

Лекция № 1.
Гемодинамические
закономерности движения
крови по сосудам

Гемодинамика - один из разделов биомеханики, изучающий законы движения крови по кровеносным сосудам. Задача – установить зависимость гемодинамических показателей от физических параметров крови и кровеносных сосудов.

Гемодинамические показатели кровотока определяются биофизическими параметрами всей сердечно-сосудистой системы, а именно собственными характеристиками сердечной деятельности (например, *ударным объемом крови*), структурными особенностями сосудов (*их радиусом и эластичностью*) и непосредственно свойствами самой крови (*вязкостью*).

- Так как жидкость *несжимаема* (*плотность ее одинакова*), то через любое сечение трубы и в единицу времени протекают *одинаковые объемы* жидкости:

$$Q=VS = \text{const.}$$

- Это называется *условием неразрывности струи*.
- *Объемная скорость кровотока* в любом сечении сосудистой системы также постоянна:

$$Q= \text{const.}$$

Для стационарного *ламинарного* течения реальной жидкости в цилиндрической трубе постоянного сечения справедлива *формула (закон) Гагена-Пуазейля*:

$$Q = \frac{\pi R^4}{8\eta} \cdot \frac{\Delta P}{l}$$

$$W = \frac{8\eta l}{\pi R^4}$$

Величина $W = \frac{8\eta l}{\pi R^4}$

называется **гидравлическим сопротивлением** сосуда. Выражение можно представить так, уменьшение радиуса на 20% приводит к **увеличению падения давления** более чем в 2 раза. Даже небольшие изменения просветов кровеносных сосудов сильно сказываются на падении давления.

Гидравлическое сопротивление.

Гидравлическое сопротивление w в значительной степени зависит от *радиуса* сосуда. Отношения радиусов для различных участков сосудистого русла:

$$R_{aорт} : R_{ар} : R_{кап} = 3000 : 500 : 1.$$

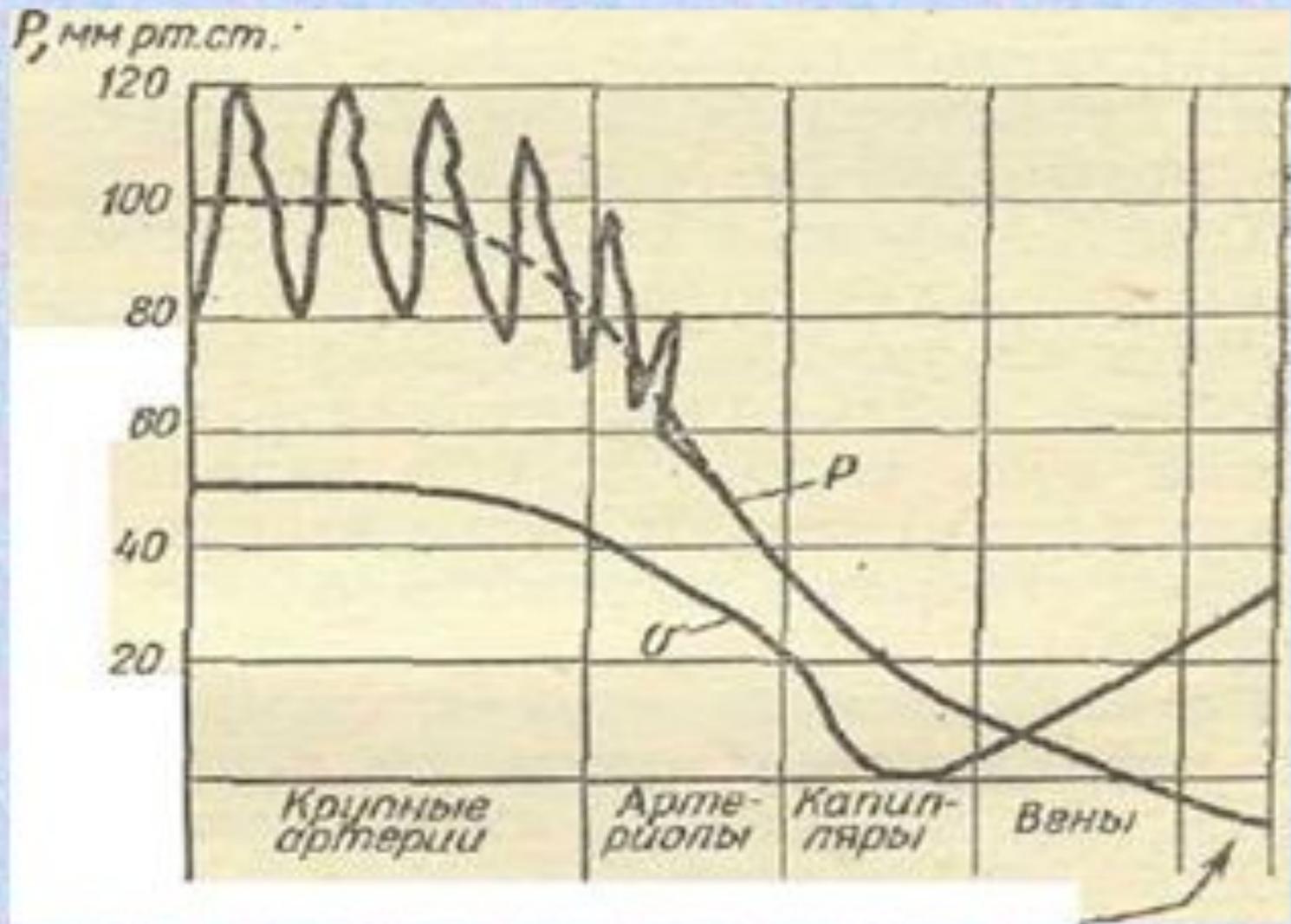
Поскольку гидравлическое сопротивление в сильной степени зависит от радиуса сосуда, то можно записать соотношение:

$$w_{кап} > w_{ар} > w_{aорт}$$

Линейная скорость кровотока.

Площадь суммарного просвета всех капилляров в *500 - 600 раз больше* поперечного сечения аорты. Это означает, что $V_{\text{кап}} = 1/500 V_{\text{аорт}}$. Именно в капиллярной сети при *медленной скорости* движения происходит обмен веществ между кровью и тканями.

Распределение давления



Модель сосудистой системы

- В 1628 г. английский врач В. Гарвей предложил модель сосудистой системы, где сердце служило насосом, прокачивающим кровь по сосудам:
 - *аорта*
 - *артерии*
 - *артериолы*
 - *капилляры*
 - *венулы*
 - *вены*

- **Основная функция сердечно-сосудистой системы - обеспечение непрерывного движения крови по капиллярам, где происходит обмен веществ между кровью и тканями.**
- **Артериолы - резистивные сосуды.** Легко изменяя свой просвет, они регулируют гемодинамические показатели кровотока в капиллярах, т.е. артериолы - "краны" сердечно-сосудистой системы.
- При этом **аорта и артерии** выполняют роль проводников, позволяя подводить кровь к различным частям тела.
- По **венам** кровь возвращается в сердце.

МОДЕЛЬ ФРАНКА. ПУЛЬСОВАЯ ВОЛНА

- **Во время систолы (сокращения сердца) кровь выбрасывается из левого желудочка в аорту и отходящие от нее крупные артерии.**
- **Во время диастолы (расслабления) желудочков аортальный клапан закрывается и приток крови от сердца в крупные сосуды прекращается**

Пульсовая волна - процесс распространения изменения объема вдоль эластичного сосуда в результате одновременного изменения в нем давления и массы жидкости. **Скорость распространения пульсовой волны** зависит от свойств сосуда и крови:

$$V_{\Pi} = \sqrt{\frac{Eh}{2r\rho}}$$

• где **E** - модуль Юнга материала стенки сосуда, **h** - ее толщина, **r** - радиус просвета, **ρ** - плотность крови

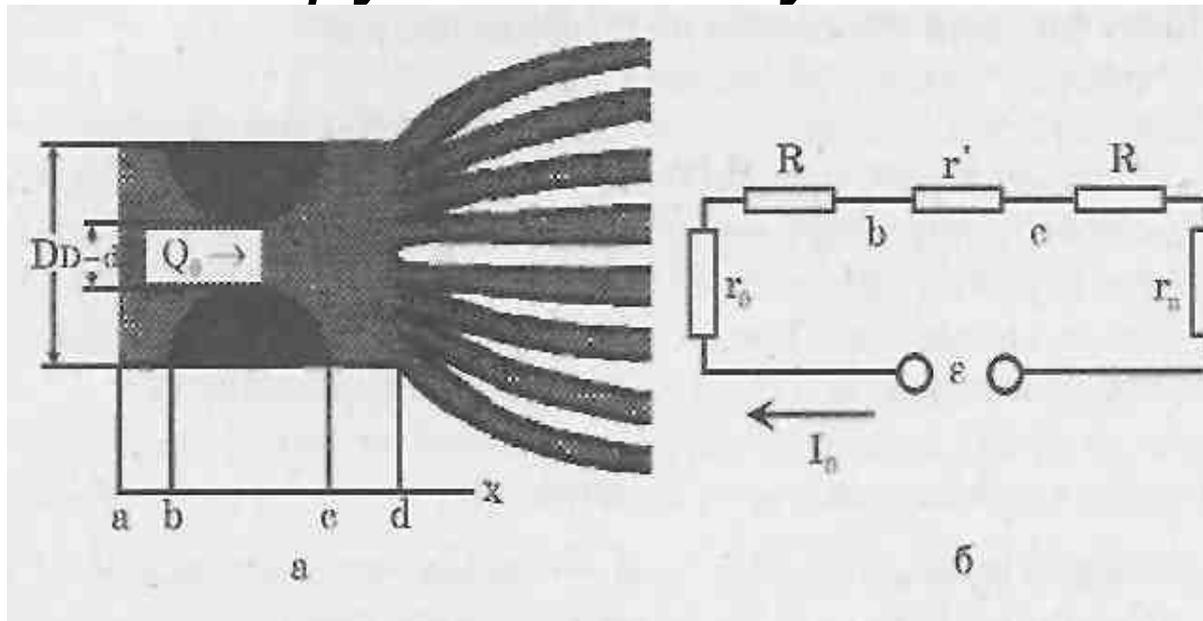
В 1899 г. немецкий физиолог О. Франк теоретически развил идею о том, что артерии *"запасают"* кровь во время систолы и *выталкивают* ее в мелкие сосуды во время диастолы. Выделим две фазы кровотока в системе *«левый желудочек сердца - крупные сосуды – мелкие сосуды»*

1-я фаза – фаза притока крови в аорту из сердца с момента открытия аортального клапана до его закрытия. Во время поступления крови из сердца стенки крупных сосудов *растягиваются* благодаря их эластичности, часть крови *резервируется* в крупных сосудах, а часть проходит в мелкие сосуды

2-я фаза – фаза изгнания крови из крупных сосудов в мелкие после закрытия аортального клапана. Во время этой фазы стенки крупных сосудов за счет упругости *возвращаются в исходное положение*, проталкивая кровь в микрососуды. В это время в *левый желудочек поступает кровь из левого предсердия*.

эквивалентная электрическая схема

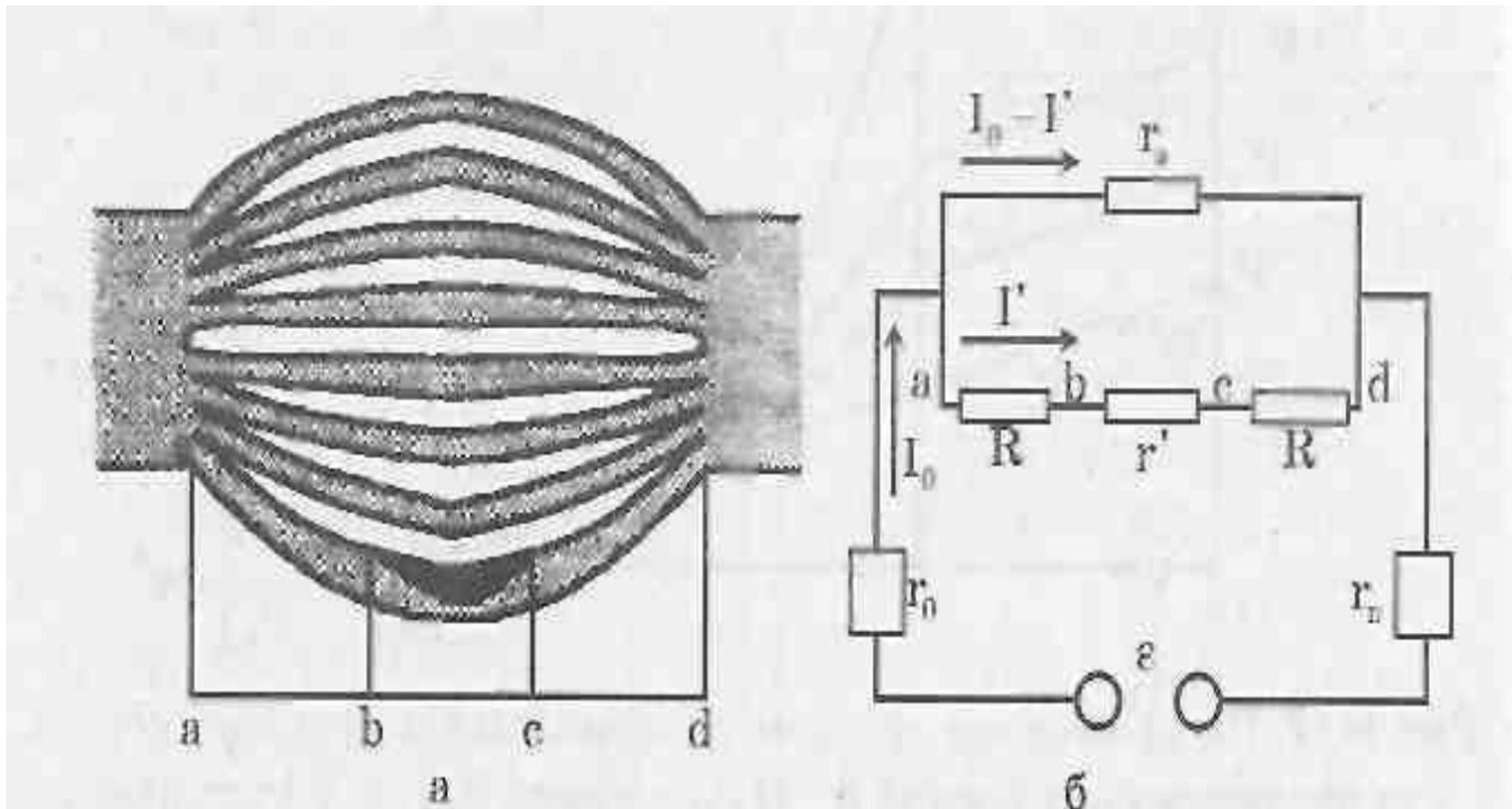
1. Сужение крупного сосуда



На участке bc произошло сужение сосуда.

2. Сужение одного из мелких сосудов разветвленной системы .

Сужение (образование тромба) одного из мелких сосудов разветвленной системы



Образование тромба приводит к нарушению линейной зависимости падения давления вдоль капилляра. Изменяется и градиент гидростатического давления вдоль капилляра по сравнению со стандартным значением: *уменьшается* на участках *ab и cd* и резко *увеличивается* на *bc*.

- **Образование тромбов** в капиллярах может происходить в результате действия ионизирующего излучения на организм.
- Уменьшение скорости кровотока в поврежденном сосуде может привести *к снижению интенсивности обмена веществ между кровью и тканями*, вызвать гипоксию близлежащих участков тканей и возможно даже их некроз (инфаркт, инсульт).

Вследствие неравномерного сужения просвета сосудов (или локального расширения) может возникнуть ***турбулентное (вихревое)*** движение кровотока. Турбулентное движение создает условия для ***оседания тромбоцитов и образования агрегатов*** (формирование тромба). Если тромб слабо связан со стенкой сосуда, то под действием резкого перепада давления вдоль него он может начать двигаться.