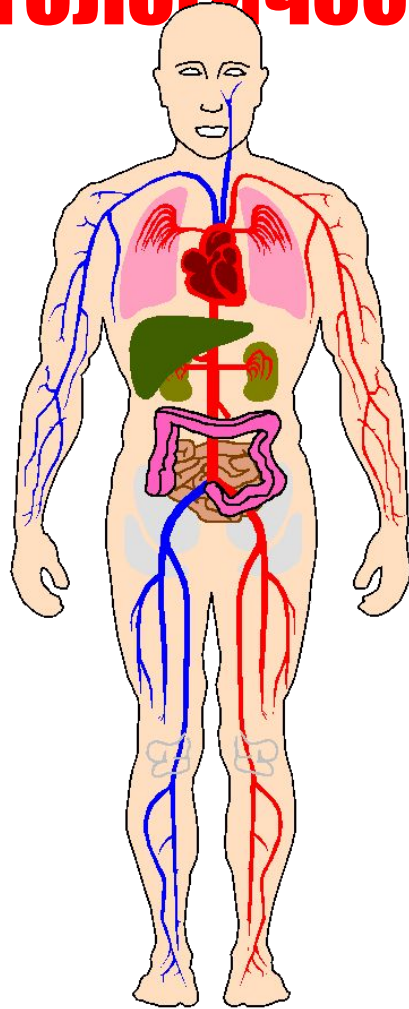


Кафедра нормальной и патологической физиологии КБГУ



- ТЕМА ЛЕКЦИИ:
- ФИЗИОЛОГИЯ
КРОВООБРАЩЕ-
НИЯ



- **Уильям ХАРВИ**
(Вильям Гарвей)
(1578-1657)

Впервые описал схему кровообращения в труде «Анатомические исследования о движении сердца и сосудов» в 1628 году

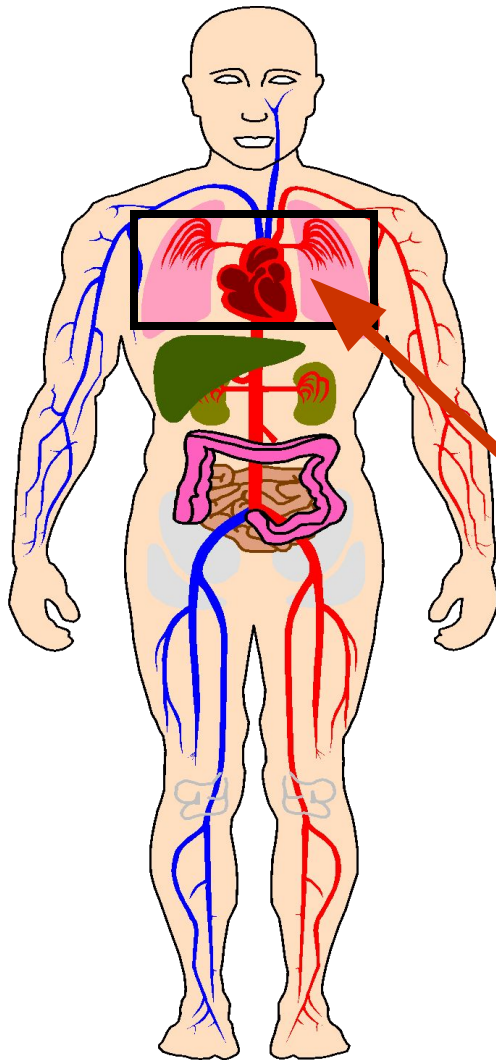
**« Моим учением проложен путь более
одаренным, которые воспользуются им для
лучшего изучения вопроса»**

**У.Гарви «Анатомические исследования о движении сердца
и сосудов», 1628 г.**

ФУНКЦИИ СИСТЕМЫ КРОВООБРАЩЕНИЯ

- **ТРАНСПОРТНАЯ:**
- **ДЫХАТЕЛЬНАЯ**
- **ПИТАТЕЛЬНАЯ**
- **ЭКСКРЕТОРНАЯ**
- **ТЕРМОРЕГУЛЯТОРНАЯ**
- **ГУМОРАЛЬНОЙ РЕГУЛЯЦИИ**

КРУГИ КРОВООБРАЩЕНИЯ



- **БОЛЬШОЙ КРУГ**
- **Начало:** левый желудочек - аорта
- **Состав:** артерии, капилляры и вены мускулатуры тела и всех органов, кроме легких
- **Конец:** полые вены - правое предсердие
- **МАЛЫЙ КРУГ**
- **Начало:** правый желудочек - легочной ствол
- **Состав:** сосуды легких
- **Конец:** легочные вены - левое предсердие

Гемодинамика

- **Системная гемодинамика** - движение крови в сердце и магистральных сосудах
- **Региональная или органная гемодинамика** - кровоснабжение органов
- **Микроциркуляция или тканевая гемодинамика** - кровоснабжение тканей, движение крови в мельчайших сосудах

ОБЪЕМНЫЙ КРОВОТОК (Q) И СОСУДИСТОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ (R)

-
- Закон Ома: $I = \frac{U}{R}$
-

-
- Закон Пуазейля : $Q = \frac{\Delta P}{R}$
-

-
- Закон Хагена-Пуазейля: $Q = \frac{\Delta P \pi r^4}{8 \eta L}$
-

-
- $R = \frac{8 \eta L \cdot \Delta P}{\pi r^4 \Delta P} = \frac{8 \eta L}{\pi r^4}$
-

ЛИНЕЙНАЯ СКОРОСТЬ КРОВОТОКА (V) И ХАРАКТЕР ПОТОКА КРОВИ

- $V = \frac{Q \text{ (см}^3\text{/сек)}}{S \text{ (см}^2\text{)}} = \text{см/сек}$

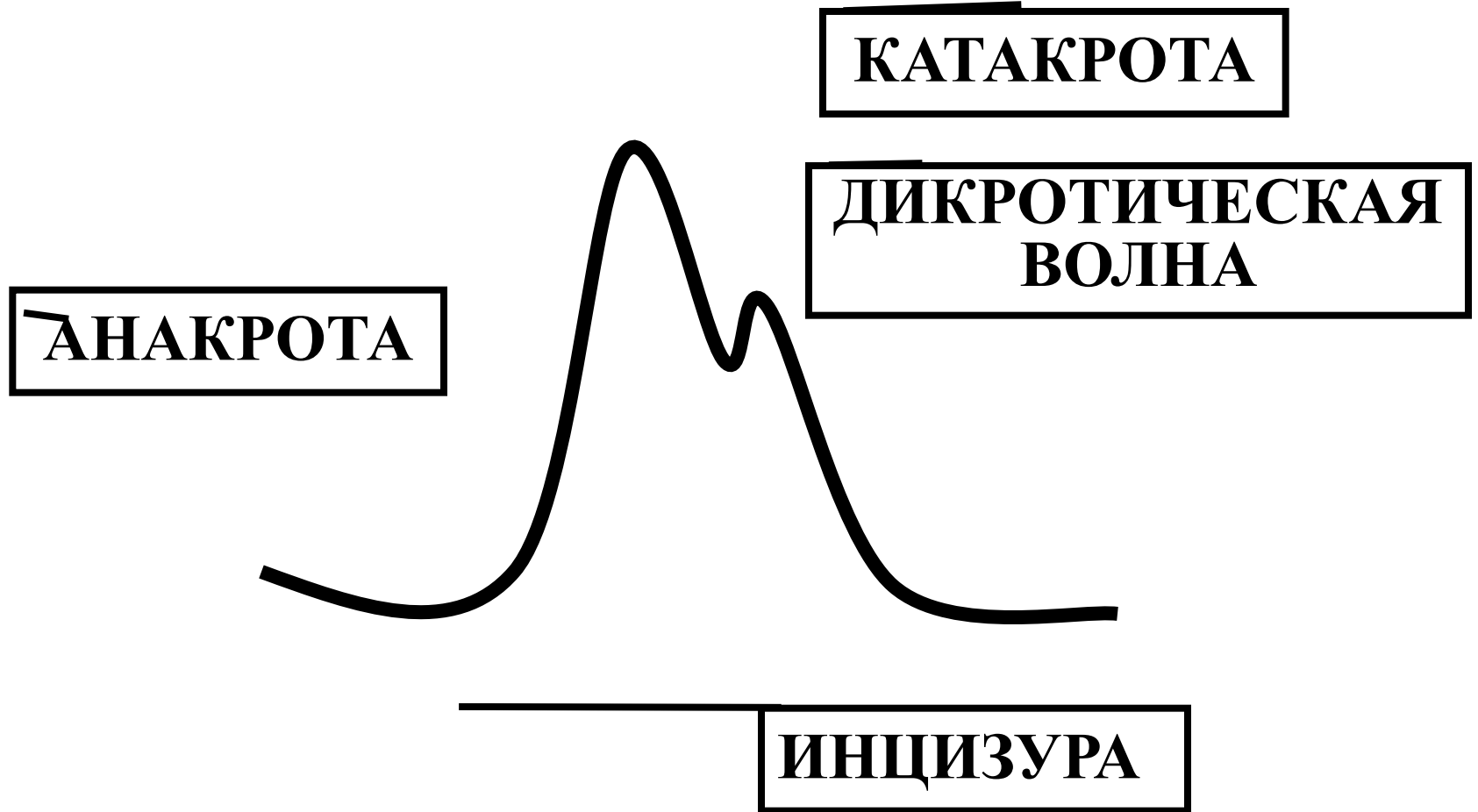
- **Число Рейнолдса (N_R) - соотношение сил инерции и вязкости:**

- $$N_R = \frac{V \cdot D \cdot \rho}{\eta}$$

- где V - линейная скорость, D - диаметр сосуда, ρ - удельный вес жидкости, η - ее вязкость

- **Переход потока от ламинарного к турбулентному при достижении числа Рейнолдса 3000 и более**

СФИГМОГРАММА



ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ (V) РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПУЛЬСОВОЙ ВОЛНЫ

$V = L / t$, где

L - расстояние
между
датчиками

t - время
распростране-
ния пульсовой
волны



ХАРАКТЕРИСТИКИ КРОВОТОКА ПО СОСУДАМ

- **Линейная скорость кровотока в артериях:**
0,3-0,5 м/с
- **Скорость распространения пульсовой волны (V_{II}):**
в сосудах эластического типа = 7-10 м/с
в сосудах мышечного типа = 5-8 м/с
- **Модуль упругости (E) = V_{II}^2 / K (коэффициент)**
- **Время полного кругооборота крови:**
27 систол или 20-23 с, из этого по малому кругу:
1/5 времени, по большому: 4/5 общего времени

ТОНУС СОСУДОВ

- **СОСУДИСТЫЙ ТОНУС** - степень напряжения сосудистой стенки : $T = P \times r$
- где P - давление, r - радиус сосуда
- **Миогенный или базальный тонус**
- **Регуляторный тонус:**
 - а) **нейрогенный**
 - б) **химиогенный (гуморальный)**

Исторические факты

- **Вальтер (1842) - сужение сосудов на плавательной перепонке лягушки**
- **Клод Бернар (1852) - симпатические вазоконстрикторы на ухе кролика**
- **Ф.В.Овсянников (1871) - сосудодвигательный центр продолговатого мозга**
- **Бейлис (1923) - прессорный и депрессорный отделы центра**

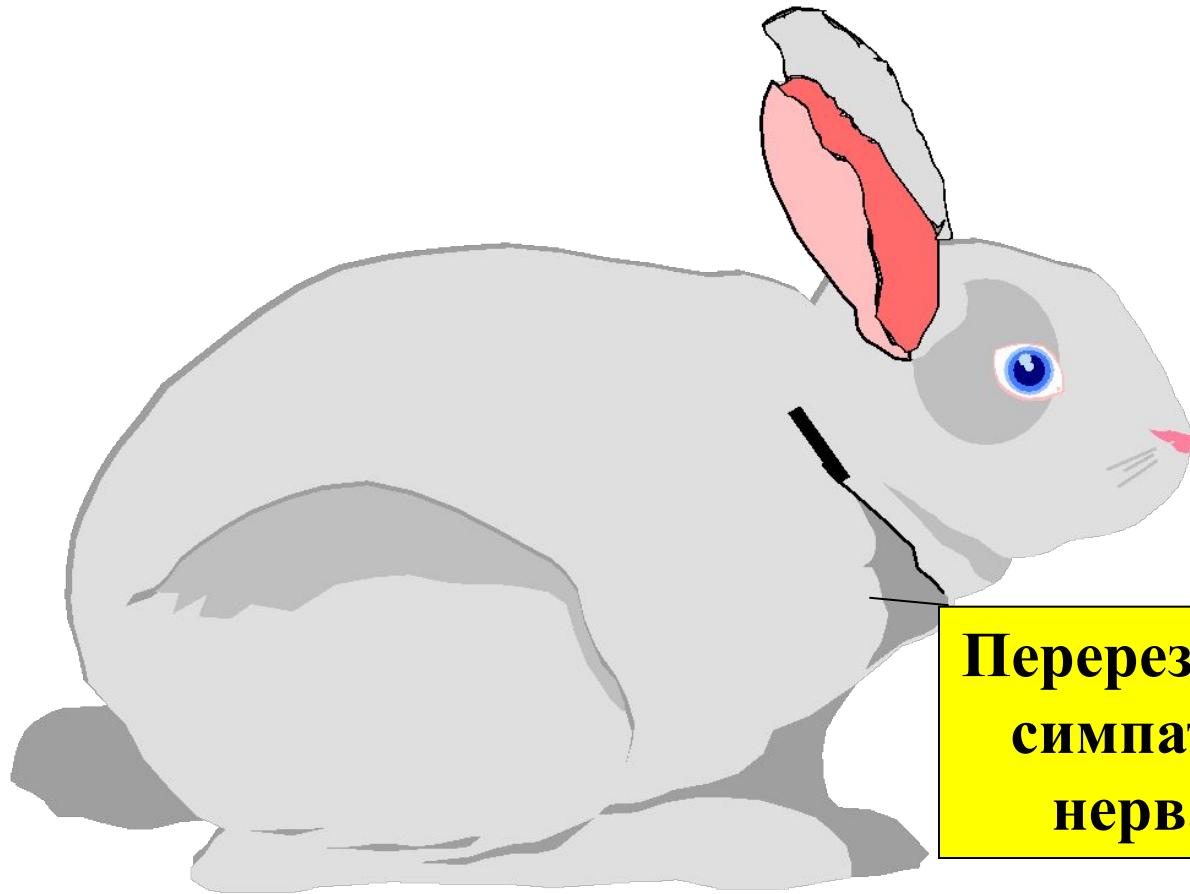


- **Клод Бернар**
(1813-1878)

**«Клод Бернар - не только
физиолог, но и сама
физиология»**

Дюма

Опыт Клода Бернара

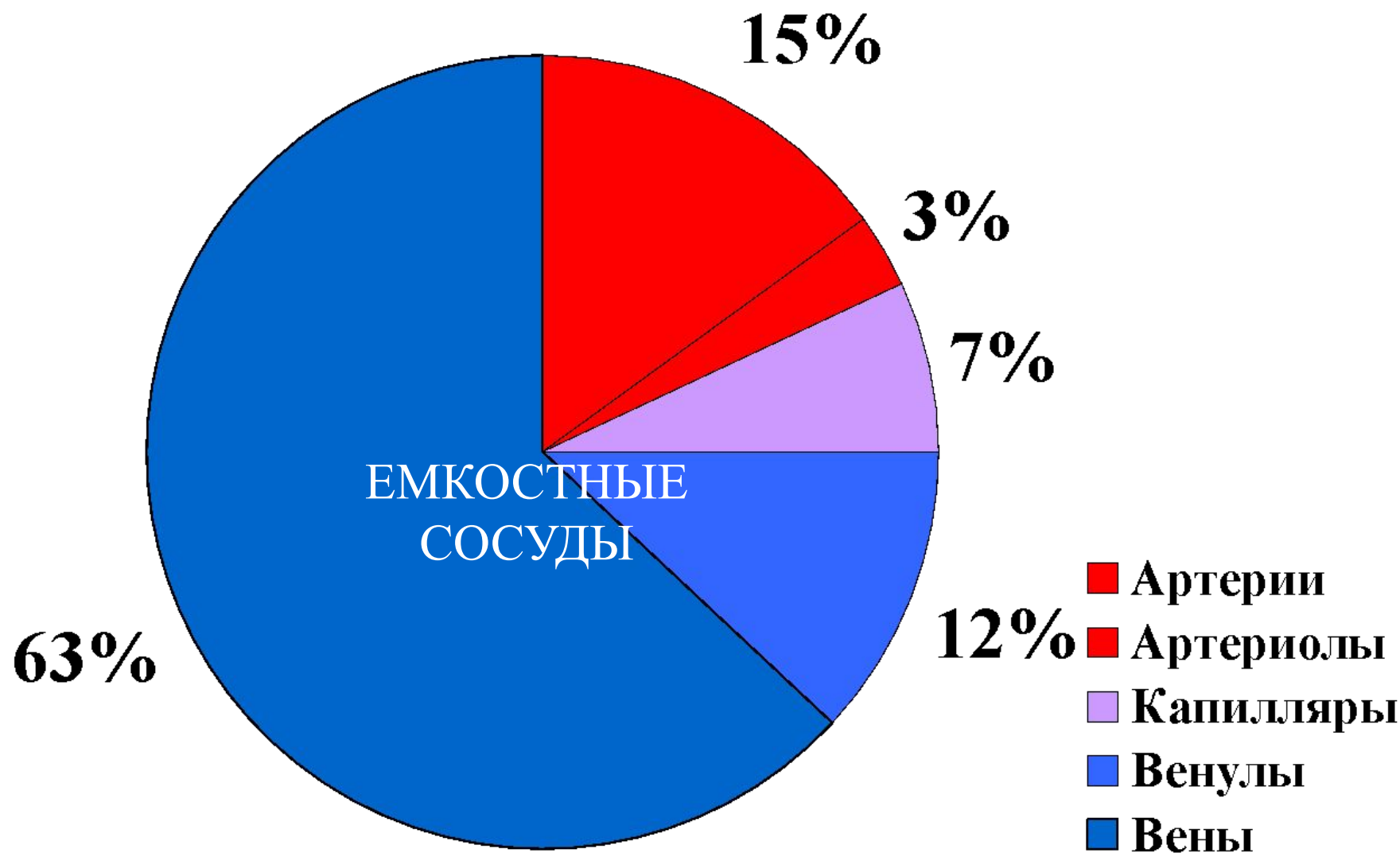


**Перерезка шейного
симпатического
нерва справа**

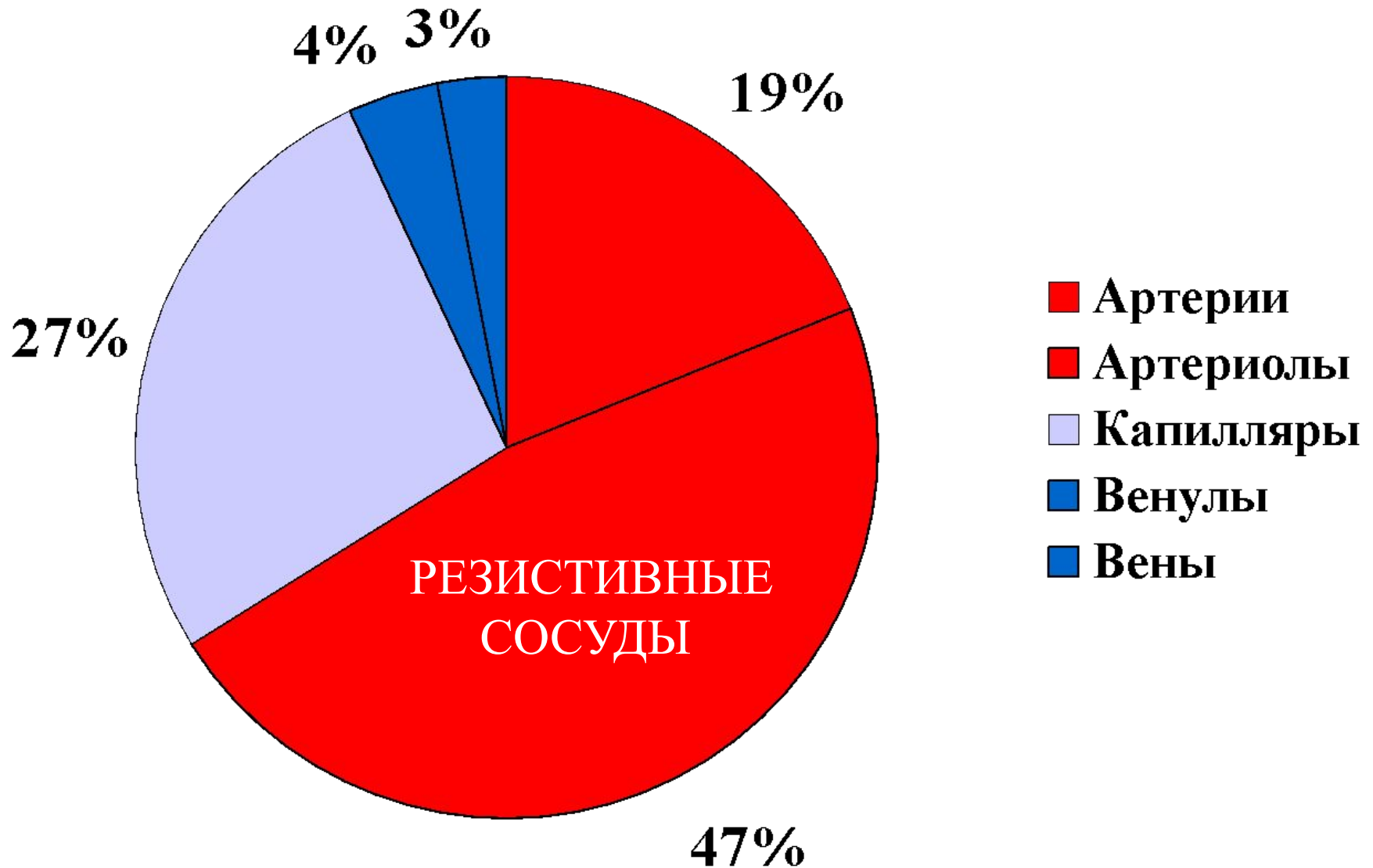
Функциональная характеристика кровеносных сосудов

- Амортизирующие (аорта, легочная артерия)
- Резистивные (концевые артерии, артериолы)
- Сосуды-сфинктеры
- Обменные
- Емкостные
- Шунтирующие сосуды

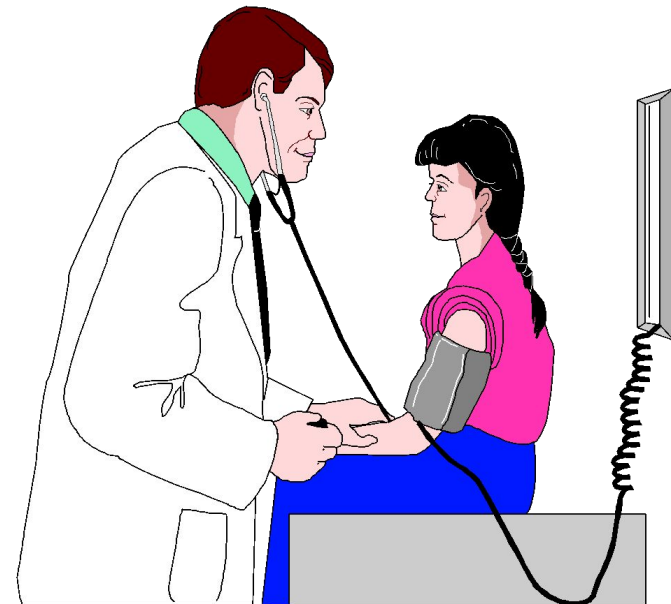
Соотношение объемов крови в разных отделах сердечно-сосудистой системы



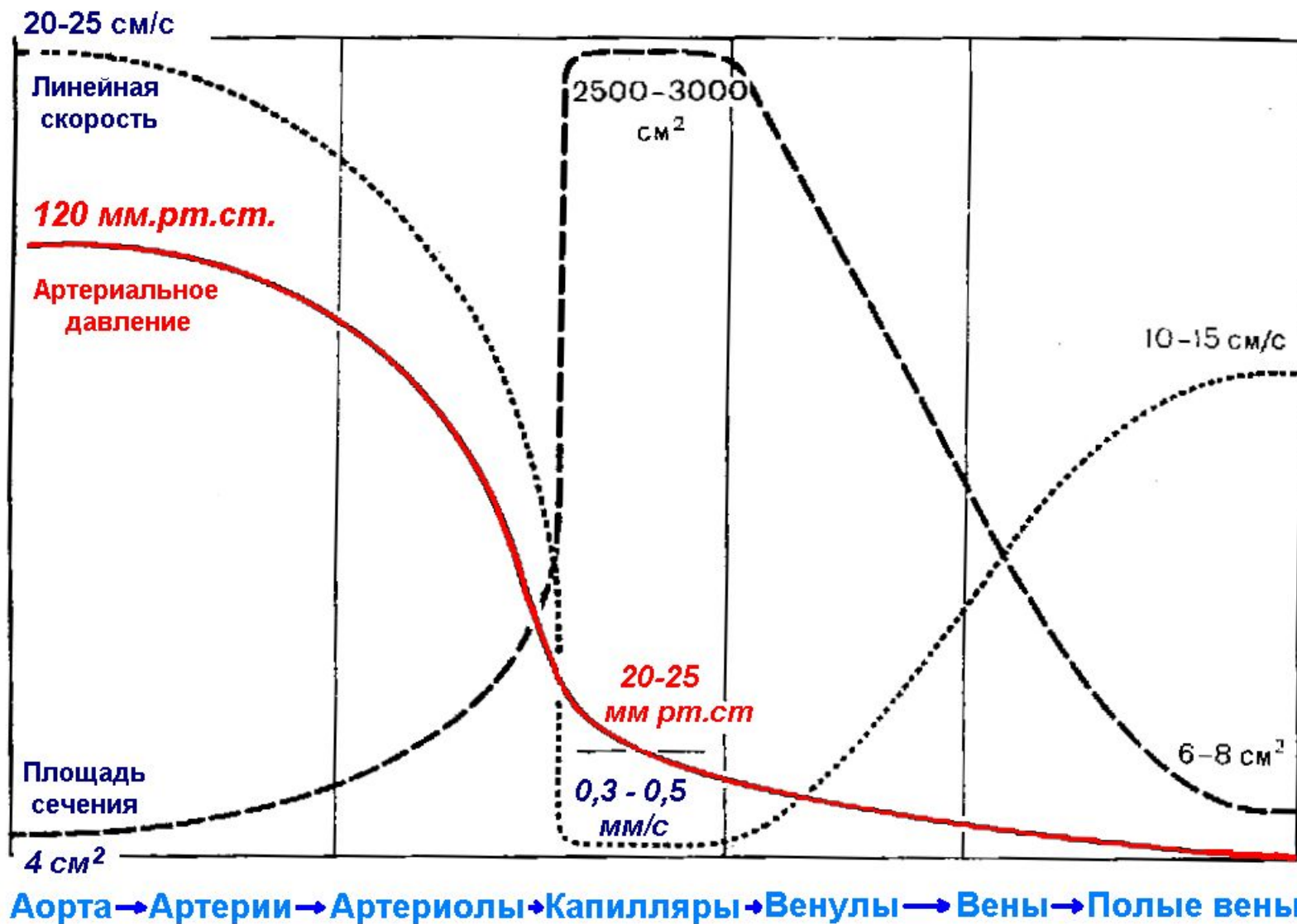
Соотношение сопротивлений разных отделов сердечно-сосудистой системы



- **АРТЕРИАЛЬНОЕ
ДАВЛЕНИЕ
И
ЕГО
РЕГУЛЯЦИЯ**



Артериальное давление и линейная скорость кровотока в разных отделах сосудистого русла



ВИДЫ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ (АД)

- **Систолическое АД (САД)**
- **Диастолическое АД (ДАД)**
- **Пульсовое АД (ПАД) = САД-ДАД**
- **Среднее АД (АД_{ср}) = ДАД + 1/3 ПАД**

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ АД

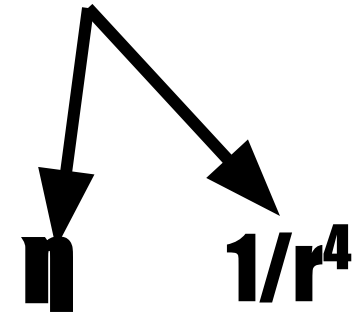
- $U = I \times R$ (Ома) или $\Delta P = Q \times R$

- АД = МОК \times ОПСС

- УОК \times ЧСС

- Венозный возврат

СОКРАТИМОСТЬ



- ОЦК, ЦВК, Тонус вен

ТИПЫ САМОРЕГУЛЯЦИИ КРОВООБРАЩЕНИЯ

• АД = МОК × ОПСС

• **ГИПЕРКИНЕТИЧЕСКИЙ**

СЕРДЕЧНЫЙ (> МОК)

ГИПОКИНЕТИЧЕСКИЙ

СОСУДИСТЫЙ (< МОК)

• **НОРМОКИНЕТИЧЕСКИЙ** ИЛИ **ЭУКИНЕТИЧЕСКИЙ**

СМЕШАННЫЙ (и МОК, и ОПСС)

ПРИНЦИПЫ РЕГУЛЯЦИИ АД



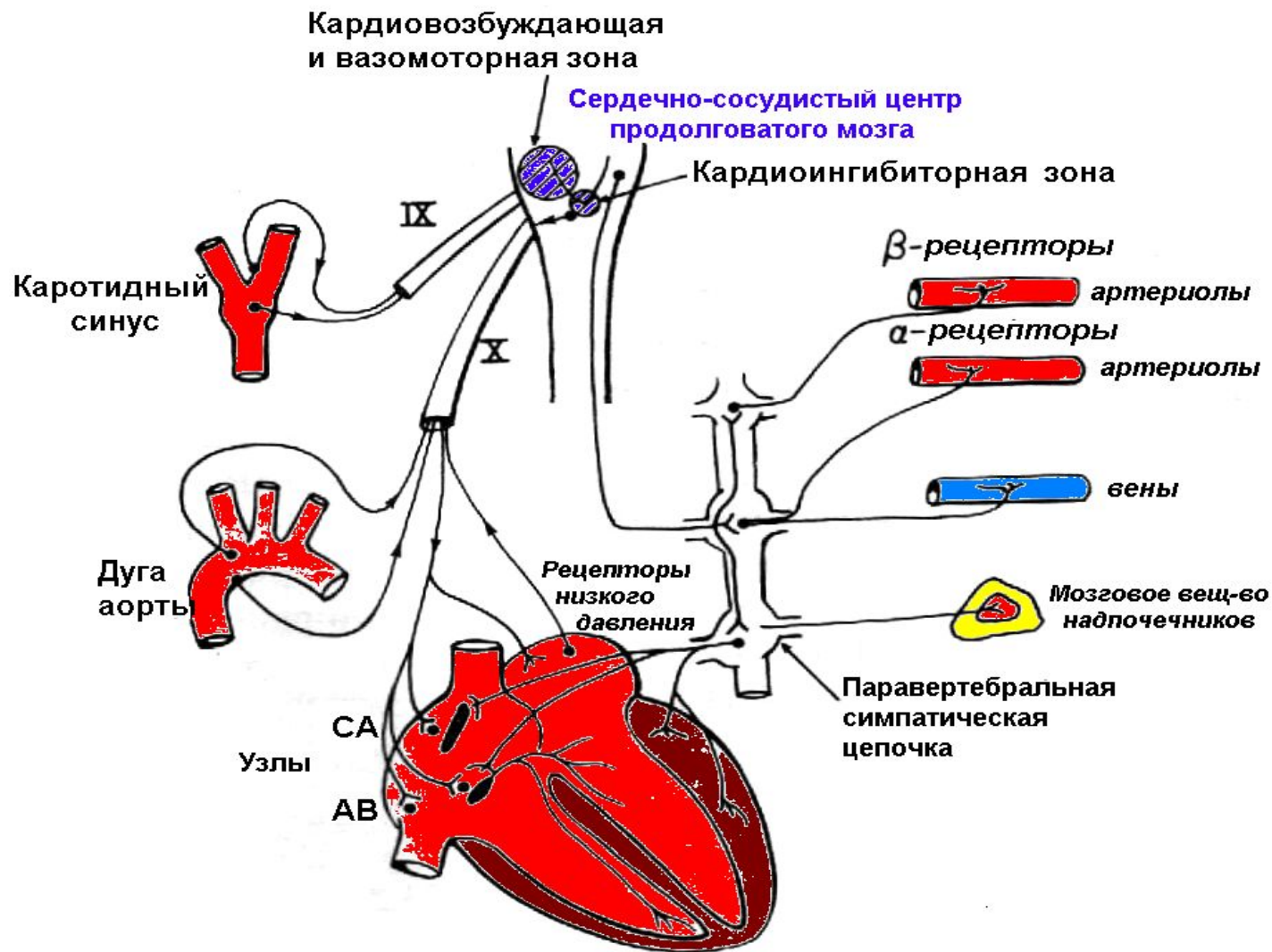
ДВЕ ГРУППЫ РЕГУЛЯТОРНЫХ ВЛИЯНИЙ И ДВА МЕХАНИЗМА АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИИ

- **ВАЗОКОНСТРИКТОРНЫЕ ФОРМЫ**
(нейрогенные, ренин-зависимые, дефицитные по NO и др.)
- **ОБЪЕМЗАВИСИМЫЕ ФОРМЫ**
(низкорениновые, натрийзависимые, гиперальдостеронизм, почечная задержка натрия и воды и др.)

ОБЩИЕ МЕХАНИЗМЫ РЕГУЛЯЦИИ АД

- **КРАТКОВРЕМЕННОГО ДЕЙСТВИЯ (быстрые, механо- и хемо- реффлекторные)**
- **ПРОМЕЖУТОЧНОГО ДЕЙСТВИЯ (гуморальные: ренин-ангиотензин-альдостероновая система, атриопептид**
- **ДЛИТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ («перестройка» краткосрочных, механизм «давление-натриурез - диурез»)**

Краткосрочные механизмы регуляции артериального давления



НЕЙРОГЕННЫЙ МЕХАНИЗМ РЕГУЛЯЦИИ С РЕФЛЕКСОГЕННЫХ ЗОН

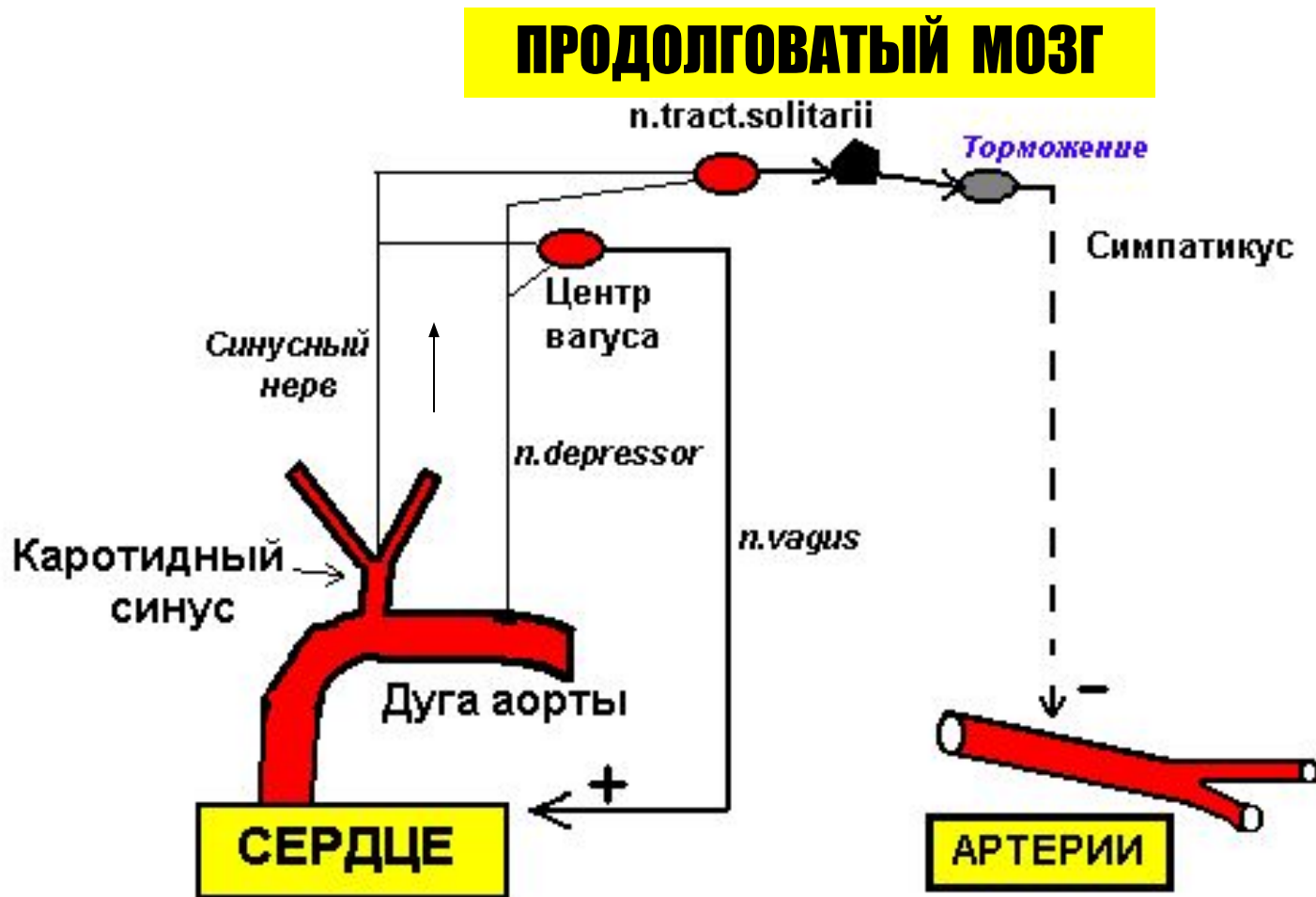
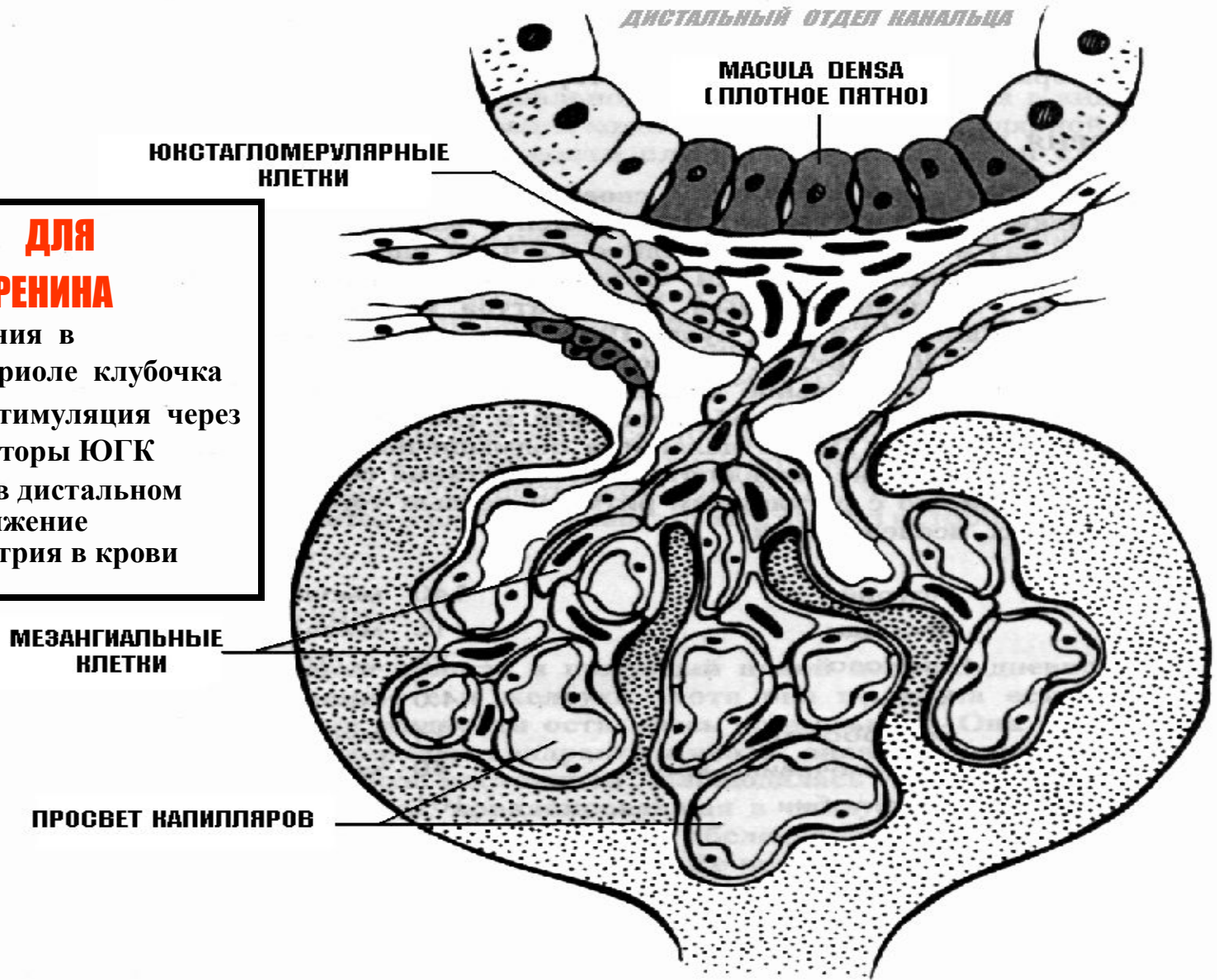


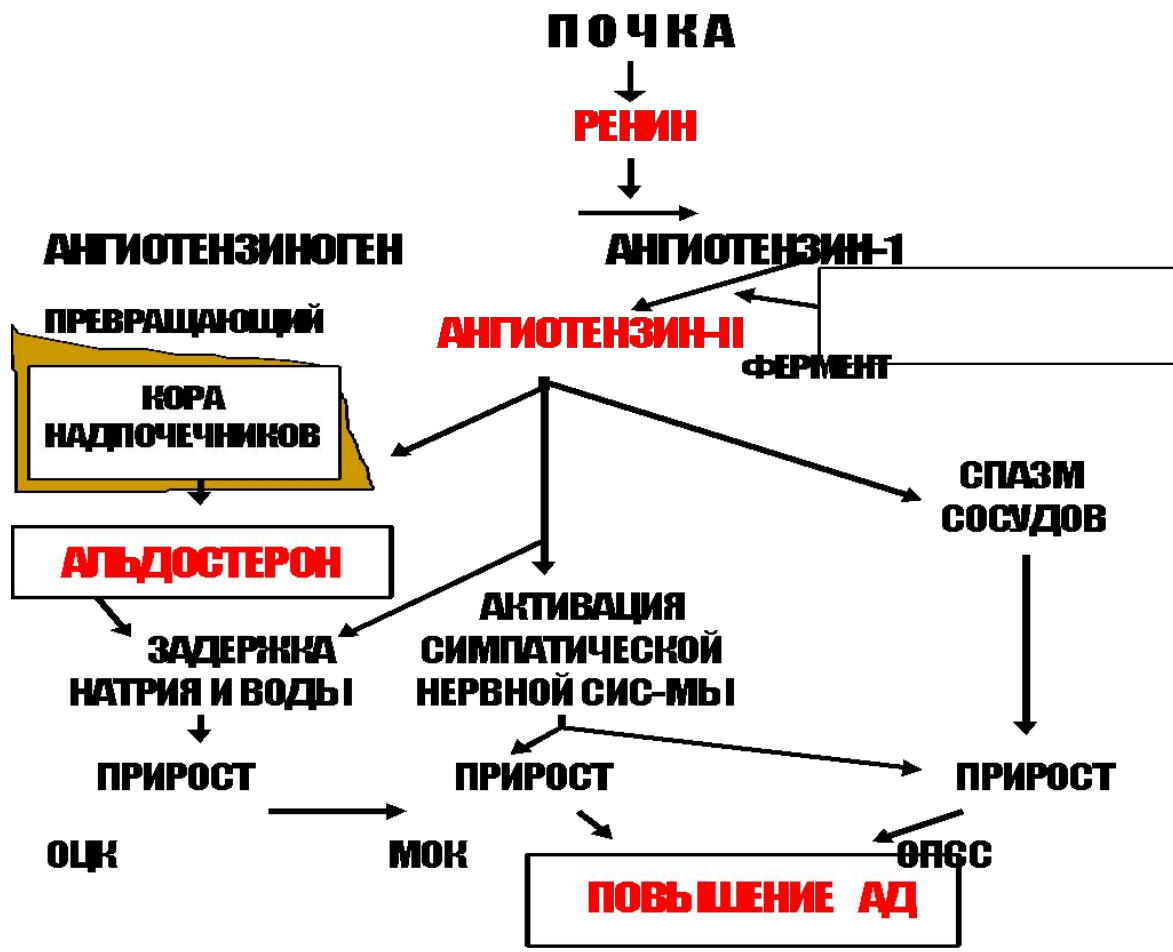
СХЕМА ЮГА

СТИМУЛЫ ДЛЯ СЕКРЕЦИИ РЕНИНА

- Снижение давления в приносящей артериоле клубочка
- Симпатическая стимуляция через бета-адренорецепторы ЮГК
- Избыток натрия в дистальном канальце или снижение концентрации натрия в крови



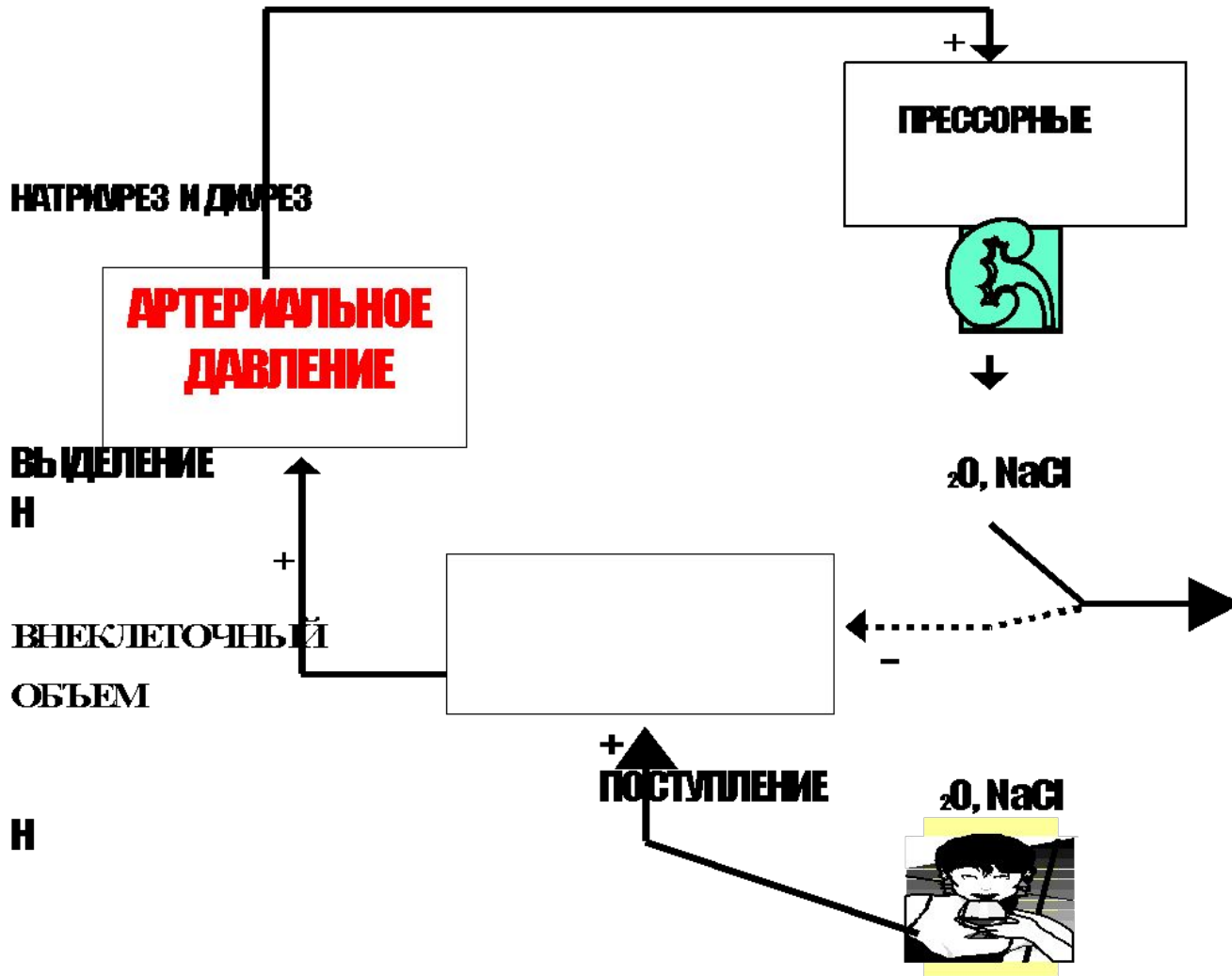
СИСТЕМА РЕНИН-АНГИОТЕНЗИН-АЛЬДОСТЕРОН



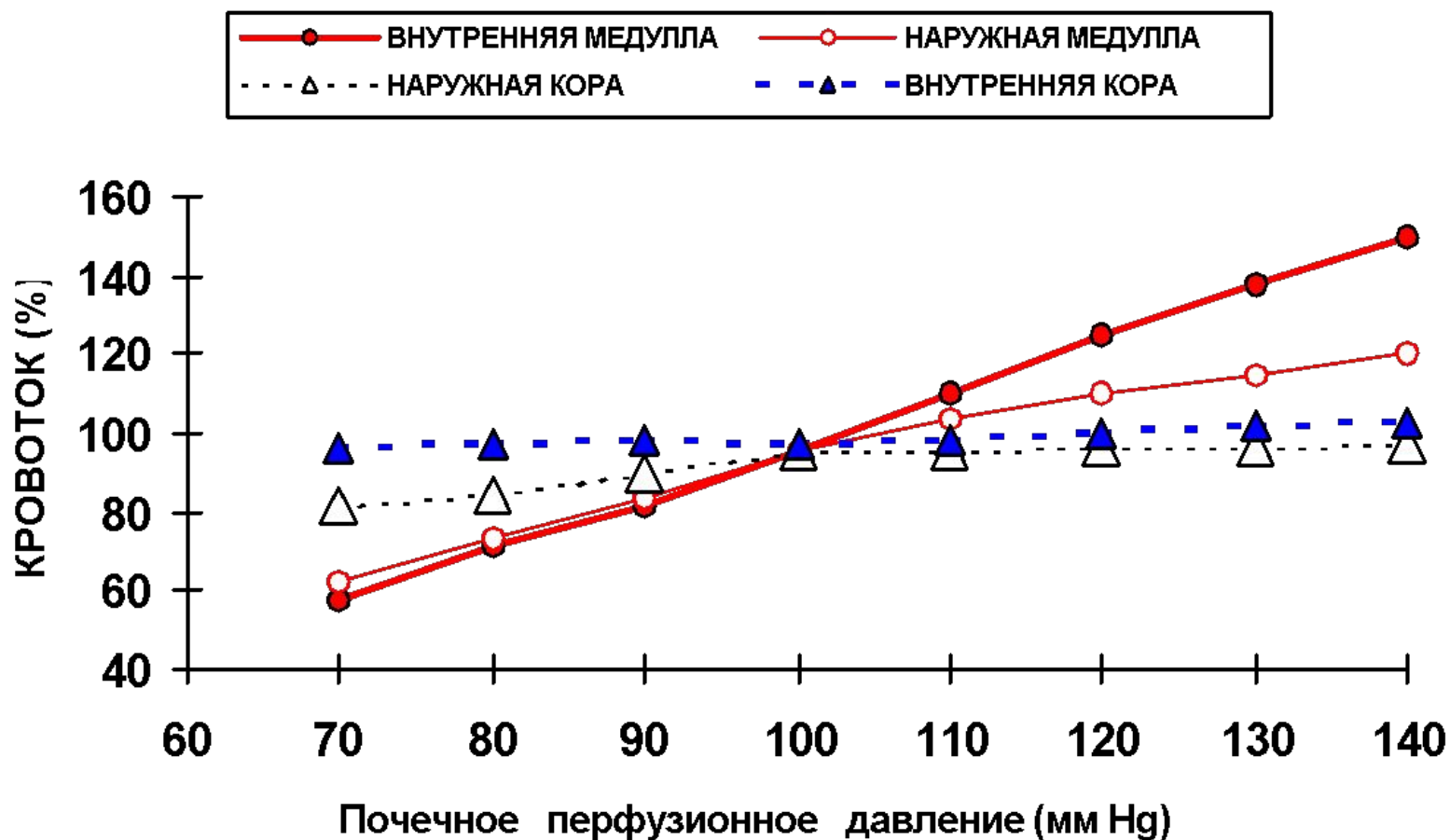
ОБРАТНЫЕ СВЯЗИ В РААС



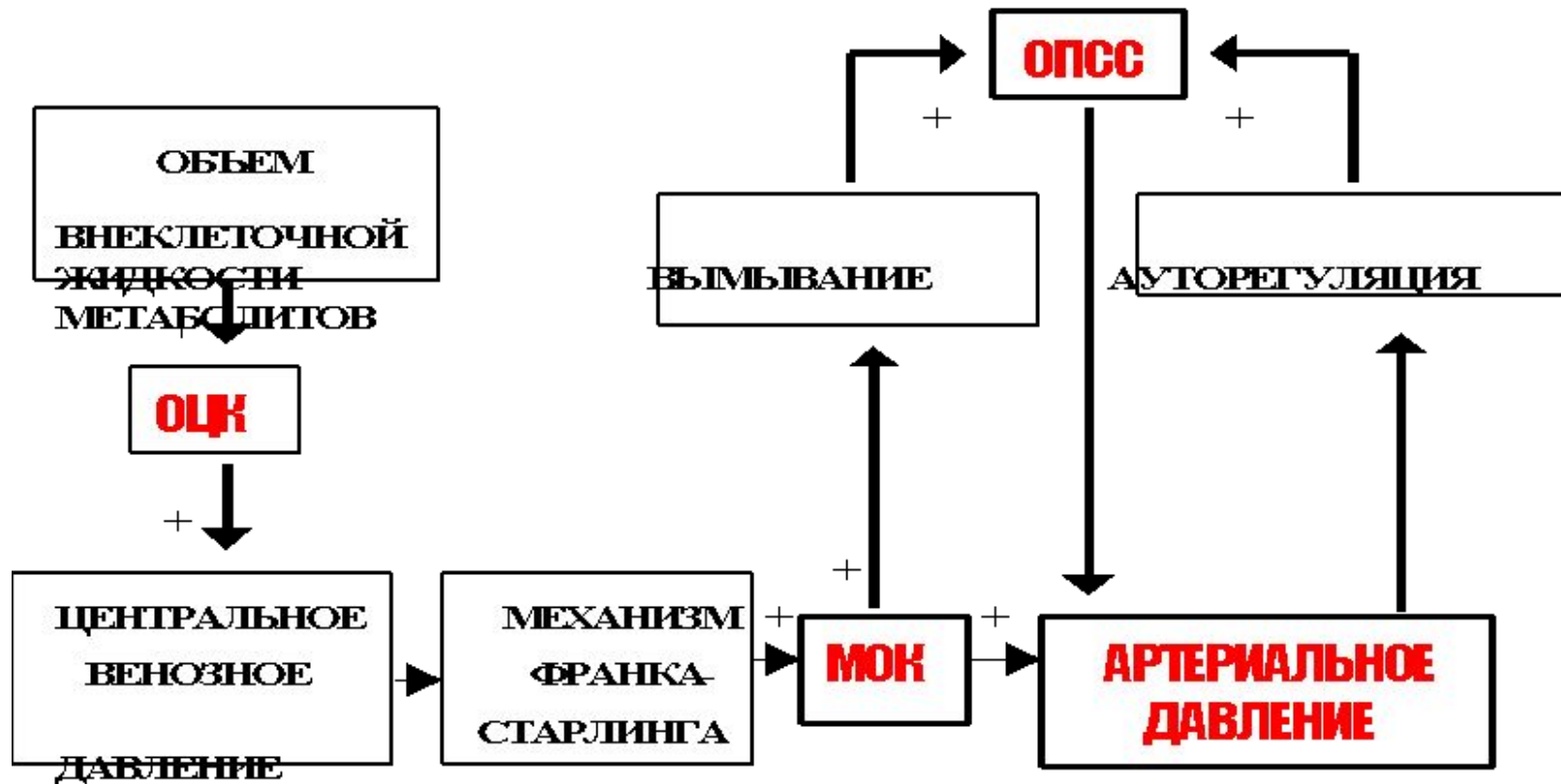
МЕХАНИЗМ «ДАВЛЕНИЕ - НАТРИУРЕЗ - ДИУРЕЗ»



АУТОРЕГУЛЯЦИЯ ПОЧЕЧНОГО КРОВОТОКА



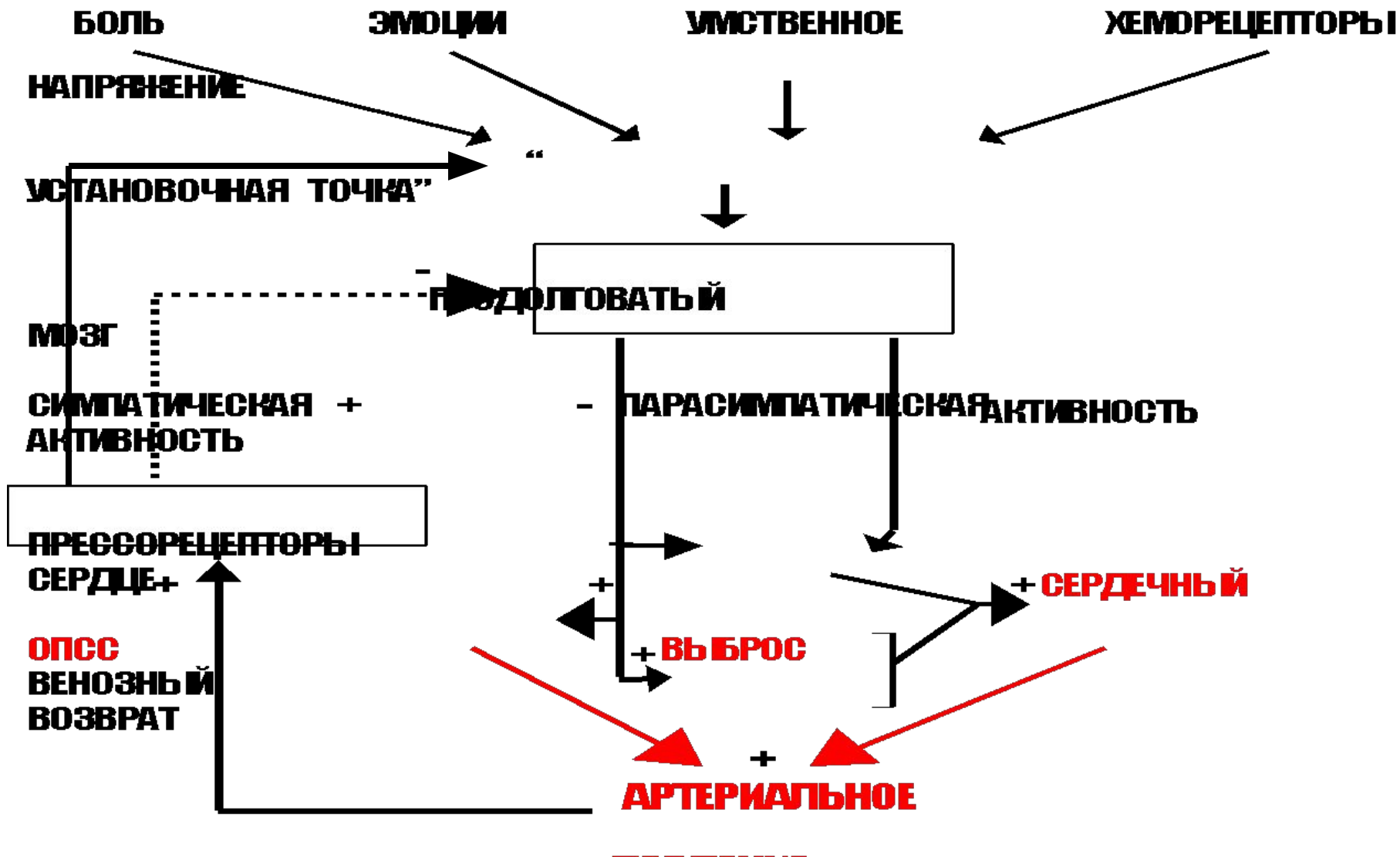
Механизм влияния объема жидкости на артериальное давление



Механизмы повышения АД при гипернатриемии

- **Накопление натрия в крови ведет к увеличению ее объема**
- **Накопление натрия в эндотелии ведет к его набуханию и сужению просвета артериол**
- **Избыток натрия в гладкомышечных клетках сосудов повышает их возбудимость**

ПЕРЕСТРОЙКА РЕФЛЕКТОРНОЙ САМОРЕГУЛЯЦИИ АД



НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ 1998 ГОДА ПО ФИЗИОЛОГИИ И МЕДИЦИНЕ

- Роберт Фурчготт (*Университет штата Нью-Йорк*)
- Луис Игнарро (*Калифорнийской университет*)
- Ферид Мурад (*Медицинская школа Техасского унив-та*)

NO (оксид азота) образуется и выделяется клетками эндотелия, расслабляет гладкие мышцы артериальных сосудов, определяет уровень артериального давления. Ацетилхолин, нитроглицерин и др. вазодилататоры вызывают эффект через синтез оксида азота.

- Сальвадор Монкада - Университетский колледж в Лондоне

СОСУДИСТЫЕ РЕФЛЕКСЫ

по В.Н.Черниговскому

- **Собственные сосудистые рефлексЫ или рефлексЫ с сосудистых рефлексогенных зон**
- **Сопряженные сосудистые рефлексЫ (боль, холод, растяжение желудка и др)**
- **Условные рефлексЫ**

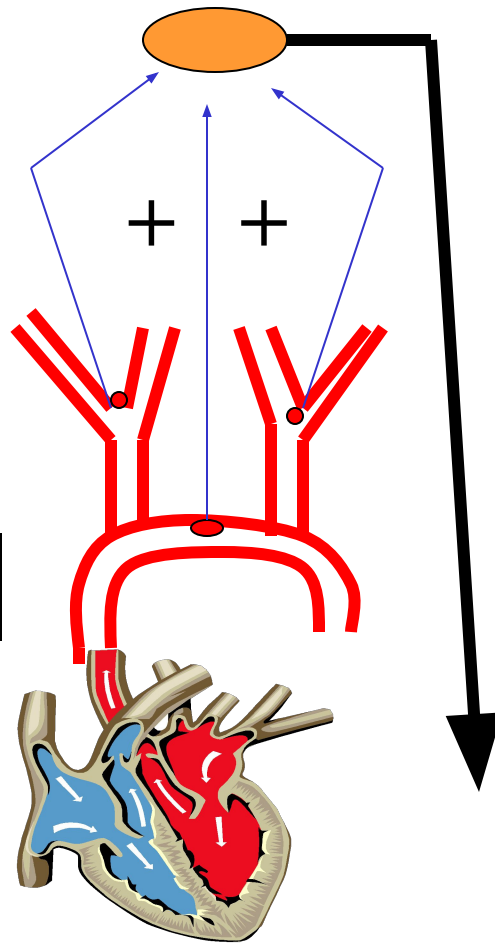
СОСУДИСТЫЕ РЕФЛЕКСОГЕННЫЕ ЗОНЫ

n. tractus solitarii

Синусный нерв

Каротидный синус

Дуга аорты



n. depressor

**< СИМПАТИЧЕСКОЙ
АКТИВНОСТИ**

СОСУДОДВИГАТЕЛЬНЫЕ НЕРВЫ

- Симпатические нервы, через:
 - α - адренорецепторы - констрикция и тонус
 - β - адренорецепторы - дилатация
 - m - холинорецепторы - дилатация
- Парасимпатические нервы, через:
 - ацетилхолин - m -холинорецепторы - NO - дилатация сосудов мозга, в подчелюстной железе (хорда тимпани) и органах малого таза (n.pelvic),
 - брадикинин и гистамин - дилатация сосудов кожи, желудочно-кишечного тракта

ГУМОРАЛЬНАЯ РЕГУЛЯЦИЯ СОСУДИСТОГО РУСЛА

• Вазоконстрикторы:

Вазодилататоры:

• Общая гуморальная регуляция

Ангиотензин-2

Атриопептид

Норадреналин

Адреналин

Простагландины

Вазопрессин

Плазмакинины

• Гуморальная регуляция эндотелием

Эндотелин

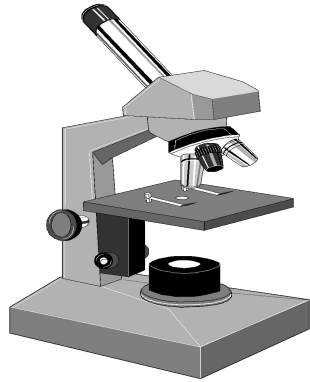
Окись азота (NO)

• Гуморальная регуляция метаболитами

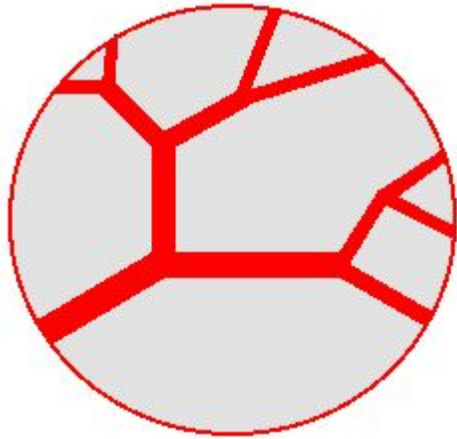
Лактат и др (<pH)

Тканевые кинины

Гистамин, АДФ



• ***ФИЗИОЛОГИЯ
МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ***



ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

- Микроциркуляция - движение крови в тканях по сосудам, диаметром менее 200 мкм
- Структурно-функциональная единица микроциркуляции - сосудистый модуль
- Составные части сосудистого модуля:
артериола, метаартериола или прекапилляр, капилляры, посткапилляры, вены, артериоло-венулярные анастомозы

СОСУДИСТЫЙ МОДУЛЬ

Артериоло-венулярный анастомоз

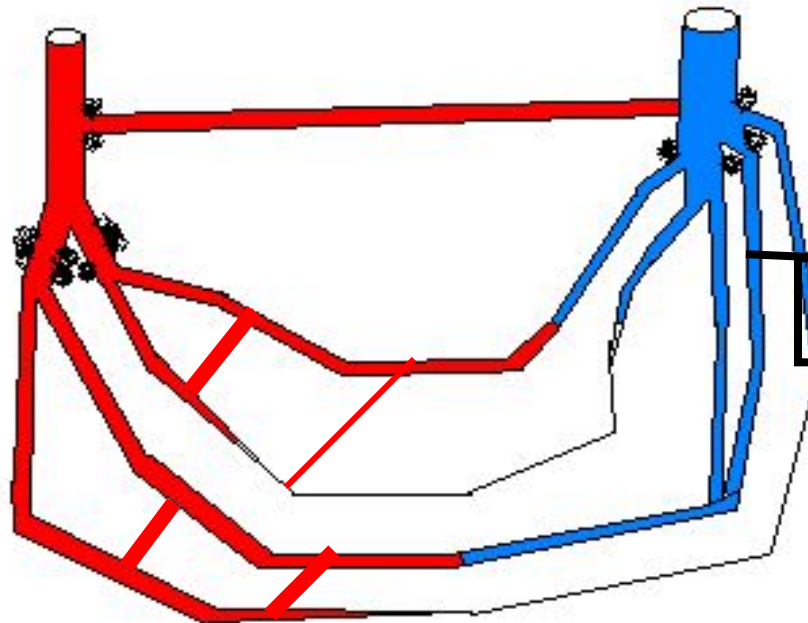
Артериола

Прекапилляр
со сфинктером

Венула

Посткапилляр

Капилляры

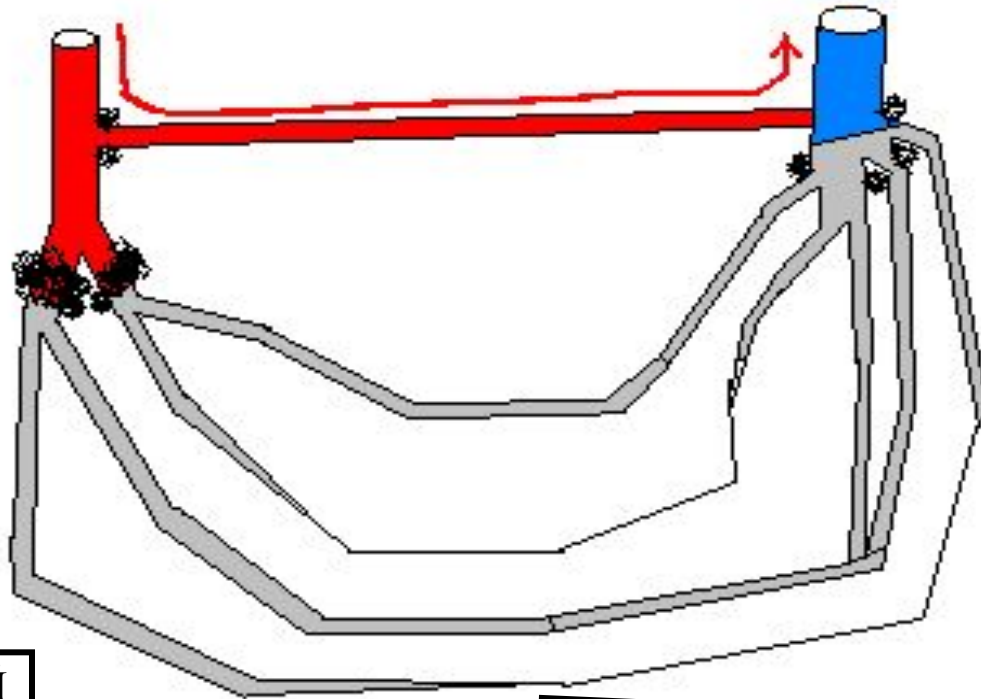


ЦЕНТРАЛИЗАЦИЯ КРОВООБРАЩЕНИЯ

АРТЕРИОЛО-ВЕНУЛЯРНЫЙ
АНАСТОМОЗ

АРТЕРИОЛА

ВЕНУЛА



ПРЕКАПИЛЛЯРНЫЙ
СФИНКТЕР

КАПИЛЛЯРЫ

ТИПЫ КАПИЛЛЯРОВ

- **Магистральные капилляры**
- **Боковые капилляры и капиллярные сети**
- **Дежурные капилляры (25%)**
- **Плазматические капилляры (10%)**
- **Молчащие капилляры (65%)**
- *Соматические*
- *Висцеральные или фенестрированные*
- *Синусоидальные со щелями*

ОБЩИЕ СВОЙСТВА КАПИЛЛЯРОВ

- **Общее количество - 40 миллиардов**
- **Диаметр - 5-8 мкм, длина 0,5 - 1,1 мм**
- **Суммарная длина всех капилляров - 100000км**
- **Наименьшая линейная скорость крови - <1мм/с**
- **Наибольшая площадь поверхности на единицу массы ткани - >50 см²/г**
- **Очень малое расстояние между кровью и клетками ткани - <50 мкм**

ПОКАЗАТЕЛИ ОБМЕНА ЖИДКОСТИ

- **Фильтруется через стенку капилляров из крови: 20 л/сут жидкости**
- **Реабсорбируется в кровь через стенку капилляров из тканей: 18 л/сут**
- **По лимфатическим сосудам оттекает из тканей в кровь: 2 л/сут**

Закон ультрафильтрации Старлинга

- $$V = K [P_{гк} + P_{ои} - (P_{ги} + P_{ок})]$$

где V - объем жидкости, проходящей через стенку капилляра в минуту,

K - коэффициент фильтрации,

$P_{гк}$ - гидростатическое давление крови,

$P_{ои}$ - онкотическое давление интерстиция,

$P_{ги}$ - гидростатическое давление интерстиция,

$P_{ок}$ - онкотическое давление крови

Закон ультрафильтрации Старлинга [средние примерные значения]

• АРТЕРИАЛЬНЫЙ КОНЕЦ

- $P_{ГК} = 30 \text{ мм Нг}$
- $P_{ОК} = 25 \text{ мм Нг}$
- $P_{ГИ} = 0$
- $P_{ОИ} = 8 \text{ мм Нг}$

• $V = +13 \text{ мм Нг}$

•  *выход*

• ВЕНОЗНЫЙ КОНЕЦ

- $P_{ГК} = 15 \text{ мм Нг}$
- $P_{ОК} = 25 \text{ мм Нг}$
- $P_{ГИ} = 0$
- $P_{ОИ} = 8 \text{ мм Нг}$

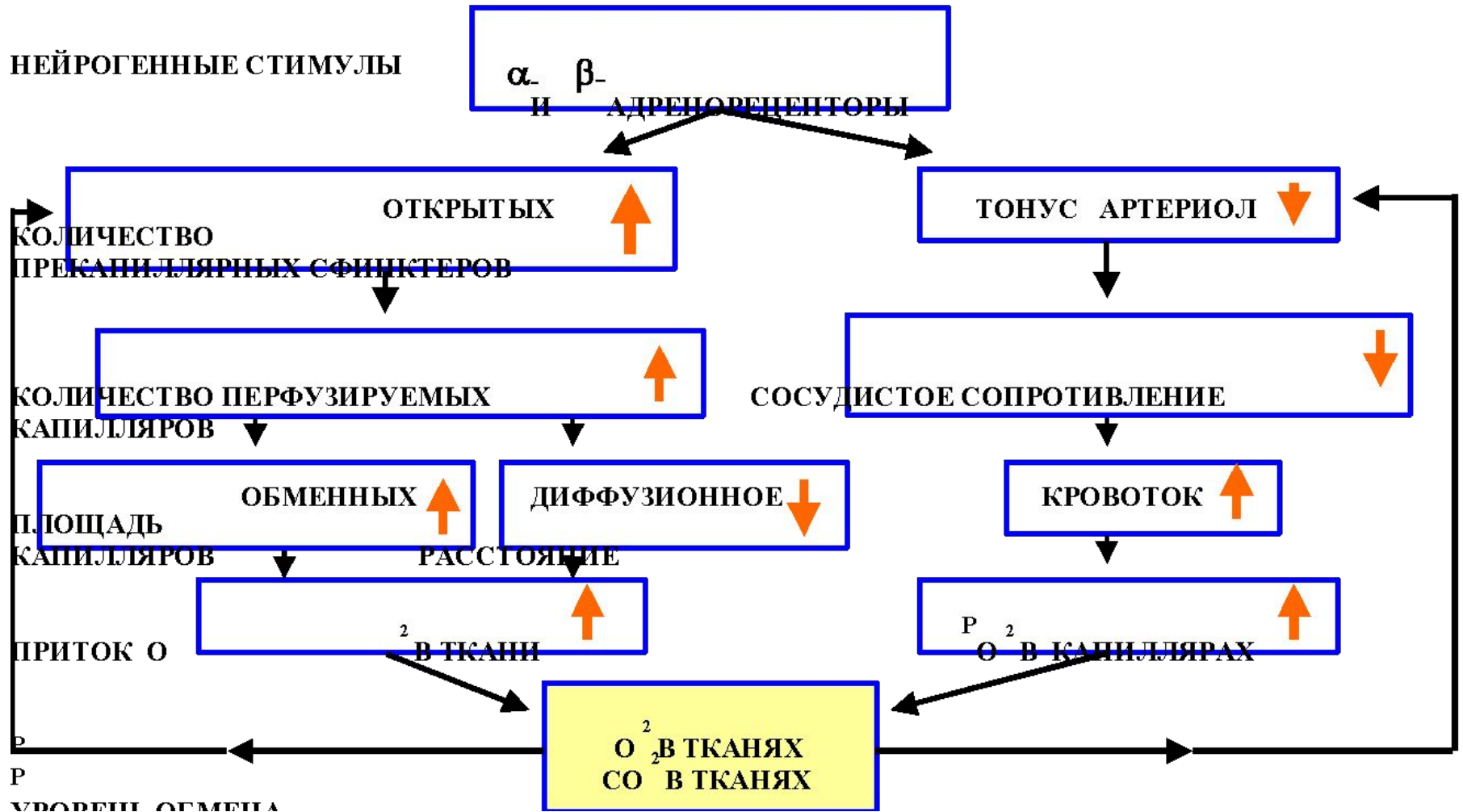
$V = -2 \text{ мм Нг}$

вход 

Функции эндотелия микроциркуляторного русла

- Самообеспечение структуры (саморегуляция клеточного роста и восстановления).
- Образование вазоактивных веществ, в том числе активация и инактивация циркулирующих в крови
- Местная регуляция гладкомышечного тонуса: синтез и секреция простагландинов, эндотелинов и NO
- Передача вазомоторных сигналов от капилляров и артериол более крупным сосудам
- Поддержание антикоагулянтных свойств поверхности
- Реализация защитных (фагоцитоз) и иммунных реакций (связывание иммунных комплексов)

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КРОВΟΣНАБЖЕНИЯ ТКАНЕЙ



МЕХАНИЗМЫ АУТОРЕГУЛЯЦИИ

- **МИОГЕННАЯ САМОРЕГУЛЯЦИЯ
(ФЕНОМЕН БЕЙЛИСА-ОСТРОУМОВА)**
- **МЕТАБОЛИТЫ**
- **ТКАНЕВОЕ ДАВЛЕНИЕ**
- **СДАВЛЕНИЕ ИЗ-ЗА ОБЪЕМА
УЛЬТРАФИЛЬТРАТА**
- **ЭНДОТЕЛИАЛЬНЫЕ ФАКТОРЫ**

ПОРОГИ САМОРЕГУЛЯЦИИ

- Для мозгового кровообращения:
- верхний - 160-170 мм Нг
- нижний - 50-60 мм Нг
- Для почечного кровообращения:
- верхний - 180-190 мм Нг
- нижний - 80-90 мм Нг