капиллярной сети (3500-4000 в 1 мм³) в ткани мозга, при отсутствии резервных капилляров (в покое функционируют все капилляры!).**

22. Каковы особенности кровотока в коронарных сосудах?

Кровоток в сосудах сердца, как и в сосудах других, жизненно важных органов, имеет свои особенности:

- **он зависит от фазы желудочкового цикла**, так как в систолу (период напряжения) происходит пережатие коронарных сосудов (особенно левой коронарной артерии) сокращающимся миокардом; таким образом, кровоснабжение сердца наиболее эффективно осуществляется в диастолу желудочков;

- **высокий базальный тонус сосудов**, благодаря которому в коронарных сосудах (в норме!) всегда существует возможность их расширения в случае необходимости, а значит, и улучшения кровотока миокарда;

- **способность коронарных сосудов расширяться:**

- при выделении продуктов метаболизма;

- за счет межклеточного взаимодействия, посредником в котором является оксид азота;

- при возбуждении симпатической нервной системы, которое опосредуется через норадреналин, взаимодействующий с β_2 -адренорецепторами.

23. Каковы особенности кровотока в сосудах почек?

К особенностям почечного кровотока следует отнести следующие:

- **почки имеют высокий уровень органного кровотока** (через них проходит 20-25% минутного объема крови);

- **в самой почке кровоток распределяется неравномерно** (около 90% крови идет в корковое вещество и только 10% поступает в мозговое вещество почки);

- **в сосудистой системе почки имеется два вида капиллярных сетей:**

- **первая сеть** представлена 20-40 капиллярами, находящимися в капсуле Шумлянско-Боумана и предназначена для первой фазы процесса мочео-

бразования – *филтрации*; здесь относительно высокое кровяное давление (≈ 50 мм рт. ст.); сюда притекает и отсюда вытекает артериальная кровь;

— *вторая сеть* – это обычные капилляры, оплетающие почечные канальцы; обеспечивают второй этап мочеобразования – *реабсорбцию* и обменные процессы в ткани почки;

- *обратная зависимость между кровотоком и метаболизмом* то есть, чем интенсивнее кровоток в ткани почки, тем более интенсивно протекают метаболические процессы (в других органах и тканях все наоборот); подробнее об этой особенности почечного кровотока вы узнаете в разделе «Физиология выделения»;

- для нормальной работы почек необходим высокий уровень органного кровотока (см. выше), а в связи с этим в почечных капиллярах очень *небольшая артериовенозная разница по кислороду (10-15 мл/литр)*.

Мы рассмотрели особенности системной и региональной гемодинамики у взрослого человека. Однако в антенатальном периоде (до рождения) и в раннем постнатальном периоде (после рождения) гемодинамика у человека имеет свои особенности. В последующих вопросах мы рассмотрим особенности кровообращения у плода и перестройку его после рождения.

24. Каким образом плод получает артериальную кровь?

Артериальная кровь поступает к плоду от плаценты по пупочной вене. Естественно, что содержание кислорода в артериальной крови плода несколько ниже, чем в артериальной крови матери, так как проходимость плацентарного барьера для газов существенно ниже, чем аэрогематического. Так, если парциальное напряжение в артериальной крови у матери составляет около 100 мм рт. столба, то у плода всего лишь 70 мм рт. ст.

25. Какова динамика движения крови у плода?

Артериальная кровь поступает в организм плода по непарной пупочной вене, которая делится на две ветви. По одной ветви (венозный, *аранциев проток*) большая часть крови поступает в нижнюю полую вену. По другой ветви кровь направляется к воротам печени (у плода только печень получает артериальную кровь с наиболее высоким содержанием кислорода!). Эта часть крови, пройдя печень, тоже вливается в нижнюю полую вену, а по ней в правое предсердие. У плода между правым и левым предсердиями существует овальное отверстие, а малый круг кровообращения практически не функционирует (сюда поступает всего около 10% крови) и его сосуды, находящиеся в спавшемся состоянии, оказывают высокое сопротивление кровотоку. В связи с этим основной объем крови из правого предсердия идет не в правый желудочек, а в левое предсердие (через овальное окно) и далее в левый желудочек и из него поступает в большой круг кровообращения. Однако часть крови, попавшая в правый желудочек, также попадает в большой круг кровообращения. Это происходит следующим образом. Так как спавшиеся сосуды малого круга кровообращения оказывают достаточно высокое сопротивление,

то кровь из легочного ствола по Боталлову протоку (артериальный проток) попадает в аорту и далее распространяется по сосудам большого круга кровообращения.

Из сосудистой системы плода кровь с очень низким содержанием кислорода и высоким содержанием CO_2 идет (в составе пупочного канатика) к плаценте по двум пупочным артериям, являющимся ветвями подвздошных артерий.

26. Какие органы плода получают кровь, более богатую кислородом?

Кровь, с наибольшим содержанием кислорода приходит к печени по пупочной вене. Головной мозг и пояс верхних конечностей получают кровь с несколько меньшим содержанием кислорода по сравнению с печенью. Кровь с еще меньшим содержанием кислорода поступает к внутренним органам и поясу нижних конечностей.

Мы рассмотрели особенности системной и региональной гемодинамики плода, новорожденного и взрослого человека. Понятно, что гемодинамика зависит от состояния различных звеньев сердечно-сосудистой системы. В реальных клинических условиях для оценки состояния гемодинамики необходимо уметь оценивать функциональное состояние всех этих звеньев и, прежде всего, работу сердца и состояние сосудов.

Клинические методы исследования сердечно-сосудистой системы

27. Каким образом можно классифицировать методы исследования сердечно-сосудистой системы?

Все методы исследования сердечно-сосудистой системы можно разделить на физикальные и инструментальные.

Физикальные методы не требуют сложной аппаратуры и основаны на использовании органов чувств врача (например, *осязание* используется при пальпации пульсирующей артерии или верхушечного толчка сердца, а слух используется при выслушивании тонов сердца).

Инструментальные методы проводятся с использованием специальной аппаратуры разной степени сложности (например, электрокардиография, фонокардиография, реография и др.).

28. Что такое артериальный пульс? Как проводится исследование пульса?

Когда говорят о пульсе, то подразумевают, прежде всего, артериальный пульс (исследование венозного пульса полностью относится к инструментальным методам специального обследования сердечно-сосудистой системы).

Артериальный пульс – ритмические колебания стенок артерий, вызванные работой сердца. Происхождение артериального пульса объясняется так: в результате систолы желудочков возникает **область повышенного давления**, которая **передается по столбу жидкости** во все отделы сосудистого русла и растягивает артериальную стенку.

Артериальный пульс исследуется пальпаторно (физикальный метод), а также с помощью сфигмографа или сфигмографических приставок к различным самопишущим приборам (инструментальный метод).

Исследование пульса проводят на достаточно крупных артериях в том месте, где их можно прижать к рядом расположенным костям и, тем самым, лучше ощутить колебание артериальной стенки (например, на лучевой артерии в дистальной части предплечья рядом с лучезапястным суставом). К месту наиболее выраженной пульсации прикладывают два пальца (указательный и средний) или специальный сфигмографический датчик, с помощью которого записывают *сфигмограмму* (СФГ), характерные детали которой отражены на рисунке 3.

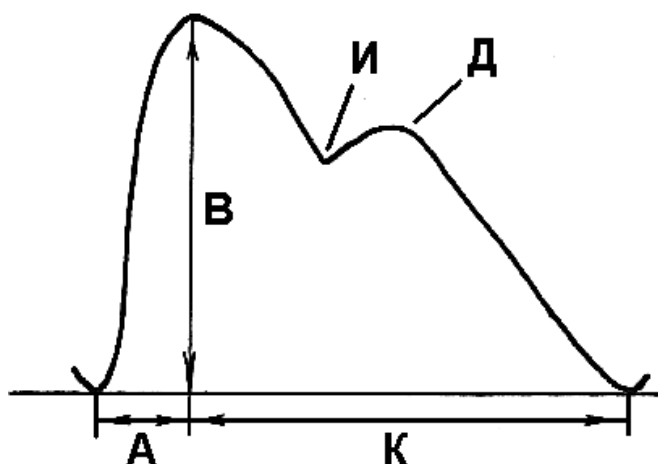


Рис. 3. Сфигмограмма

А – анакрота; К – катакрота; И – инцизура; Д – диктотический подъем; В – амплитуда (высота) пульса

29. Какие характеристики пульса можно выявить при его исследовании?

Известно несколько характеристик пульса, имеющих важное клиническое значение. Некоторые из них можно определить только пальпаторно, другие – только при анализе сфигмограммы, а некоторые и при физикальном и при инструментальном исследовании.

Среди характеристик пульса выделяют следующие:

1) частота пульса – количество пульсовых волн за одну минуту. При определении частоты пульса на сфигмограмме следует знать скорость движения лентопротяжного механизма, что позволяет найти отрезок записи, соответствующий одной минуте и подсчитать на нем количество пульсовых колебаний;

2) ритмичность пульса – то есть строгая периодичность пульсовых волн, следующих друг за другом с одинаковыми интервалами;

3) наполнение (высота, амплитуда) пульса – то есть степень отклонения (колебания) стенки сосуда во время прохождения пульсовой волны от своего положения в покое (рис. 4), на сфигмограмме наполнение оценивается по амплитуде кривой (рис. 3);

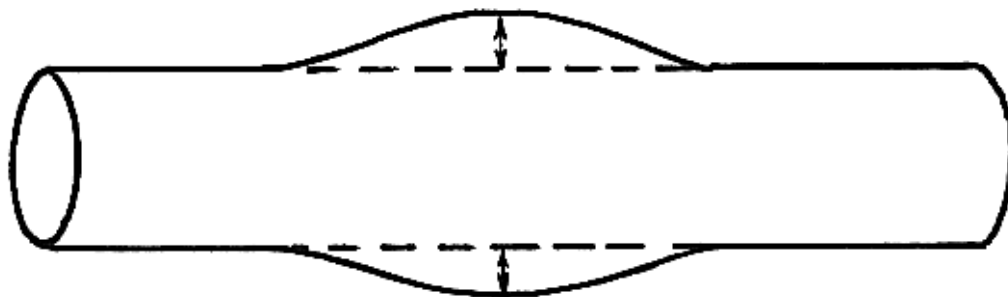


Рис. 4. Степень отклонения стенки сосуда во время прохождения пульсовой волны

4) напряжение (напряженность) пульса оценивается только пальпаторно по тому субъективному усилию, которое требуется приложить для полного сдавления пульсирующей артерии и исчезновения пульса дистальнее места пережатия. Это исследование лучше проводить тремя пальцами (безымянным, средним и указательным). На рисунке 5 показано исследование напряжения пульса на лучевой артерии. Врач указательным пальцем фиксирует наличие пульса, а средним пальцем пережимает лучевую артерию пациента до полного исчезновения пульса, которое фиксируется безымянным пальцем. Таким образом, в данном случае напряженность пульса оценивается с помощью среднего пальца.



Рис. 5. Исследование напряженности пульса

5) скорость (быстрота) пульса – оценивается по сфигмограмме и отражает скорость подъема и снижения артериального давления в сосудистой системе, которая находит отражение на характере (степени крутизны) анакроты и катакроты (рис. 6). В связи с этим различают **скорый (быстрый)** пульс, если время подъема и спада пульсовой волны минимально (рис.6Б) и **медленный** пульс, если время подъема и спада пульсовой волны увеличено (рис.6А).



Рис. 6. Сфигмограмма медленного (А) и скорого (Б) пульса

30. О чем можно судить по частоте пульса?

По частоте пульса можно судить о частоте сердечных сокращений. Однако при слабом сокращении миокарда левого желудочка (при патологических изменениях в миокарде) некоторые (очень слабые!) пульсовые волны могут не доходить до периферических артерий, в результате чего их невозможно пропальпировать или зарегистрировать на сфигмограмме. При этом получается, что частота пульса меньше, чем частота сердечных сокращений. В клинике это состояние называется *дефицит пульса*.

31. О чем можно судить по ритмичности пульса?

Это свойство пульса позволяет судить о ритмичности работы сердца. Различают пульс *ритмичный*, когда пульсовые колебания следуют с одинаковыми интервалами и *аритмичный*, когда продолжительность этих интервалов неодинакова (рис. 7). Например, аритмичная работа сердца может наблюдаться при экстрасистолии (см. «Физиология сердечно-сосудистой системы» № 1, вопрос 19).

Следует понимать, что при дефиците пульса (см. вопрос 27) даже при ритмичной работе сердца мы будем отмечать аритмию пульса.

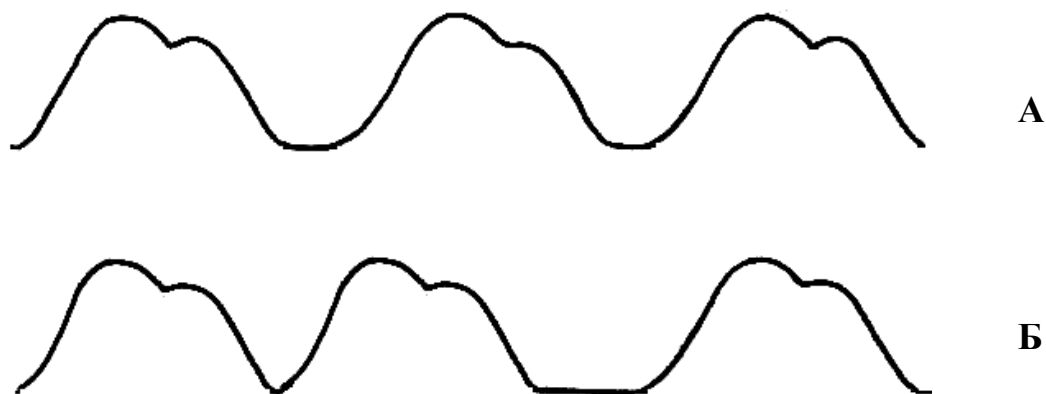


Рис. 7. Ритмичный (А) и аритмичный (Б) пульс

32. О чем можно судить по наполнению (амплитуде) пульса?

Характер наполнения пульса может быть разным, что может быть связано со следующими основными причинами:

1) с силой сокращения левого желудочка, а значит, с величиной ударного (или систолического) объема, что говорит о состоянии рабочего миокарда левого желудочка;

2) с объемом циркулирующей крови, так как если он уменьшается, то степень растяжения сосудов становится меньшей;

3) со степенью растяжимости стенки артерии (понятно, что при повышении тонуса артериальная стенка не может растягиваться так, как обычно, в результате чего амплитуда пульса снизится; наоборот, при потере тонуса наполнение пульса увеличивается).

В зависимости от амплитуды различают пульс *хорошего* наполнения (или *полный*) и пульс *слабого* наполнения (или *пустой*). Пульс слабого наполнения часто называют *нитевидным*.

33. О чем можно судить по напряженности пульса?

По напряженности пульса можно судить об уровне систолического артериального давления. При повышенном систолическом артериальном давлении, когда пережать артерию до исчезновения пульса достаточно сложно, говорят о *твердом пульсе*, а при низком давлении – о *мягком пульсе*.

34. О чем можно судить по скорости пульса?

По крутизне анакроты можно судить о состоянии аортального отверстия, аортальных клапанов и эластичности крупных артериальных сосудов. Если отмечается сужение (стеноз) аортального отверстия, то выход крови в систолу будет затруднен, и на сфигмограмме мы увидим медленный пульс. При снижении эластичности аорты и ее ветвей анакрота будет более крутая и наоборот. Если же лепестки аортальных клапанов не будут плотно смыкаться (недостаточность клапанов), то выход крови из желудочка будет облегчен, и на сфигмограмме мы увидим быстрый или скорый пульс.

Крутизна катакроты отражает сопротивление сосудов (в основном артериол): при повышении тонуса артериол крутизна катакроты уменьшается и наоборот.

Не следует путать понятия *скорость пульса* и *скорость распространения пульсовой волны!* Распространения пульсовой волны (СПВ), то есть передача давления осуществляется непосредственно по крови (как по столбу жидкости!). В связи с этим обратите внимание на практическую работу «Физическая модель пульса», которую вы будете выполнять на практическом занятии. Чем шире столб жидкости, тем лучше передается по нему давление. Таким образом, СПВ существенно зависит от просвета сосудов и их растяжимости, и по ней можно судить о функциональном состоянии сосудов.

При исследовании пульса мы получаем представление о частоте, ритмичности, силе сокращения левого желудочка; можем дать оценку

состояния артериальных сосудов и, в частности, аорты и артериол, аортальных клапанов; можем судить об уровне системного артериального давления.

35. Как осуществляется выслушивание работы сердца?

Выслушивание работы (аускультацию) сердца обычно проводят с помощью специальных приборов – стетоскопа или фонендоскопа, хотя можно и непосредственно приложить ухо к грудной клетке. Звуковые явления, сопровождающие работу сердца, называются **тонами**. Тоны сердца можно зарегистрировать и на **фонокардиограмме (ФКГ)**. Различают четыре тона сердца. Тоны имеют разное происхождение и лучше выслушиваются в определенных точках на поверхности грудной клетки (см. вопрос 37).

36. Каково происхождение тонов сердца?

- I тон обусловлен следующими причинами:
 - 1) закрытие створчатых клапанов;
 - 2) напряжение миокарда желудочков в фазу изоволюмического сокращения; при этом сокращаются сосочковые мышцы, а значит, напрягаются и вибрируют сухожильные нити, препятствующие открытию створчатых клапанов в сторону предсердий;
 - 3) вибрация стенки аорты и легочного ствола, вызываемая быстрым выбросом крови из желудочков в фазу быстрого изгнания.
- II тон связан с закрытием полулунных клапанов
- III тон обусловлен быстрым движением крови, заполняющей желудочки в фазу быстрого наполнения желудочков кровью
- IV тон связан с движением крови, изгоняемой из предсердий в желудочки.

Однако человек способен слышать, как правило, только первый и второй тоны сердца, которые и на фонокардиограмме наиболее постоянны, в отличие от третьего и четвертого тонов.

37. Какова характеристика первого и второго тонов? Какова локализация мест их наилучшего выслушивания?

I тон – систолический, низкий (не глухой!; глухие тоны говорят о патологии миокарда!), продолжительный, выслушивается лучше на верхушке сердца. Двустворчатый клапан выслушивается в левом пятом межреберье на 1 см медиальнее от среднеключичной линии. Трехстворчатый клапан выслушивается у места прикрепления четвертого ребра к груди справа.

II тон – диастолический, высокий и короткий по продолжительности, выслушивается лучше на основании сердца. Аортальный клапан выслушивается во втором межреберье справа у грудины. Клапан легочного ствола выслушивается во втором межреберье слева у грудины.

Особое внимание следует обратить на характеристику высоты тонов сердца на фонокардиограмме (рис. 8). Если I тон низкий, то это означает, что

частота осцилляций фонокардиограммы значительно меньше, чем у высокого II тона.

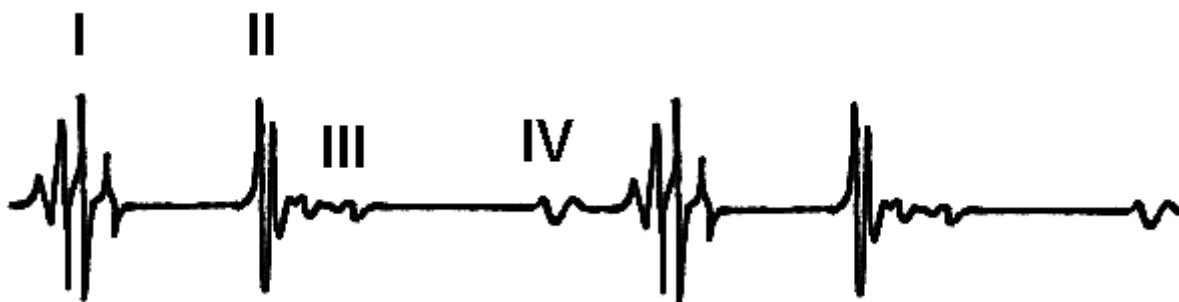


Рис. 8. Фонокардиограмма
Римскими цифрами обозначены тоны сердца

По фонокардиограмме можно составить представление о частоте, ритмичности работы сердца, о состоянии миокарда желудочков и клапанов сердца.

38. Что называется электрокардиографией?

Электрокардиография (ЭКГ) – это метод оценки функционального состояния миокарда путем регистрации биоэлектрических потенциалов, генерируемых сердечной мышцей в процессе ее работы. С приборами электрокардиографами, со способами записи электрокардиограммы, со стандартными и нестандартными отведениями вы уже познакомились в курсе медицинской физики. Нашей задачей является первое знакомство с анализом электрокардиограммы на базе тех знаний, которые вы получили в курсе нормальной физиологии (физиологические свойства миокарда, динамика работы сердца)! Позднее, в клинике на базе этих знаний вы будете более углубленно изучать и анализировать электрокардиограммы в различных отведениях, что поможет вам в диагностике самой различной патологии сердца.

39. Каковы основные элементы электрокардиограммы?

Основными элементами электрокардиограммы являются **зубцы, интервалы и сегменты** (рис. 9).

Зубцы. Выделяют зубцы **P, Q, R, S, T**, которые оцениваются по следующим критериям:

- наличие или отсутствие зубца;
- вольтаж (амплитуда) зубца в мВ;
- направление зубца по отношению к изолинии;
- ширина (продолжительность по времени) зубца в секундах;
- форма зубца (двугорбый, двухфазный и др.).

Наряду с отдельными зубцами выделяют комплекс зубцов **QRS**.

Интервалы. Это промежутки времени между двумя определенными точками электрокардиограммы, измеряемые в секундах. Внутри каждого интервала есть один или несколько зубцов (рис.10). Например, интервал **P-Q**

(между началом зубца **P** и началом зубца **Q**) или **R-R** (между вершинами зубцов **R** в соседних комплексах **QRS**) .

Сегменты. Это отрезки электрокардиограммы между зубцами, находящиеся в норме на изолинии (или близко к ней). Например, сегмент **P-Q** (от конца зубца **P** до начала зубца **Q**) или **S-T** (от конца зубца **S** до начала зубца **T**).

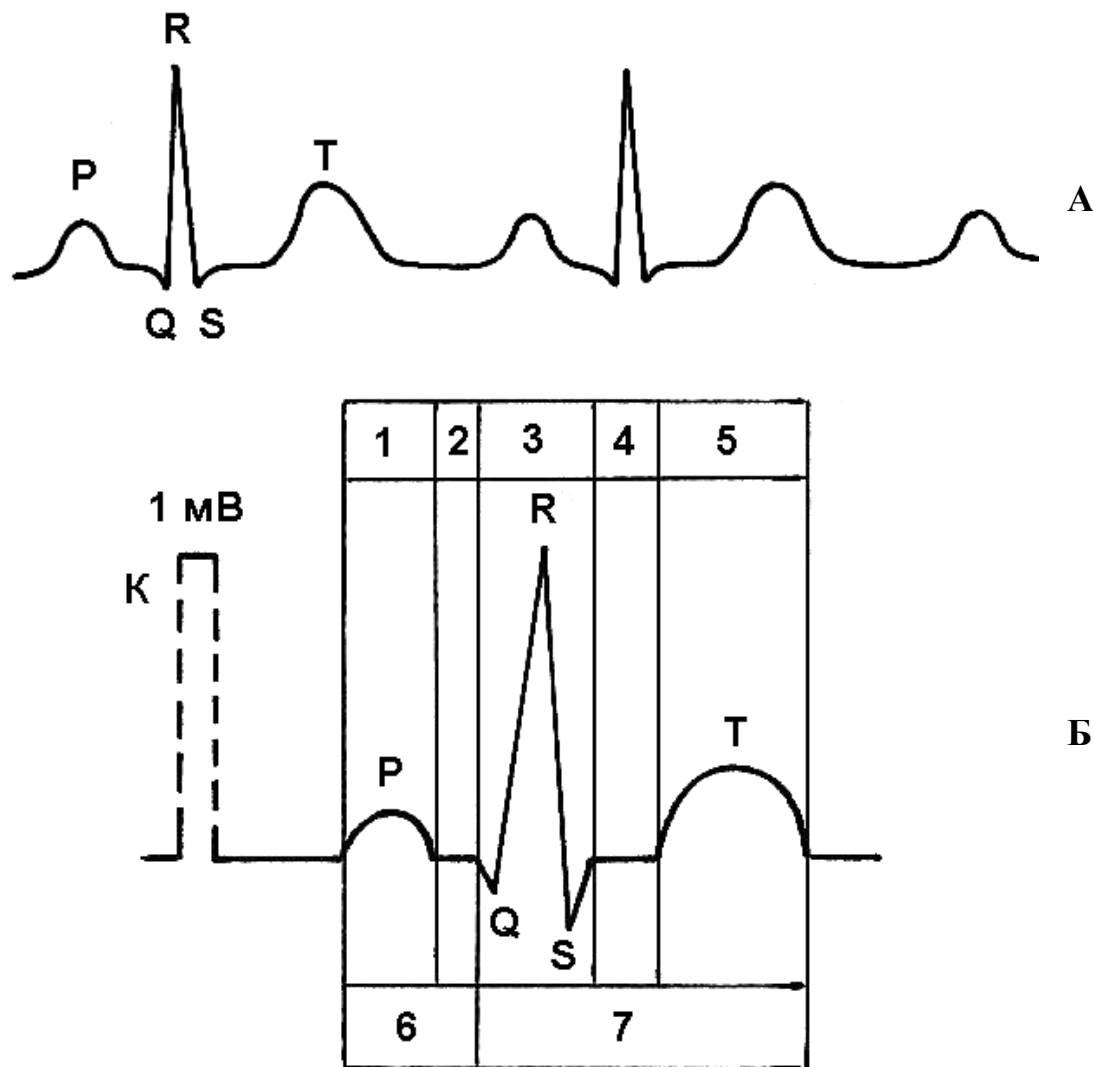


Рис. 9. Электрокардиограмма

А – вид ЭКГ; Б – основные элементы ЭКГ: 1 – зубец P; 2 – сегмент PQ; 3 – комплекс QRS; 4 - сегмент ST; 5 – зубец T; 6 – интервал PQ; 7 – интервал QT

40. О чем можно судить по характеру зубцов электрокардиограммы?

Каждый зубец электрокардиограммы имеет строго определенные характеристики и отражает процесс возбуждения на том или ином участке миокарда.

Зубец P отражает процесс возбуждения предсердий. Форма его куполообразная, закругленная; амплитуда колеблется от 0,15 до 0,25 мВ; длительность не более 0,1 сек.

Зубец Q отражает начальный момент возбуждения межжелудочковой перегородки. Амплитуда его зависит от отведения, но в норме не превышает

25% амплитуды зубца **R** в том же отведении; продолжительность его составляет 0,02-0,03 с.

Зубец R отражает процесс распространения возбуждения по миокарду желудочков в направлении от эндокарда к эпикарду. Амплитуда его составляет 2-2,5 мВ. Соотношением амплитуд зубцов **R** в разных отведениях определяется направление электрической оси сердца.

Зубец S отражает распространение возбуждения по базальной части межжелудочковой перегородки. Его амплитуда не превышает 2 мВ; иногда он может отсутствовать.

Таким образом, из зубцов **Q**, **R** и **S** складывается так называемый *желудочковый комплекс QRS*, отражающий процесс распространения возбуждения по желудочкам. Длительность его обычно составляет 0,07-0,09 с., но не превышает 0,1 с.

Зубец T отражает процесс реполяризации миокарда желудочков. Амплитуда его в стандартных отведениях составляет 1,5- 1,7 мВ, но в грудных отведениях она в 2-3 раза больше; продолжительность не более 0,2 с.

Зубцы **P**, **R** и **T** направлены вверх, а зубцы **Q** и **S** вниз.

Таким образом, по степени выраженности зубцов электрокардиограммы можно судить о степени выраженности процесса возбуждения, что косвенно свидетельствует об общей совокупности кардиомиоцитов, включившихся в процесс возбуждения на том или ином участке предсердий или желудочков. В том случае, если миокард будет поврежден и по той или иной причине не будет вовлечен в процесс возбуждения, то амплитуда зубцов будет снижена.

Если направление зубцов будет искажено (например, зубец **P** будет направлен вниз), то это говорит о противоположном направлении распространения возбуждения.

41. О чем можно судить по интервалам и сегментам электрокардиограммы?

Интервалы и сегменты отражают какие-то промежутки времени. Например, интервал **P-Q** отражает промежуток времени от начала возбуждения миокарда предсердий до начала возбуждения кардиомиоцитов желудочков. Он длится 0,12-0,2 с. и за это время возбуждения от синоатриального узла проходит по миокарду предсердий, задерживается на входе в атриовентрикулярный узел, проходит его, пучок Гиса, его ножки и волокна Пуркинье.

Или, например, интервал **Q-T**. Это время от начала возбуждения миокарда желудочков до его окончания, то есть это *электрическая систола желудочков*.

Удлинение интервалов и сегментов свидетельствует о нарушении проводимости в том или ином звене проводящей системы сердца или рабочего миокарда, которое обозначается термином *блокада*.

Электрокардиография является одним из важных и доступным методов исследования сердечно-сосудистой системы. Изменения электрокардиограммы информативны при инфарктах миокарда, миокардитах, дистрофии

ческих и склеротических процессах в сердечной мышце, при расширении различных полостей сердца, при нарушениях в проводящей системе сердца и др. патологии. Однако следует отметить, что оценку электрокардиограммы следует проводить с учетом клинических проявлений той или иной патологии и в комплексе с другими методами исследования сердечно-сосудистой системы. Одной из таких комплексных методик исследования сердца является **поликардиография**.

42. Что называется поликардиографией и в чем заключается ее смысл?

Поликардиография – это одновременная запись у одного пациента электрокардиограммы, сфигмограммы и фонокардиограммы на одной ленте трехканального пишущего прибора. Целью такой записи является проведение **фазового анализа деятельности сердца**, то есть выделение и расчет продолжительности отдельных фаз работы сердца, ориентируясь на знание генеза (происхождения) характерных элементов ЭКГ, СФГ и ФКГ.

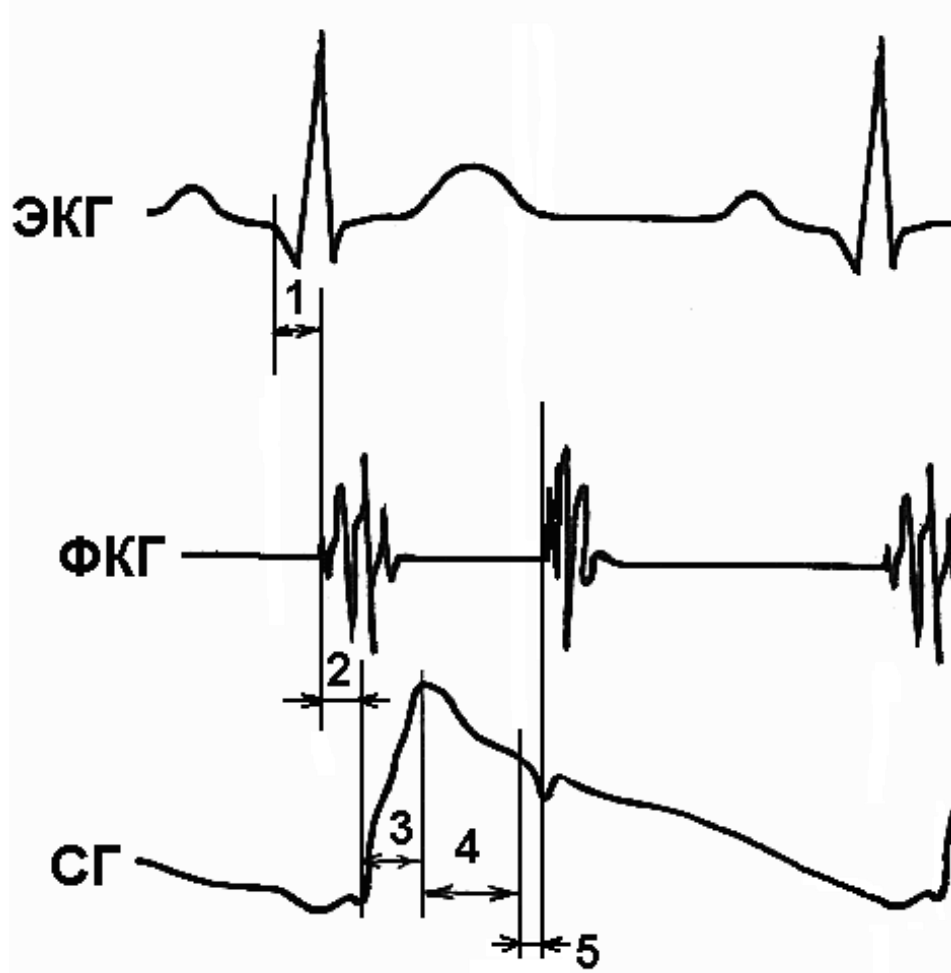


Рис. 10. Поликардиограмма

1 – фаза асинхронного сокращения; 2 – фаза изоволюмического сокращения; 3 – фаза быстрого изгнания; 4 – фаза медленного изгнания; 5 – протодиастола

Например, начало фазы асинхронного сокращения регистрируется от зубца Q электрокардиограммы до начала I тона на фонокардиограмме (рис. 10).

Продолжительность фазы изоволюмического напряжения будет соответствовать промежутку времени от начала I тона на фонокардиограмме до начала анакроты на сфигмограмме. И далее по такому же принципу проводится временной анализ всего сердечного цикла. Подробнее об этом можно прочитать в практикумах по нормальной физиологии или в специальной литературе. Там же можно ознакомиться и со многими другими методами исследования сердечно-сосудистой системы, в частности с реографией и плевтизмографией.

43. В чем заключается принцип метода реографии?

Реография – это метод исследования сердечно-сосудистой системы, в основе которого лежит регистрация изменений сопротивления тканей электрическому току (импеданса). Из курса физики известно, что импеданс складывается из емкостного и омического сопротивления. Емкостное сопротивление оказывают клеточные структуры, а омическое бесклеточные образования (плазма крови, тканевая жидкость). Следовательно, чем больше в ткани жидкости, тем меньшее омическое сопротивление она имеет.

При работе сердца в период изгнания крови из желудочков увеличивается кровенаполнение тканей, а значит, уменьшается омическое сопротивление ткани (снижается и импеданс ткани, так как емкостное сопротивление практически не меняется!). В диастолу, наоборот, омическое сопротивление ткани возрастает.

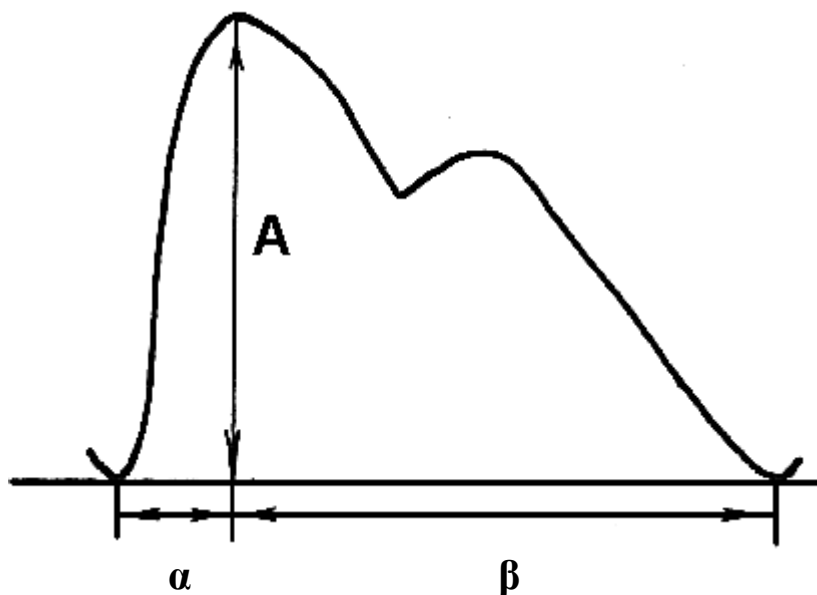


Рис. 11. Реограмма

А – амплитуда реограммы; α – время максимального систолического наполнения сосудов; β – длительность нисходящей части реограммы

Вид реограммы напоминает сфигмограмму (рис. 11). По реограмме рассчитывается достаточно много показателей, из которых мы познакомимся, прежде всего, со следующими:

- амплитуда реограммы (A) – характеризует величину пульсового кровенаполнения, а значит, силу сокращения желудочка, степень кровенаполнения сосудов и их тонус (см. вопрос 29);
- время максимального систолического наполнения сосудов (α) – характеризует силу сердечных сокращений, эластичность и тонус артериальных сосудов (см. вопрос 31);
- длительность нисходящей части реограммы (β) – зависит преимущественно от состояния вен, характеризует эластичность артериальных сосудов, очень зависит от продолжительности диастолы (частоты сердечных сокращений).

44. В чем заключается принцип метода плетизмографии?

Плетизмография – метод графической регистрации изменения объема органа, связанное с колебаниями его кровенаполнения в различные фазы сердечного цикла. По сути дела плетизмография, также как сфигмография и реография, позволяет судить о кровенаполнении артериальной системы во время работы сердца.

Однако в этом методе используются другие датчики. Оценка плетизмограммы проводится примерно так же, как и оценка реограммы.

Методы сфигмографии, реографии и плетизмографии позволяют в той или иной мере судить об уровне артериального давления в сосудистой системе. Однако для определения артериального давления существуют самостоятельные методы.

45. Как проводится измерение артериального давления?

Существуют *прямой* и *непрямой* способы определения артериального давления (АД). Прямой способ связан с введением специальных датчиков непосредственно в сосуд (так измеряется давление крови не только в артериях, но и в венах, в камерах сердца). Это самое точное измерение артериального давления, но доступное только *специалистам*, проводимое в *специальных условиях и по особым показаниям*.

Более широко используется непрямой способ определения артериального давления, хотя он и менее точен.

Существуют два метода непрямого определения АД:

1. способ Рива – Роччи (пальпаторный);

2. способ Н.С. Короткова (аускультативный)

В том и другом методе на плечо испытуемого накладывается (обворачивается вокруг плеча) полая резиновая манжетка, соединенная с манометром и резиновой грушей, с помощью которой в манжетку нагнетается воздух до полного пережатия плечевой артерии (в этом убеждаются по исчезнове-

нию пульса ниже места наложения манжетки). Далее проведение исследования идет по-разному.

По способу Рива-Роччи исследователь помещает свои пальцы (указательный и средний) в область локтевой ямки ниже места пережатия плечевой артерии и с помощью винтового клапана постепенно (плавно!) выпускает воздух из манжетки (снижает в ней давление!), следя за показаниями манометра. При этом он отмечает то давление на манометре, при котором на сосудах в локтевой ямке появляется пульс. Так регистрируется *систолическое давление* в плечевой артерии. Диастолическое (минимальное) давление по этому способу не измеряется!

По способу Н.С. Короткова в локтевую ямку устанавливают стетоскоп (или фонендоскоп). Постепенно уменьшают давление в манжетке (см. способ Рива-Роччи) и замечают на манометре уровень давления в момент появления тонов Короткова (ритмичных звуков, сопровождающих прохождение крови через суженный сосуд в фазу быстрого изгнания крови из желудочков). Это давление соответствует величине систолического давления (немного ниже его!). Далее продолжают снижать давление в манжетке и замечают уровень давления при котором тоны Короткова исчезают. Это давление соответствует диастолическому (в это время кровь начинает беспрепятственно проходить через плечевую артерию и в систолу и в диастолу).

Естественно, что в клинике используются и другие, более современные и совершенные методы исследования сердечно-сосудистой системы, но их понимание во многом базируется на знании вышеизложенных методов, которые широко используются в повседневной практике врача.

Булыгин Алексей Николаевич
Колодина Ирина Геннадьевна
Назаров Сергей Борисович

НОРМАЛЬНАЯ ФИЗИОЛОГИЯ
В ВОПРОСАХ И ОТВЕТАХ

ФИЗИОЛОГИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ

Выпуск 2

(Гемодинамика, региональное кровообращение,
клинические методы оценки сердечно-сосудистой системы)

Учебно-методические разработки
для иностранных студентов

Лицензия № 00637 от 05.01.2000 года

Подписано в печать 21.10.2005 г. Формат 60×84/16. П. л. 4,0

Усл.п.л. 3,7 Заказ Тираж 350 экз.

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального
образования «Ивановская государственная медицинская академия»

Росздрава

153462, г.Иваново, пр.Ф.Энгельса,

Отпечатано в ООО «ПолиПринт»

Россия, 153032, г. Иваново, ул. Станкостроителей, 12, офис 23.
тел.: 8-902-241-88-08, (0932) 45-38-71, факс: (0932) 29-48-35