



Физиология сердечно-сосудистой системы

Самарский государственный
медицинский университет
Кафедра нормальной физиологии

Компоненты сердечно-сосудистой системы и их функции

- **Сердце** – насос
- **Сосуды** – система распределяющих и собирающих трубок
- **Капилляры** – тонкостенные сосуды, обеспечивающие обмен между кровью и тканями

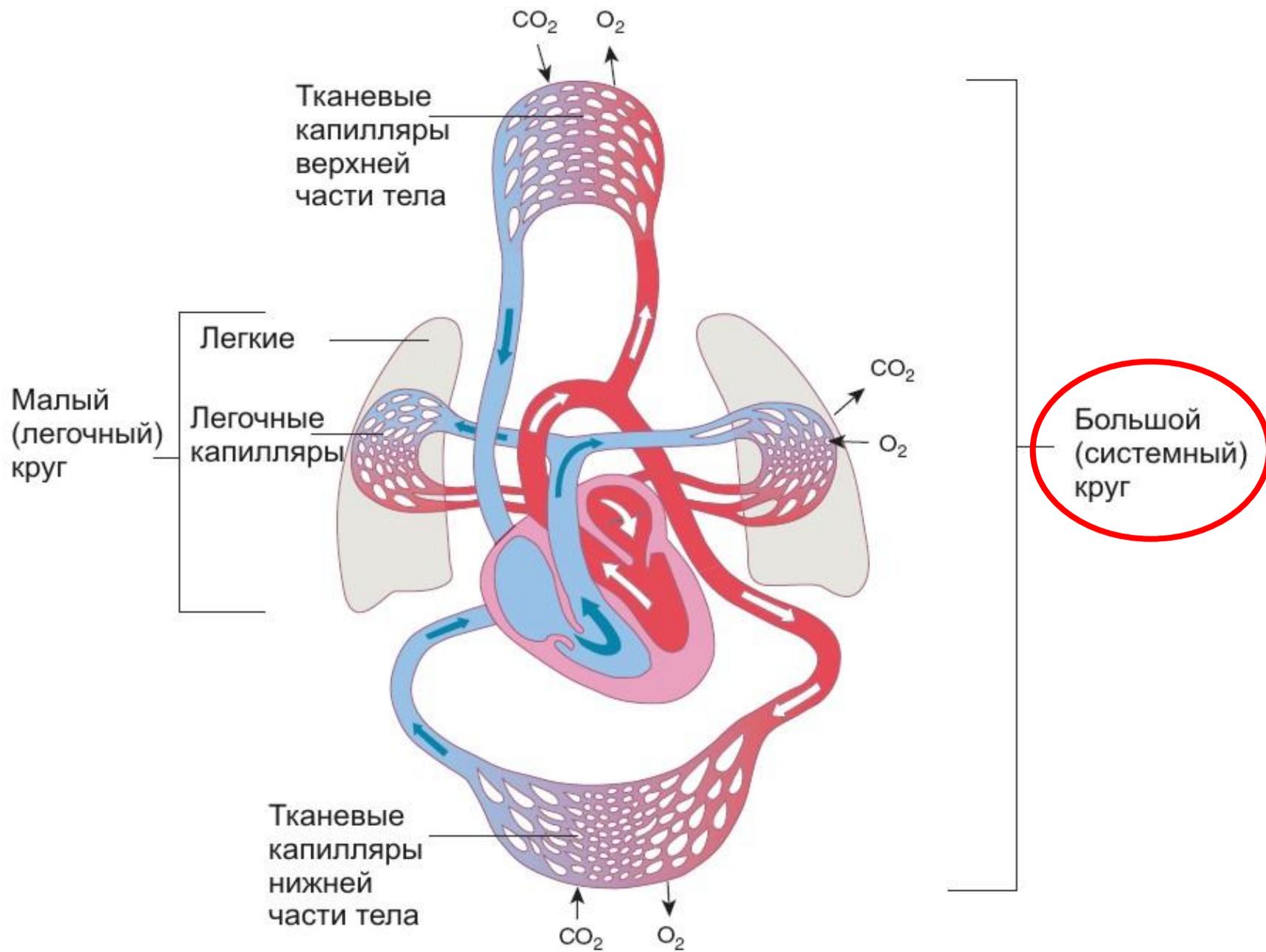


Лекция №3

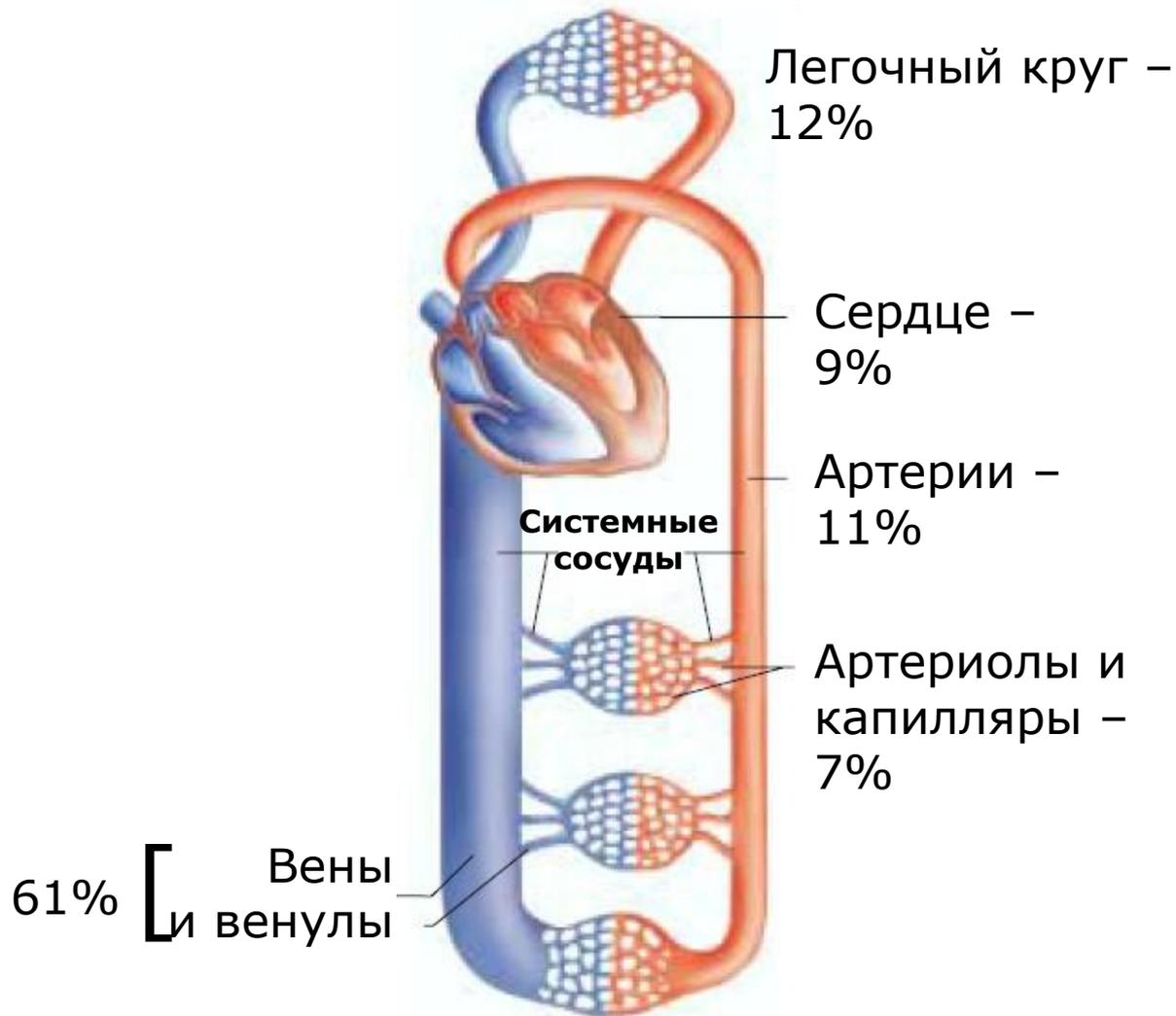
Основные закономерности гемодинамики

Гемодинамика

- **Гемодинамика** – раздел биофизики и физиологии, изучающий движение крови по сосудам
- Два круга кровообращения
 - Большой круг – **системная гемодинамика**
 - Малый круг – **легочная гемодинамика**



Распределение крови в сосудистой системе





Отдел сосудистого русла?

Это суммарная площадь сечения всех сосудов данного типа

Основные закономерности гемодинамики



$$Q = \frac{P2 - P1}{R}$$

Q – объемная скорость кровотока

P2-P1 – разность давлений

R – сопротивление участка сосуда

Объемная скорость кровотока – объем крови, проходящий через любой отдел сосуда в единицу времени [мл/мин]

Основные закономерности гемодинамики



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

- **P** – создается работой сердца, расходуется на продвижение крови (преодоление сопротивления)
- **R** – оказывают сосуды
- **Q=const**
в любом отделе сосудистого русла
(V из сердца = V через русло = V к сердцу)
закон неразрывной струи
жидкость не сжимаема и не растяжима

Основные закономерности гемодинамики



$$Q = \frac{P2 - P1}{R}$$

- $Q = \text{const} \square \Delta P / R = \text{const}$
- Наибольшее падение давления происходит на участке сосудистого русла, где происходит наибольший рост сопротивления

Основные закономерности гемодинамики

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

l – длина сосуда

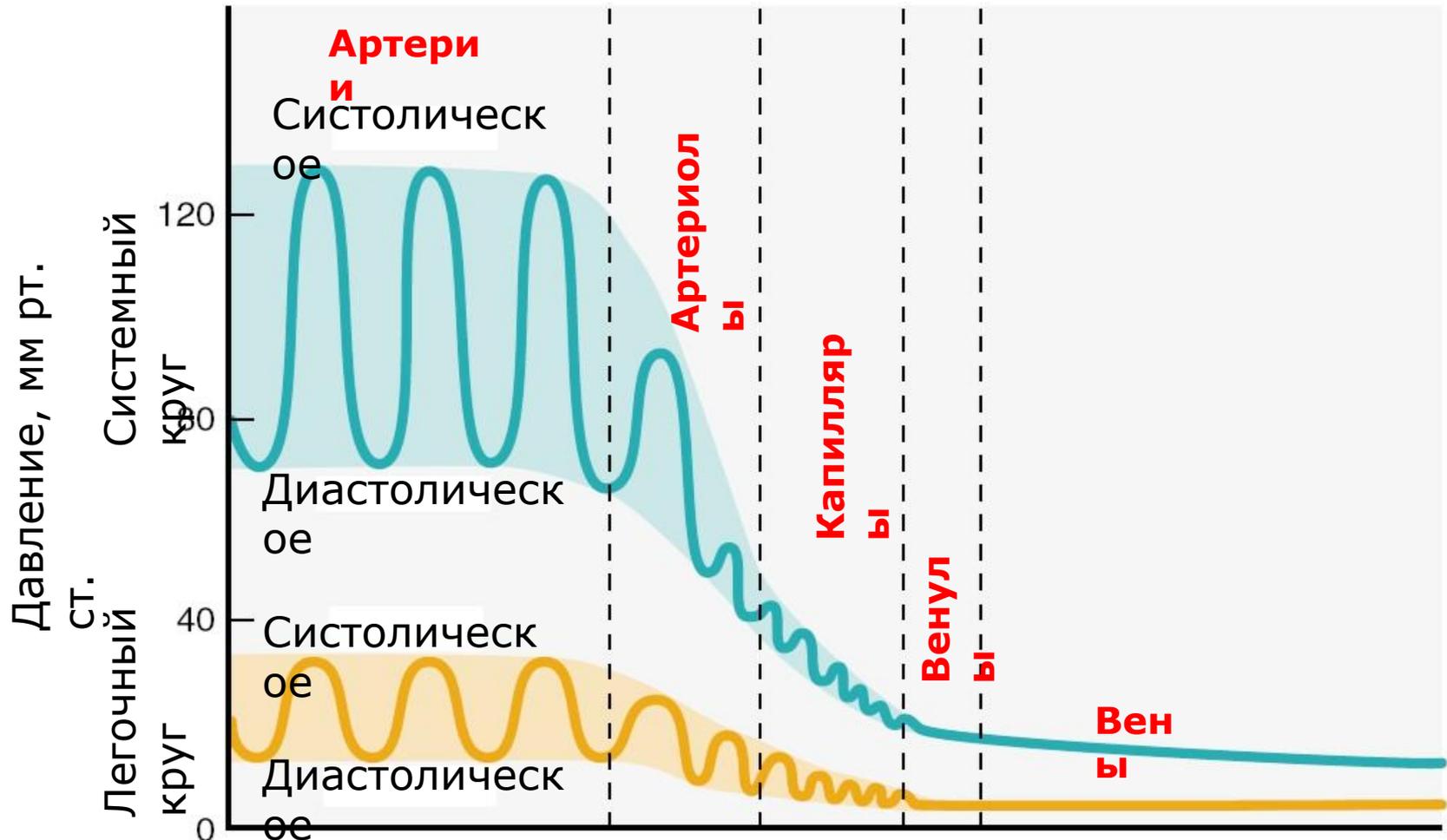
η – вязкость жидкости

r – радиус просвета сосуда

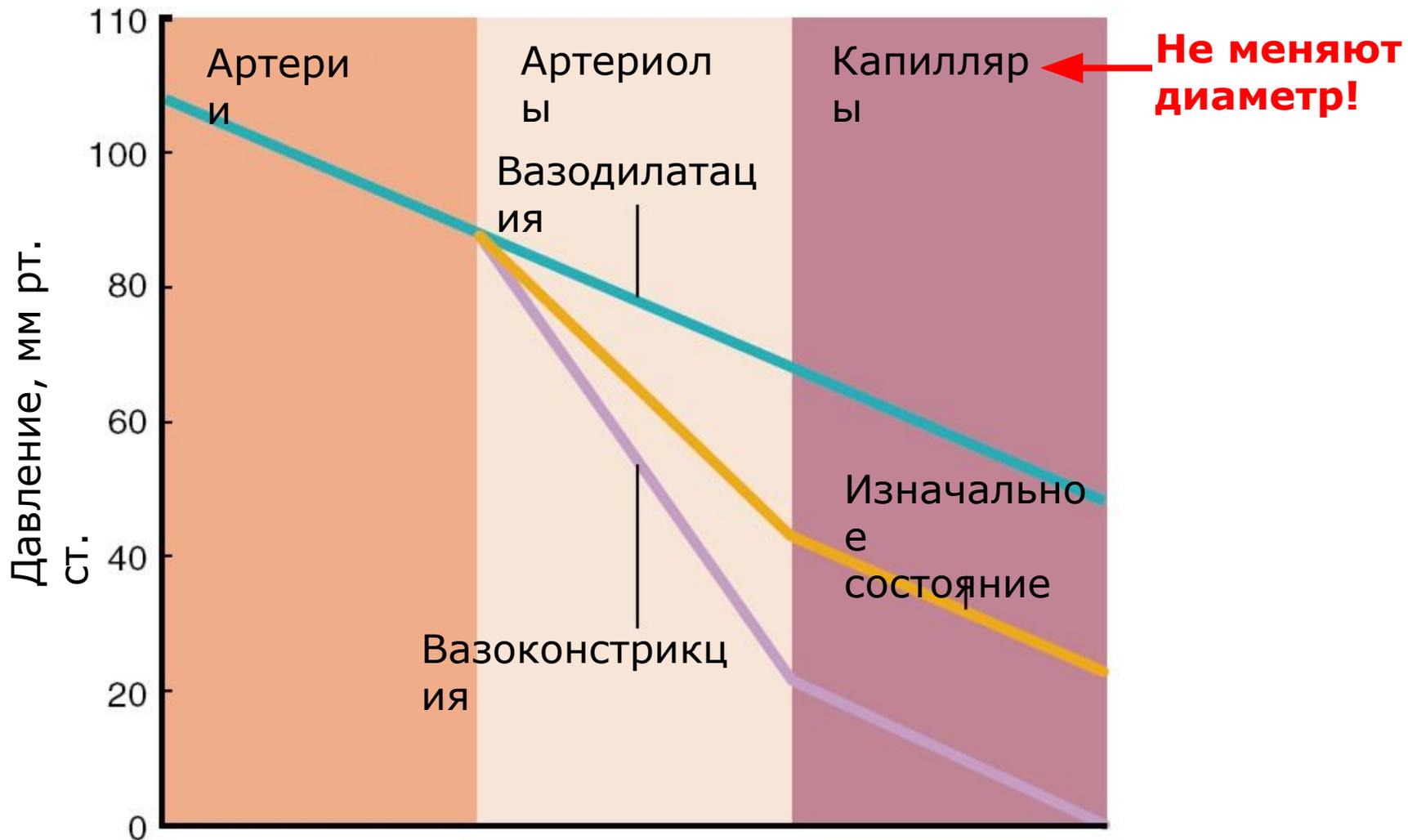
$8/\pi$ – коэффициент пропорциональности

- Наиболее важный фактор, изменяющий диаметр сосуда, - сокращение гладких мышц его стенки
- Наибольшее падение давления – мелкие артерии мышечного типа и артериолы (**резистивные сосуды**)

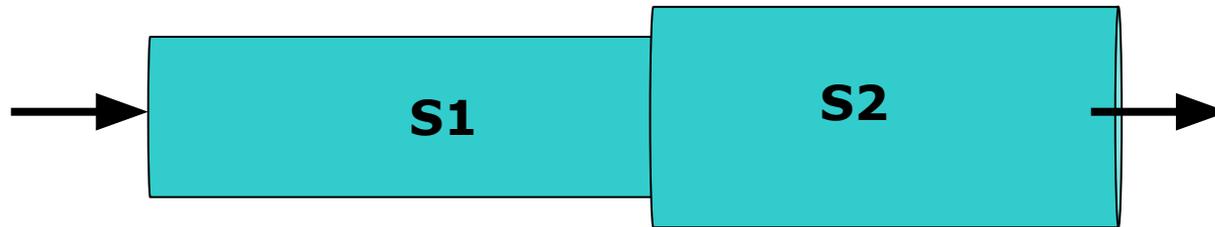
Падение давления по ходу сосудистого русла



Влияние диаметра сосудов на их сопротивление и падение давления



Основные закономерности гемодинамики



$$Q = V \cdot S$$

V – линейная скорость кровотока (скорость движения частиц крови относительно стенки сосуда, [м/с])

S – площадь поперечного сечения отдела сосудистого русла

- $Q = \text{const} \Rightarrow V \cdot S = \text{const}$
- Максимальная линейная скорость кровотока там, где площадь поперечного сечения минимальна, и наоборот



Отдел сосудистого русла?

Это суммарная площадь сечения
всех сосудов данного типа

Площадь поперечного сечения отделов сосудистого русла и линейная скорость кровотока

S_{max} – капилляры

S_{min} – аорта

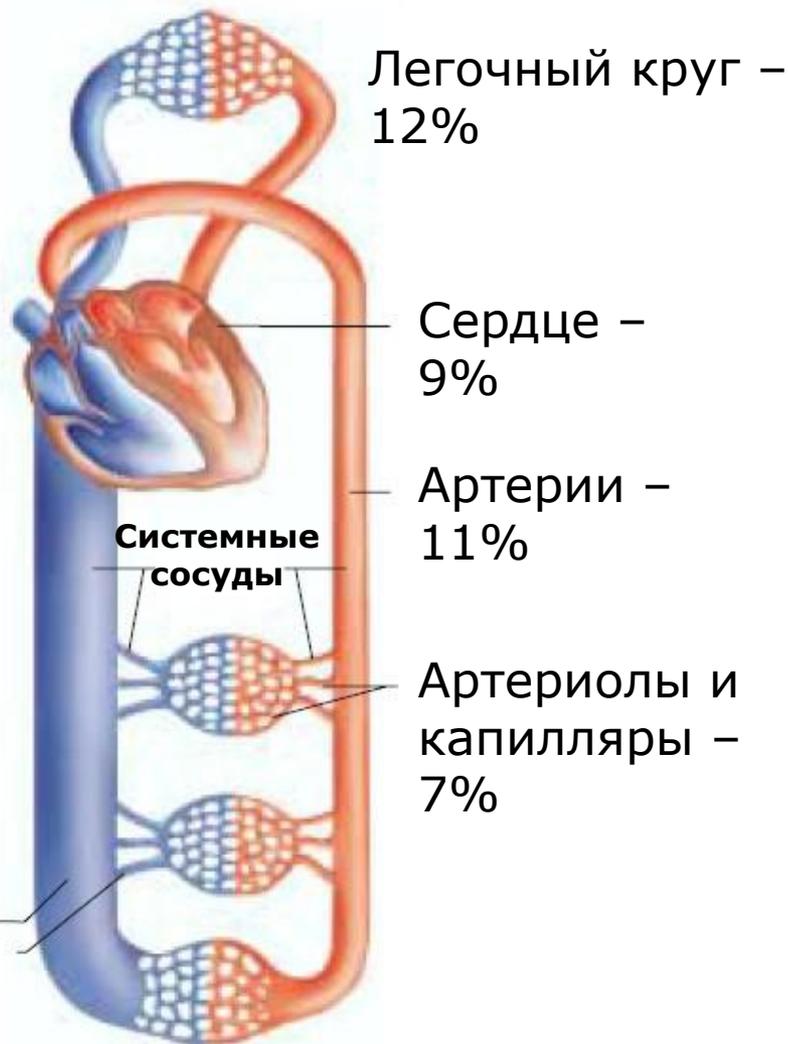
$S_{вен} \approx 2S_{артерий}$

V_{min} – капилляры

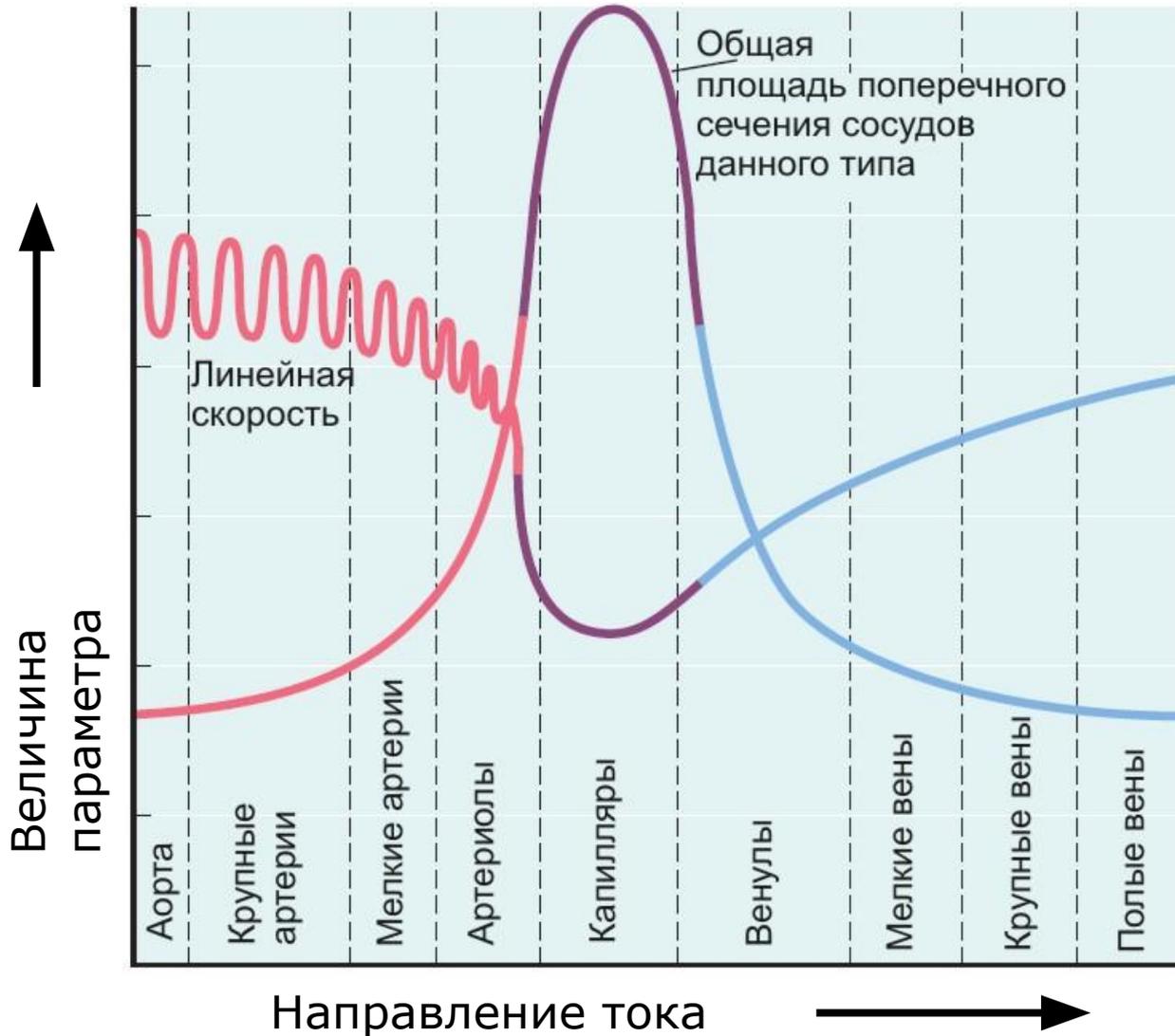
V_{max} – аорта

$V_{в\ вене} \approx \frac{1}{2} V_{в\ артерии}$

61% [Вены и венулы



Площадь поперечного сечения отделов сосудистого русла и линейная скорость кровотока





***Функциональная
классификация сосудов***



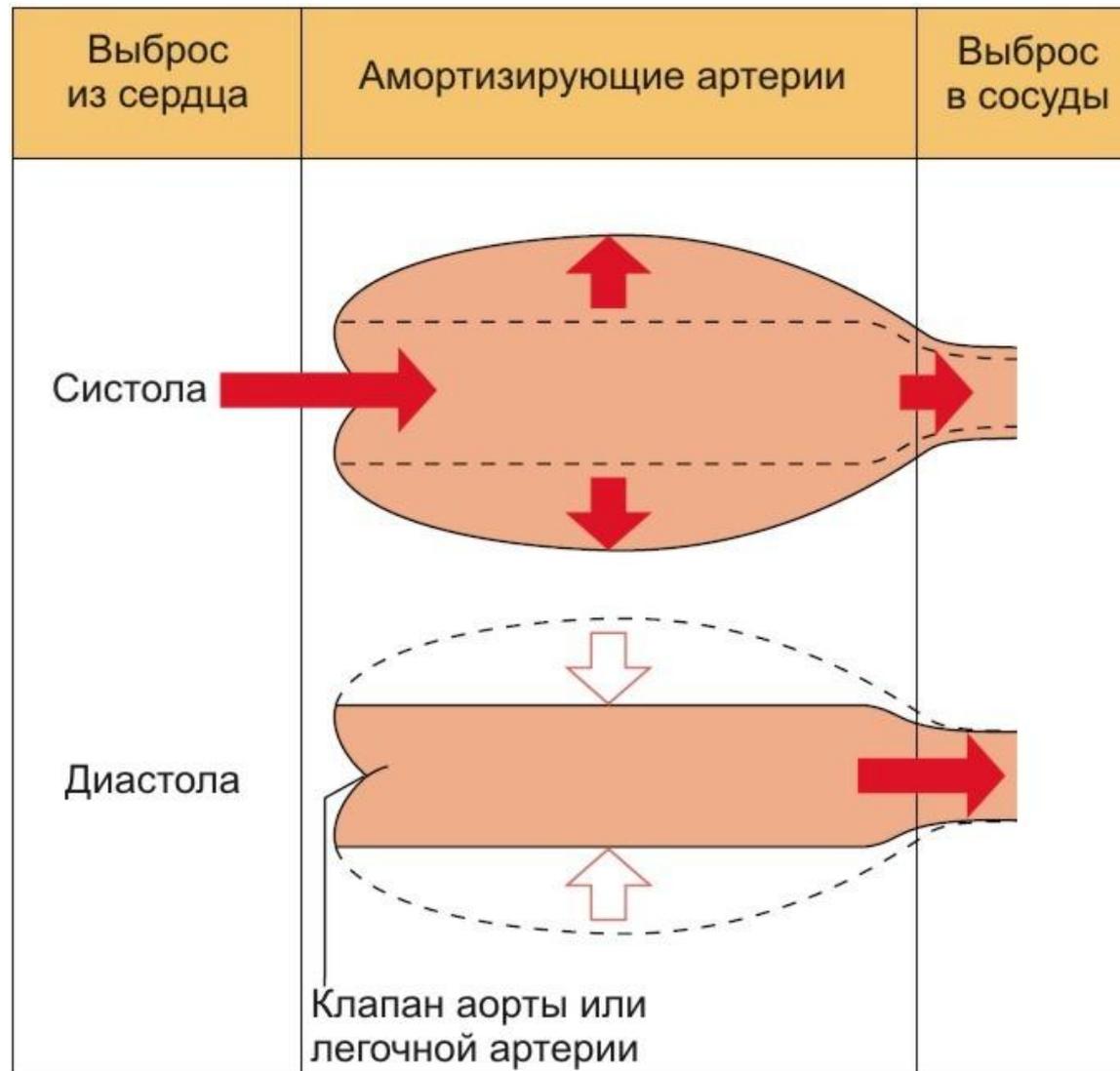
Функциональная классификация сосудов

- Амортизирующие сосуды
- Резистивные сосуды
- Сосуды-сфинктеры
- Сосуды-шунты
- Обменные сосуды
- Емкостные сосуды

1. Амортизирующие сосуды

- Аорта и крупные артерии эластического типа
- Амортизируют (сглаживают) пульсовую волну, обеспечивая непрерывность кровотока

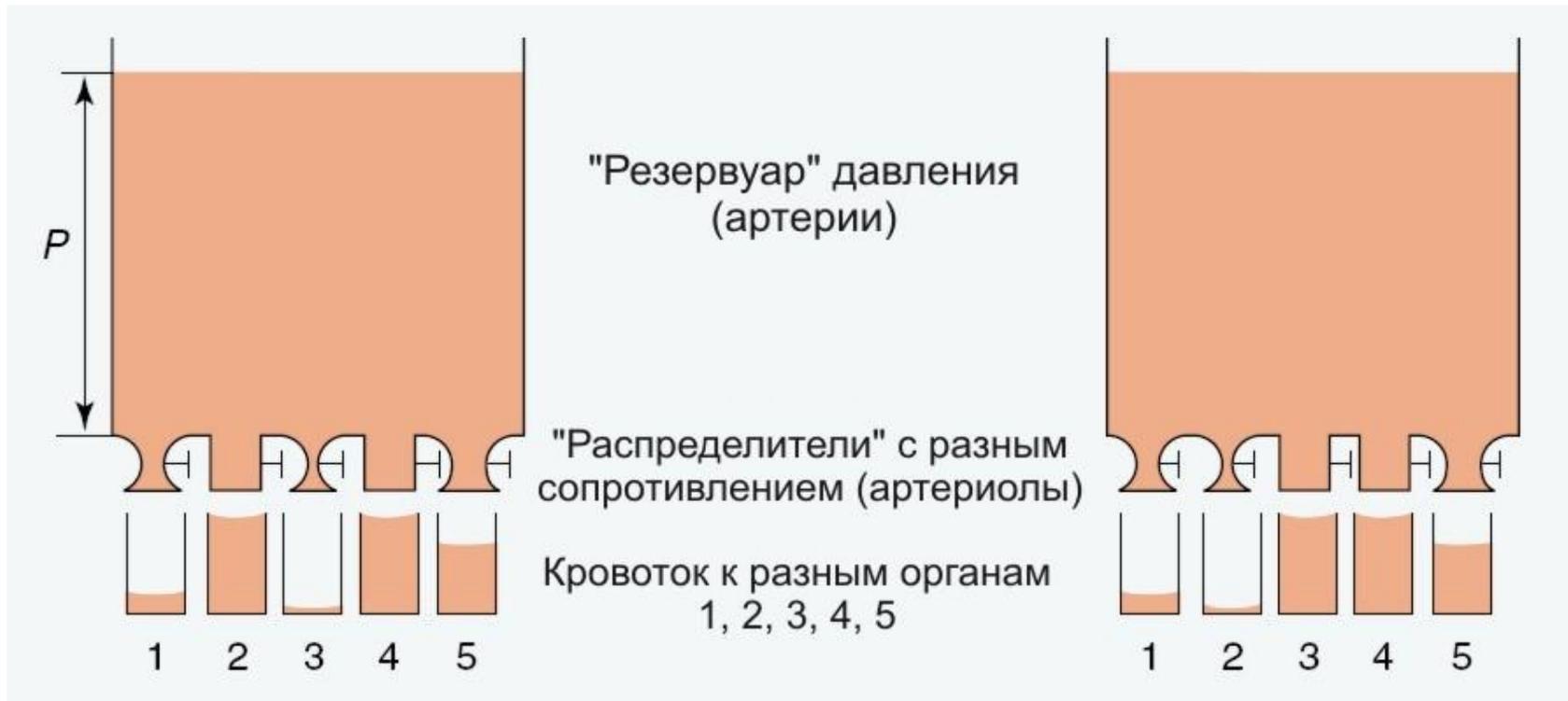
1. Амортизирующие сосуды



2. Резистивные сосуды

- Концевые артерии и артериолы
- Толстая стенка, развитый мышечный слой □ создают наибольший прирост сопротивления кровотоку
- Способны изменять сопротивление
- «Распределяют» сердечный выброс между органами
- Определяют величину гидростатического давления в микроциркуляторном русле

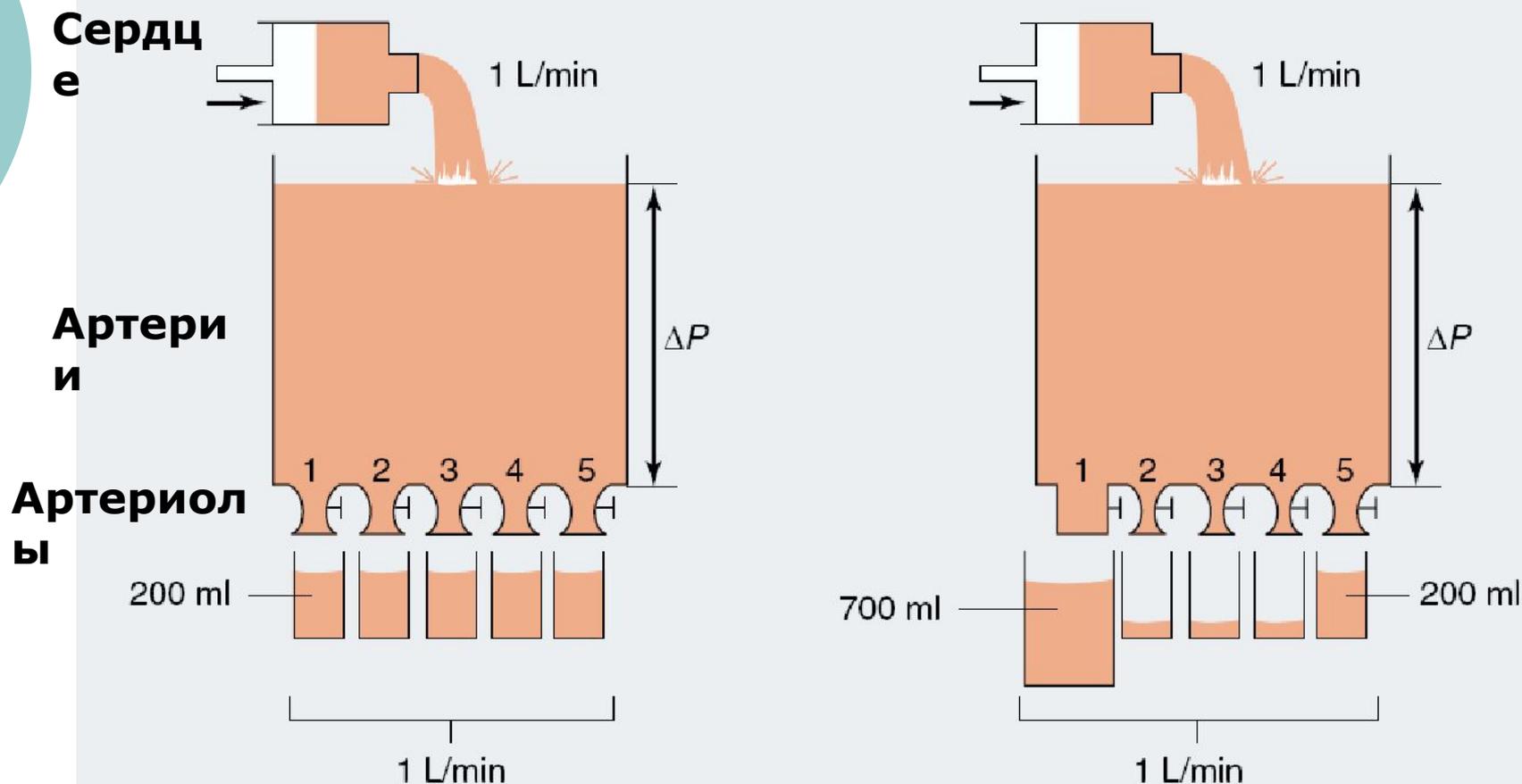
2. Резистивные сосуды



Максимальный
кровоток к органам 2
и 4

Максимальный
кровоток к органам 3
и 4

Функция резистивных сосудов



Расширение одних артериол компенсируется сужением других



ОПСС — общая объемная скорость и давление в резервуаре остаются со

3. Сосуды-сфинктеры

- Терминальные артериолы (прекапилляры)
- «Открывают» или «закрывают» кровоток через данный участок микроциркуляторного русла
- Определяют число функционирующих капилляров (площадь обменной поверхности капилляров)

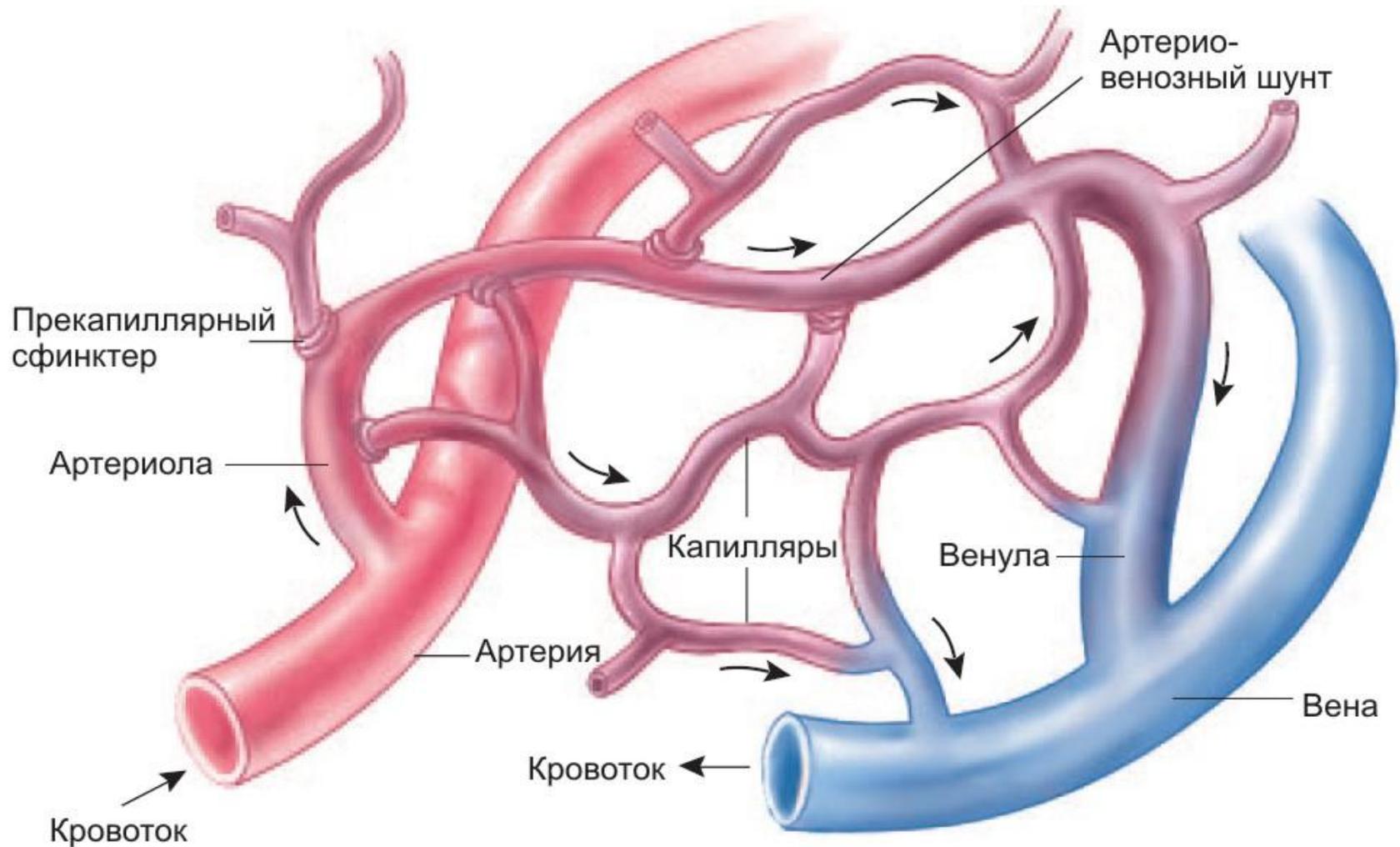
4. Сосуды-шунты

- Артерио-венозные анастомозы
- Переход крови из артериального русла в венозное, минуя капилляры
- Работают вместе с сосудами-сфинктерами
- Пример: регуляция кровотока через сосуды кожи при изменении температуры

5. Обменные сосуды

- Капилляры
- Обмен веществами между кровью и тканевой жидкостью (диффузия, экзо/эндоцитоз, фильтрация и реабсорбция)
- Минимальная линейная скорость кровотока
- Не способны сокращаться: гидростатическое давление в них регулируется резистивными сосудами

Микроциркуляторное русло



6. Емкостные сосуды

- Вены
- Высокая степень растяжимости □ резервуар крови
- Особенно высокая емкость (общий объем – более 1000 мл):
 - Вены печени
 - Крупные вены чревной области
 - Вены подсосочкового сплетения кожи
- В замкнутой сосудистой системе депонирование крови сопровождается перераспределением объема крови



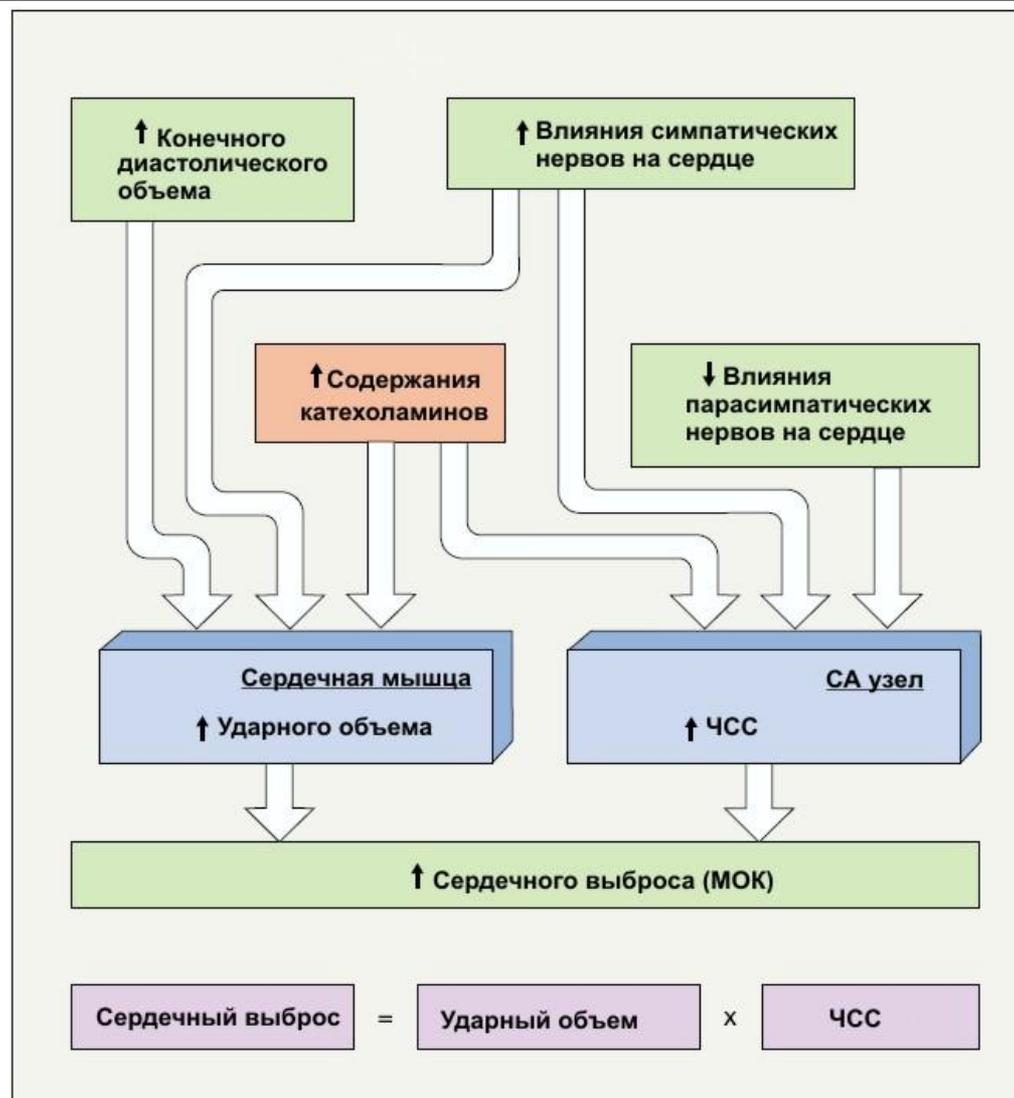
***Основные параметры
системной гемодинамики***

Основные параметры системной гемодинамики

$$Q = \frac{P2 - P1}{R}$$

- Сердечный выброс (МОК) – объемная скорость кровотока
- Системное артериальное давление
- Периферическое сопротивление сосудов
- Центральное венозное давление и венозный возврат

Факторы, определяющие величину сердечного выброса



Основные параметры системной гемодинамики

$$Q = \frac{P2 - P1}{R}$$

- Сердечный выброс (МОК) – объемная скорость кровотока
- Системное артериальное давление
- Общее периферическое сопротивление сосудов
- Центральное венозное давление и венозный возврат

Системное артериальное давление

- Это сила, с которой кровь действует на единицу площади стенки артерии
- Это сила, обеспечивающая продвижение крови по сосудистому руслу

Системное артериальное давление

○ **Систолическое АД:**

- Максимальное АД, формирующееся в период изгнания крови в магистральные сосуды
- Определяется работой сердца
- 110-125 мм рт. ст.

○ **Диастолическое АД:**

- Минимальное АД, формирующееся перед началом периода изгнания крови
- 70-85 мм рт. ст.

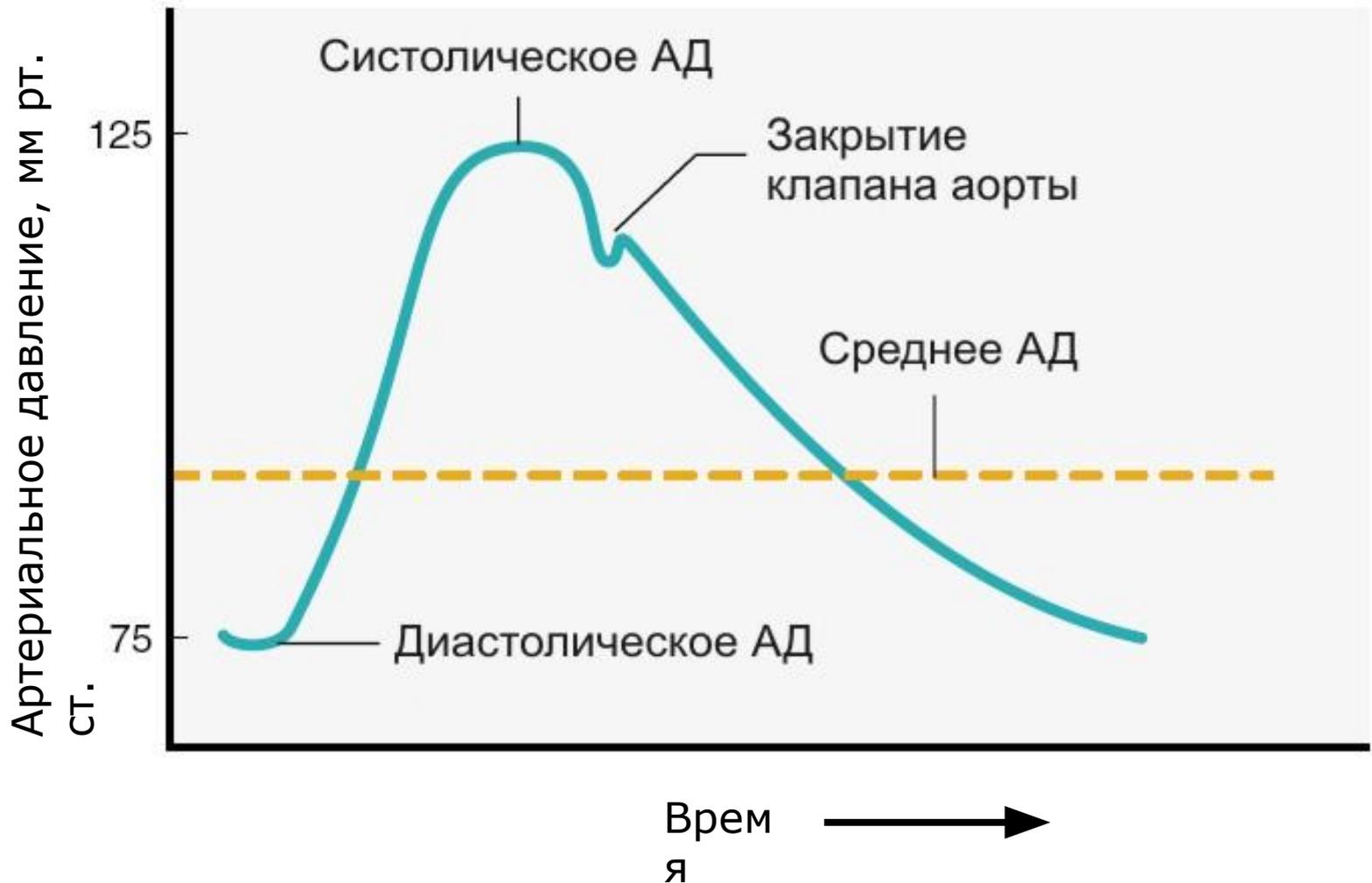
○ **Пульсовое АД** = сАД-дАД, зависит от:

- Величины систолического объема (прямая)
- Скорости изгнания (прямая)
- Эластичности аорты и крупных артерий (обратная)

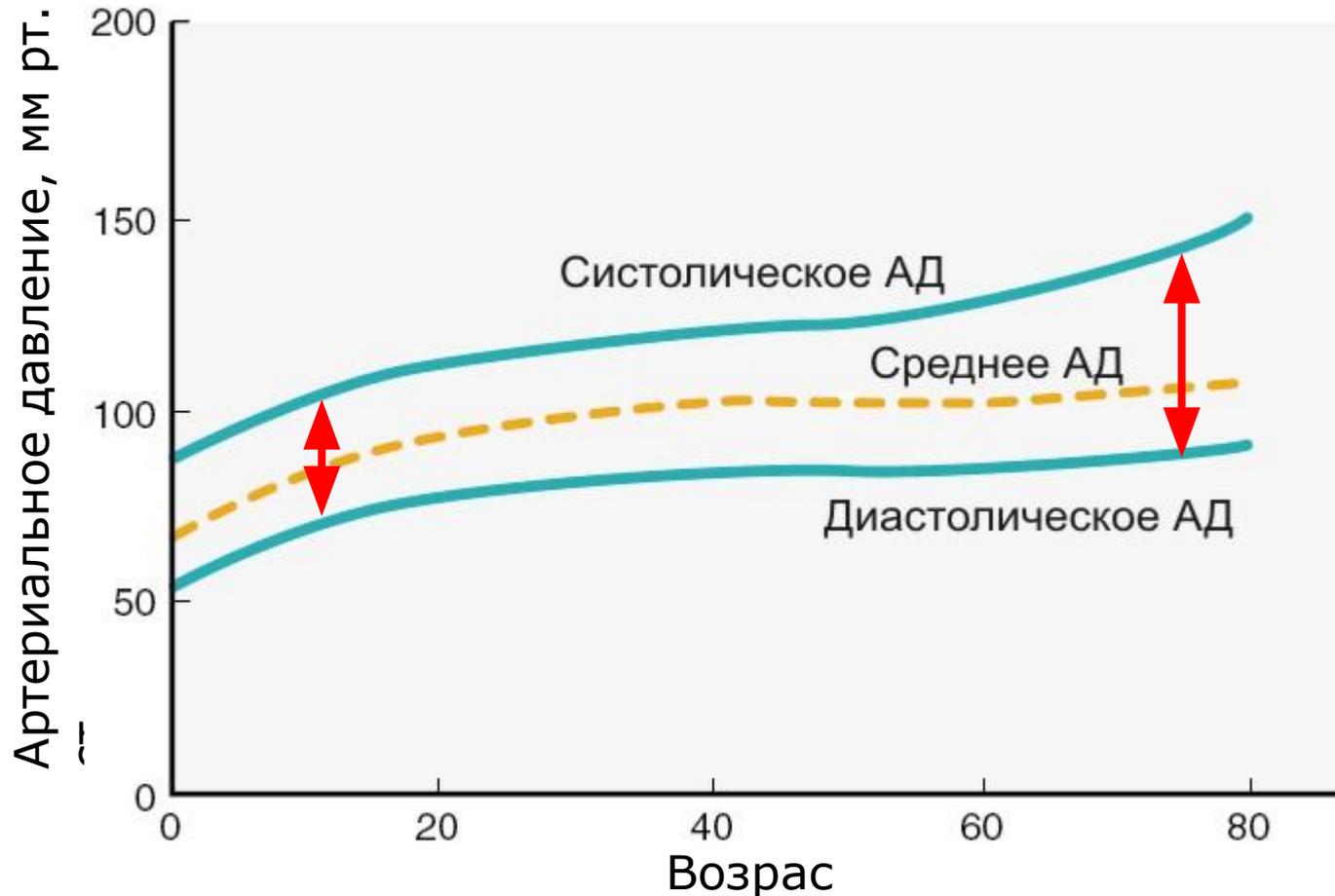
○ **Среднее АД** – не среднее арифметическое сАД и дАД, поскольку диастола длится дольше:

- Среднее АД = дАД + $\frac{1}{3}$ (сАД-дАД)

Системное артериальное давление

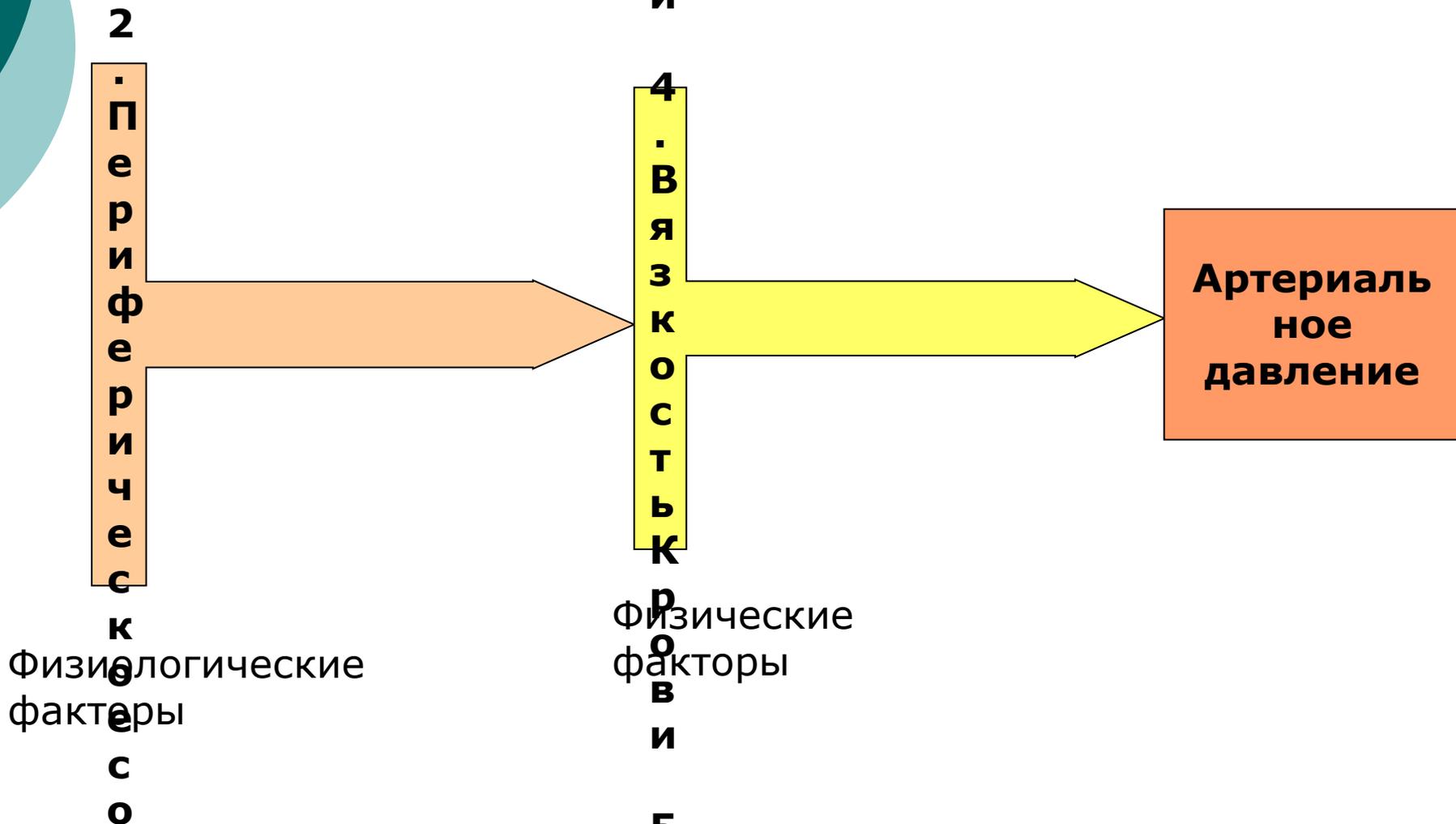


Системное артериальное давление: возрастные изменения



* Данные, полученные в американской популяции

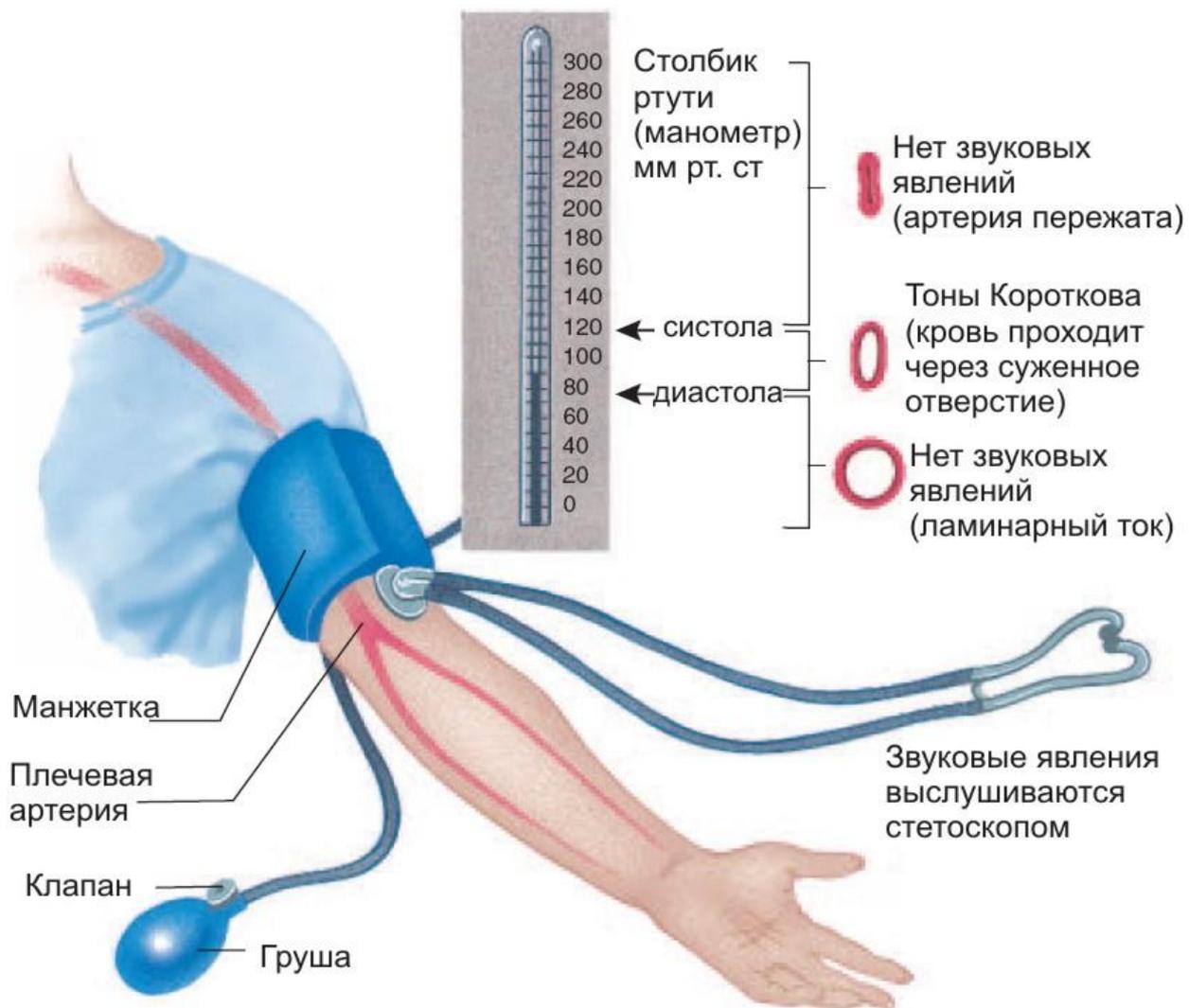
Факторы, определяющие величину системного артериального давления



Измерение АД

- Прямой (кровенный) способ
- Непрямой (бескровный) способ
 - Метод Короткова
 - Пальпаторный метод Рива-Роччи (только систолическое АД)

Измерение АД по методу Короткова



Основные параметры системной гемодинамики

$$Q = \frac{P2 - P1}{R}$$

- Сердечный выброс (МОК) – объемная скорость кровотока
- Системное артериальное давление
- Общее периферическое сопротивление сосудов
- Центральное венозное давление и венозный возврат

Общее периферическое сопротивление сосудов

- Интегральная величина
- Наибольшее сопротивление току крови оказывают капилляры
- Наибольшее падение давления (резкий рост сопротивления) – артерии и артериолы (резистивные сосуды)
- Изменение сопротивления сосудов – через регуляцию сосудистого тонуса

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

Регуляция сосудистого тонуса

- Базальный тонус
- Местные механизмы
- Системные нервные механизмы
- Системные гуморальные механизмы

(1) Базальный тонус сосудов

- Тонус денервированных сосудов
- Пассивный компонент – жесткость стенки сосуда
- Активный компонент – автоматия гладких миоцитов сосудистой стенки

(2) Местные механизмы регуляции сосудистого тонуса

- Основной способ регуляции органного кровообращения
- Механизмы:
 - Эффект Бейлиса (сужение сосуда при повышении давления в нем: активация механочувствительных каналов ЦПМ гладких мышц)
 - Факторы, вырабатываемые «на месте» - в сосудистой стенке или окружающих тканях

(2) Местные механизмы регуляции сосудистого тонуса

○ **Вазоконстрикторы:**

- Эндотелин-1
- Тромбоксан (тромбоциты)

**Система
гемостаза**

○ **Вазодилататоры:**

- \downarrow O_2
- NO (ЭМРФ)
- \uparrow H^+ (лактат, пируват, CO_2)
- Каллекриин-кининовая система
- Пурины (аденозин, АДФ)
- \uparrow K^+
- Повышение осмолярности

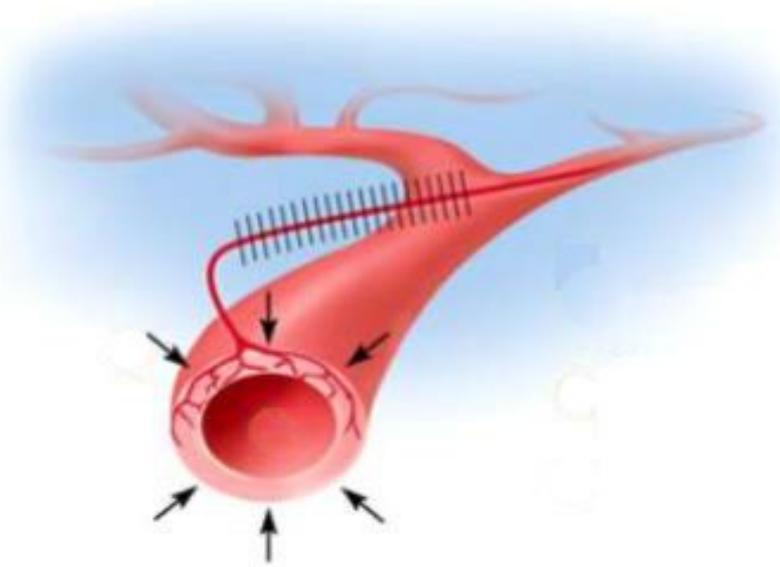
**Продукты
метаболизм**

а

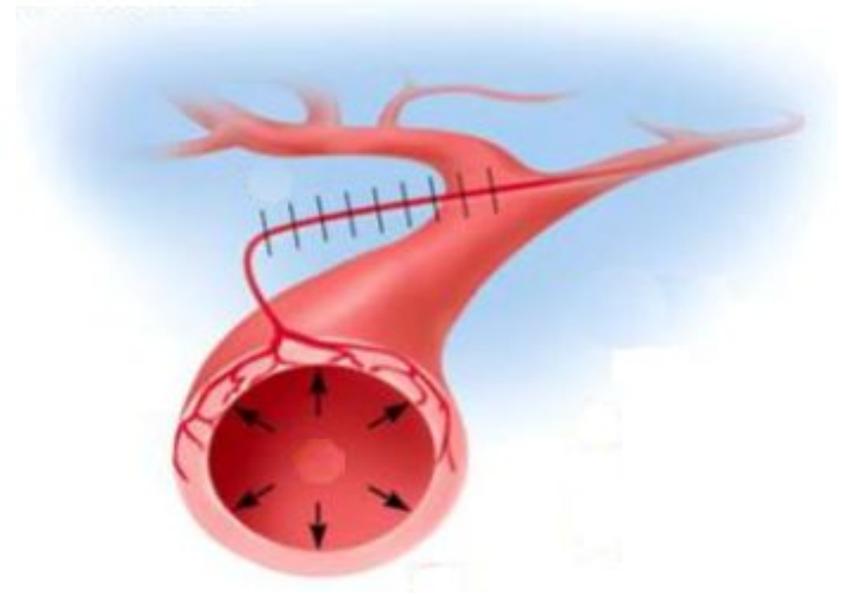
(3) Нервные механизмы регуляции сосудистого тонуса

- **Вегетативные нервы – иннервация гладкой мускулатуры сосудов:**
 - Большинство сосудов - только симпатическая иннервация
 - Симпатические нервы □ норадреналин □ α -АР □ **вазоконстрикция**
 - Сосуды скелетных мышц, печени, коронарные, легочные, брюшной полости
 - α -АР □ **вазоконстрикция**
 - β -АР □ **вазодилатация**
 - Сосуды-исключения (двойная иннервация): головной мозг, железы, кавернозные тела гениталий
 - симпатические нервы □ НА □ α -АР □ **вазоконстрикция**
 - парасимпатические нервы □ АХ □ **вазодилатация**

Симпатический тонус сосудов



Увеличение частоты генерации ПД в симпатическом волокне -
вазоконстрикция



Уменьшение частоты генерации ПД в симпатическом волокне -
вазодилатация

Тонус артериол в скелетных мышцах: два типа адренорецепторов



Регуляция тонуса артериол в скелетных мышцах

- От чего зависит ответ сосуда:
 - Тип адренорецептора (α -АР или β -АР)
 - Действующее вещество:
 - НА - α -АР
 - А - α -АР, β -АР
 - Концентрация гормона адреналина в крови:
 - высокая – вазоконстрикция
 - физиологическая - вазодилатация

Иерархия нервного контроля регуляции сосудистого тонуса

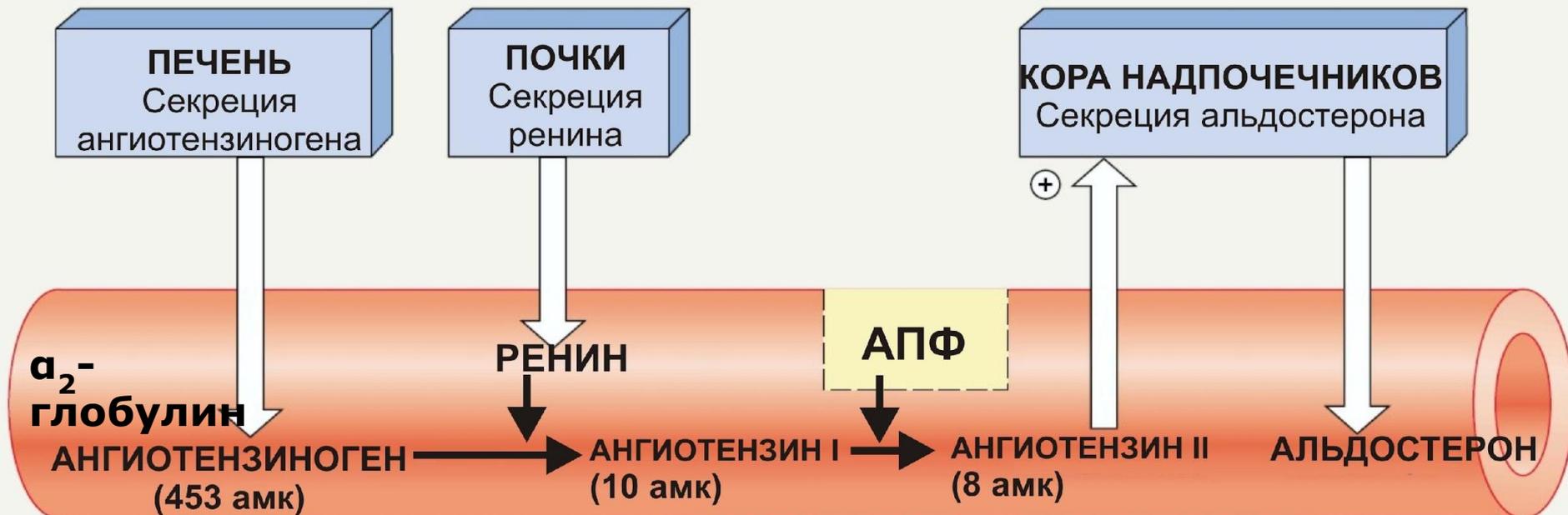
- Вазомоторные (симпатические) центры **спинного мозга**
- Сосудодвигательный центр **продолговатого мозга** (прессорная и депрессорная зоны)
- **Гипоталамус** – высший центр вегетативной регуляции
- **Кора больших полушарий**

(4) Системные гуморальные факторы, изменяющие тонус сосудов

- **Ангиотензин II** (РААС) – самый сильный вазопрессор
- **Катехоламины** мозгового вещества надпочечников – аналог активации симпатических нервов
- **Вазопрессин** (гипоталамус → нейрогипофиз) – оказывает вазопрессорное действие только в высоких концентрациях

Ренин-ангиотензин- альдостероновая система

- Ангиотензин II – самый сильный вазопрессор в организме
- Ингибиторы АПФ – применяются в терапии артериальной гипертензии



Прессорная зона



Нервные механизмы

Симпатический тонус ↑

Нервные механизмы

Симпатический тонус ↓



Парасимпатические влияния (слюнные железы, гениталии)

Растяжение

Эффект Бейлиса

СУЖЕНИЕ

РАСШИРЕНИЕ

Местные факторы

P_{O_2} ↑

Эндотелин-1 ↑ (ET_A)

$PGF_{2\alpha}$,
тромбоксан

АДГ (V_1),
адреналин,
ангиотензин II

Гуморальные факторы

Местные факторы

P_{O_2} ↓

Аденозин, P_{CO_2} ↑,
 H^+ , K^+

NO ↑

PGE_2 , PGI_2 ↑

EDHF

Брадикинин,
каллидин

Адреналин (β_2)

Гуморальные факторы

Ацетилхолин (M),
АТФ,
гистамин (H_1),
эндотелин-1 (ET_B)

Основные параметры системной гемодинамики

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

- Сердечный выброс (МОК) – объемная скорость кровотока
- Системное артериальное давление
- Общее периферическое сопротивление сосудов
- Центральное венозное давление и венозный возврат

Центральное венозное давление

- ЦВД – давление в полых венах в области их впадения в правое предсердие (давление в ПП), 2-4 мм Hg
 - Определяет преднагрузку на сердце
 - ударный объем (закон Франка-Старлинга)
 - Факторы, определяющие ЦВД:
 - Объем крови в венах (венозный возврат)
 - Растяжимость (податливость) вен
- Compliance***

Факторы, приводящие к увеличению ЦВД

○ **Увеличение объема крови в полых венах:**

- ↑ Общего объема крови □ ↑ венозный возврат
- Гравитация: переход из вертикального положения в горизонтальное □ ↑ приток крови в венозное русло
- Расширение артерий □ ↑ приток крови в венозное русло
- Сокращение мышц □ проталкивание крови по венам □
□ ↑ венозный возврат
- ↑ тонуса периферических вен (симпатические влияния, адреналин, ангиотензин II)
- Снижение сердечного выброса □ задержка крови в венозном русле (↓ венозный возврат)

○ **Уменьшение растяжимости вен:**

- ↑ тонуса вен (симпатические влияния, адреналин, ангиотензин II) □ ↑ венозный возврат
- Компрессия вен (сокращение мышц, форсированный выдох – проба Вальсальвы)

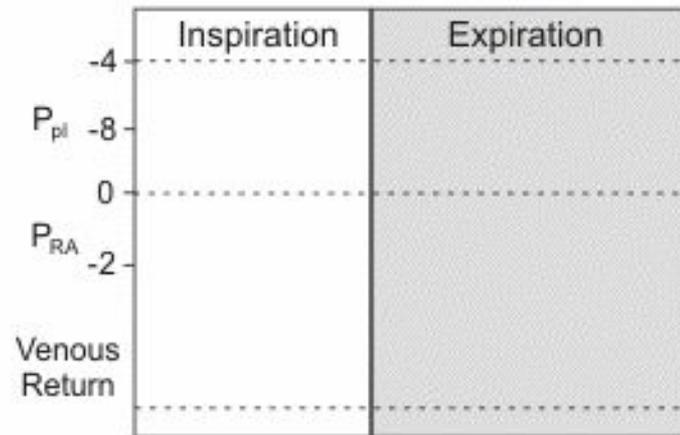
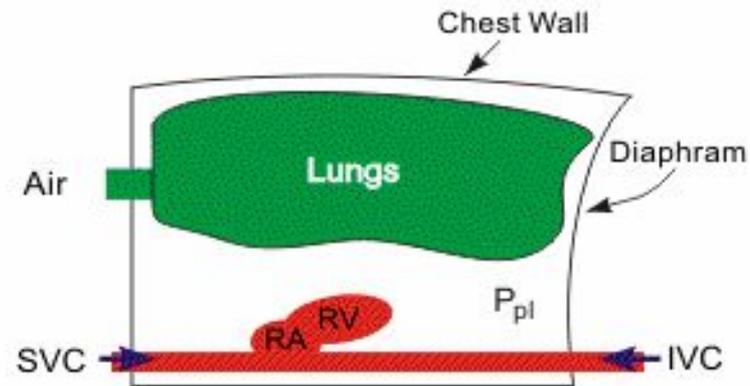
Факторы, увеличивающие венозный возврат

- Работа сердца (сердечный выброс)
- Сокращение мышц (мышечная помпа)
- Усиление симпатических влияний □
↑ давления в *периферических* венах
- Дыхательные движения (вдох)
 - Увеличение частоты и глубины дыхания способствует венозному возврату
 - Форсированный выдох снижает венозный возврат
- Переход из вертикального положения в горизонтальное
- Увеличение объема крови

ЦВД и венозный возврат

- ↑ венозного возврата □ ↑ ЦВД:
антероградный приток крови
увеличивает ЦВД
- ↑ ЦВД при снижении насосной функции
сердца □ ↓ венозного возврата:
 - ↑ ЦВД на 1 мм рт. ст. □ ↓ венозного
возврата на 14%

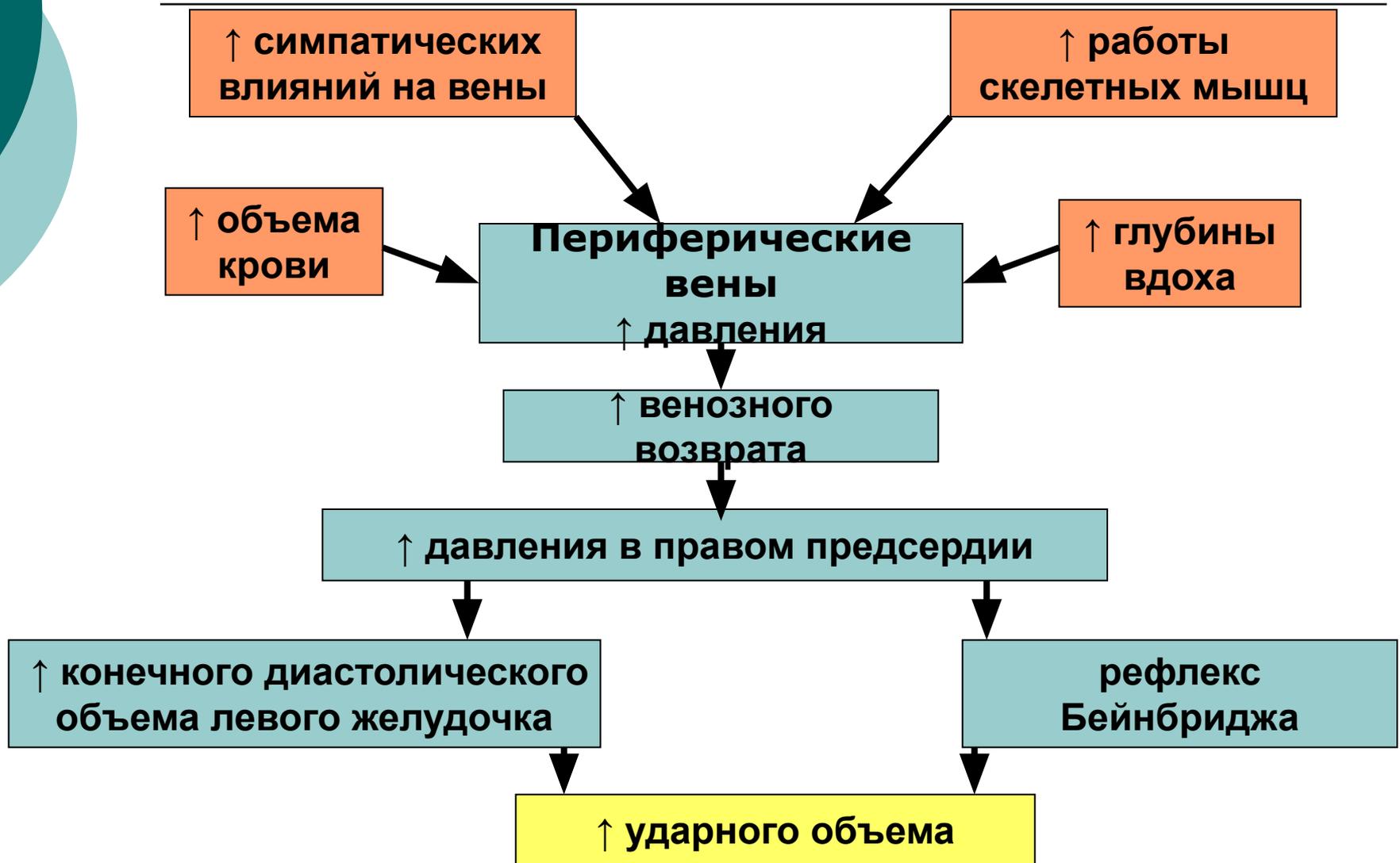
Дыхание и венозный возврат



End-Expiration

RK 107

Влияние ЦВД и венозного возврата на сердечный выброс





Спасибо за внимание!
Вопросы?