

# ГЕМОДИНАМИКА

ДВИЖЕНИЕ КРОВИ ПО СОСУДАМ

# ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГЕМОДИНАМИКИ

## **Q** ОБЪЁМНАЯ СКОРОСТЬ КРОВотоКА (л/мин, мл/мин)

- Объём крови, который протекает через поперечное сечение сосудов за **1** мин.
  - Является главным показателем гемодинамики.
- Отражает транспорт-ные функции крови  
(например, уменьшение объёма притекающей крови приводит к уменьшению снабжения тканей кислородом)

**Q (л/мин)**

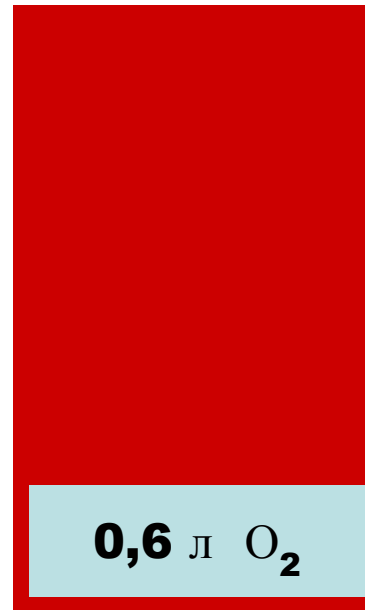
**5** л крови



**4** л крови



**3** л крови



# ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГЕМОДИНАМИКИ

## **Р** ДАВЛЕНИЕ КРОВИ (мм рт.ст.)

- Сила, с которой кровь действует на единицу площади стенки сосуда.
- **Р** является движущей силой кровотока: кровь течёт из области с высоким **Р** в область с низким **Р** ( $P_1 - P_2$ )
- **Р** является движущей силой для фильтрации жидкости через стенку капилляра  
(например, при снижении давления крови прекращается фильтрация в почечных клубочках)

# ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГЕМОДИНАМИКИ

**V**

ЛИНЕЙНАЯ СКОРОСТЬ КРОВОТОКА

(м/сек, мм/сек)

- Скорость, с которой частицы крови движутся вдоль сосуда.
- От линейной скорости зависит время контакта крови со стенкой капилляра (в норме **2,5** сек).  
Если скорость движения крови увеличится, обмен не успеет произойти.

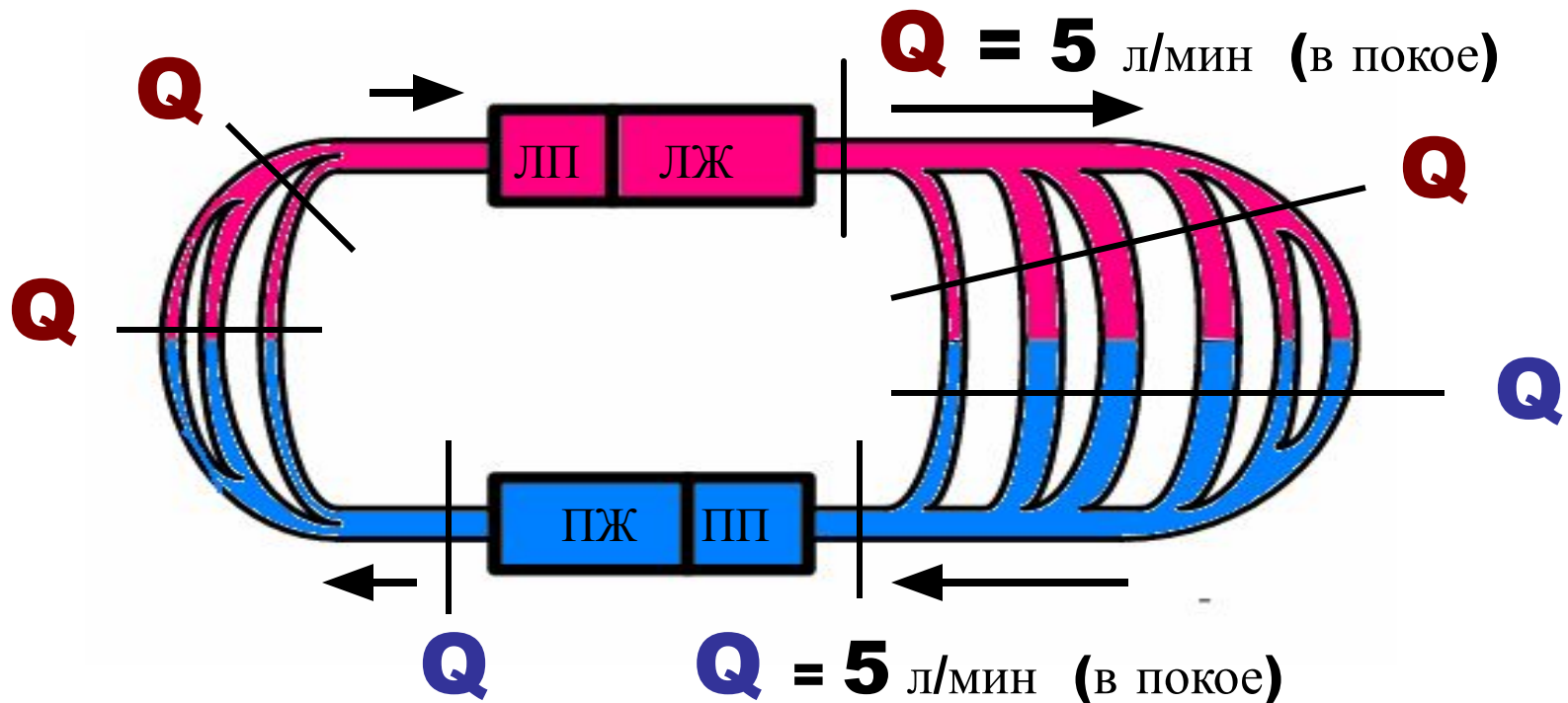
# ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГЕМОДИНАМИКИ

## **R** ПЕРИФЕРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

- Обусловлено трением между кровью и стенкой сосуда, а также между слоями движущейся крови.
- Зависит от радиуса сосуда, от вязкости крови, от характера течения крови (ламинарное или турбулентное)
- Периферическое сосудистое сопротивление невозможно измерить, его можно только рассчитать, зная другие показатели гемодинамики.

# ЗАКОНЫ ГЕМОДИНАМИКИ

- **ЗАКОН ПОСТОЯНСТВА ПОТОКА** – объём крови, протекающий через площадь поперечного сечения сосудов за минуту, одинаков во всех отделах сердечно-сосудистой системы.



# ЗАКОНЫ ГЕМОДИНАМИКИ

- **ОСНОВНОЙ ЗАКОН ГЕМОДИНАМИКИ** – объём крови, протекающий за минуту через поперечное сечение сосуда (**Q**), прямо пропорционален разнице давления на концах сосуда ( $P_1 - P_2$ ) и обратно пропорционален величине периферического сопротивления (**R**).

$$Q = \frac{P_1 - P_2}{R}$$



# ЗАКОНЫ ГЕМОДИНАМИКИ

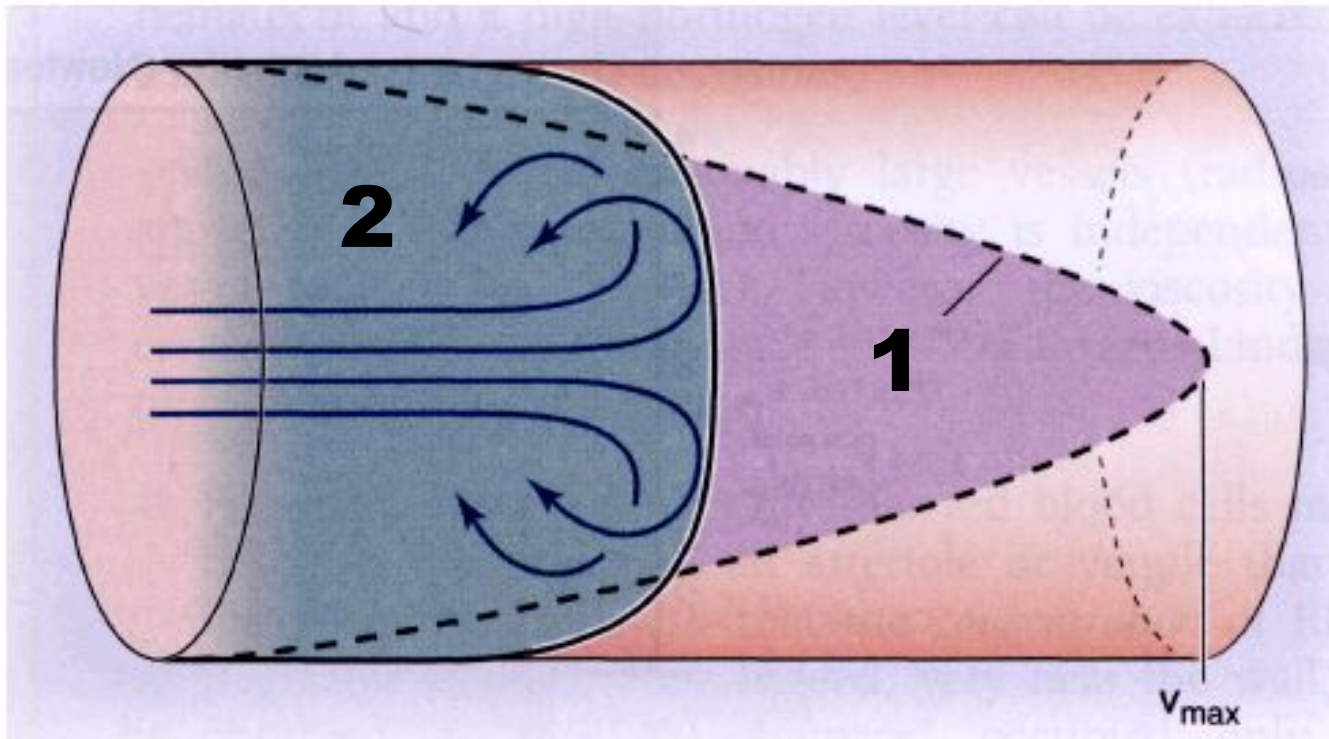
$$R = \frac{8l\eta}{\pi r^4}$$

ПЕРИФЕРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ прямо пропорционально длине сосуда (  $l$  ), вязкости крови (  $\eta$  ) и обратно пропорционально радиусу сосуда (  $r$  ).

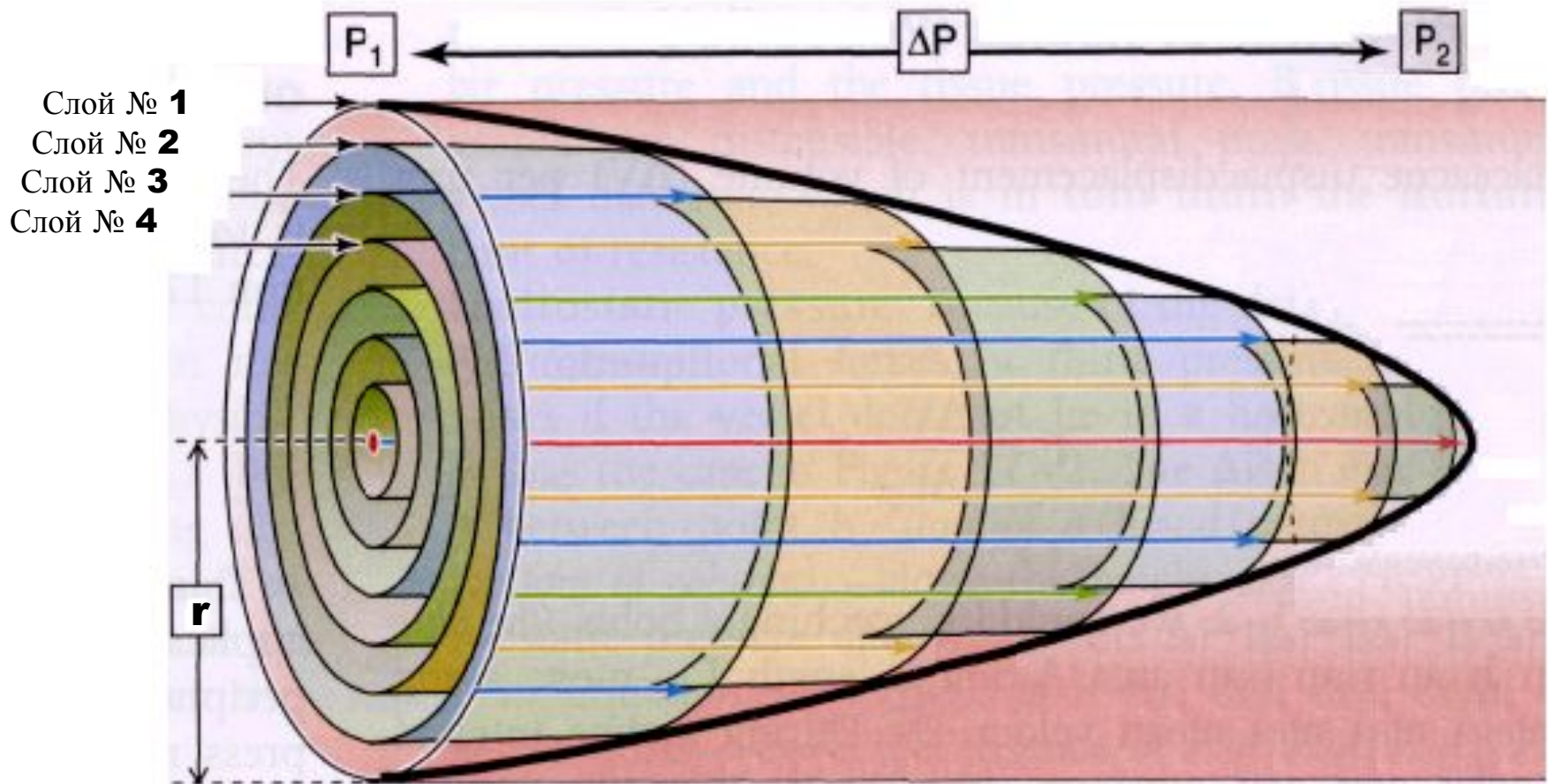
**Вязкость крови** в организме зависит от калибра сосуда, характера и скорости течения крови в сосудах:

- в сосудах диаметром меньше **200** мкм вязкость резко снижается (феномен Фареуса – Линдквиста);
- при турбулентном течении вязкость повышается.

# ЛАМИНАРНОЕ (1) и ТУРБУЛЕНТНОЕ (2) ТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ В СОСУДЕ

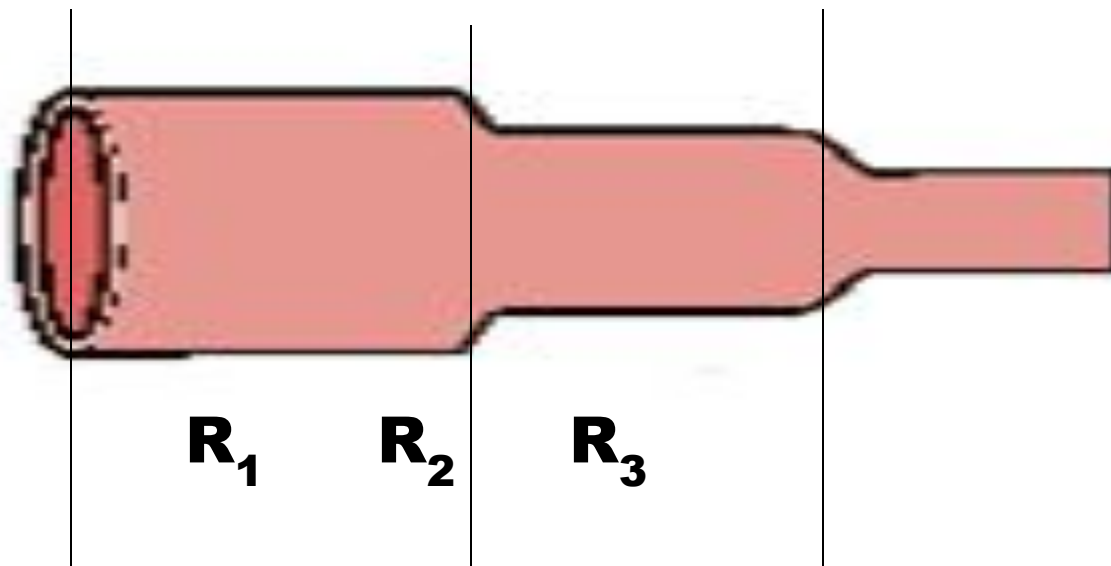


# ЛАМИНАРНОЕ ТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ



# ЗАКОНЫ ГЕМОДИНАМИКИ

**1-ый закон**  
Кирхгофа

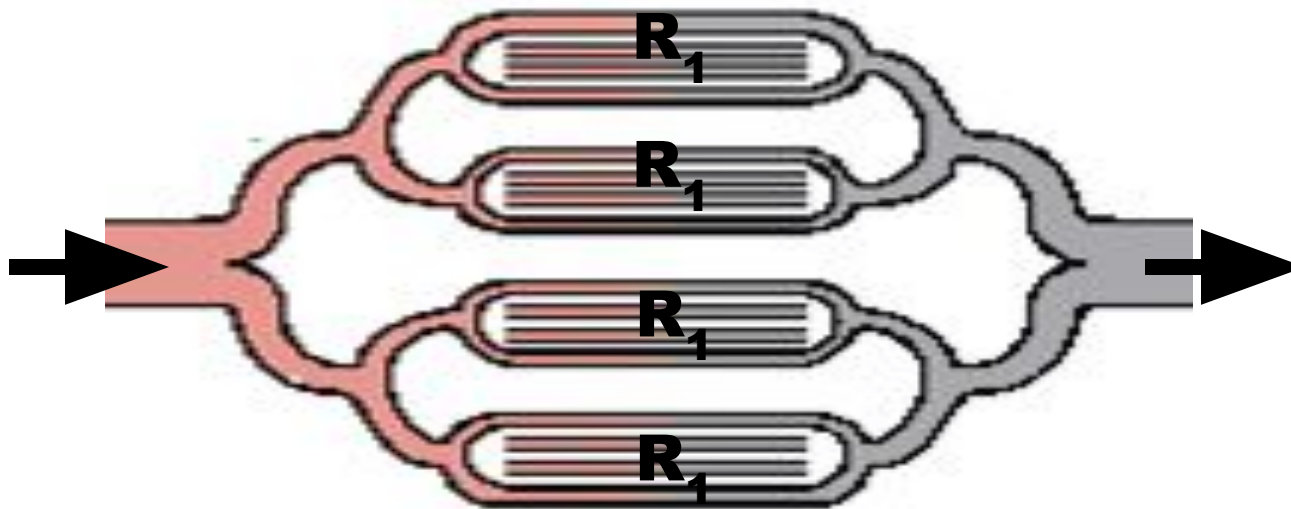


- **СОПРОТИВЛЕНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО соединённых сосудов, равно сумме сопротивлений каждого отдельного сосуда.**

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

# ЗАКОНЫ ГЕМОДИНАМИКИ

## 2-ой закон Кирхгофа



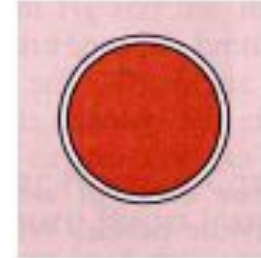
- ПРОВОДИМОСТЬ ( $C = 1/R$ ) ПАРАЛЛЕЛЬНО соединённых сосудов равна сумме проводимостей каждого отдельного сосуда:  $C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$   
или  $1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots$
- Если сосуды одного калибра, то  $R = R_1/n$ .
  - Это значит, что сопротивление всей параллельной системы меньше, чем сопротивление одного сосуда,
  - и чем больше сосудов в системе, тем меньше её сопротивление (например, в сети капилляров).

# ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ КРОВЕНОСНЫХ СОСУДОВ

- **АМОРТИЗИРУЮЩИЕ СОСУДЫ** – аорта и крупные артерии.

Сосуды эластического типа.

Принимают на себя гидравлический удар, обеспечивают непрерывный ток крови.



- **СОСУДЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ** – средние и мелкие артерии.

Сосуды мышечно-эластического типа.

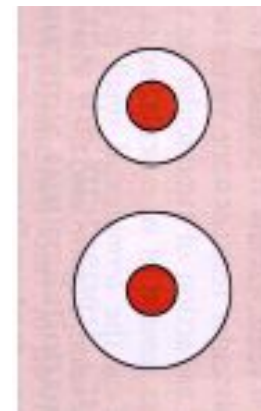
Распределяют кровоток по органам и тканям.



- **СОСУДЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ** – артерии диаметром менее **100** мкм, артериолы, прекапиллярные сфинктеры.

Сосуды мышечного типа.

Обеспечивают капиллярный кровоток.



# ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ КРОВЕНОСНЫХ СОСУДОВ

- **ОБМЕННЫЕ СОСУДЫ – капилляры.** Стенка капилляра – базальная мембрана и слой эндотелия. Оптимальные условия для обмена.



- **ЁМКОСТНЫЕ СОСУДЫ – вены**  
Растяжимость, прочность, пассивное и активное изменение ёмкости, депонирование крови.








Мелкие

Средние

крупные

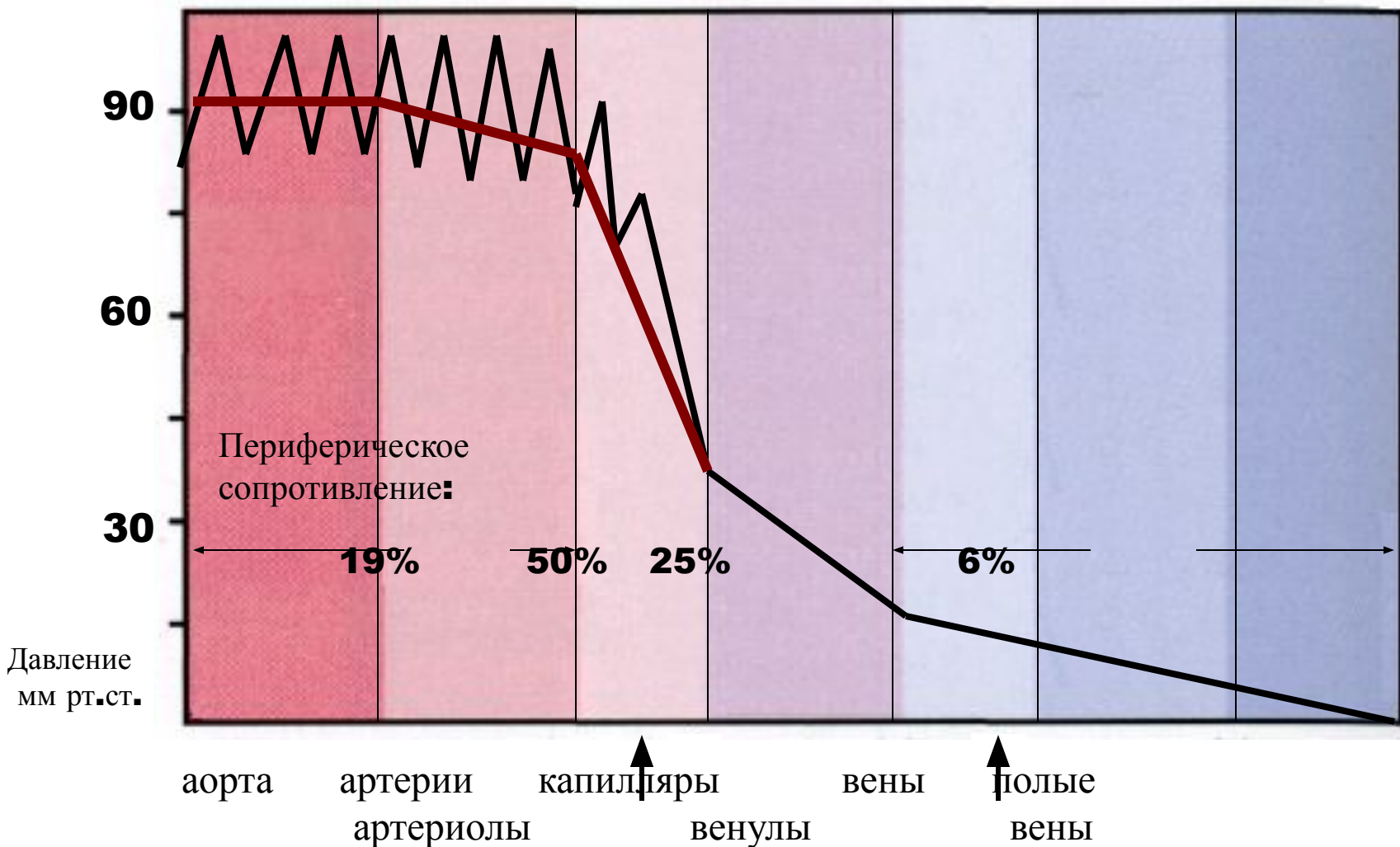


# СООТНОШЕНИЕ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ И ВНУТРЕННЕГО ДИАМЕТРА СОСУДОВ

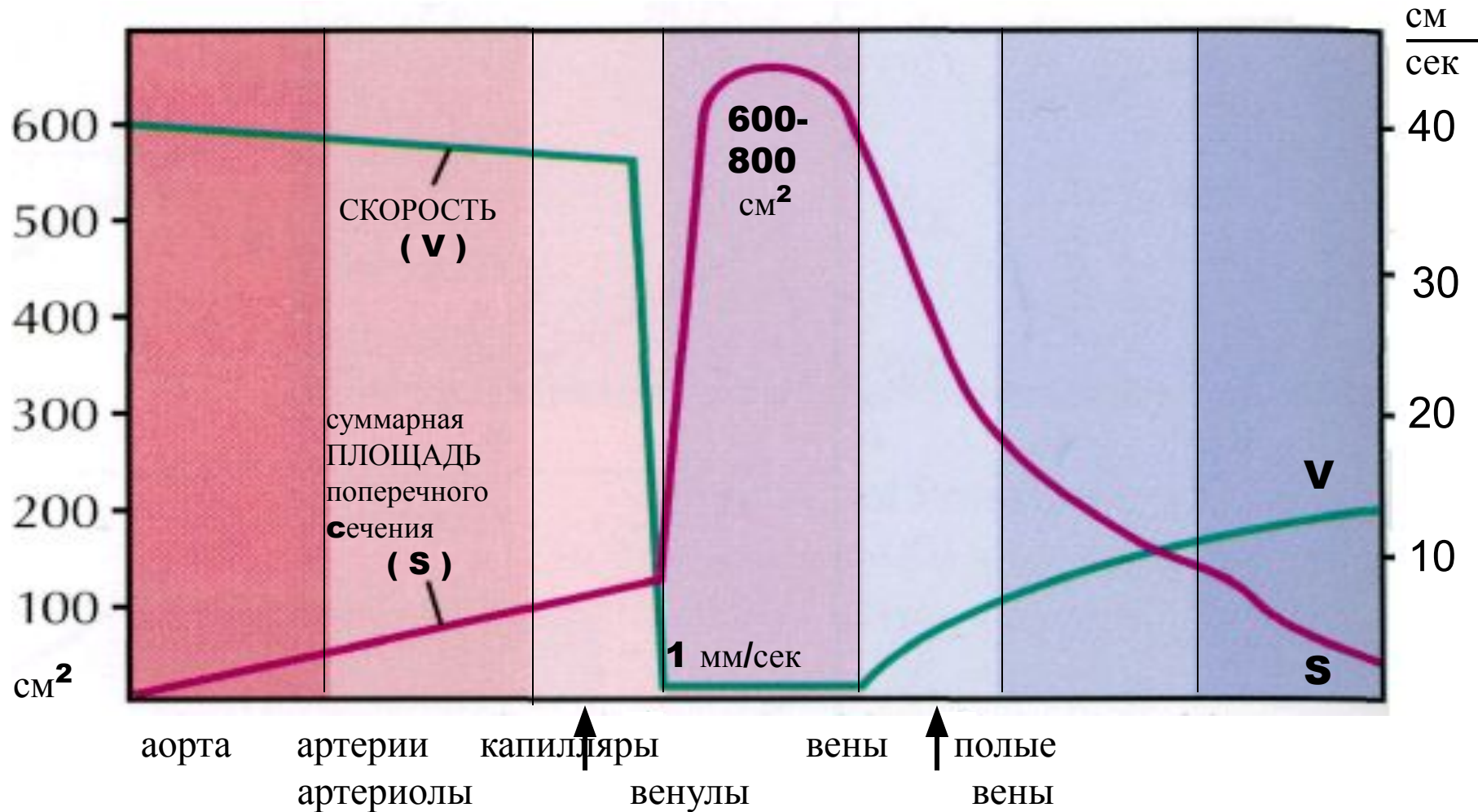
Диаметр <b>24 мм</b>	<b>4 мм</b>	<b>30 мкм</b>	<b>6 мкм</b>	<b>20 мкм</b>	<b>5 мм</b>	<b>30 мм</b>	
Толщина стенки <b>2 мм</b>	<b>1 мм</b>	<b>20-30 мкм</b>	<b>1 мкм</b>	<b>2 мкм</b>	<b>0.5 мм</b>	<b>1.5 мм</b>	
							
Аорта	средняя артерия	артериола и пре- капиллярный сфинктер	капилляр	венула	вена	портальная вена	



# ИЗМЕНЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ КРОВИ ПО ХОДУ СОСУДИСТОГО РУСЛА



# ИЗМЕНЕНИЕ ЛИНЕЙНОЙ СКОРОСТИ КРОВОТОКА ПО ХОДУ БОЛЬШОГО КРУГА КРОВООБРАЩЕНИЯ

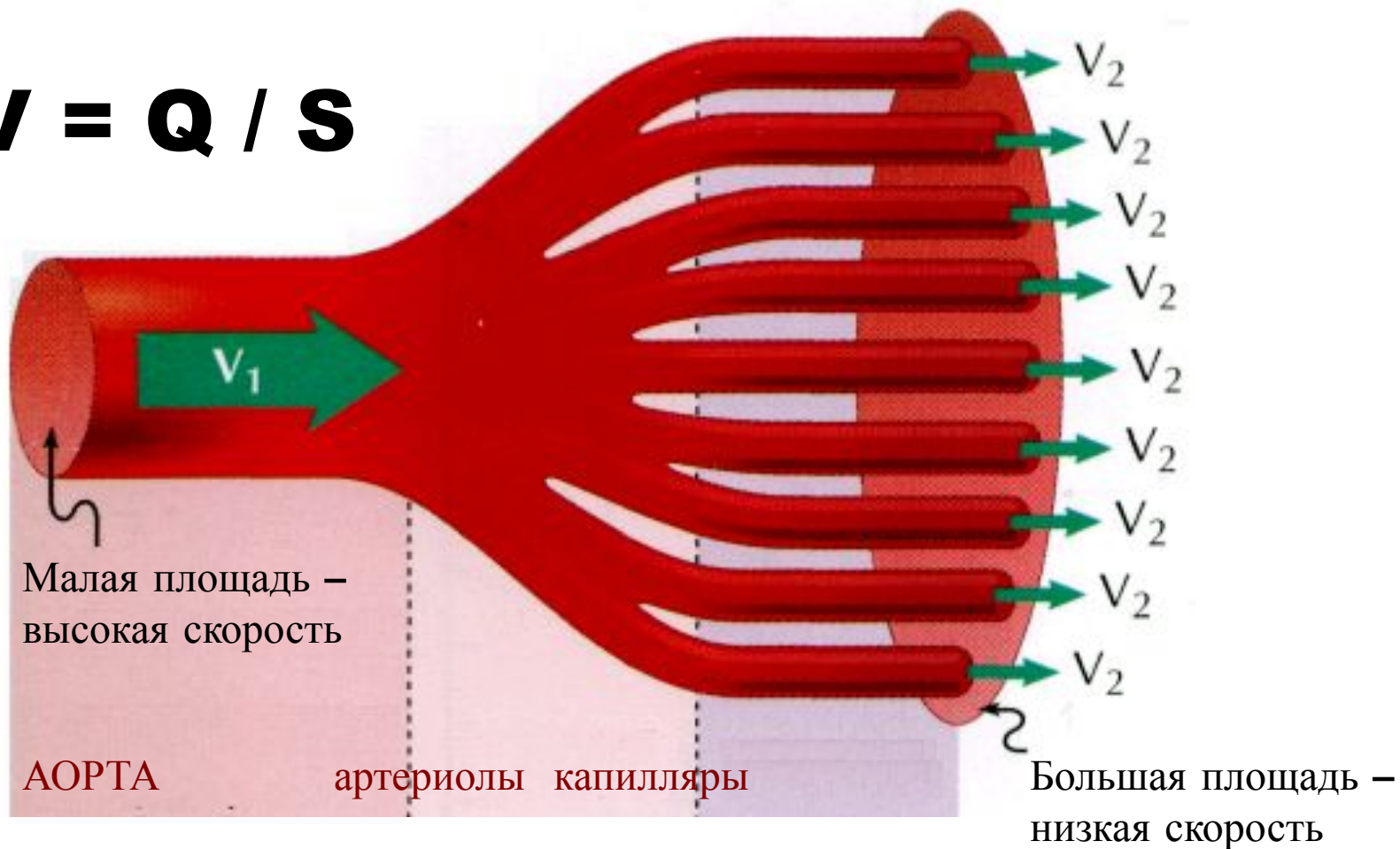


$$V = Q / S$$

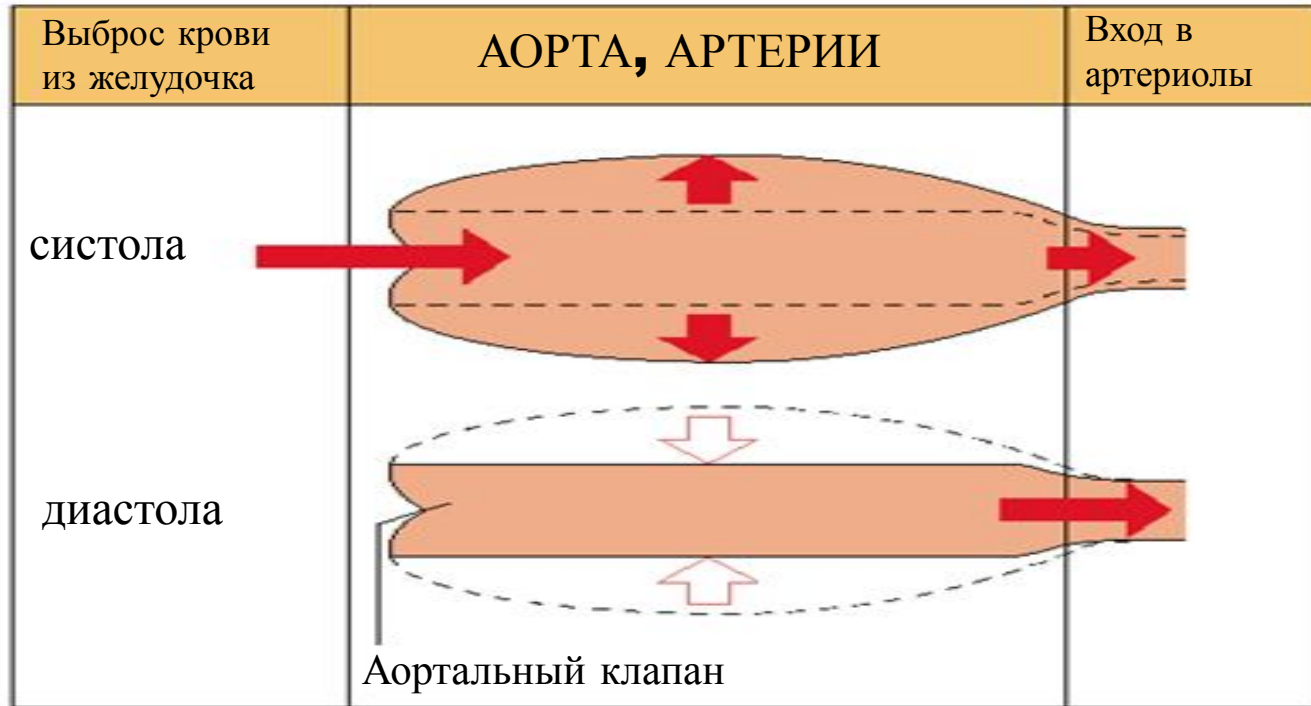
Линейная скорость обратно пропорциональна площади поперечного сечения сосудов

# ЛИНЕЙНАЯ СКОРОСТЬ КРОВОТОКА

$$V = Q / S$$



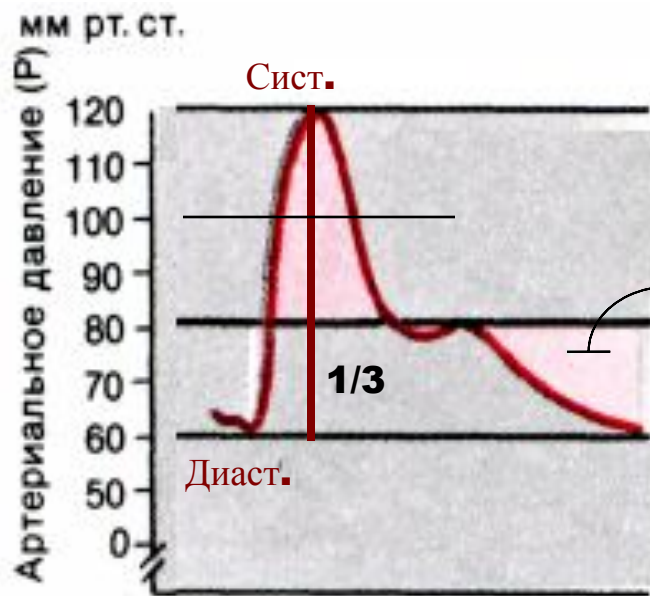
# ДВИЖЕНИЕ КРОВИ ПО АРТЕРИЯМ



Эластичность артерий обуславливает пульсовые колебания

скорости кровотока,  
давления,  
объёма

# АРТЕРИАЛЬНОЕ ДАВЛЕНИЕ



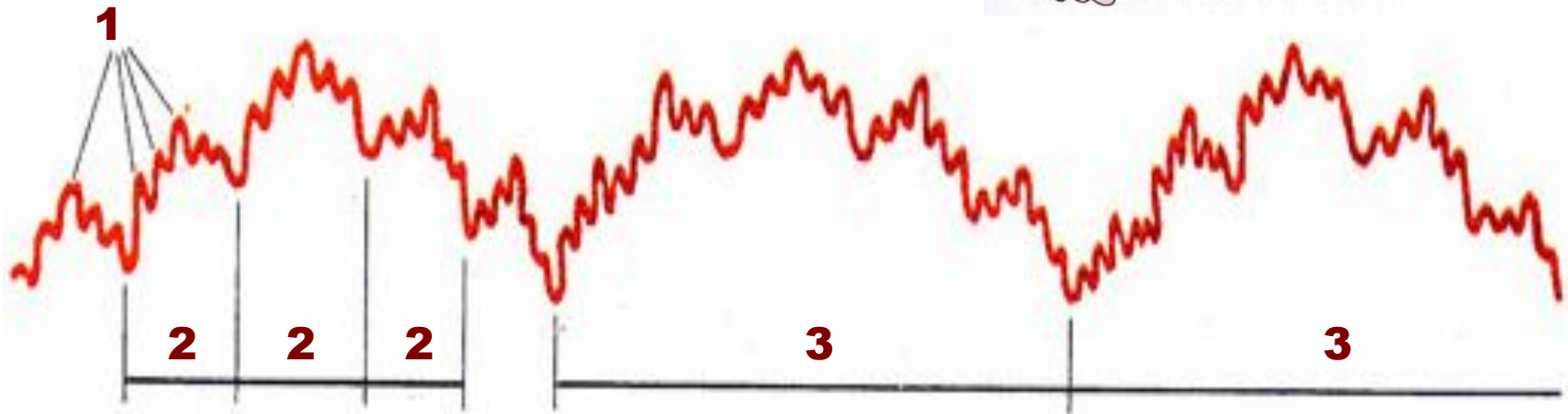
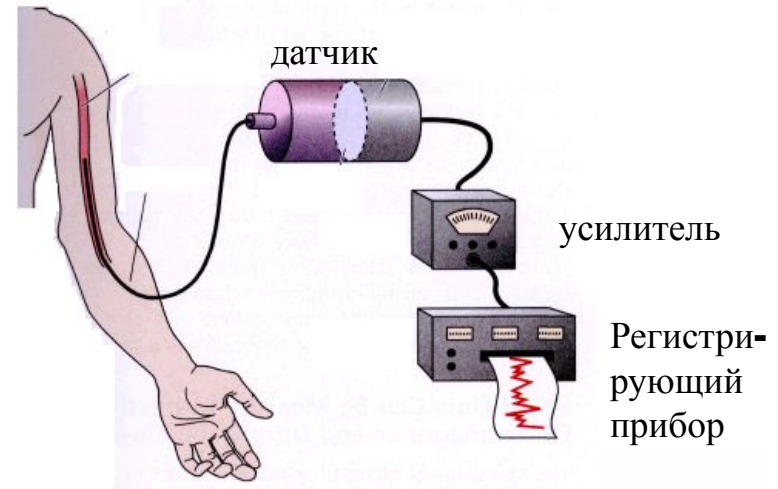
плечевая  
артерия

- Систолическое давление ( $P_c$ ) – максимальное
- Диастолическое давление ( $P_d$ ) – минимальное
- Пульсовое давление =  $P_c - P_d$
- **СРЕДНЕЕ АРТЕРИАЛЬНОЕ ДАВЛЕНИЕ** – движущая сила кровотока ( $P_{ср}$ ) – это постоянный уровень давления, который обеспечивает такой же гемодинамический эффект (**Q**), как и реальное пульсирующее давление.

$$P_{ср} = P_d + \frac{1}{3} (P_c - P_d)$$

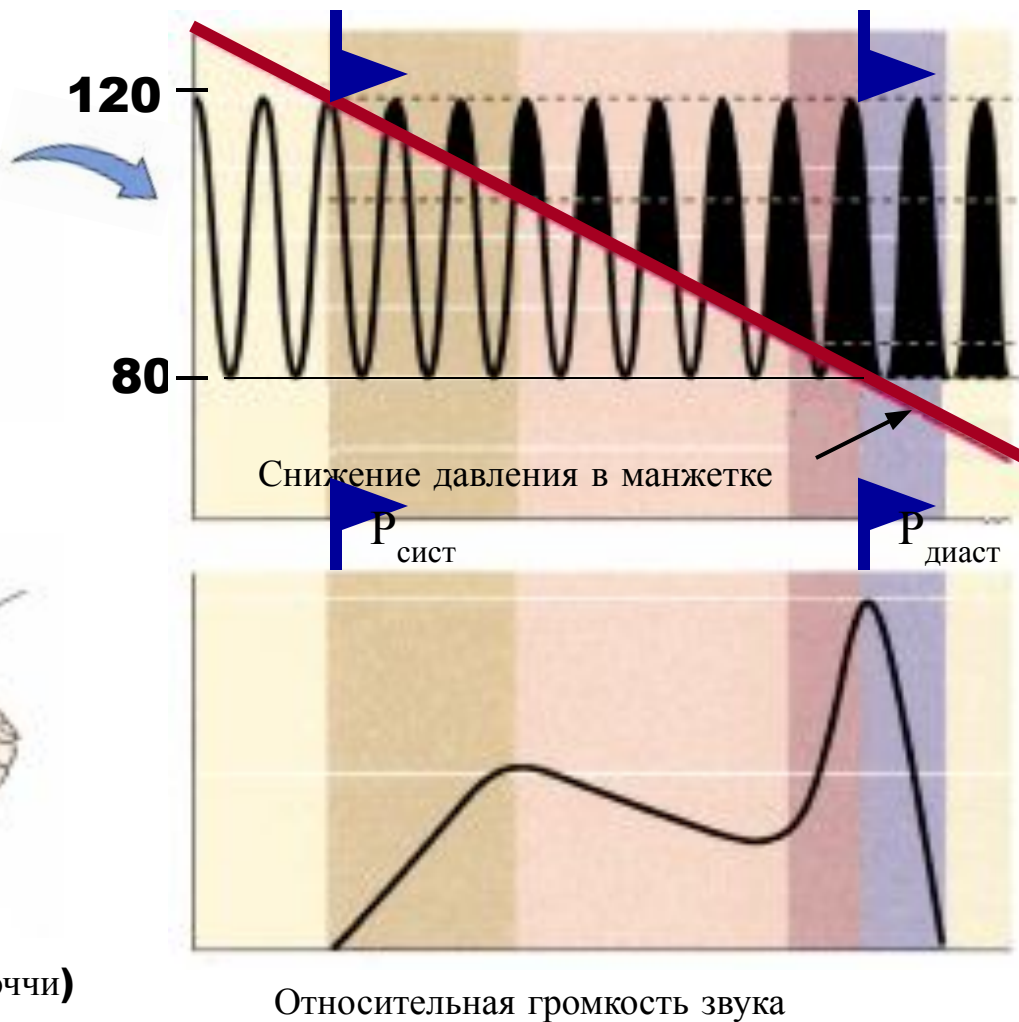
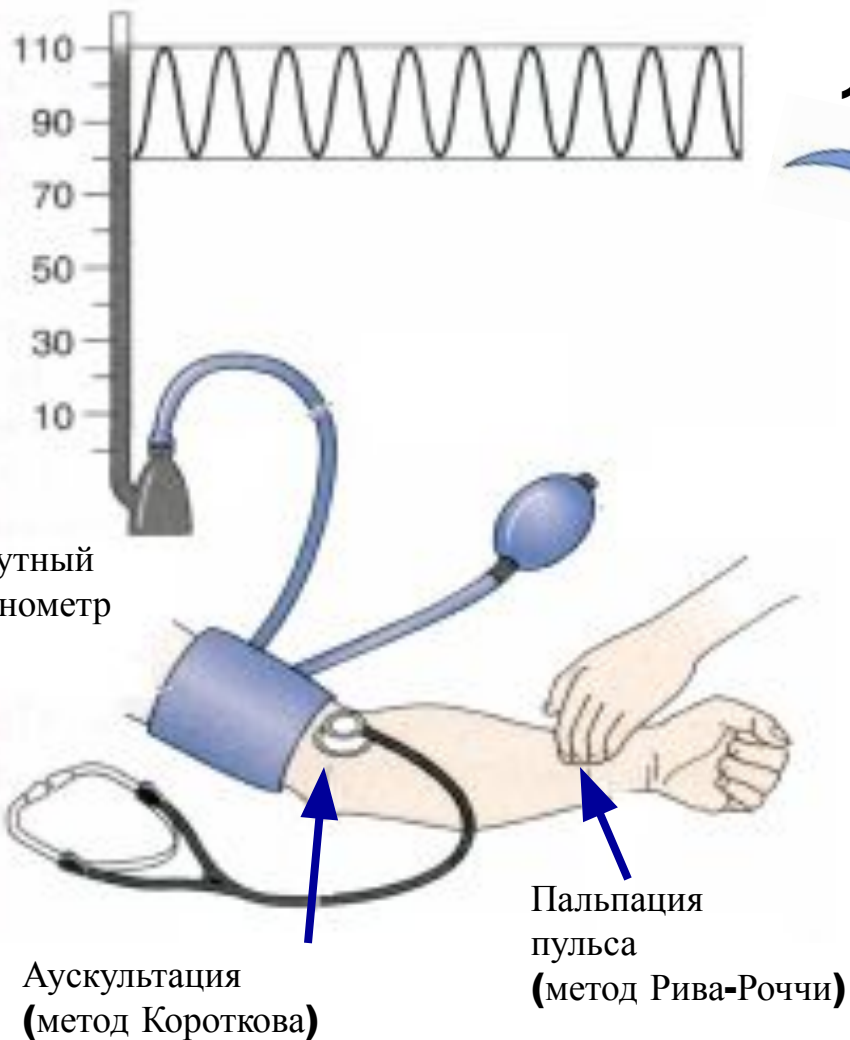
# ИЗМЕРЕНИЕ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ

## ПРЯМОЙ (КРОВАВЫЙ) МЕТОД

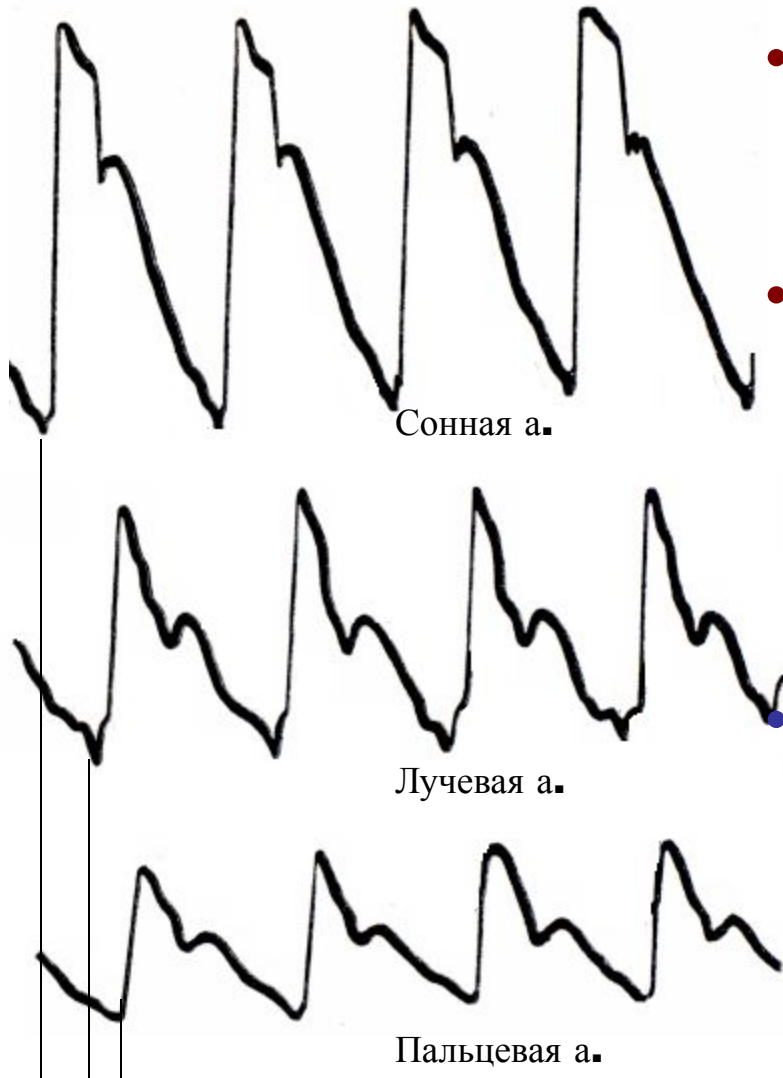


- 1** – волны **1**-го порядка (пульсовые) – **70-80** в минуту
- 2** – волны **2**-го порядка (дыхательные) – **12-16** в минуту
- 3** – волны **3**-го порядка (связаны со снижением тонуса сосудодвигательного центра, например, при гипоксии) – **1-2** в минуту.

# НЕПРЯМЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ АД (ПАЛЬПАТОРНЫЙ И АУСКУЛЬТАТИВНЫЙ)



# АРТЕРИАЛЬНЫЙ ПУЛЬС СФИГМОГРАФИЯ



- **Артериальный пульс** – колебание стенки артерии, связанное с увеличением объёма и давления крови в ней.

- **Сфигмография** – запись артериального пульса (с помощью датчика, расположенного на поверхности кожи над пульсирующей артерией).

Датчик преобразует механические колебания в электрические.

Амплитуда и форма СФГ зависят от растяжимости артерии (эластичность, тонус) и величины систолического выброса.

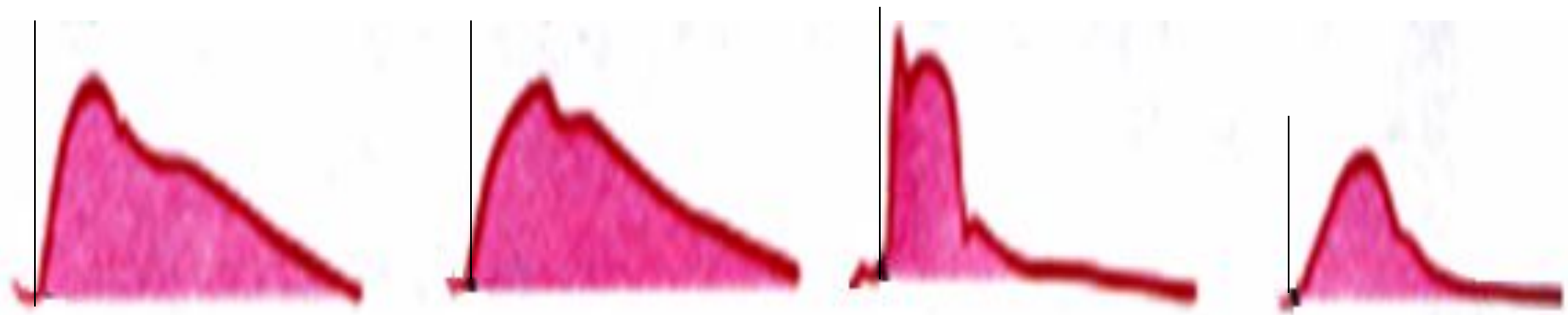


# СФИГМОГРАММА



- **АНАКРОТА (а)** – восходящая часть кривой
- **КАТАКРОТА (к)** – нисходящая часть кривой
- **ИНЦИЗУРА** – захлопывание аортального клапана
- **ДИКРОТИЧЕСКИЙ ПОДЪЁМ** – колебание стенки сосуда, связанное с прохождением небольшого объёма крови, отражённого от аортального клапана

# СФИГМОГРАММА ПОДКЛЮЧИЧНОЙ АРТЕРИИ В РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ ГЕМОДИНАМИКИ



Норма

высокое  
периферическое  
сопротивление

низкое  
периферическое  
сопротивление

систолич.  
объём

низкий

# ПУЛЬСОВАЯ ВОЛНА

Пульсовые колебания кровотока, давления и объёма распространяются в упругой жидкой среде (в потоке крови) в виде пульсовой волны.

Скорость распространения пульсовой волны выше, чем скорость кровотока.

Она зависит от растяжимости стенки сосуда, от отношения толщины стенки сосуда к радиусу.

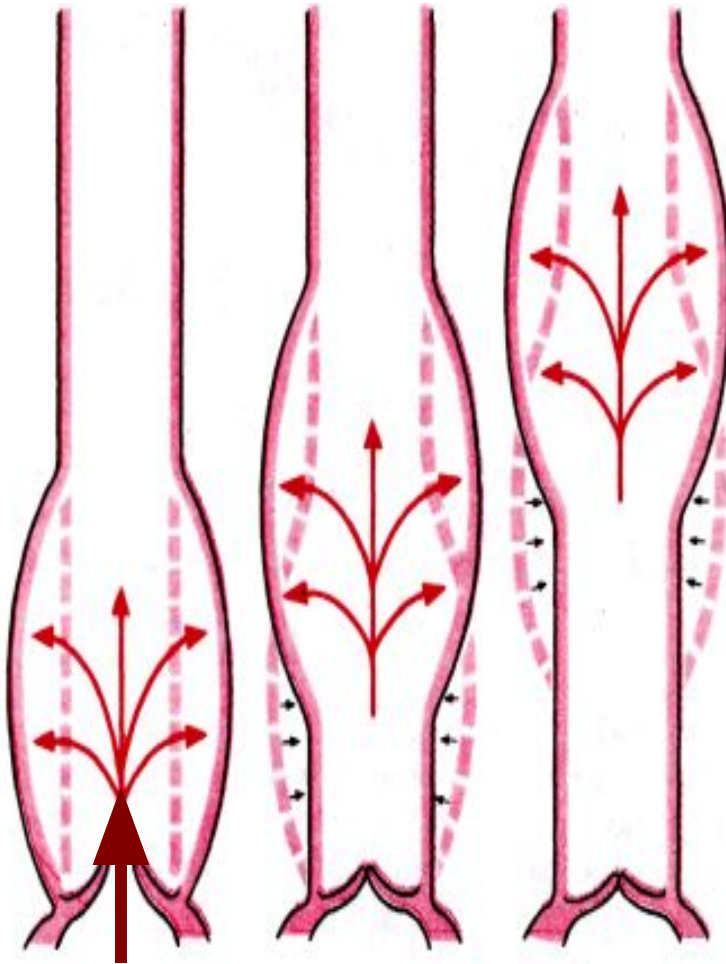
Чем меньше растяжимость и толще стенка, тем больше скорость распространения пульсовой волны:

аорта – **4-6** м/сек

лучевая а. – **8-12** м/сек

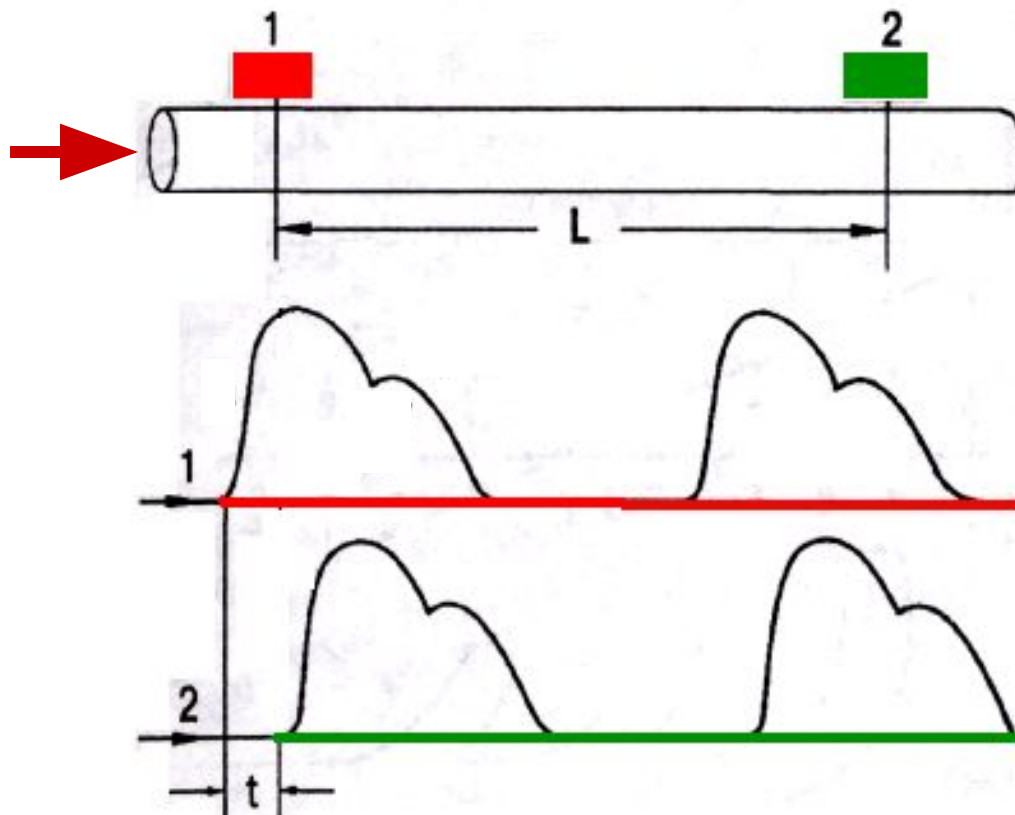
С возрастом скорость увеличивается, т.к. развивается склероз сосудов.

При гипертонии тонус сосудов увеличивается, поэтому скорость распространения пульсовой волны тоже увеличивается.



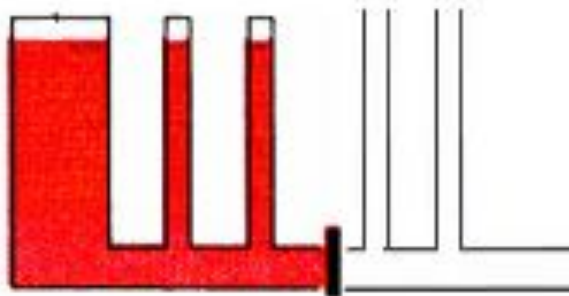
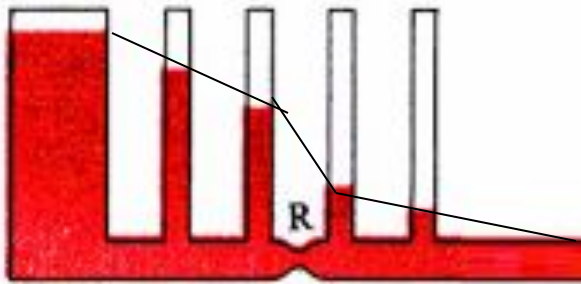
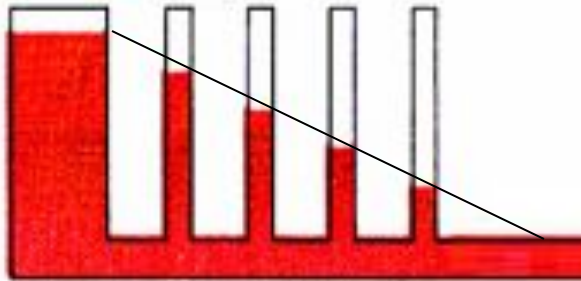
аортальный клапан

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПУЛЬСОВОЙ ВОЛНЫ (С ПОМОЩЬЮ ДВУХ СФИГМОГРАФИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ)



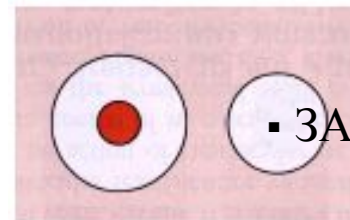
$$v = \frac{L}{t} \text{ м/с}$$

# АРТЕРИОЛЫ – КРАНЫ СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ



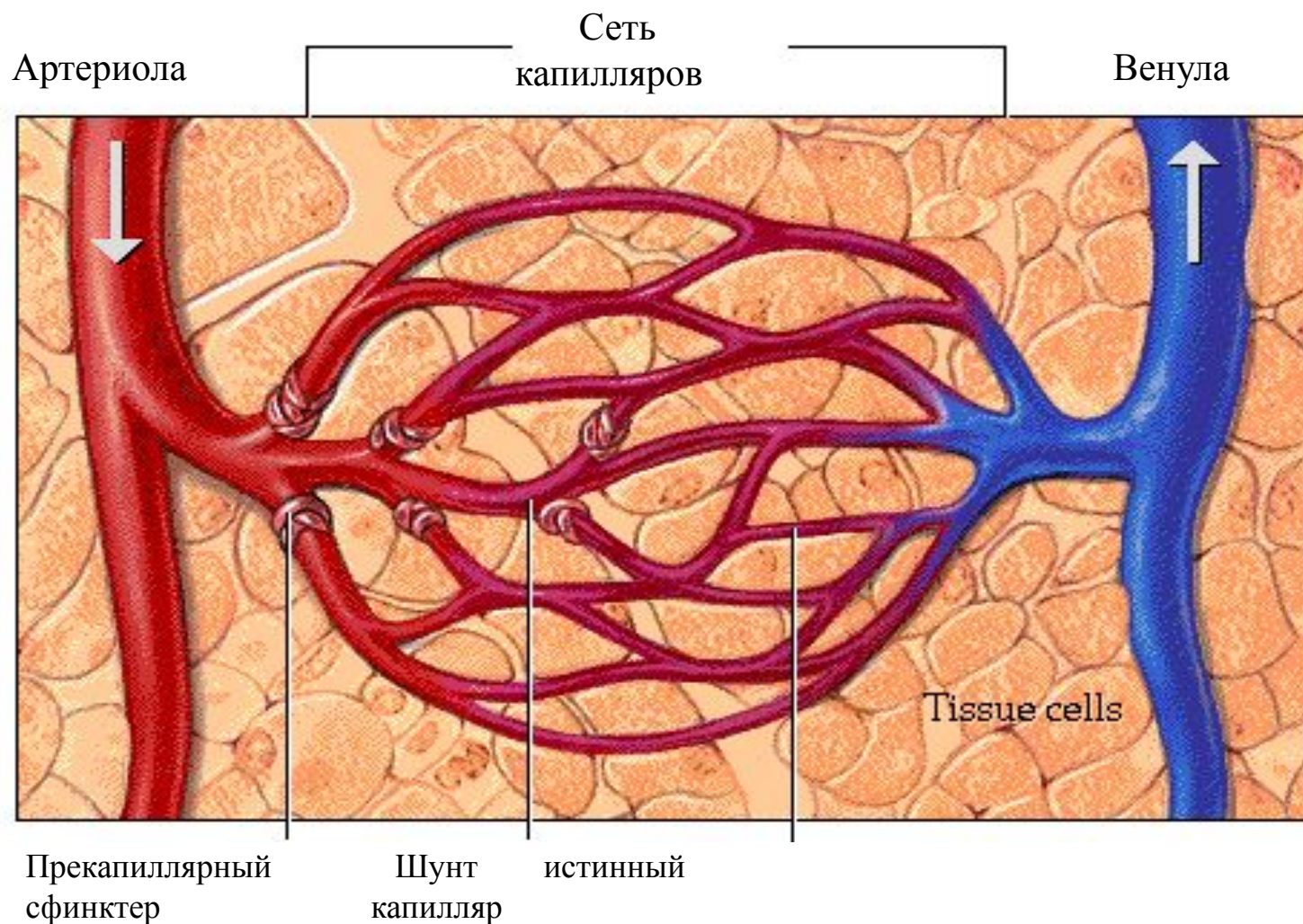
- АРТЕРИОЛЫ – микрососуды с толстой мышечной стенкой
- Оказывают максимальное сопротивление кровотоку (**R**)
- С одной стороны, поддерживают высокое давление в крупных артериях
- С другой стороны, регулируют давление и кровотоки в капиллярах
- Артериолы при спазме могут полностью закрываться.
- В таком случае кровь в капилляры не течёт, капилляры не действуют.

ОТКР

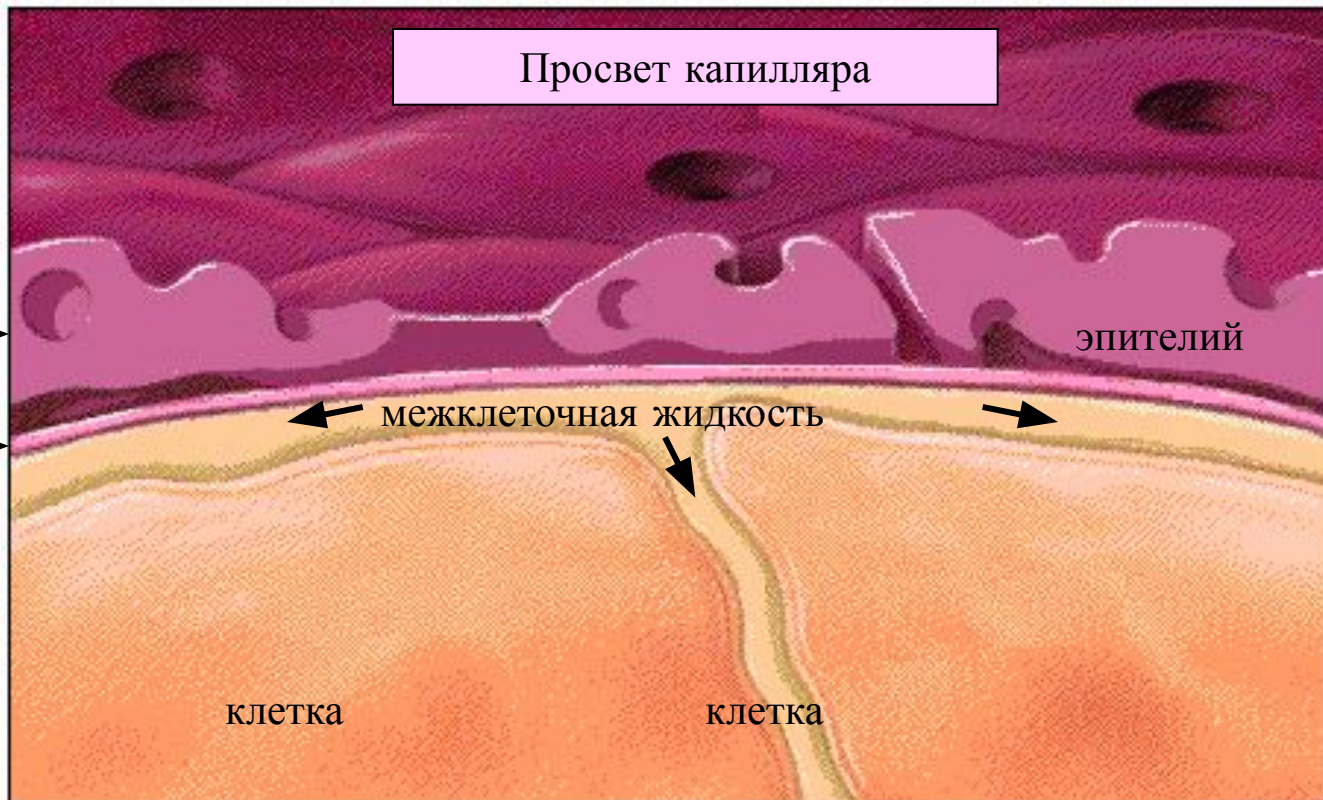


ЗАКР

# МИКРОЦИРКУЛЯТОРНОЕ РУСЛО КАПИЛЛЯРЫ

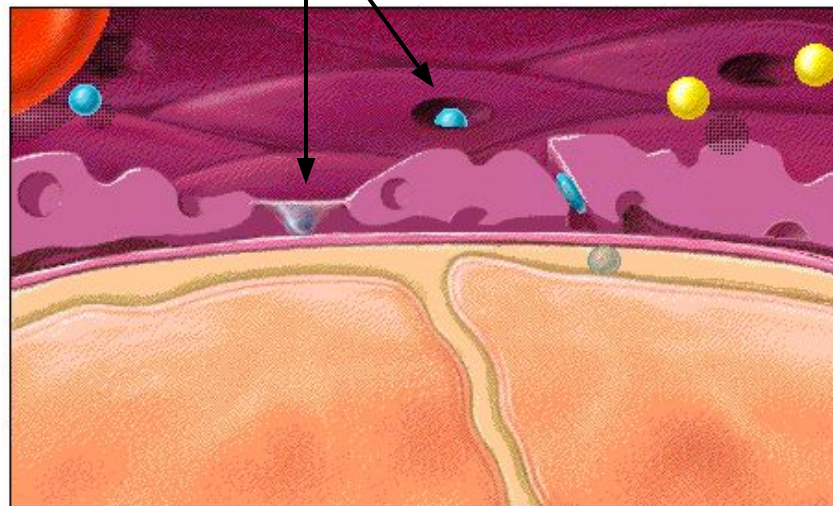
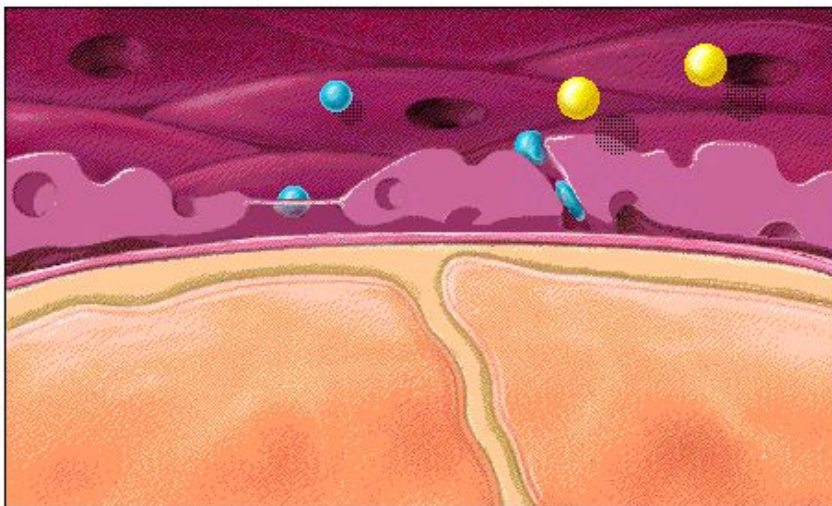


# СТЕНКА КАПИЛЛЯРА



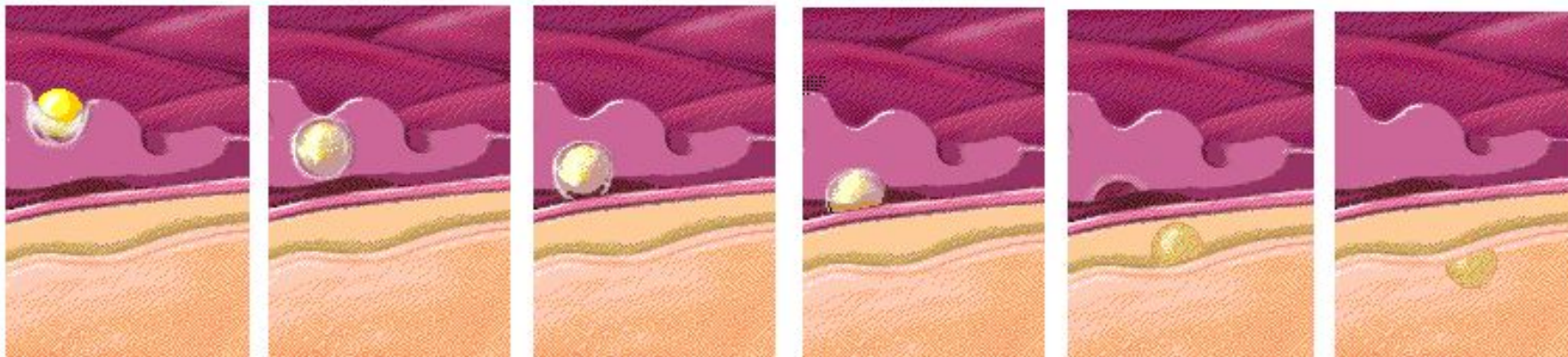
# ДИФФУЗИЯ ВОДОРАСТВОРИМЫХ МОЛЕКУЛ ЧЕРЕЗ МЕЖКЛЕТОЧНЫЕ ЩЕЛИ И ФЕНЕСТРЫ

Фенестра (окно)

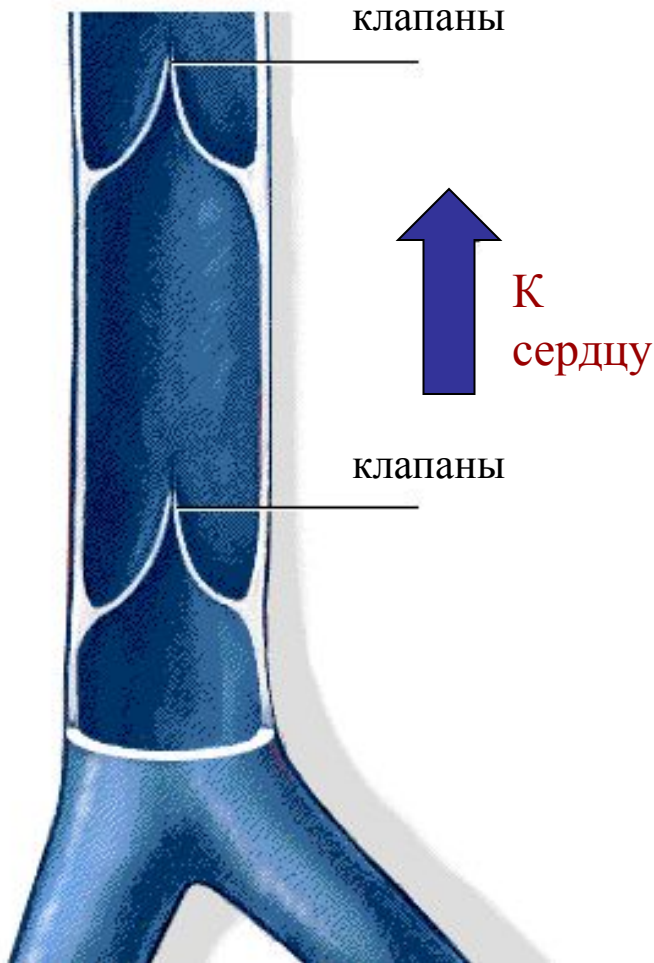




# ТРАНСПОРТ КРУПНЫХ МОЛЕКУЛ ПУТЁМ ЭНДО- ЭКЗОЦИТОЗА



# ДВИЖЕНИЕ КРОВИ ПО ВЕНАМ



Градиент давления в венозной системе  
низкий: **15 мм Hg**      **0**      →

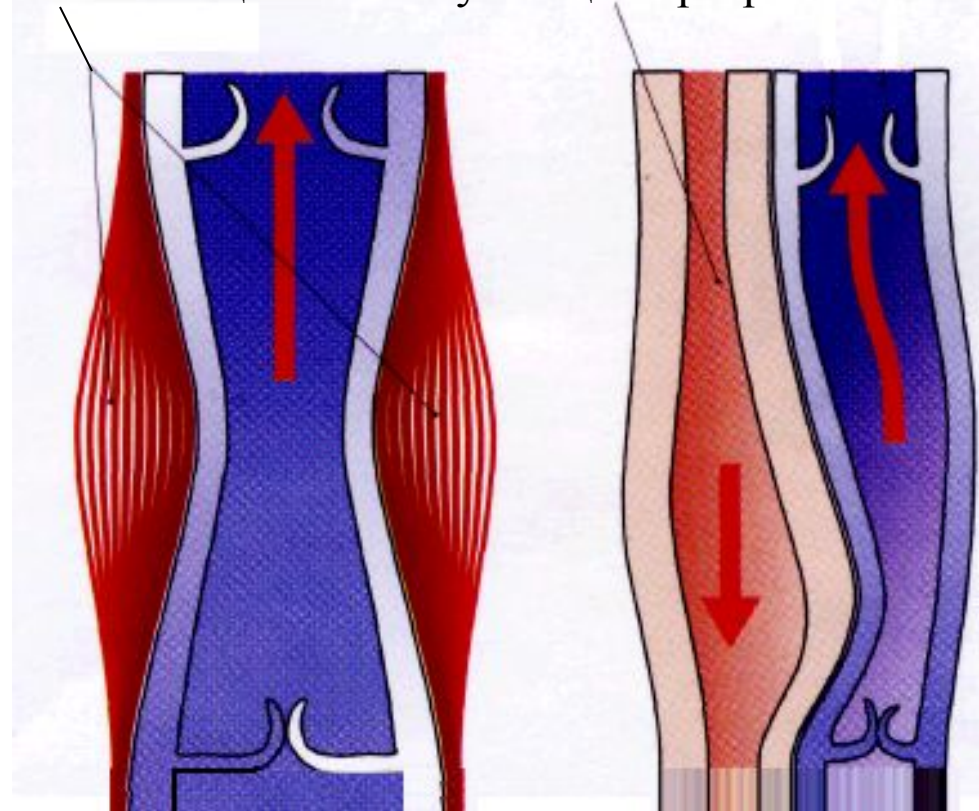
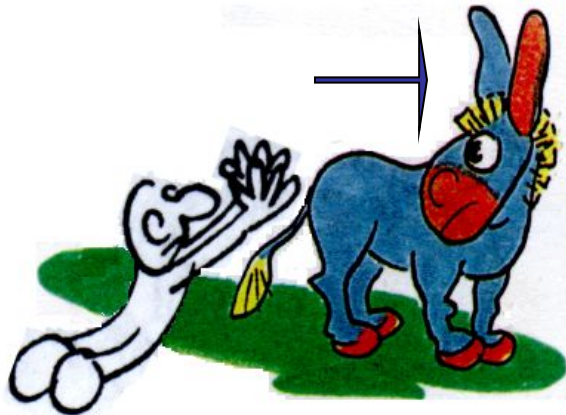
Движению крови по направлению к сердцу способствуют дополнительные факторы:

- Клапаны вен
- Сокращение скелетных мышц («мышечный насос»)
- Дыхательные движения («дыхательный насос») – так называемое присасывающее действие грудной клетки
- Присасывающее действие сердца («сердечный насос»)

# «МЫШЕЧНЫЙ НАСОС»

Сокращение скелетных мышц

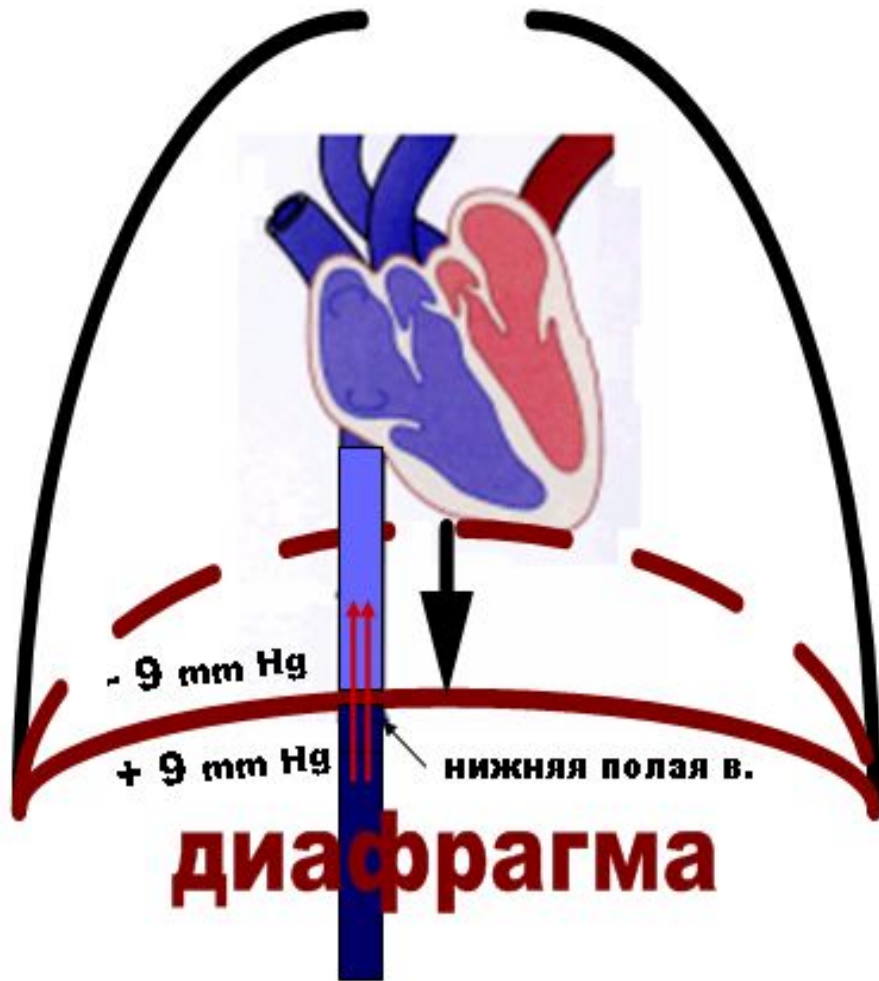
Пульсация артерии



Клапаны

клапаны

# «ДЫХАТЕЛЬНЫЙ НАСОС»

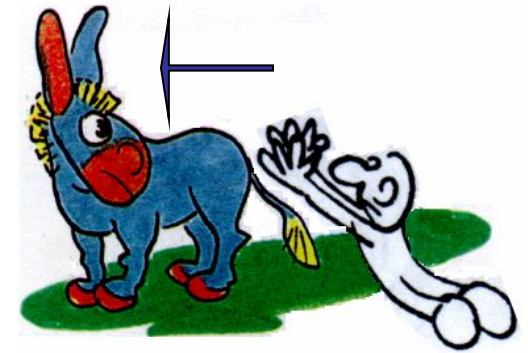


Во время вдоха купол диафрагмы уплощается.

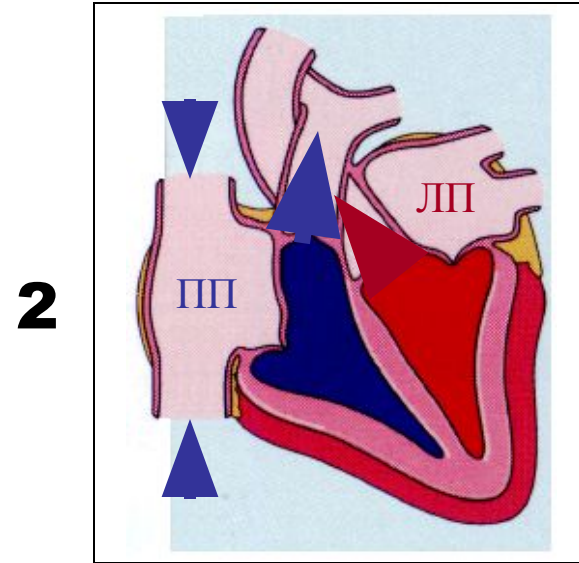
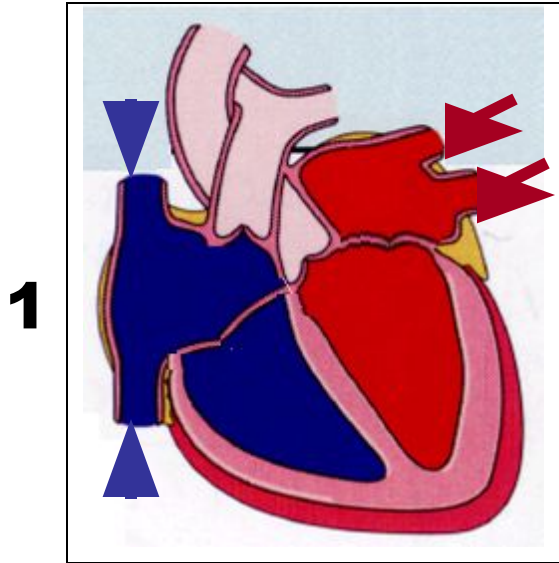
Внутрибрюшное давление увеличивается (а также давление в брюшной части полой вены).

Плевральное давление становится более отрицательным (а также давление в грудной части полой вены).

Дополнительный градиент давления увеличивает венозный возврат (ВВ).



# «СЕРДЕЧНЫЙ НАСОС»



Присасывающий эффект во время сердечного цикла возникает

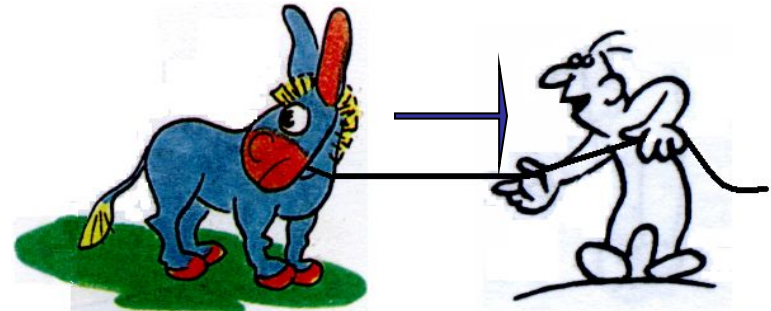
**(1)** в самом начале диастолы предсердий и

**(2)** во время фазы быстрого изгнания крови из желудочков, когда атриовентрикулярная перегородка смещается к верхушке сердца.

Давление в предсердиях становится

отрицательным: - **2** мм рт.ст.

- **4** мм рт.ст.



# ВЕНОЗНЫЙ ВОЗВРАТ (ВВ) – ПРИТОК ВЕНОЗНОЙ КРОВИ К СЕРДЦУ

$$Q = \frac{P_1 - P_2}{R}$$

- Венозный возврат равен сердечному выбросу  $ВВ = СВ = 5$  л/мин (в покое)
- $P_1 = 7$  мм рт.ст. = СДН (среднее давление наполнения)
- $P_2 = 0$  = ЦВД (центральное венозное давление)
- $R$  = сопротивление притоку крови к сердцу по полым венам ( в норме очень низкое)

$$ВВ = \frac{СДН - ЦВД}{R}$$

# СРЕДНЕЕ ДАВЛЕНИЕ НАПОЛНЕНИЯ

- СДН — давление, которое устанавливается во всех отделах сердечно-сосудистой системы сразу после остановки сердца.
- СДН зависит от объема циркулирующей крови (ОЦК) и ёмкости сосудистого русла (С):

$$\text{СДН} = \frac{\text{ОЦК}}{С}$$

**5** л крови в сосудистом русле создают СДН = **7** мм рт.ст.

Если в результате кровопотери ОЦК падает до **4** литров, СДН = **0** (т.е. венозный возврат крови к сердцу прекращается, несмотря на усиленную работу сердца) – **ГИПОВОЛЕМИЧЕСКИЙ ШОК**

В этой ситуации уменьшение ёмкости за счёт спазма сосудов (под влиянием симпатической нервной системы) способствует поддержанию СДН в течение некоторого времени.