

ФИЗИОЛОГИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ.

Физиология сосудов.

**Гемодинамика и
артериальное давление**

Лекция № 13

Профессор Мухина И.В.

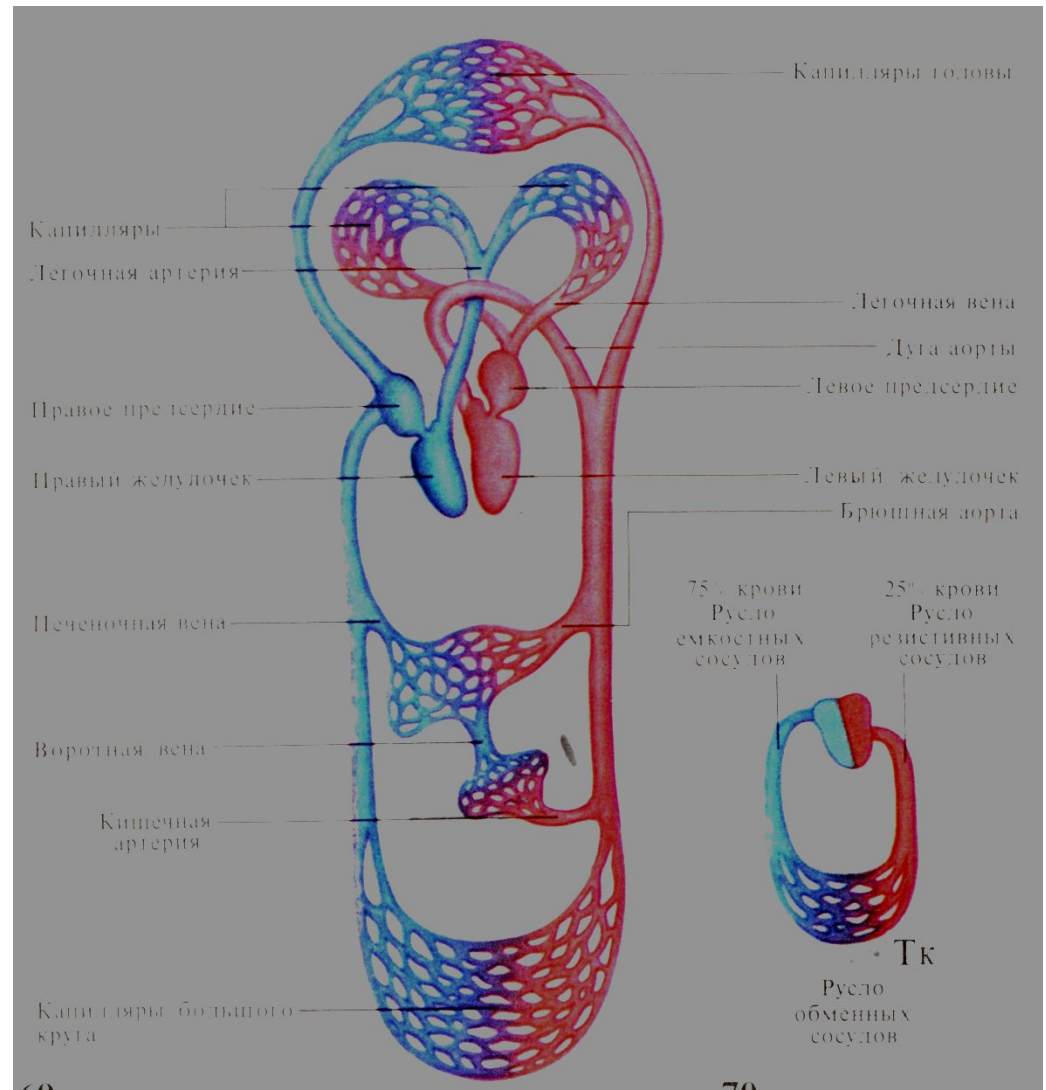
Лечебный факультет

2013

Система кровообращения:

- сердце;
- кровеносные сосуды.

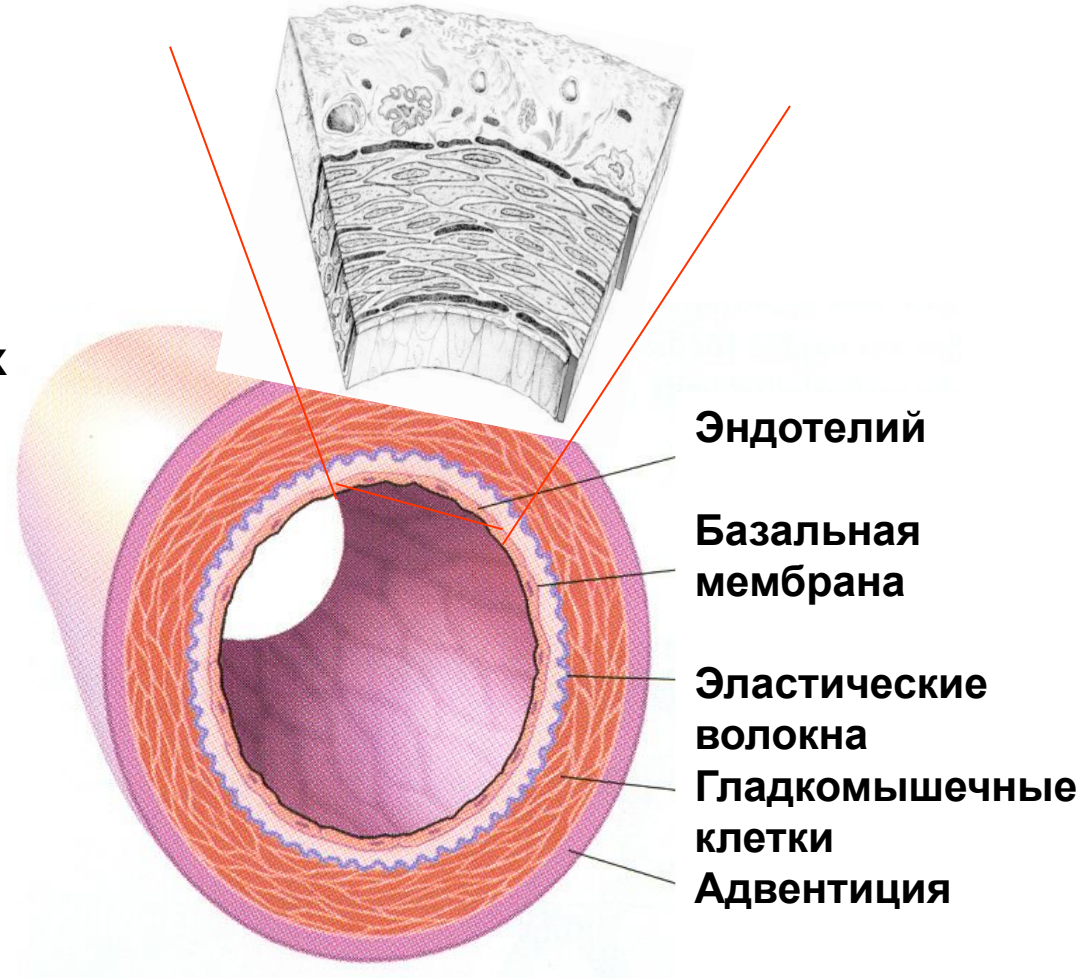
Большой круг кровообращения: левый желудочек – аорта – артерии и артериолы – капилляры – венулы и вены – полые вены – правое предсердие – **Малый круг кровообращения:** правый желудочек – легочная артерия – легочные капилляры – легочная вена – левое предсердие – левый желудочек



КЛАССИФИКАЦИЯ СОСУДОВ

С морфологической точки зрения кровеносные сосуды представляют собой трубки различного диаметра, состоящие из трех основных слоев:

- **внутреннего** (эндотелиального),
- **среднего** (гладкомышечные клетки, коллагеновые и эластические волокна),
- **наружного** (адвентиция).



По морфо-функциональным характеристикам:

- 1. Амортизирующие сосуды эластического типа;
- 2. Резистивные сосуды (сосуды сопротивления);
- 3. Обменные сосуды;
- 4. Емкостные сосуды.



1. Амортизирующие сосуды эластического типа

- *Аорта, легочная артерия, крупные артерии.*
- Функция - сглаживание (амортизация) резкого подъема артериального давления во время систолы.

2. Резистивные сосуды (сосуды сопротивления)

- *средние и мелкие артерии, артериолы, прекапилляры и прекапиллярные сфинктеры.*
- Функция - создание большого сопротивления кровотоку

3. Обменные сосуды

- *Капилляры.*
- Функция – обеспечение обменных процессов между кровью и тканевой жидкостью.



4. Емкостные сосуды

- *венулы, средние и крупные вены.*
- Функция – аккумуляция крови, возврат крови к сердцу.

ОСНОВЫ ГЕМОДИНАМИКИ

Отличие кровеносных сосудов от труб:

1. эластичность, постоянное изменение диаметра,
2. интима сосудов - *не смачиваемая* поверхность,
3. кровоток имеет *пульсирующий* характер,
4. движение крови *не* везде является *однонаправленным* (например, в аорте), наряду с ламинарным имеет место и *турбулентный* (вихревой) ток - в местах ветвления и при механическом воздействии на сосуды,
5. кровь не гомогенна - возможно ее расслоение на фракции в отдельных участках.

Характеристики гемодинамики

- *Q, объемная скорость кровотока*
- *V, линейная скорость кровотока*
- *R, сосудистое сопротивление*
- *P, сосудистое давление.*

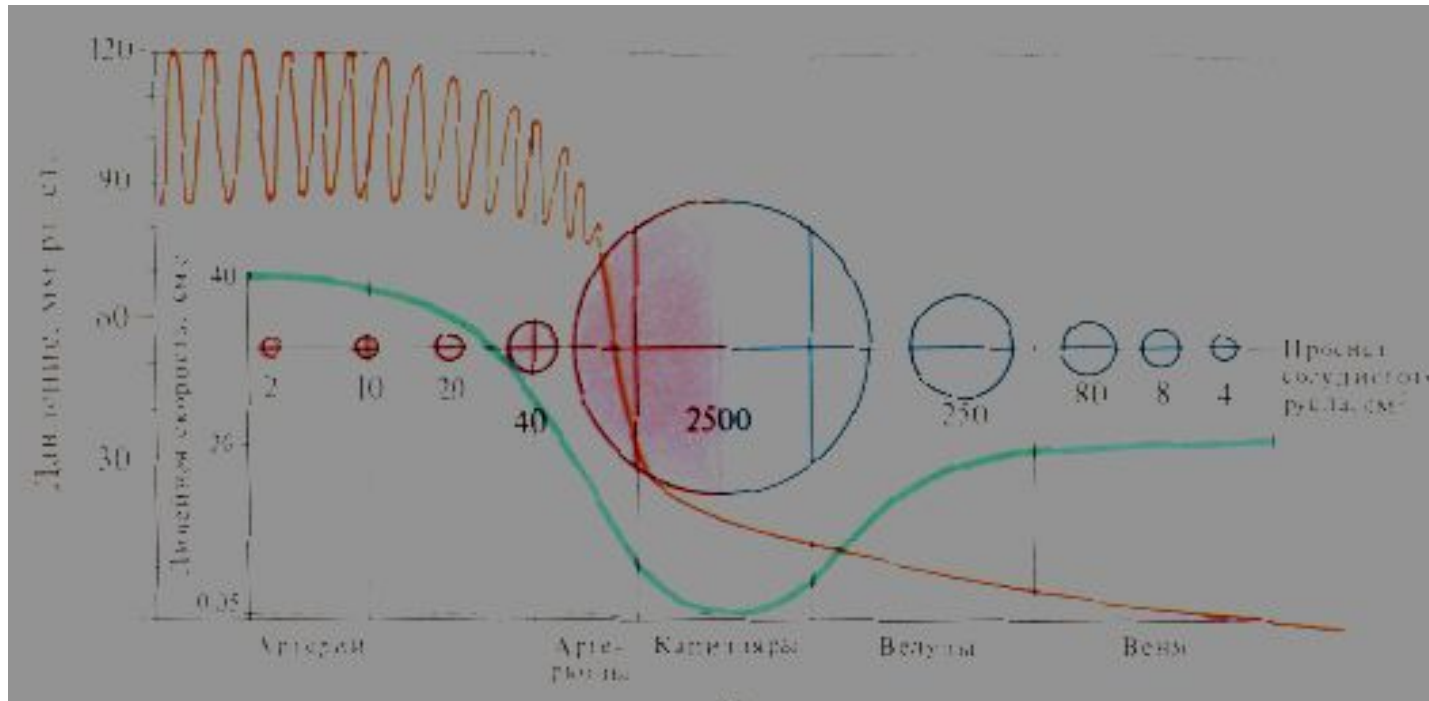
Объемная скорость кровотока

- **Объемная скорость кровотока - количество жидкости (крови), протекающей через поперечное сечение сосуда за единицу времени.**
- **$Q = (P_1 - P_2)/R$ или $Q = P/R$,**
- **так как $P_2 = 0$ (полые вены - предсердия)**
- **во всех ее отделах суммарно (во всех артериях, всех капиллярах, всех венах) одинакова и равна в среднем 4-6 л/мин.**

- Измерение **Q** можно провести с использованием кровяных часов Людвига, в клинике - с применением ***окклюзионной плетизмографии, реографии, флоуметрии.***
- Величина объемной скорости кровотока в различных органах – разная. В почках – 420 мл/мин, в сердце – 85 мл/мин, в мозге – 65 мл/мин, в мышцах конечностей в покое – 2 мл/мин.

Линейная скорость кровотока

- Линейная скорость кровотока – скорость продвижения частиц крови вдоль сосуда или расстояние, проходимое частицей крови за единицу времени (см/с):
- $V = Q/S$, или $V = Q/\pi r^2$
- где S – площадь поперечного сечения сосудистого русла.



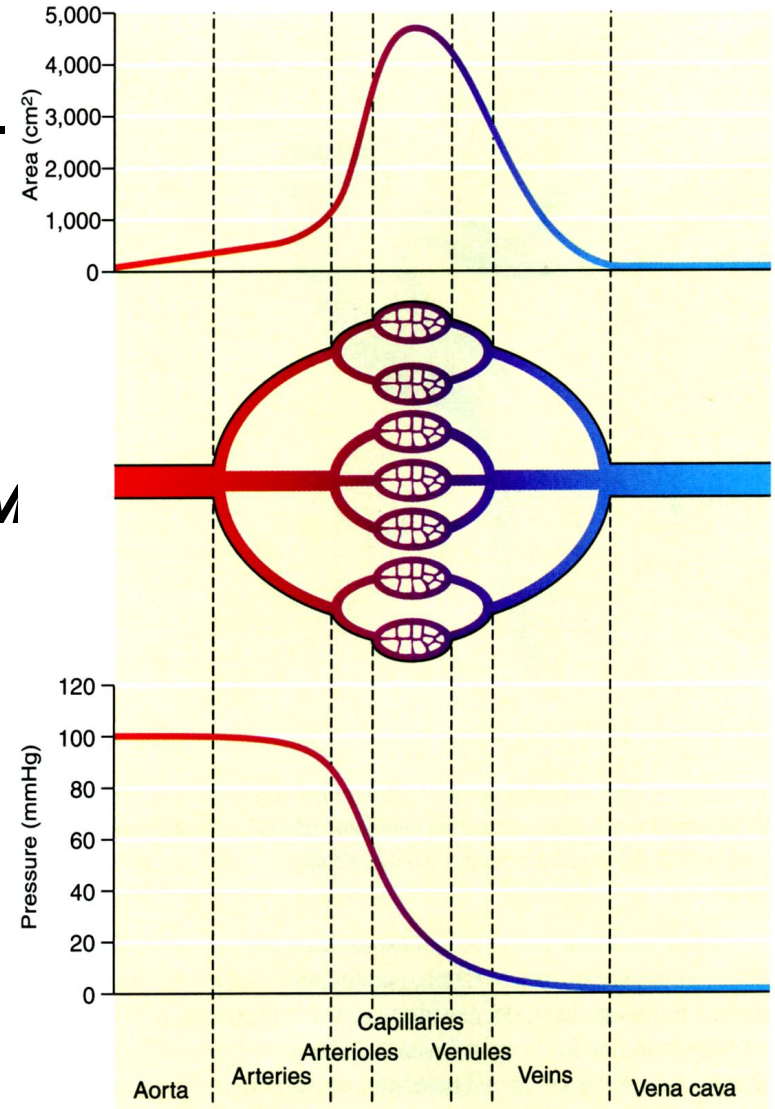
- Самое узкое место в сосудистой системе – это аорта, поэтому она имеет самую большую линейную скорость кровотока – **50-60 см/с**
- В артериях линейная скорость равна 20-40 см/с, в артериолах – 0,5 см/с, в венах – 7-20 см/с. Самый широкий суммарный просвет, в 500-600 раз превышающий диаметр аорты, имеют капилляры, поэтому линейная скорость в них минимальная – **0,05 см/с**.
- **Время кругооборота крови** – это время, в течение которого частица крови пройдет и большой и малый круг кровообращения, оно составляет **20-25 с (23 с)**. Из них 5-6 с на прохождение малого круга кровообращения.

Сосудистое сопротивление

- Зная среднее давление в устье аорты и величину МОК (Q), можно косвенно рассчитать периферическое сопротивление $R = P/Q$.
- В среднем в большом круге кровообращения $R = 900-2500$ дин с см⁻⁵.
- Теоретически сопротивление (R) в кровеносном сосуде можно определить по формуле Пуазейля:
$$R = 8lh/\pi r^4,$$
- где l – длина трубки (сосуда); h – вязкость жидкости (крови); π – отношение окружности к диаметру; r – радиус трубки (сосуда).

Сосудистое давление

- Сосудистое давление – сила, с которой кровь действует на сосудистую стенку
- Единица измерения - мм рт. ст.
- АД – артериальное давление,
- ВД – венозное давление.
- $P = QR$



Уровень давления по ходу сосудистого русла падает неравномерно и зависит от ряда факторов:

1. Нагнетающая сила сердца (главный фактор). Остановка сердца приводит к быстрому падению АД до 0.
2. Периферическое сопротивление. Прием сосудосуживающих препаратов приводит к увеличению сопротивления в сосуде и повышению АД.
3. Эластичность сосудов. У пожилых людей (после 50 лет) в связи с потерей эластичности сосуда АД повышается до 140/90 мм рт.ст.
4. Вязкость крови. Увеличение вязкости крови повышает артериальное давление,
5. Объем крови. При кровопотере давление снижается.

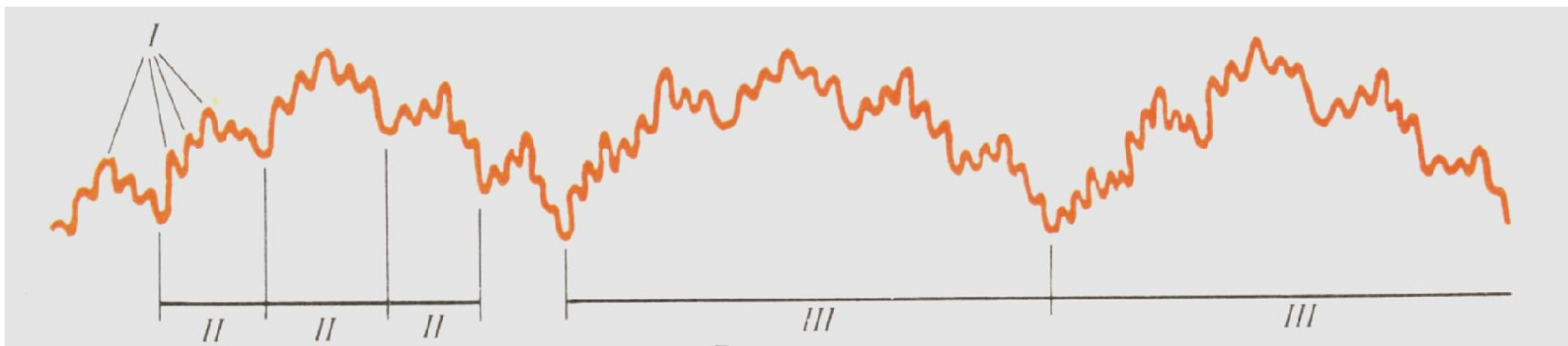
ВИДЫ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ

- Во время систолы АД повышается – это **систолическое давление**. У здорового человека в возрасте 20 – 40 лет в плечевой артерии оно равно 110 – 120 мм рт.ст.
- Во время диастолы АД снижается – это **диастолическое, давление**, равное 70 – 80 мм рт.ст.
- Разницу между систолическим и диастолическим давлением составляет **пульсовое давление** – 40 мм рт.ст.
- Различают еще **среднее давление**, или равнодействующую изменений давления во время систолы и диастолы. Оно равно 100 мм рт.ст. (*артериальная осциллография*)

Способы измерения АД

- **Прямой (инвазивный)**, применяется в остром эксперименте на животных, с помощью трансдукторов в условиях, например, катетеризации подключичной артерии
- **Непрямой (неинвазивный)**, используется для измерения давления на плечевой артерии у человека с помощью сфигмоманометра Д.Рива-Роччи и выслушивания сосудистых тонов Н.С. Короткова.

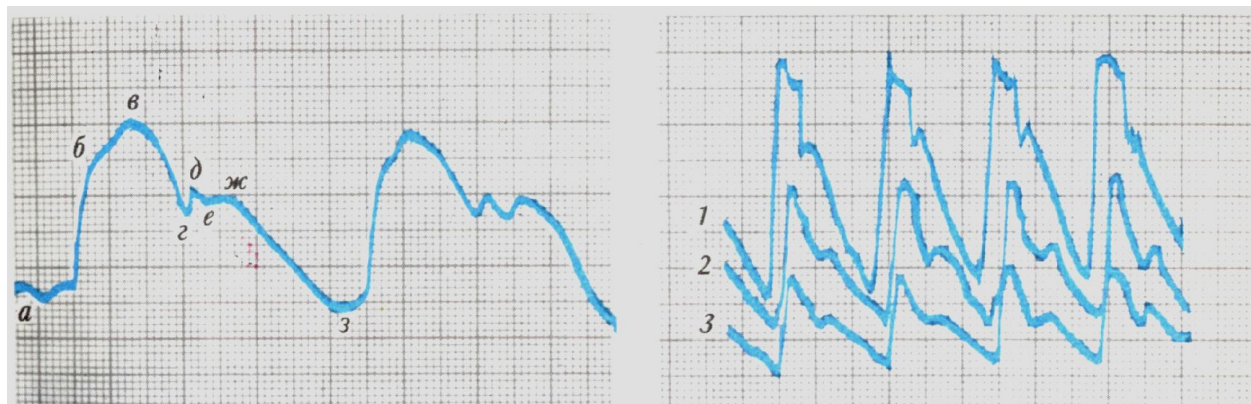
- На кривой давления, записанной на сонной артерии животного, различают волны 3 порядков:
- 1). Волны первого порядка, или пульсовые, обусловленные деятельностью сердца.
- 2). Волны второго порядка, или дыхательные. Вдох сопровождается понижением АД, а выдох – повышением. Их появление связано с присасывающим действием грудной клетки и изменением внутригрудного давления.
- 3). Волны третьего порядка (Траубе – Геринга). Регистрируются 6-9 в мин. Чаще возникают при недостаточном кровоснабжении мозга (после кровопотери, при отравлении некоторыми ядами), обусловлено медленными процессами изменения тонуса сосудодвигательного центра



Артериальный пульс

- – это ритмические колебания стенки артерии, связанные с повышением давления во время систолы.
- Деятельность сердца создает два вида движения в артериальной системе: пульсовую волну и пульсирующее течение крови, или линейную скорость кровотока (в артериях она не более 50 см/с).
- **Пульсовая волна** возникает в аорте во время фазы изгнания крови и распространяется **со скоростью 4 – 6 м/с**.
Периферических артерий мышечного типа (например, лучевой) она достигает со скоростью **8 – 12 м/с**.

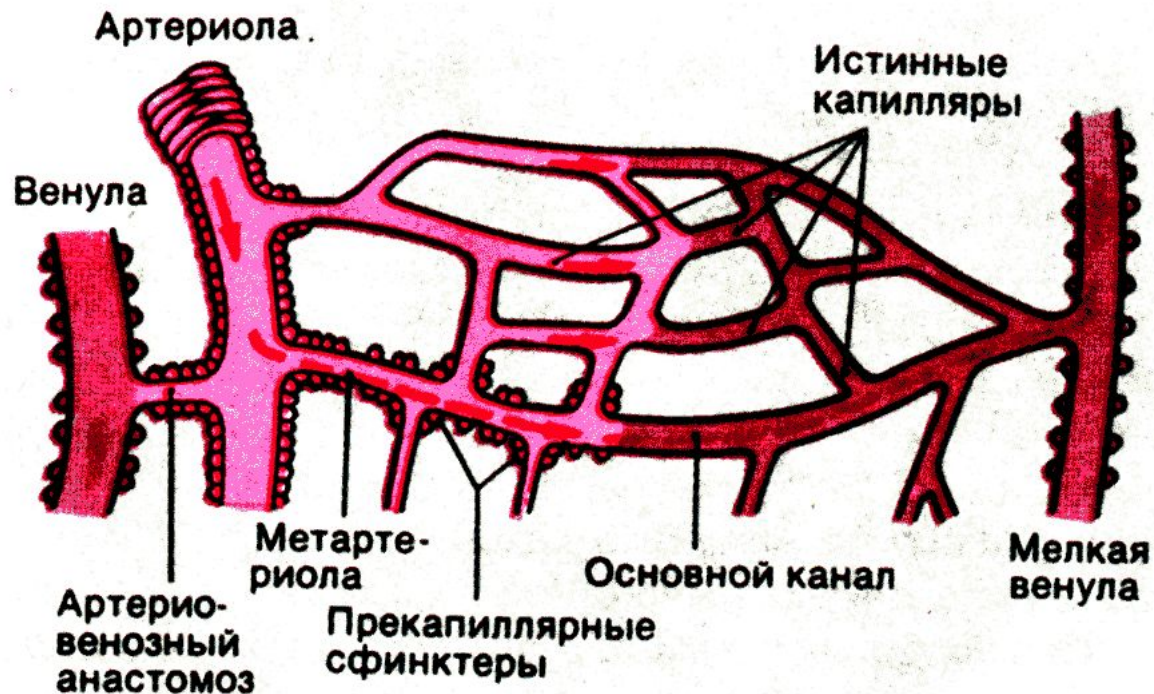
- Различают центральный пульс – пульс на аорте и прилегающих к ней артериях (сонной, подключичной) и периферический – пульс на лучевой, бедренной и других артериях.
- Артериальный пульс можно **зарегистрировать** с помощью приборов сфигмографов. Кривая пульса называется **сфигмограммой**
- Характеристики пульса: частота, ритм, быстрота, амплитуда, напряжение и форма.



а – в – анакрота; г - инцизура
г – д – дикротический зубец; е-з - катакрота

МИКРОЦИРКУЛЯЦИЯ

- «Микроциркуляция» - ток крови и лимфы по мельчайшим кровеносным и лимфатическим сосудам, питающим орган.



Функции микрососудов:

- Участвуют в перераспределении крови в организме в зависимости от его потребностей.
- Создают условия для обмена веществ между кровью и тканями.
- Играют компенсаторно-приспособительную роль при воздействии экстремальных факторов среды - переохлаждение, перегревание и др.

По строению эндотелиального слоя капилляры делят на 3 класса:

- **Капилляры с непрерывной стенкой** – эндотелиальные клетки тесно прилегают друг к другу, базальная мембрана сплошная (соматический). В *гладкий и скелетных мышцах, сердечной мышце, соединительной ткани, легких, ЦНС*. Пример: гематоэнцефалический барьер. Не проницаемы для крупных молекул белка.
- **Капилляры с фенестрами (окошечками)**, базальная мембрана сплошная (висцеральный). Способны пропускать вещества большого диаметра. *Почки, кишечник, эндокринные железы*.
- **Капилляры с прерывистой стенкой** – между соседними клетками имеются щели, через которые свободно могут проходить даже эритроциты. Базальная мембрана прерывиста или отсутствует. *Печень, костный мозг, селезенка*.

Транскапиллярный обмен

- 1). Диффузия;
- 2). Фильтрации-реабсорбция;
- 3). Везикулярный (микропиноцитоз) механизм.

Силы, определяющие интенсивность фильтрации и реабсорбции:

- 1). Гидростатическое давление крови (а – 35 мм рт.ст., в – 15 мм рт.ст);
- 2). Гидростатическое давление межклеточной жидкости (3 мм рт.ст.);
- 3). Онкотическое давление плазмы (25 мм рт.ст.);
- 4). Онкотическое давление межклеточной жидкости (5 мм рт.ст.).

**эффективное фильтрационное
давление 12мм рт. ст.**



На артериальном конце:

Фильтрации способствуют $35 \text{ мм рт.ст.} + 5 \text{ мм рт.ст.} = 40 \text{ мм рт.ст.}$

Фильтрации препятствуют $25 \text{ мм рт.ст.} + 3 \text{ мм рт.ст.} = 28 \text{ мм рт.ст.}$

Таким образом, $40 - 28 = 12 \text{ мм рт. ст.}$ – результирующая сила способствует фильтрации (эффективное фильтрационное давление).

На венозном конце:

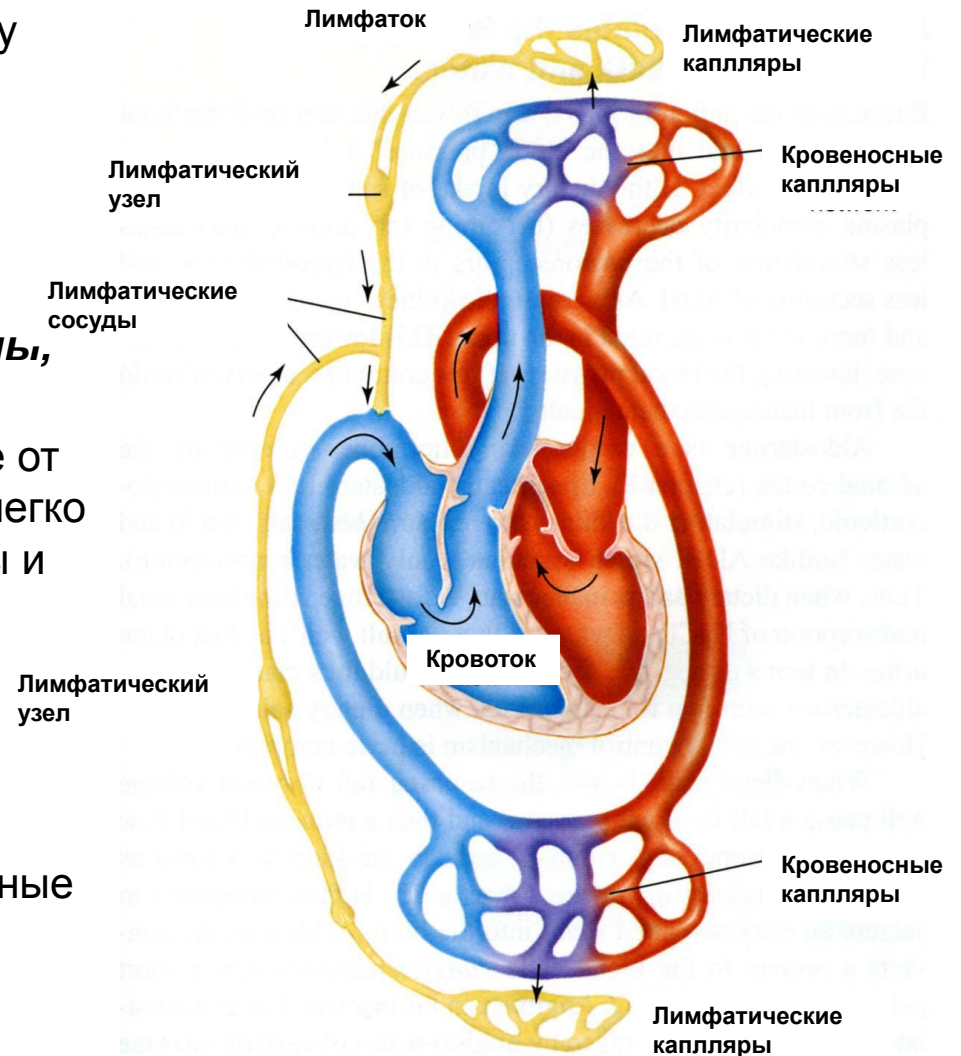
Фильтрационное давление: $15 \text{ мм рт. ст.} + 5 \text{ мм рт.ст.} = 20 \text{ мм рт.ст.}$

Реабсорбционное давление: $25 \text{ мм рт.ст.} + 3 \text{ мм рт.ст.} = 28 \text{ мм рт.ст.}$

Таким образом, $20 - 28 = -8 \text{ мм рт.ст.}$ – результирующая сила способствует реабсорбции (эффективное реабсорбционное давление).

ЛИМФАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

- Исполняет роль **дренажа**, по которому межтканевая жидкость оттекает в кровеносную систему.
- Включает в себя лимфатические капилляры, мелкие и крупные лимфатические сосуды (**яремные, подключичные, поясничные стволы, правый грудной проток**), узлами.
- Лимфатические капилляры, в отличие от кровеносных, **замкнуты**. Через них легко проходит не только вода, электролиты и углеводы, но и белки, и жиры.
- В стенках лимфатических сосудов имеются клапаны, идентичные таковым венах.
- Лимфатические узлы играют роль фильтров, задерживая наиболее крупные частицы.



В лимфе содержатся:

- 1. белки 29-73 г/л (30-60% от белков плазмы).
 - 2. лимфоциты 2-20 тыс/мкл .
 - 3. жиры - в эмульгированном состоянии, отчего через 6-8 ч после приема пищи лимфа имеет вид молока.
 - 4. ферменты - амилаза, фосфатазы, протеазы, липазы и др., но < чем в плазме.
-
- Качество и количество лимфы, образующейся в различных органах, неодинаково. Лимфа вливается в венозную кровь.
 - Лимфатические стволы впадают в правый и левый венозные углы в месте соединения внутренней яремной и подключичной вены, в области шеи.