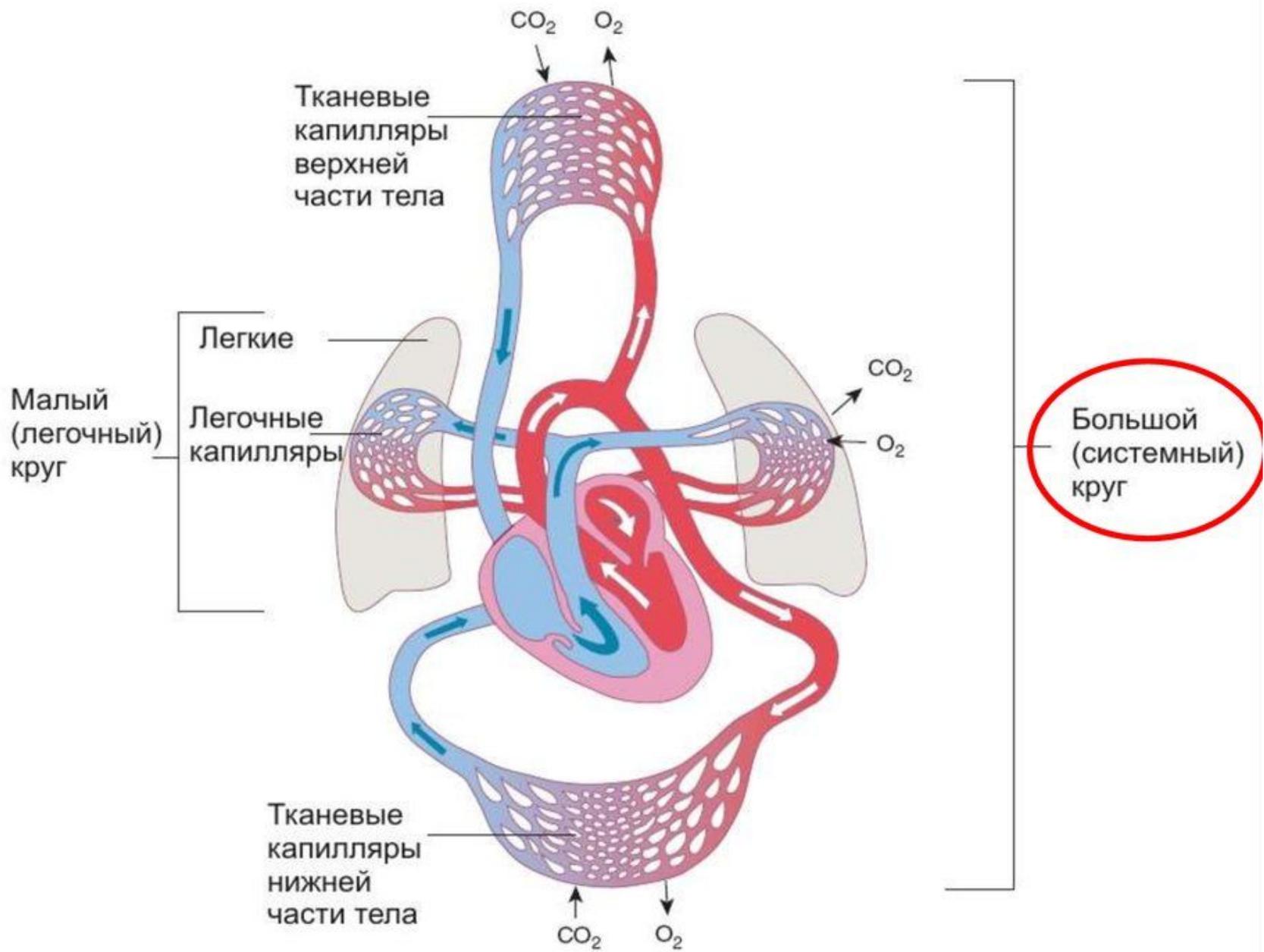


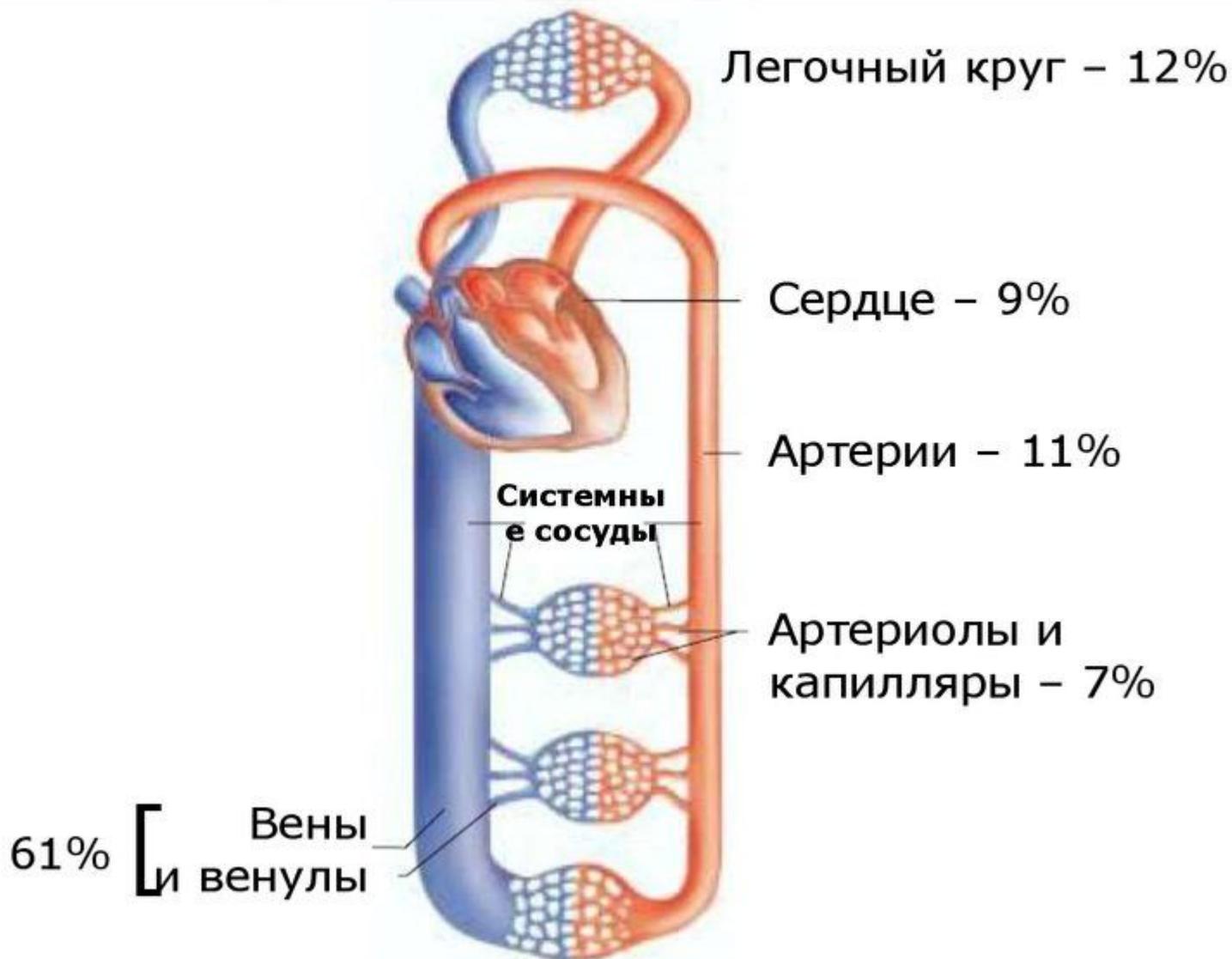
Законы гемодинамики. Регуляция сосудистого тонуса

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 сосудистого русла

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

Основные закономерности гемодинамики



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

- **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



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

- $Q = \text{const} \rightarrow \Delta P / R = \text{const}$
- 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

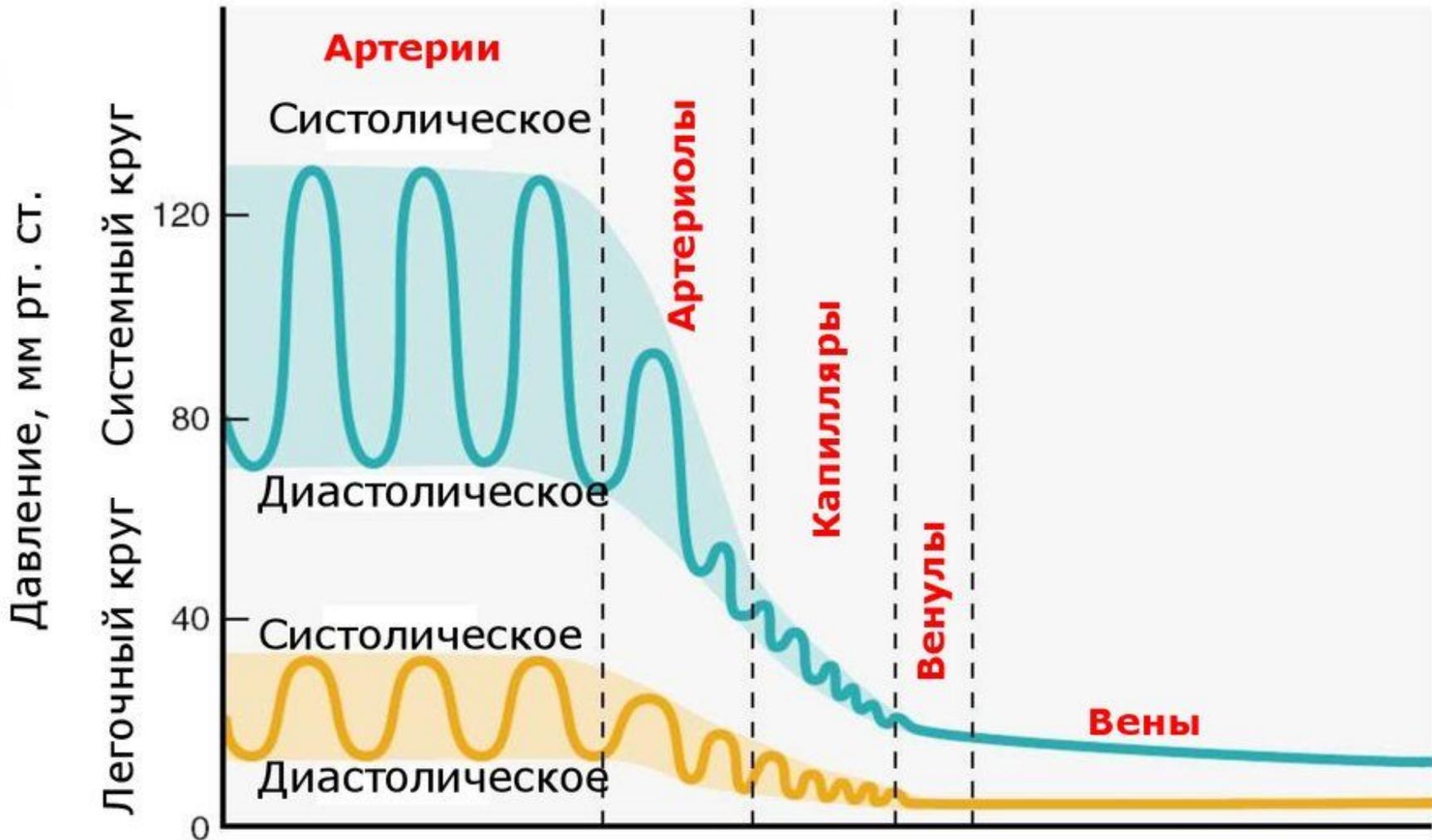
η – вязкость жидкости

r – радиус просвета сосуда

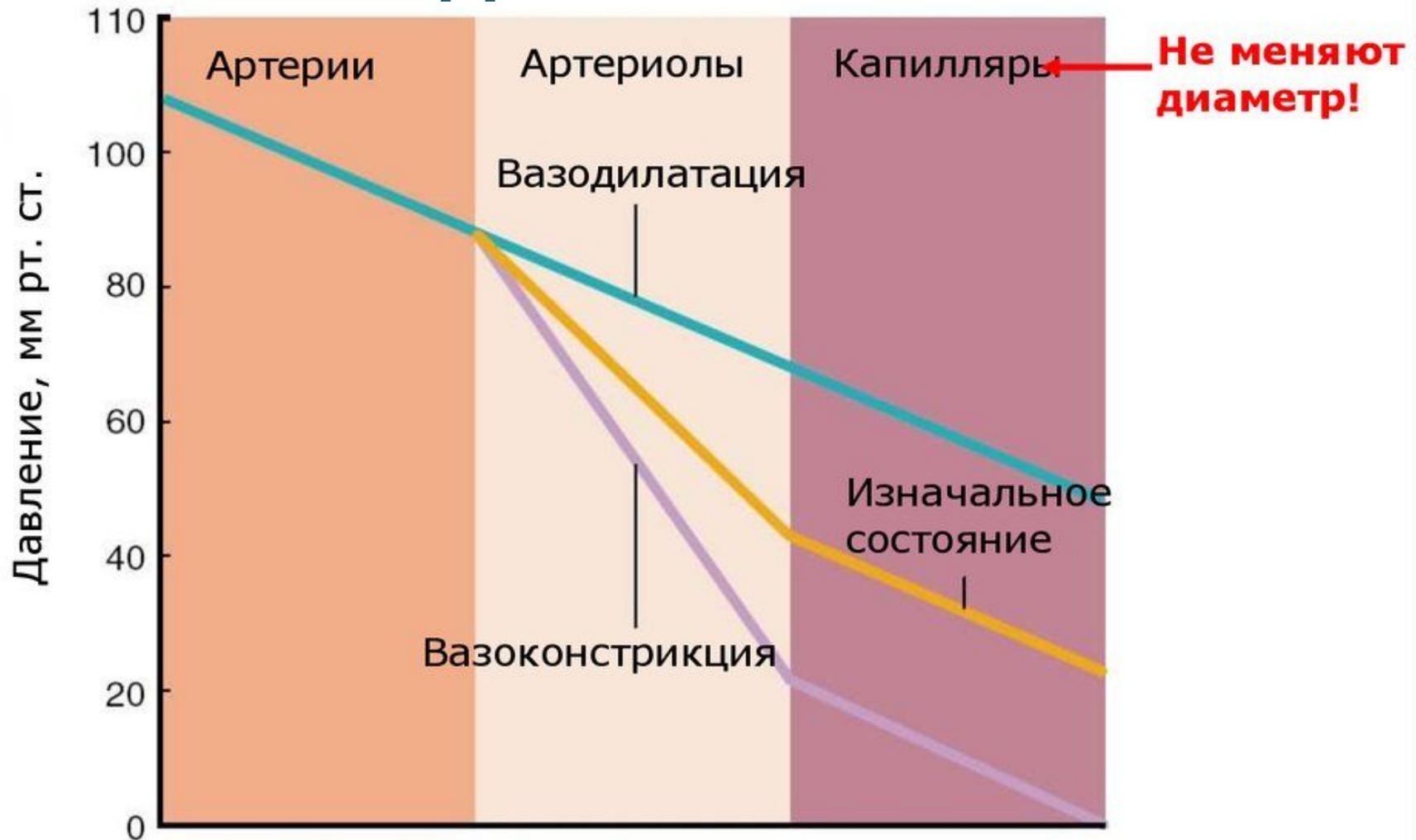
$8/\pi$ – коэффициент
пропорциональности

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

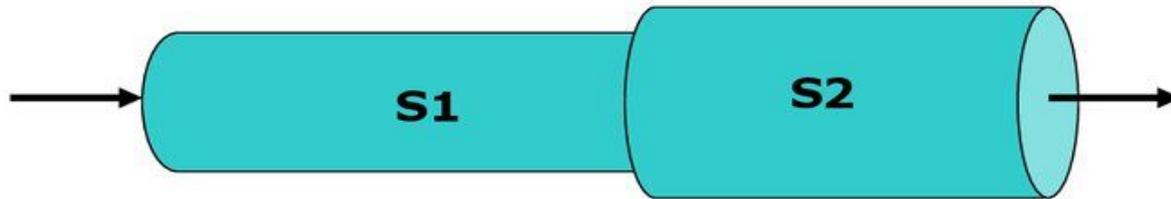
Падение давления по ходу сосудистого русла



Влияние диаметра сосудов на их сопротивление и снижение 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

S_{\max} – капилляры

S_{\min} – аорта

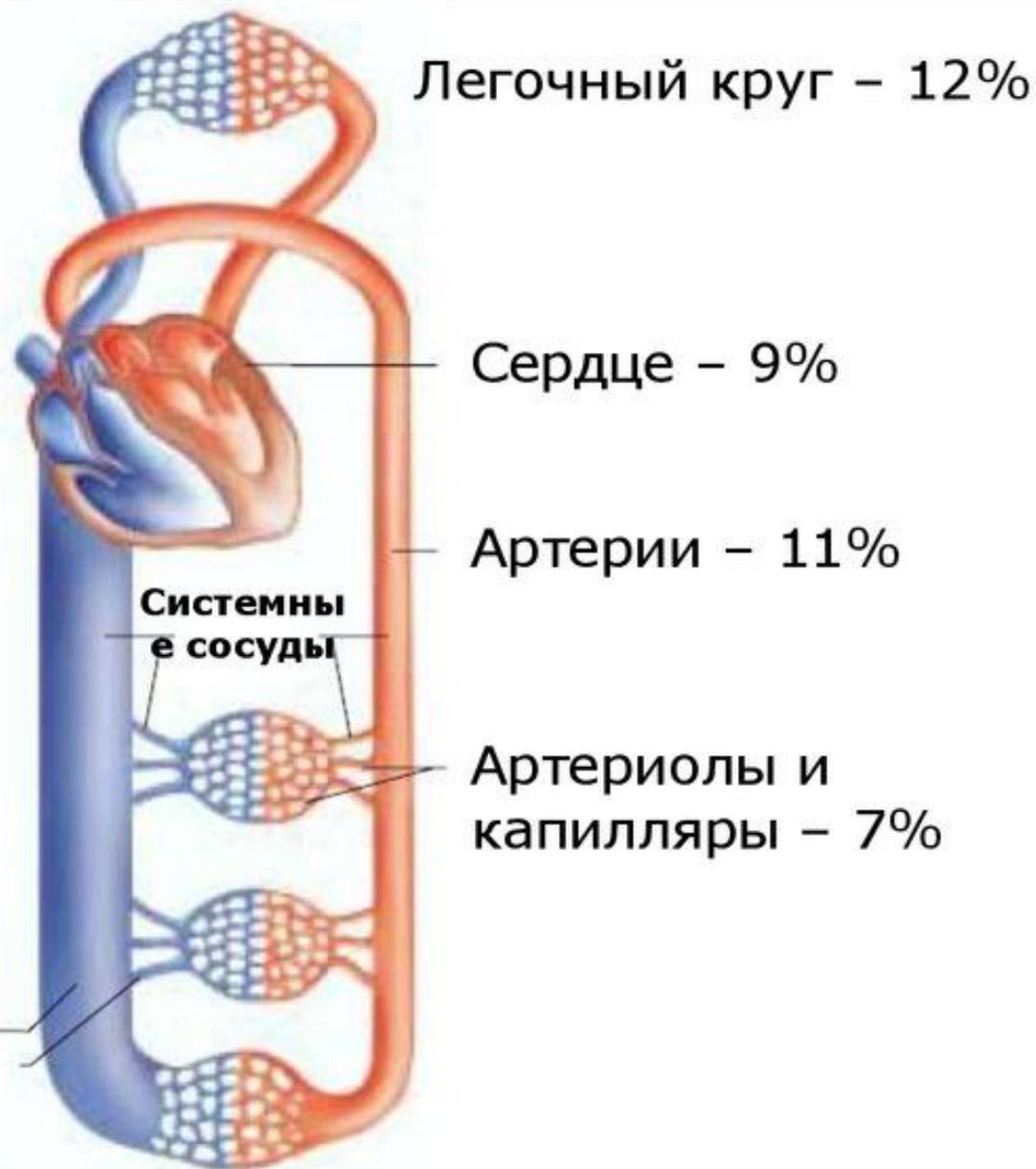
$S_{\text{вен}} \approx 2S_{\text{артерий}}$

V_{\min} – капилляры

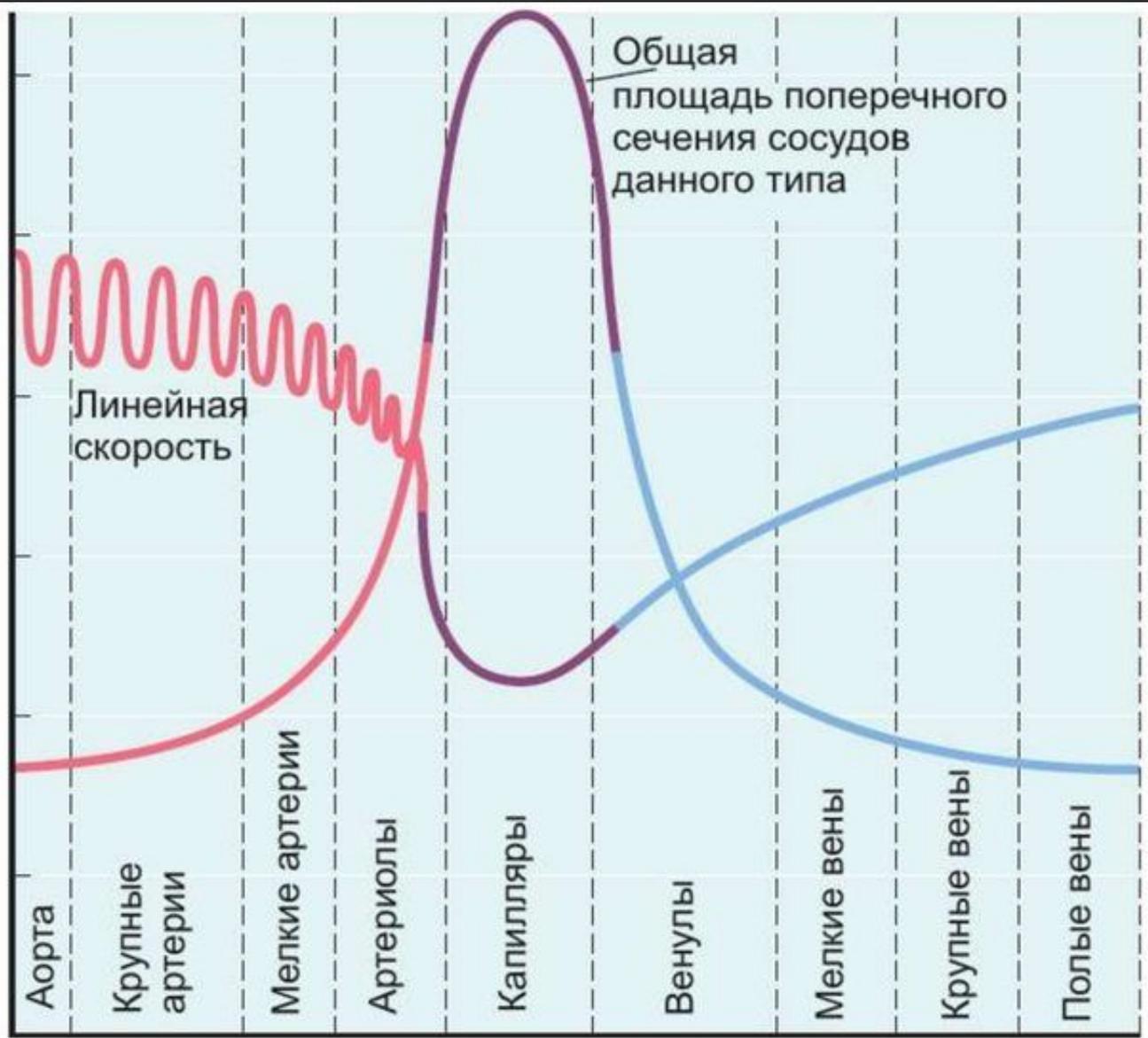
V_{\max} – аорта

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

61% [и вены и венулы



↑
Величина параметра



→
Направление тока

Общая площадь поперечного сечения сосудов данного типа

Линейная скорость

Аорта

Крупные артерии

Мелкие артерии

Артериолы

Капилляры

Вены

Мелкие вены

Крупные вены

Полые вены

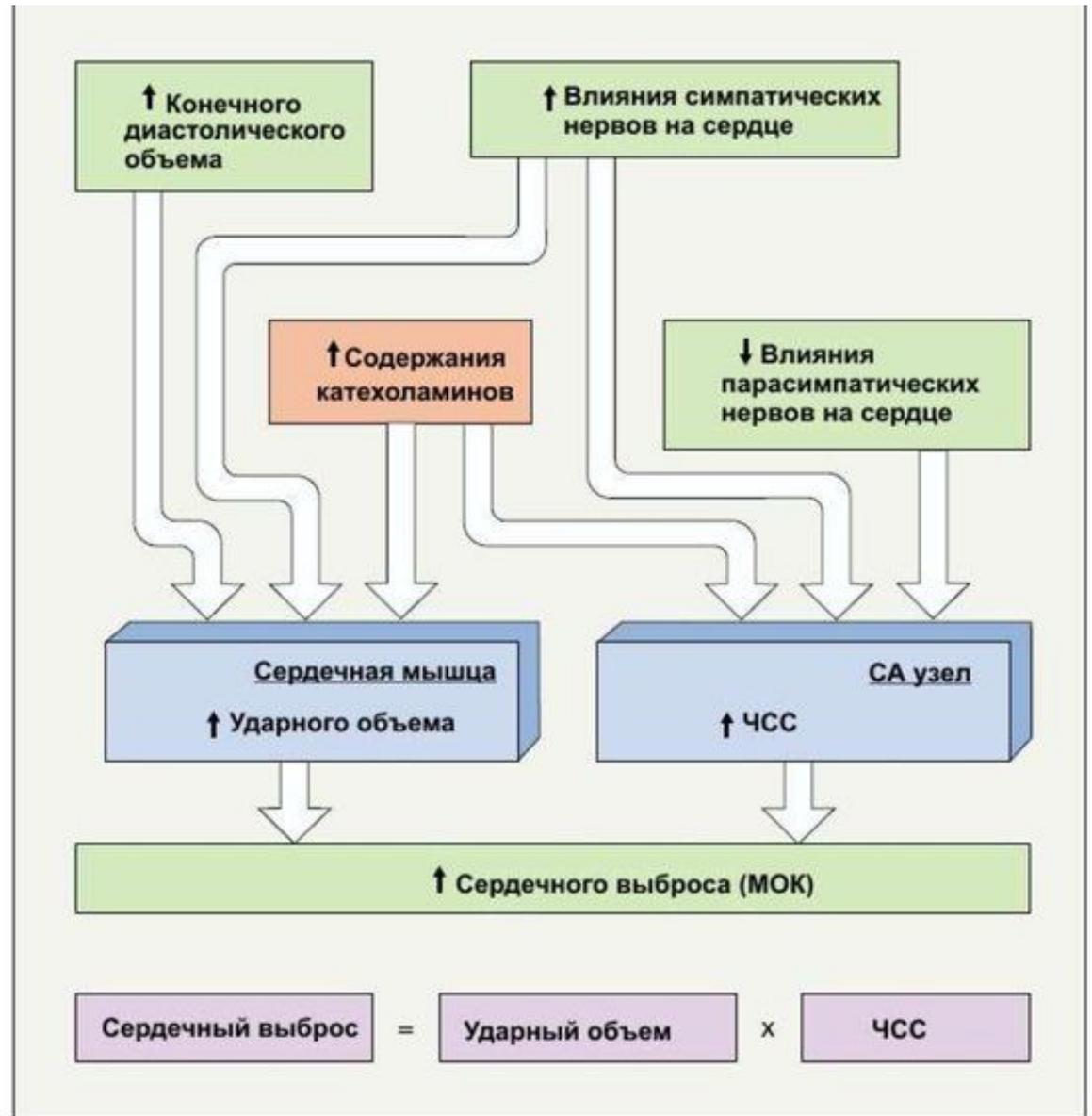
Функциональная классификация сосудов

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

Основные параметры системной гемодинамики

- 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

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

Системное артериальное давление, САД

- 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.

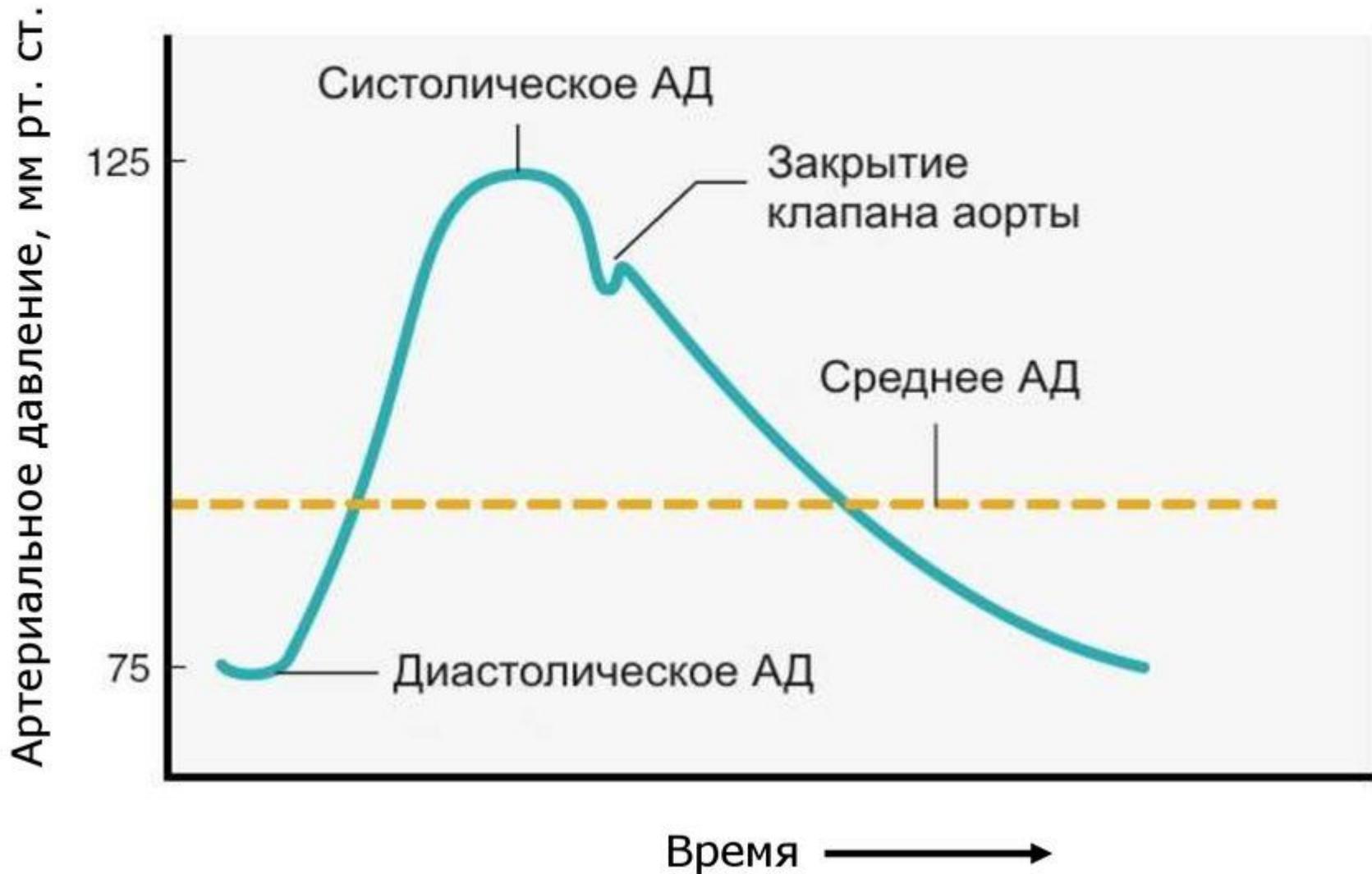
○ **Пульсовое АД** = сАД-дАД, зависит от:

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

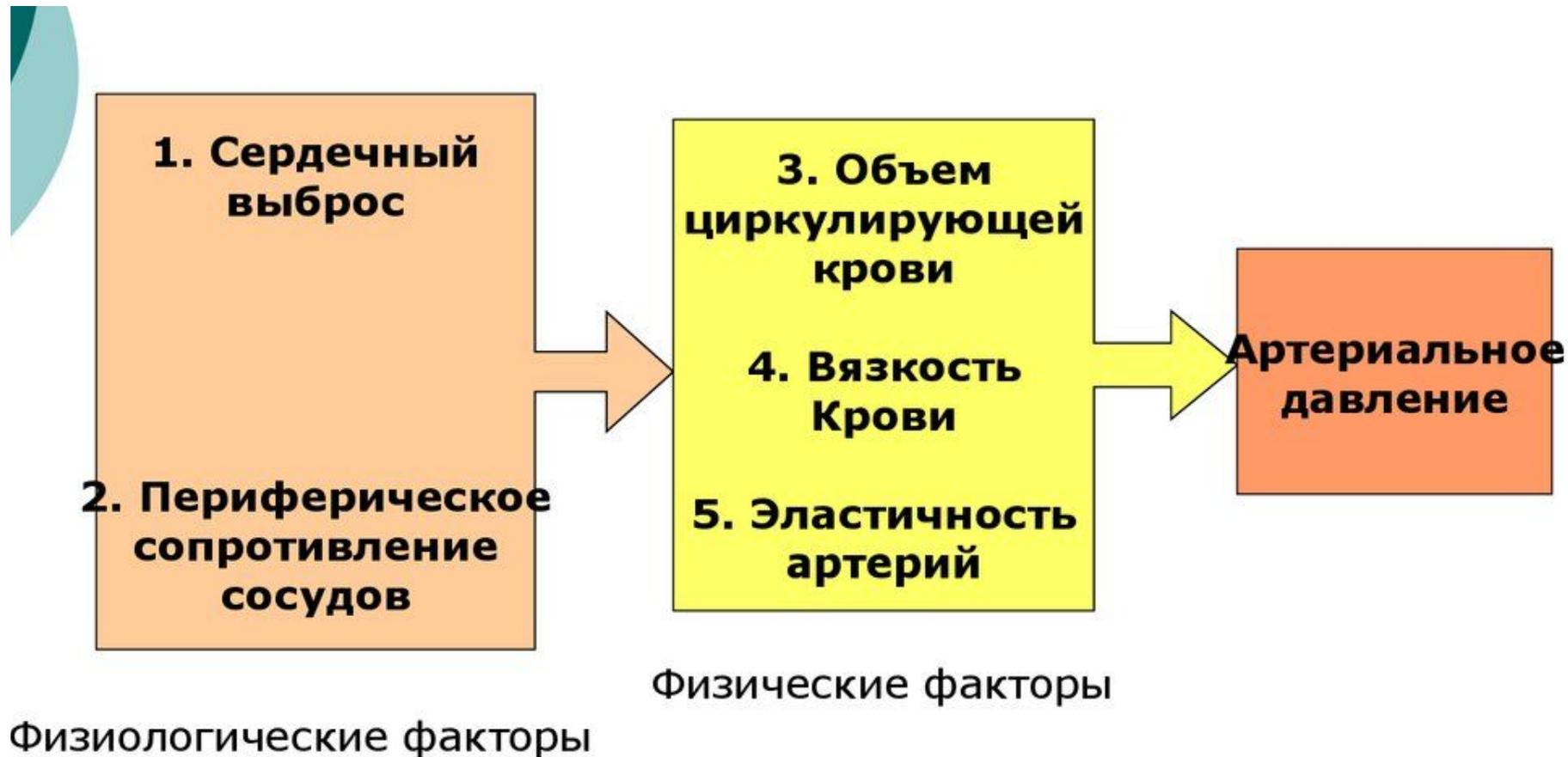
○ **Среднее АД** – не среднее арифметическое сАД и дАД, поскольку диастола длится дольше:

- Среднее АД = дАД + $1/3$ (сАД-дАД)

Системное артериальное давление



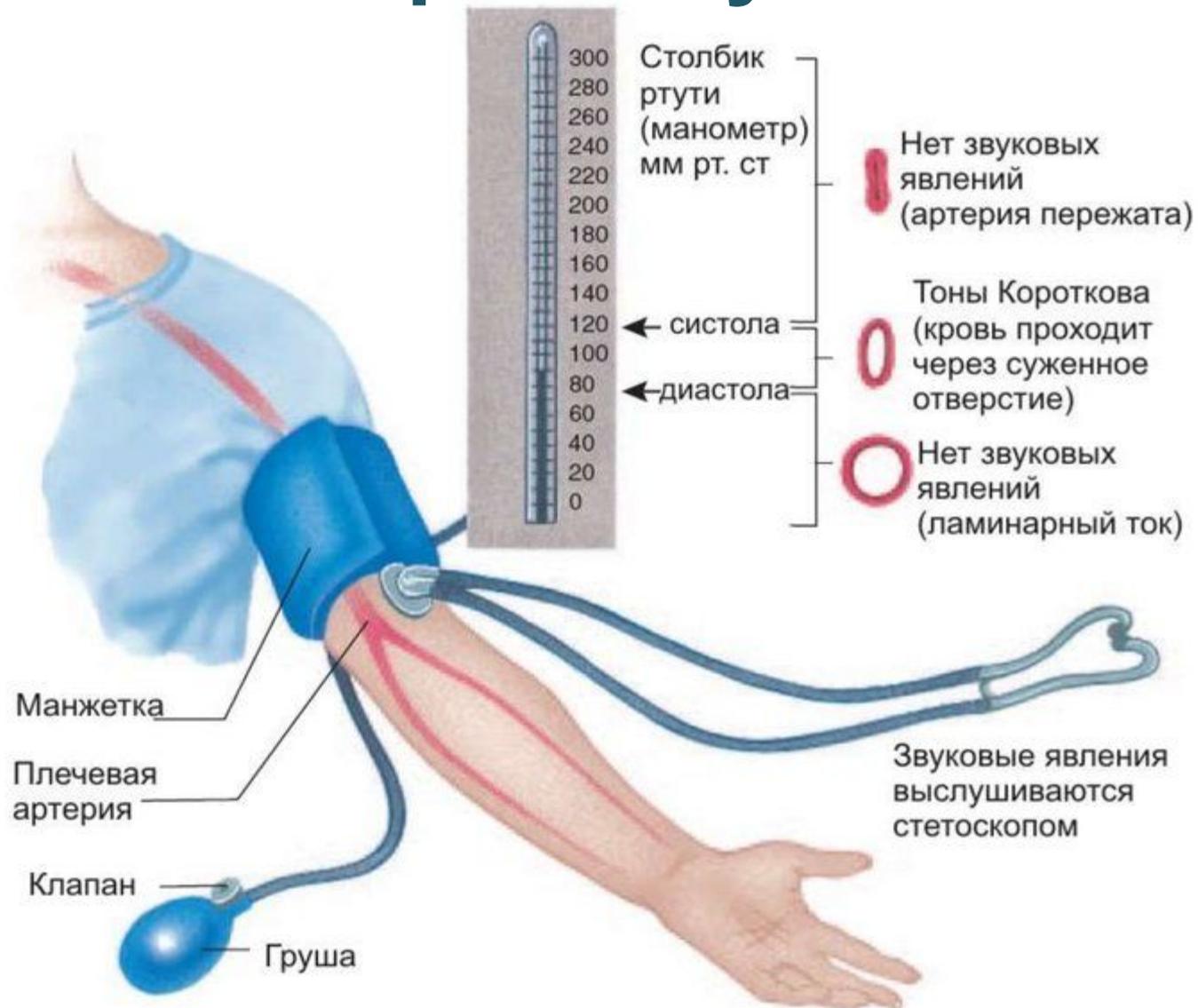
Факторы, определяющие САД



Способы измерения САД

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

Метод измерения САД по Короткову



- 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

Базальный тонус сосудов

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

Местные механизмы регуляции

- 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

Местные механизмы регуляции

○ **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

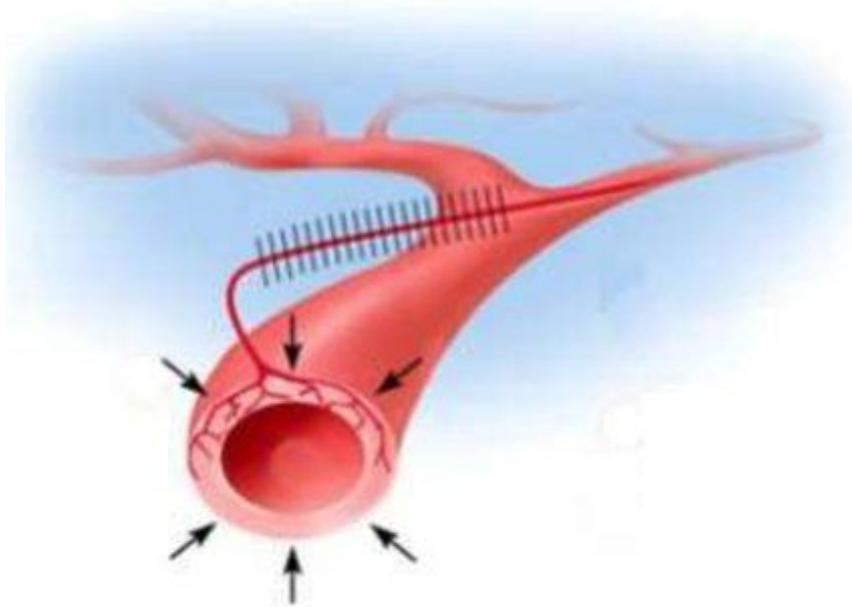
Продукты
метаболиз
ма

Нервные механизмы регуляции

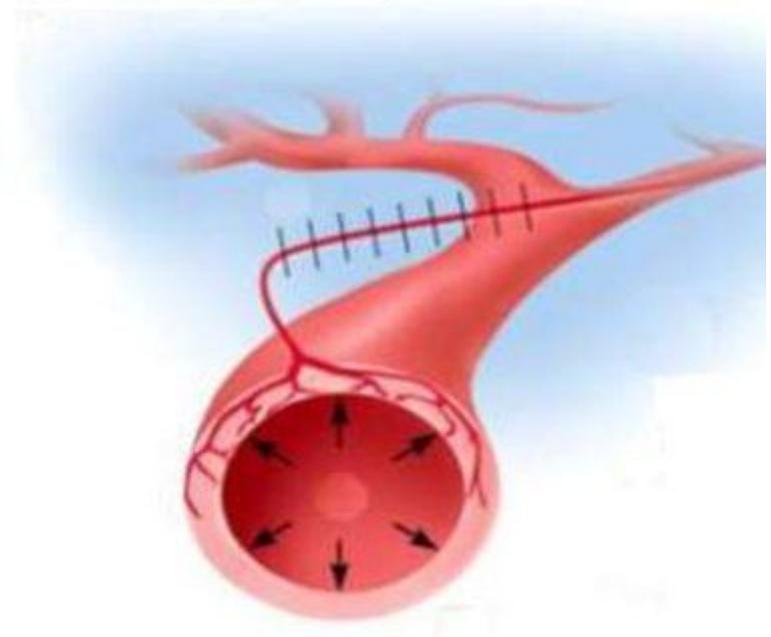
Вегетативные нервы – иннервация гладкой мускулатуры сосудов:

- 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**

Влияние симпатической системы на тонус сосудов



Увеличение частоты генерации ПД в симпатическом волокне -
вазоконстрикция



Уменьшение частоты генерации ПД в симпатическом волокне -
вазодилатация

Тонус сосудов в скелетных мышцах. Два типа адренорецепторов



Тонус сосудов 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

Сосудистый центр

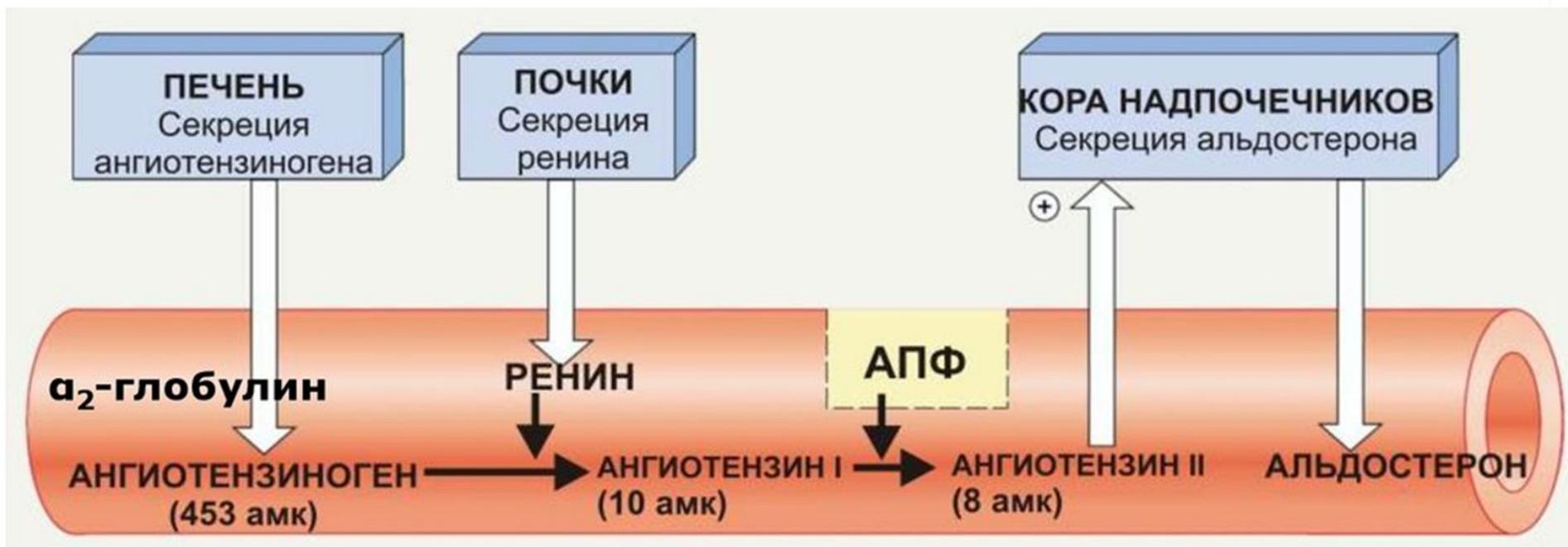
- Вазомоторные (симпатические) центры **спинного мозга**
- Сосудодвигательный центр **продолговатого мозга** (прессорная и депрессорная зоны)
- **Гипоталамус** – высший центр вегетативной регуляции
- **Кора больших полушарий**

Гуморальные механизмы регуляции

- **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

Местные факторы

P_{O_2} ↑

Эндотелин-1 ↑ (ET_A)

$PGF_{2\alpha}$,
тромбоксан

АДГ (V_1),
адреналин,
ангиотензин II

Гуморальные факторы

СУЖЕНИЕ

РАСШИРЕНИЕ

Адреналин (β_2)

Гуморальные факторы

Ацетилхолин (M3)
АТ
гистамин (H1)
эндотелин-1 (ETB)

Ме ф а

P_{O_2} ↓

Аденозин, P_{CO_2} ,
 H^+ , K^+

NO ↑

PGE_2 , PGI_2 ↑

EDHF

Брадикинин,
каллидин

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

Центральное венозное давление (ЦВД)

- 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, влияющие на изменение ЦВД

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

- ↑ Общего объема крови → ↑ венный 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 → ↑ венный возврат
- ↑ тонуса периферических вен (симпатические влияния, адреналин, ангиотензин II)
- Снижение сердечного выброса → задержка крови в венозном русле (↓ венный возврат)

○ **Уменьшение растяжимости вен:**

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

Факторы, увеличивающие венозный возврат (ВВ)

- 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%

Влияние ЦВД и ВВ на сердечный выброс

