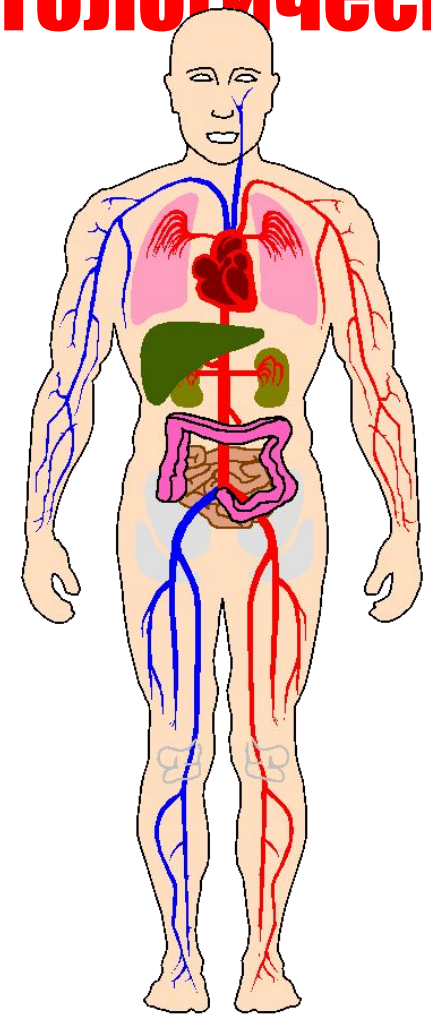
Кафедра нормальной и патологической физиологии КБГУ



- **ТЕМА ЛЕКЦИИ:**
- **ФИЗИОЛОГИЯ КРОВООБРАЩЕНИЯ**

- **Уильям ХАРВИ**

(Вильям Гарвей)

(1578-1657)

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

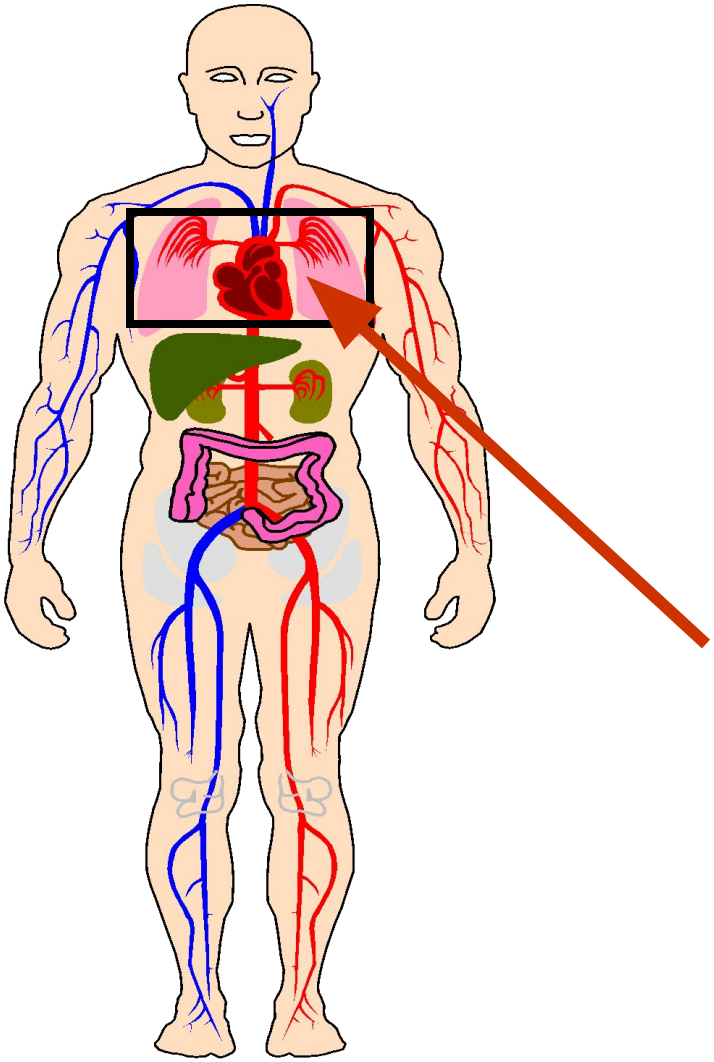
« Моим учением проложен путь более одаренным, которые воспользуются им для лучшего изучения вопроса»

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:** $I = \dfrac{U}{R}$

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

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

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

ЛИНЕЙНАЯ СКОРОСТЬ КРОВОТОКА (V) И ХАРАКТЕР ПОТОКА КРОВИ

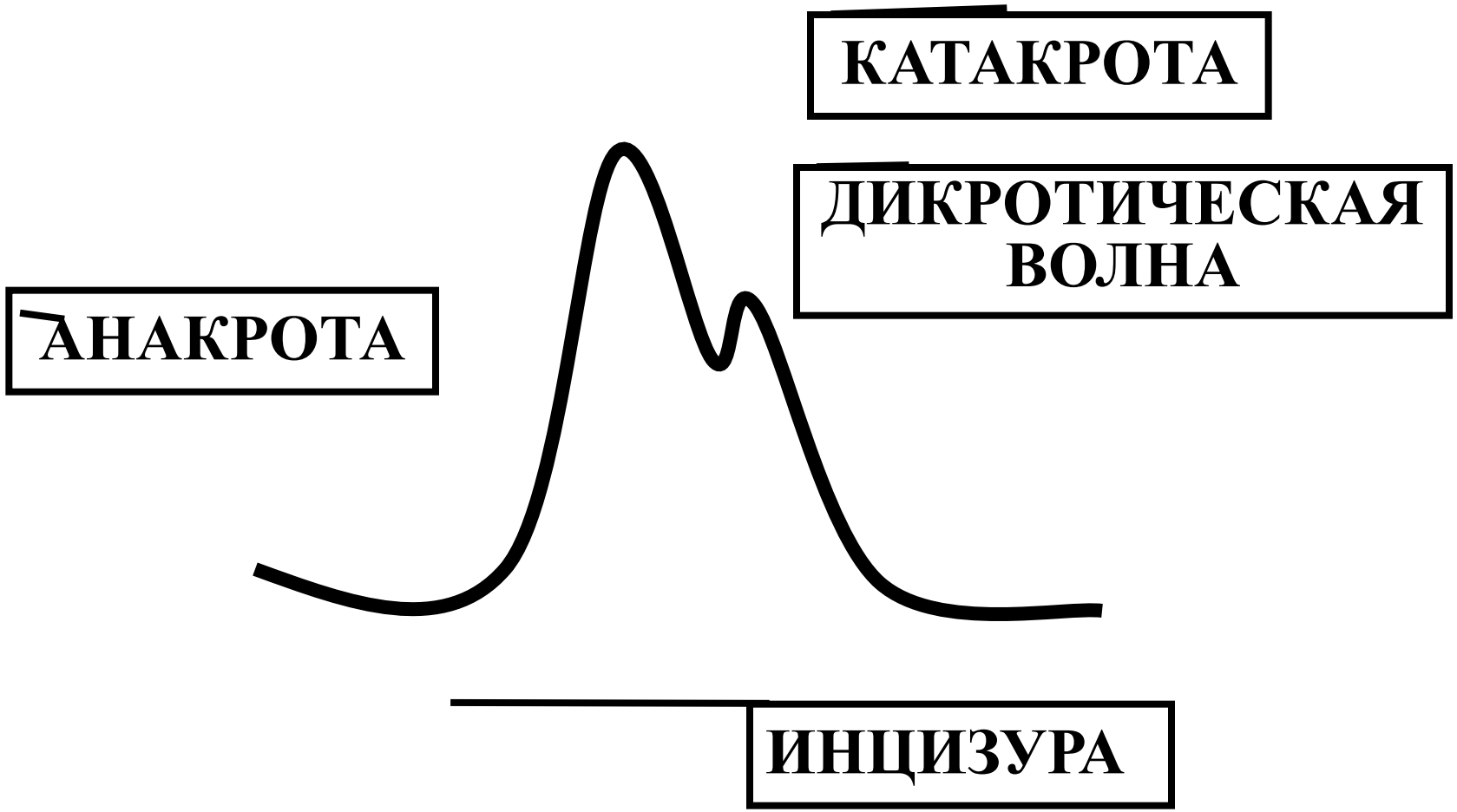
$$V = \frac{Q\ (см^3/сек)}{S\ (см^2)} = см/сек$$

- 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

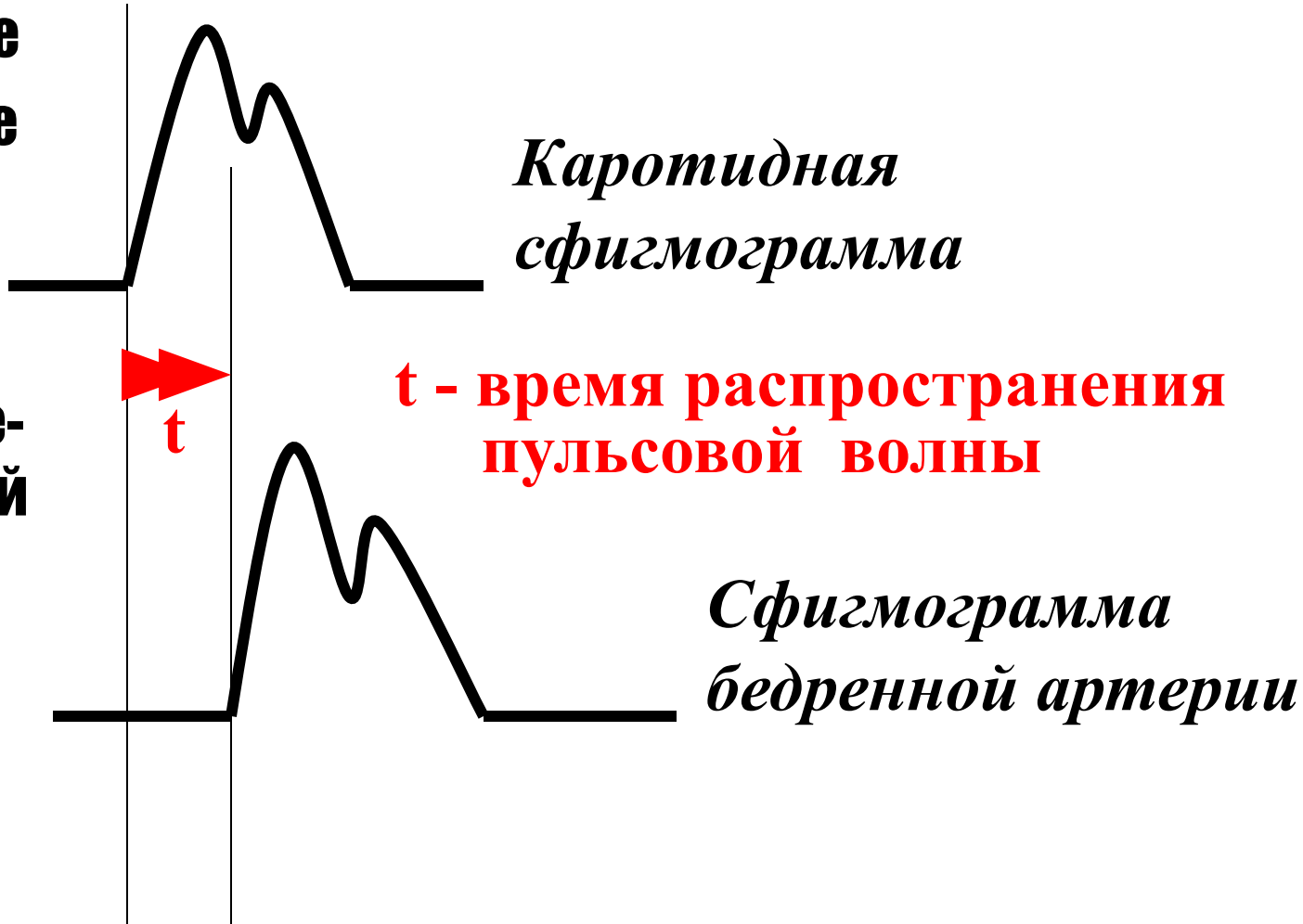


ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ (V) РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПУЛЬСОВОЙ ВОЛНЫ

V= L / t , где

L - расстояние между датчиками

t - время распространения пульсовой волны



Каротидная сфигмограмма

t - время распространения пульсовой волны

Сфигмограмма бедренной артерии

ХАРАКТЕРИСТИКИ КРОВОТОКА ПО СОСУДАМ

- **Линейная скорость кровотока в артериях:**

  0,3-0,5 м/с

- **Скорость распространения пульсовой волны ($V_{п)}$:**

  в сосудах эластического типа = 7-10 м/с

  в сосудах мышечного типа = 5-8 м/с

- **Модуль упругости (Е) = $V_{п}^{2}$ / К (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

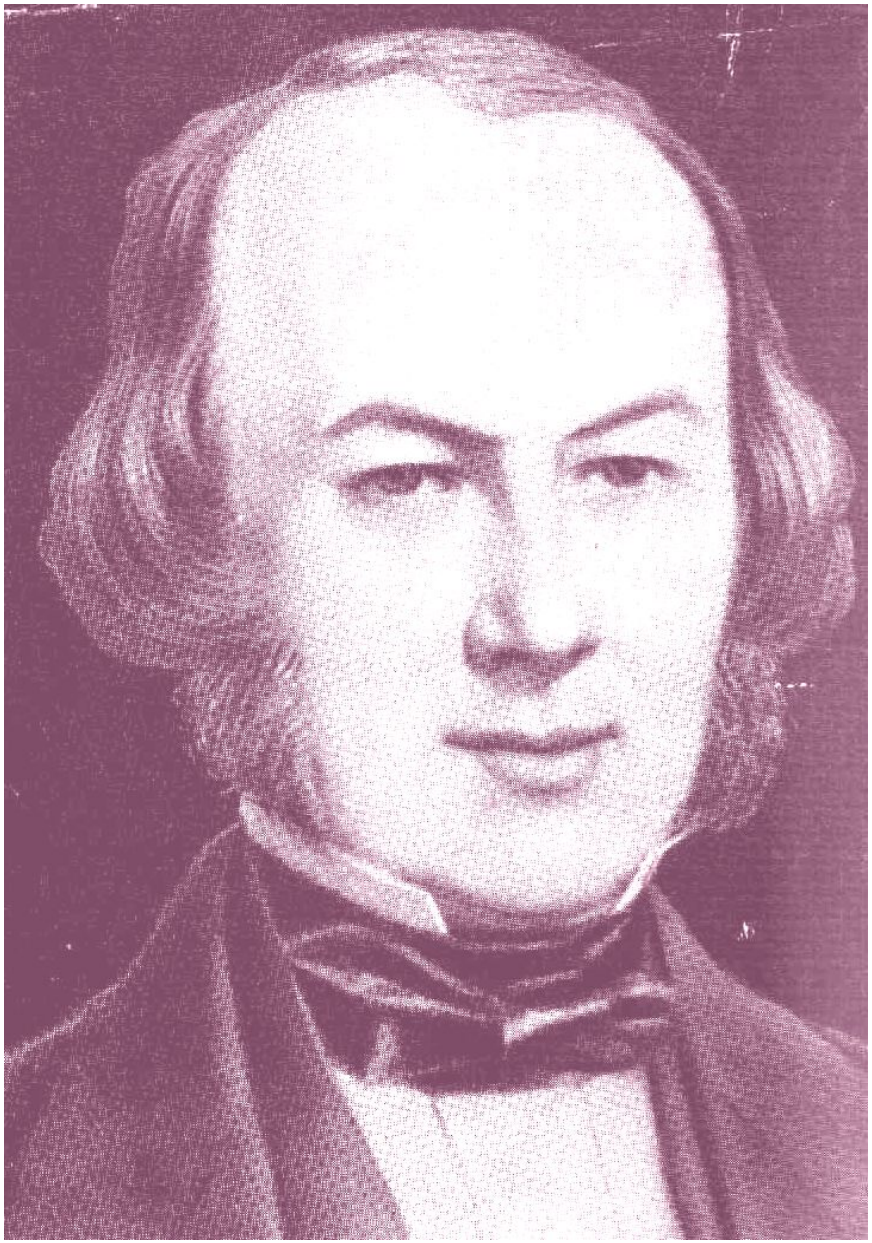
ТОНУС СОСУДОВ

- **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**

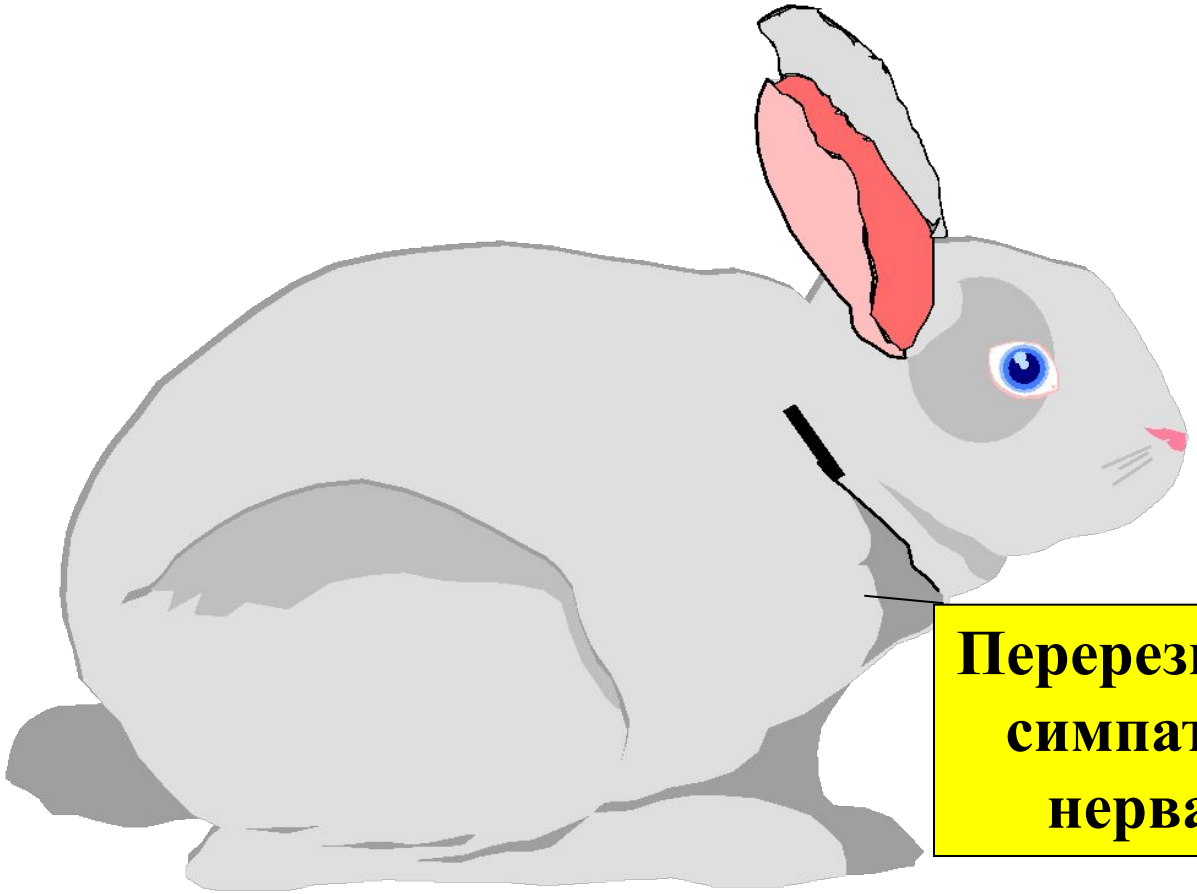


- **Клод Бернар (1813-1878)**

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

Дюма

Опыт Клода Бернара

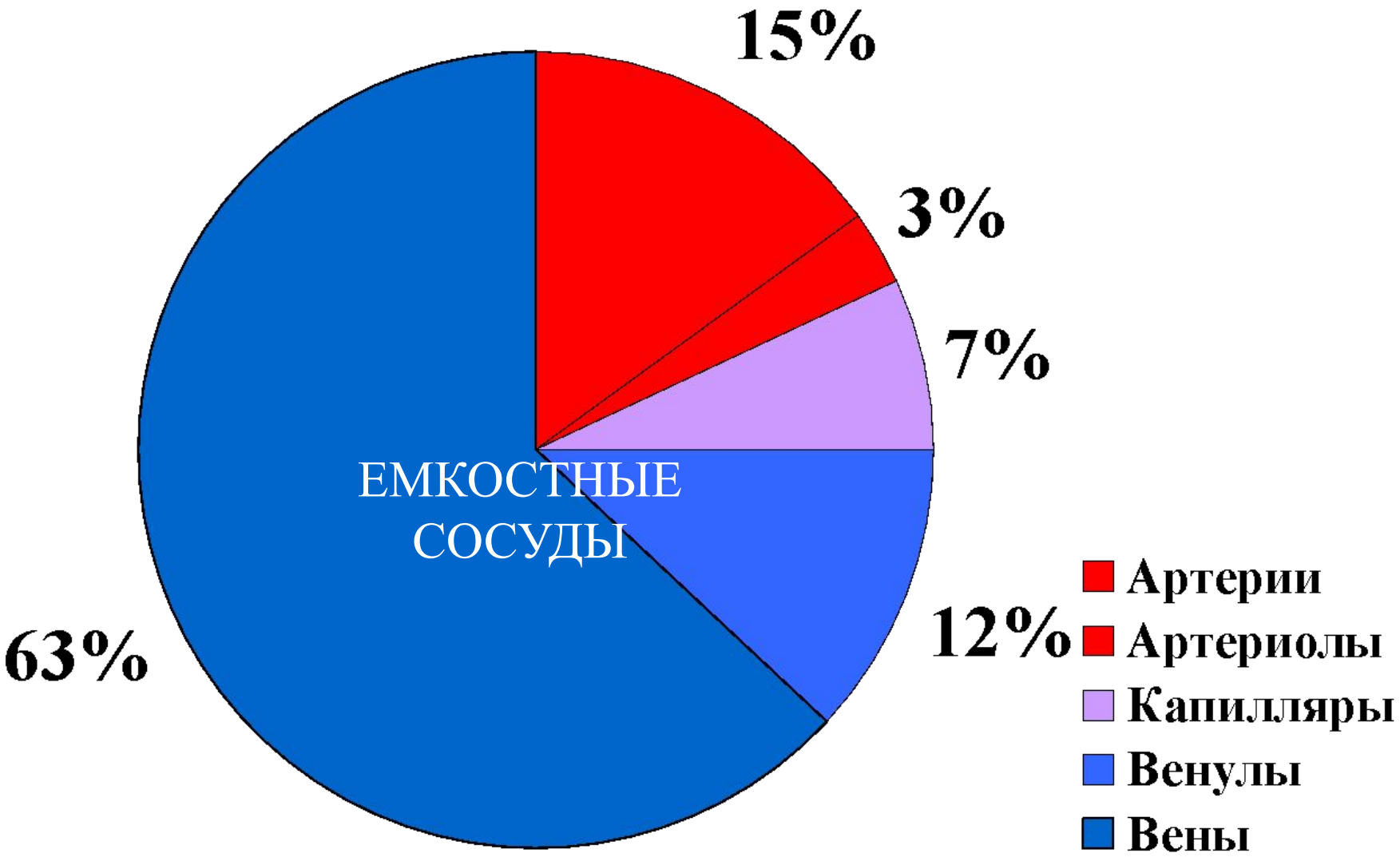


Перерезка шейного симпатического нерва справа

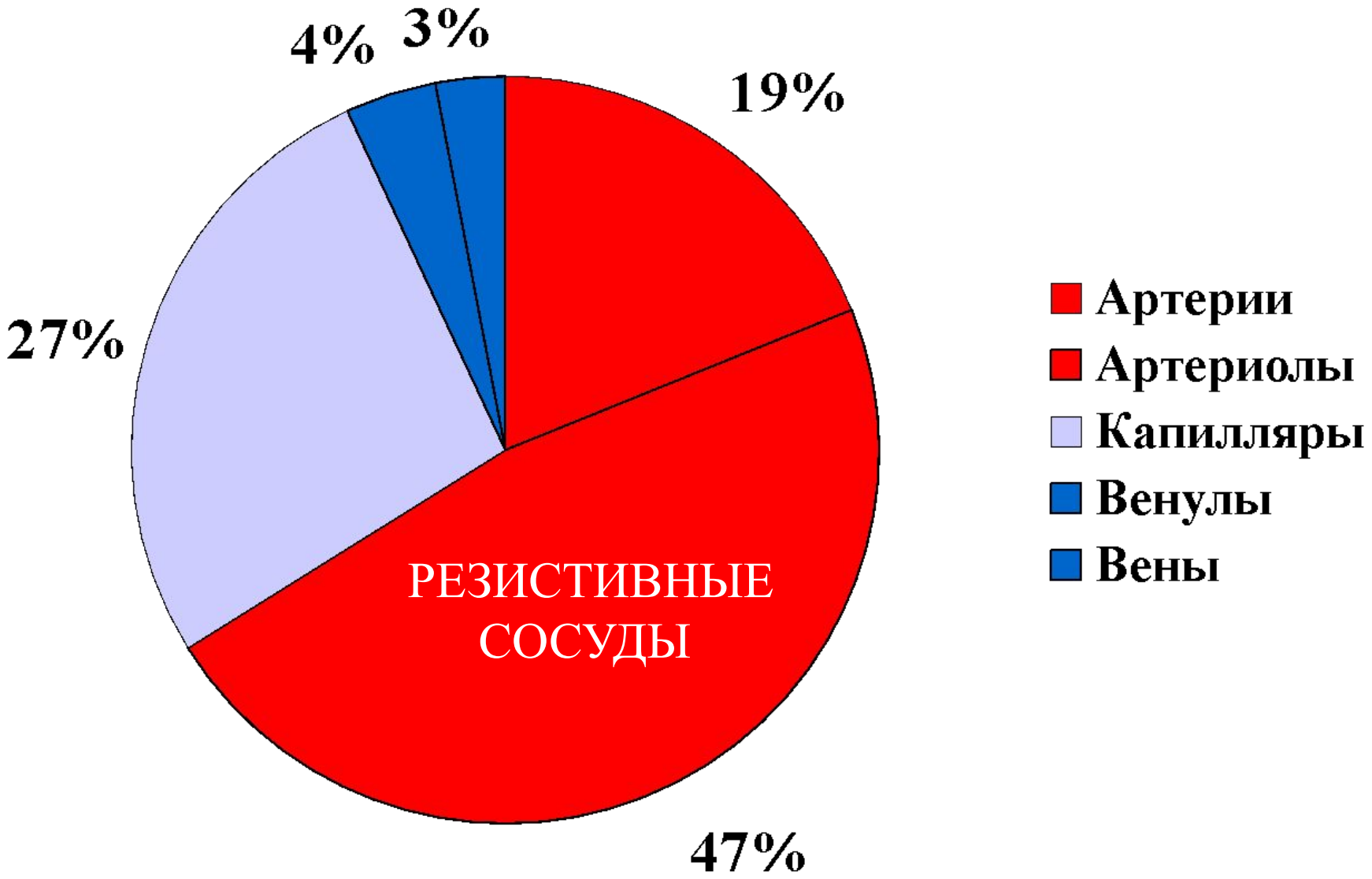
Функциональная характеристика кровеносных сосудов

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

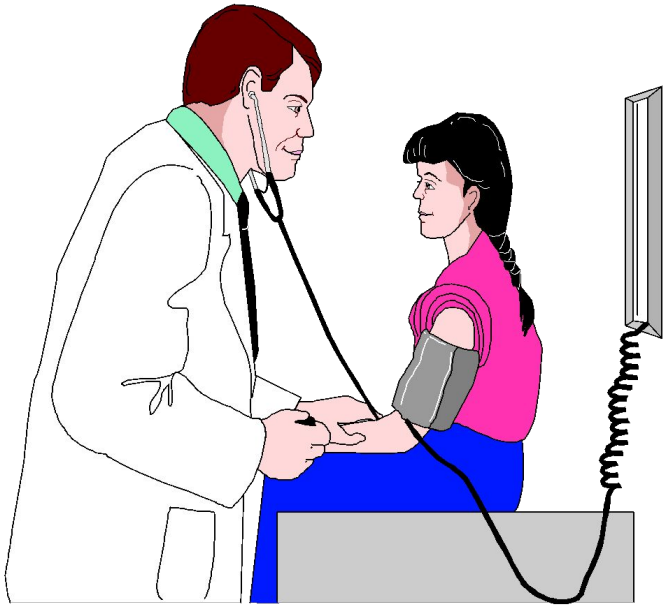
Соотношение объемов крови в разных отделах сердечно-сосудистой системы



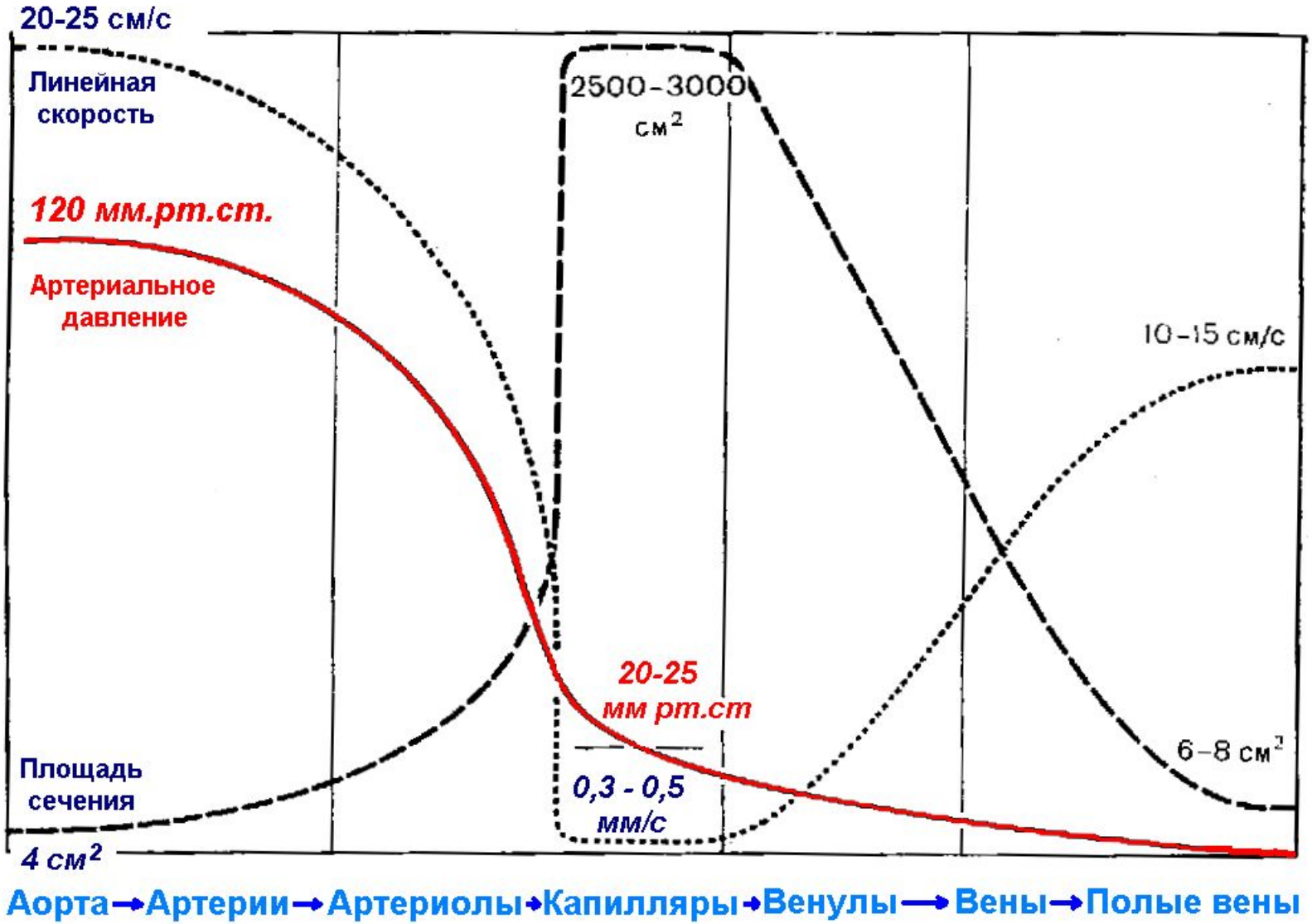
Соотношение сопротивлений разных отделов сердечно-сосудистой системы



- **АРТЕРИАЛЬНОЕ ДАВЛЕНИЕ И ЕГО РЕГУЛЯЦИЯ**



Артериальное давление и линейная скорость кровотока в разных отделах сосудистого русла



ВИДЫ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ (АД)

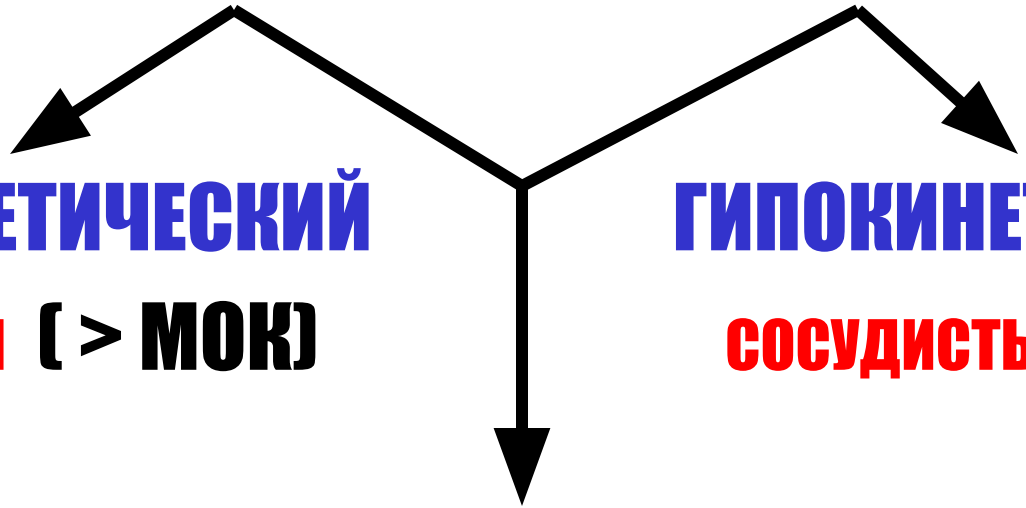
- **Систолическое АД (САД)**
- **Диастолическое АД (ДАД)**
- **Пульсовое АД (ПАД) = САД-ДАД**
- **Среднее АД (АДср) = ДАД + 1/3 ПАД**

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ АД

- $U = I \times R$(Ома) или $\Delta P = Q \times R$
- АД = МОК x ОПСС
- УОК x ЧСС
- Венозный возврат, Сократимость, η, $1/r^4$
- ОЦК, ЦВК, Тонус вен

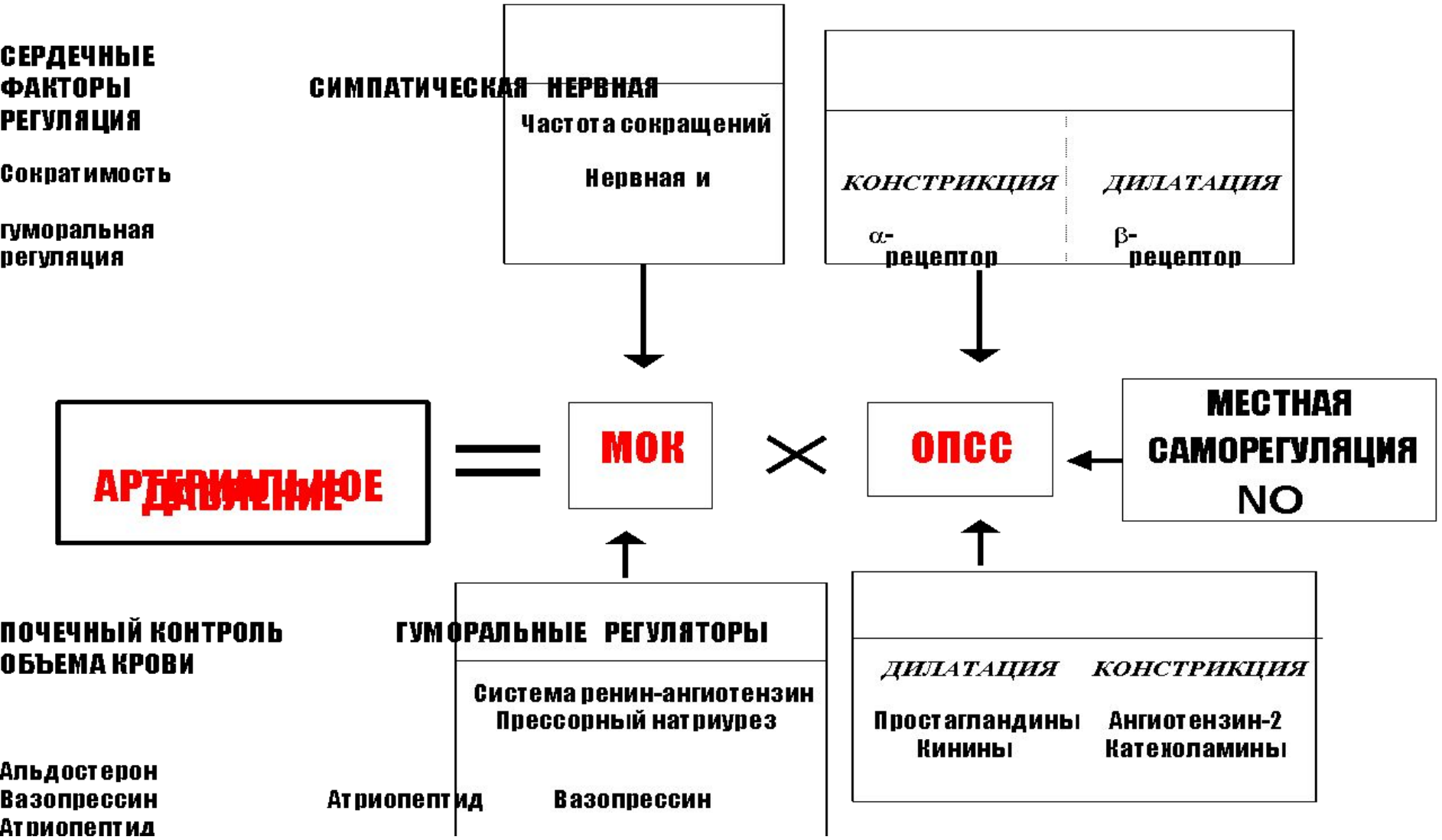
ТИПЫ САМОРЕГУЛЯЦИИ КРОВООБРАЩЕНИЯ

- АД = МОК x ОПСС



- ГИПЕРКИНЕТИЧЕСКИЙ
  СЕРДЕЧНЫЙ (> МОК)
- ГИПОКИНЕТИЧЕСКИЙ
  СОСУДИСТЫЙ (< МОК)
- НОРМОКИНЕТИЧЕСКИЙ ИЛИ ЭУКИНЕТИЧЕСКИЙ
  СМЕШАННЫЙ (и МОК, и ОПСС)

ПРИНЦИПЫ РЕГУЛЯЦИИ АД



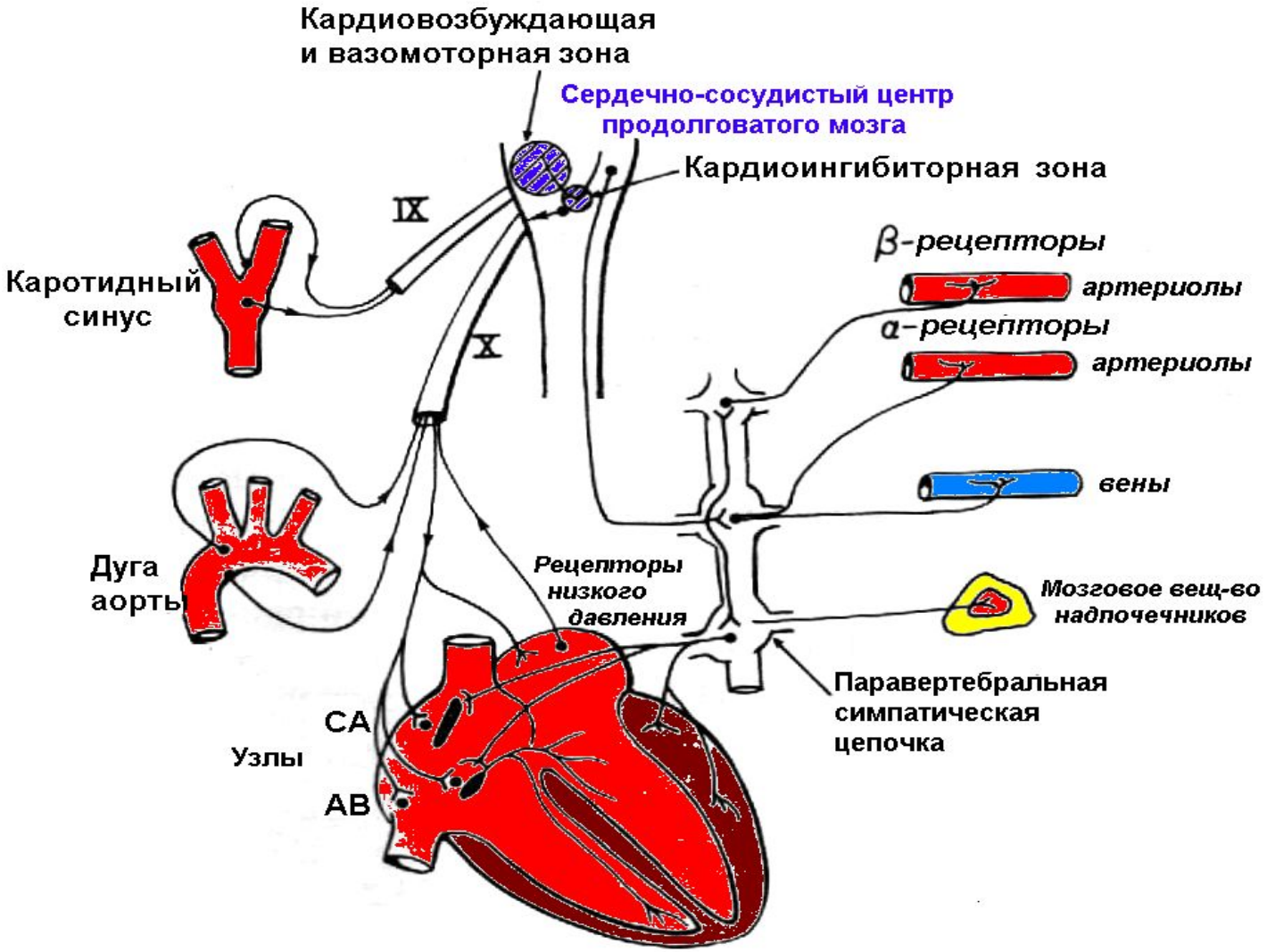
ДВЕ ГРУППЫ РЕГУЛЯТОРНЫХ ВЛИЯНИЙ И ДВА МЕХАНИЗМА АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИИ

- **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- рефлекторные)**
- **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

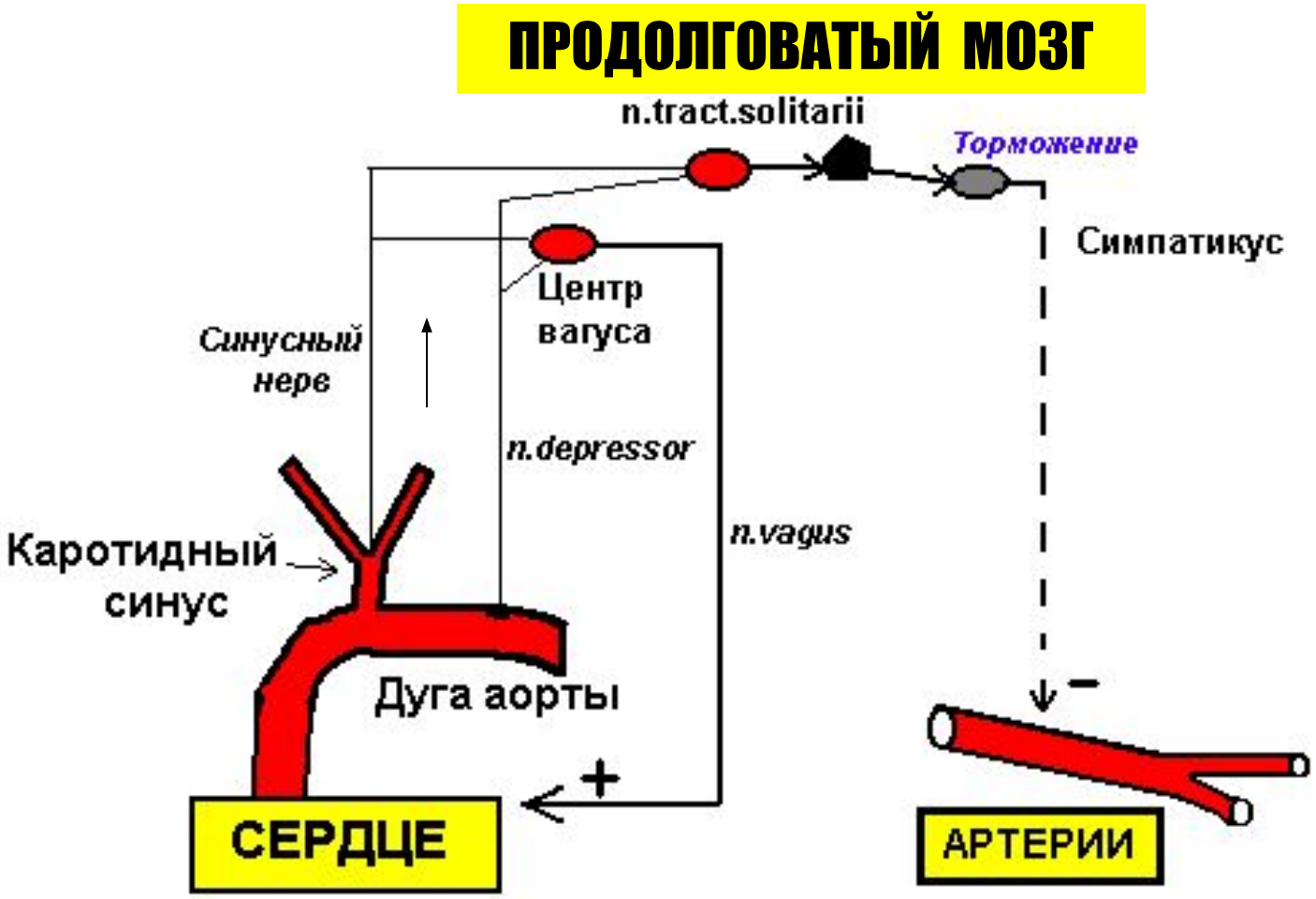
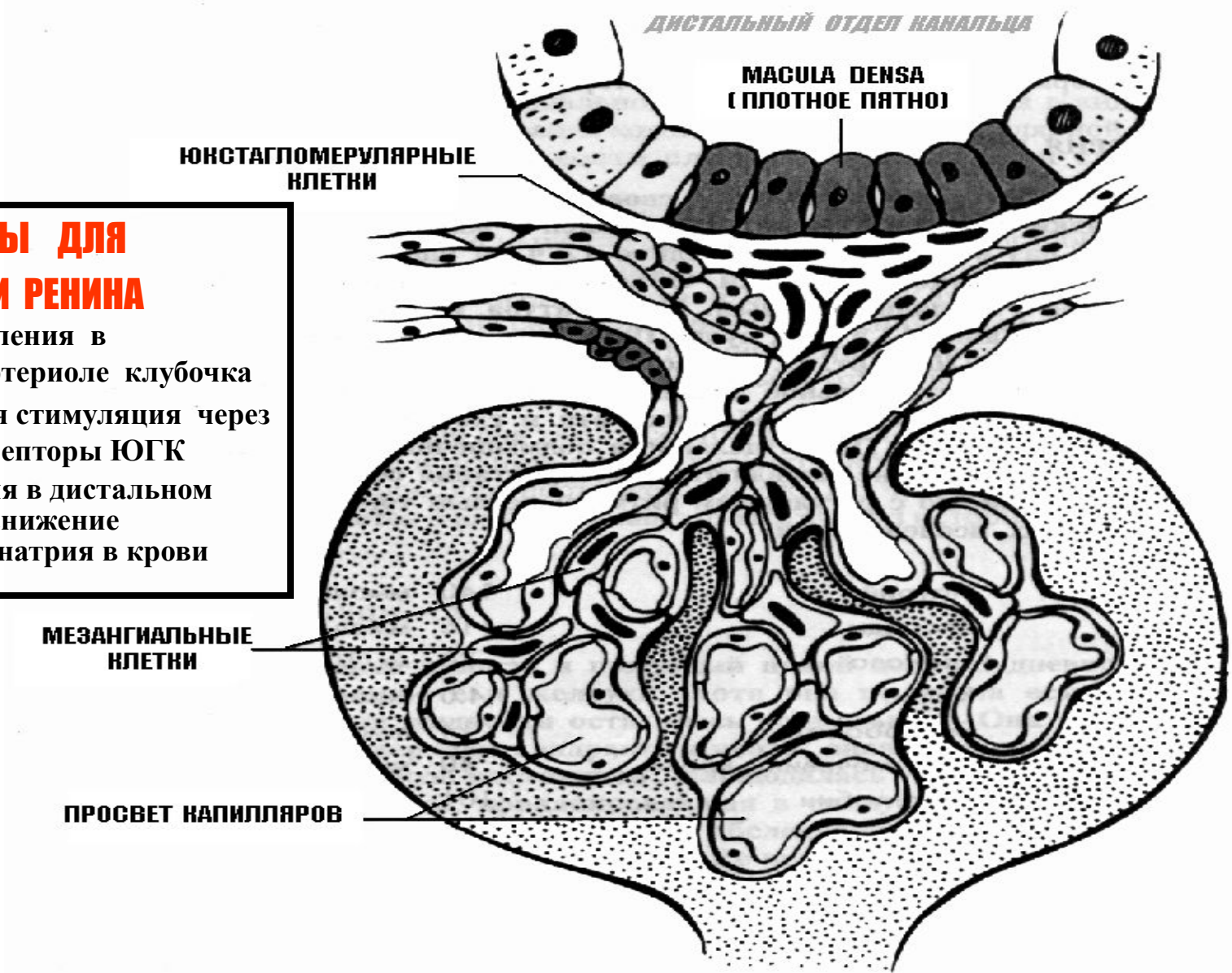


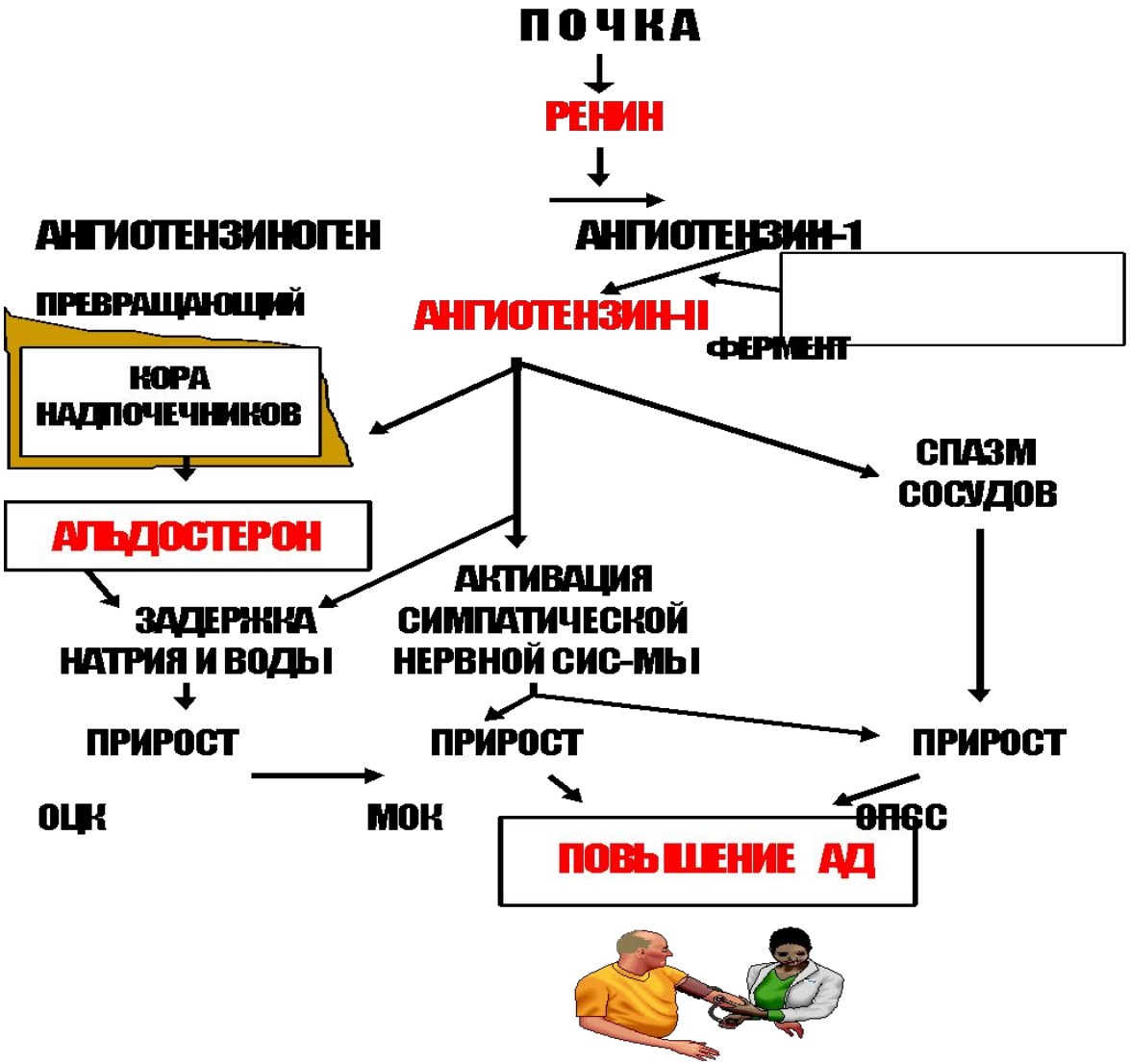
СХЕМА ЮГА

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

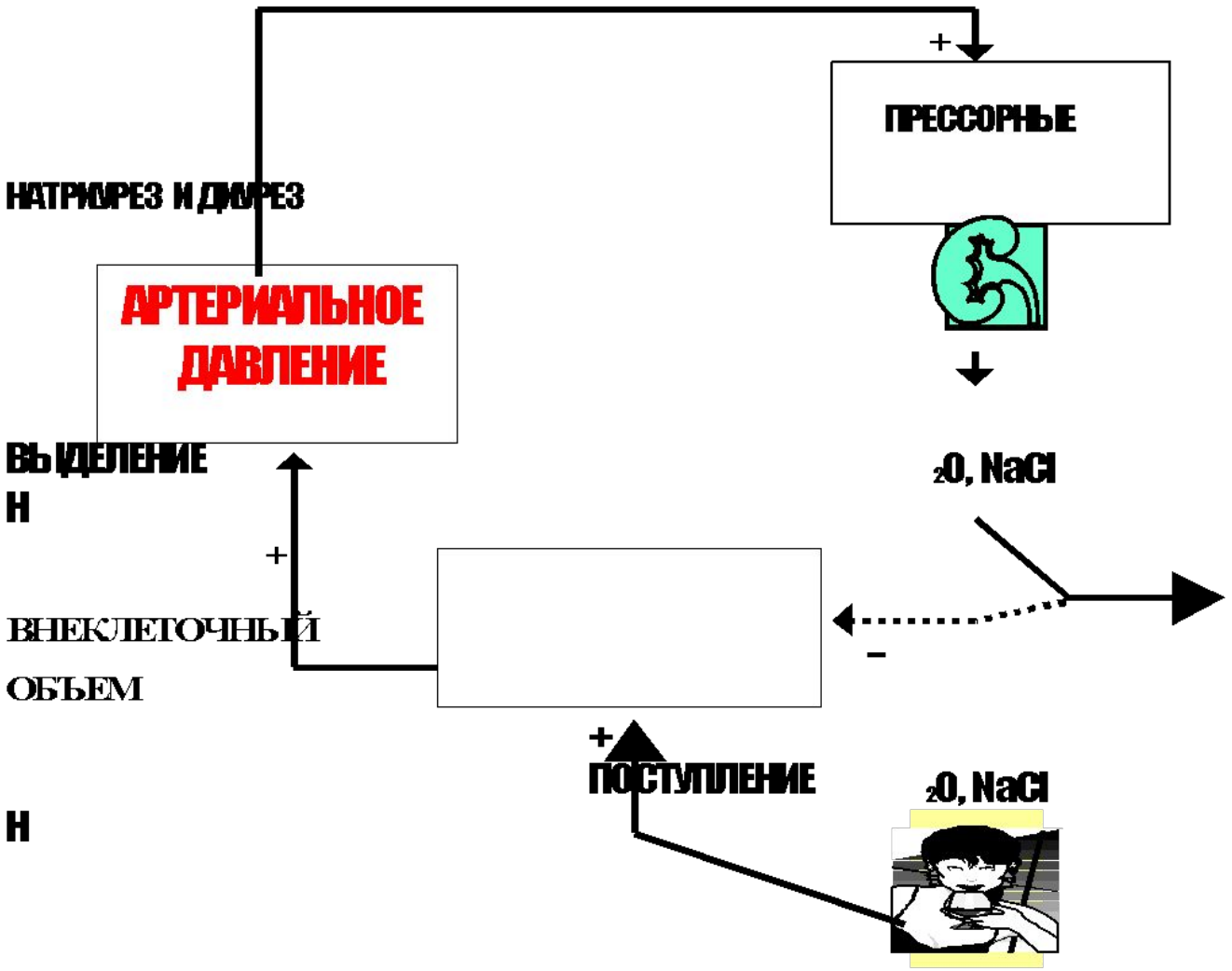


СИСТЕМА РЕНИН-АНГИОТЕНЗИН-АЛЬДОСТЕРОН

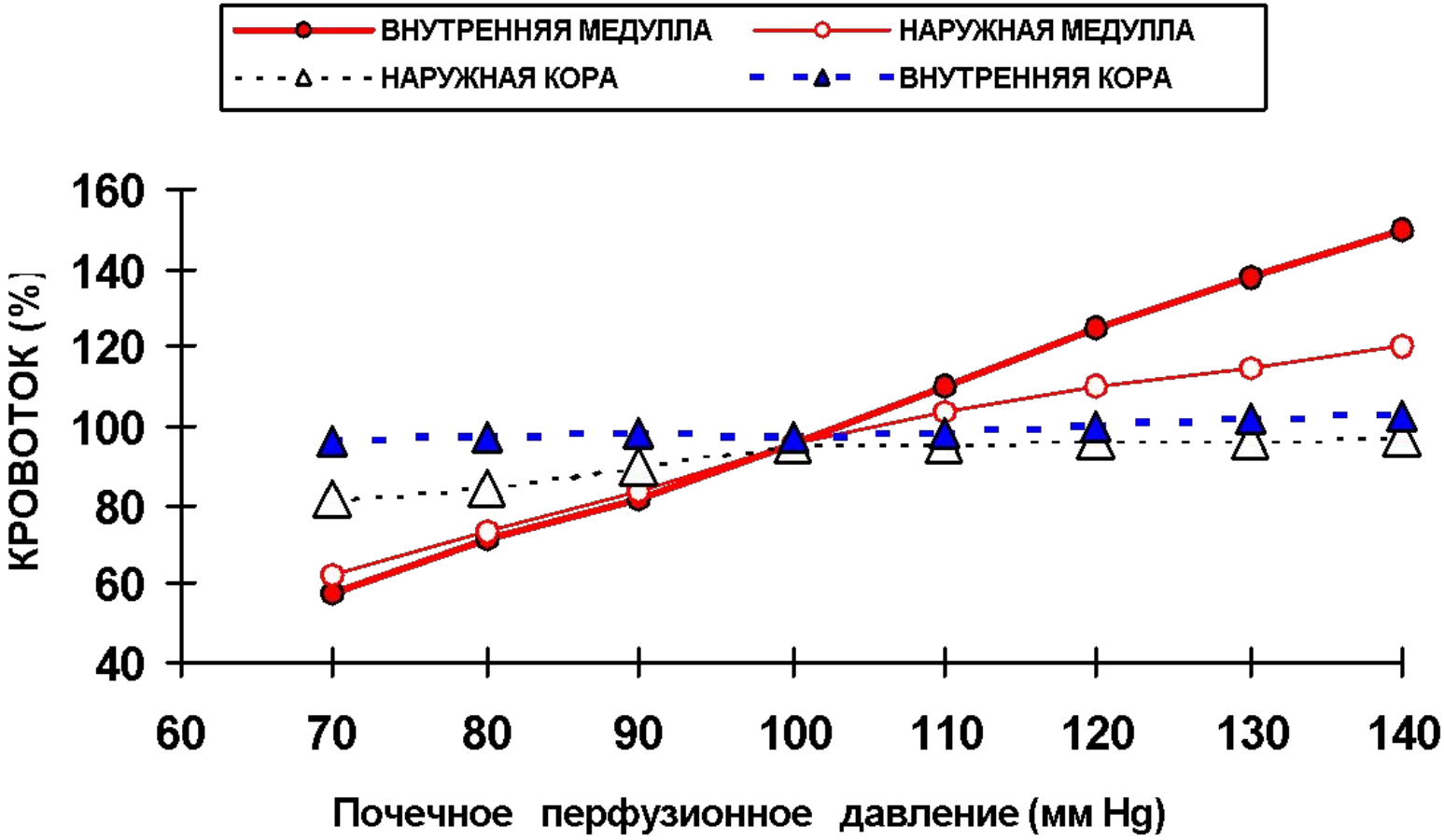


ОБРАТНЫЕ СВЯЗИ В РААС

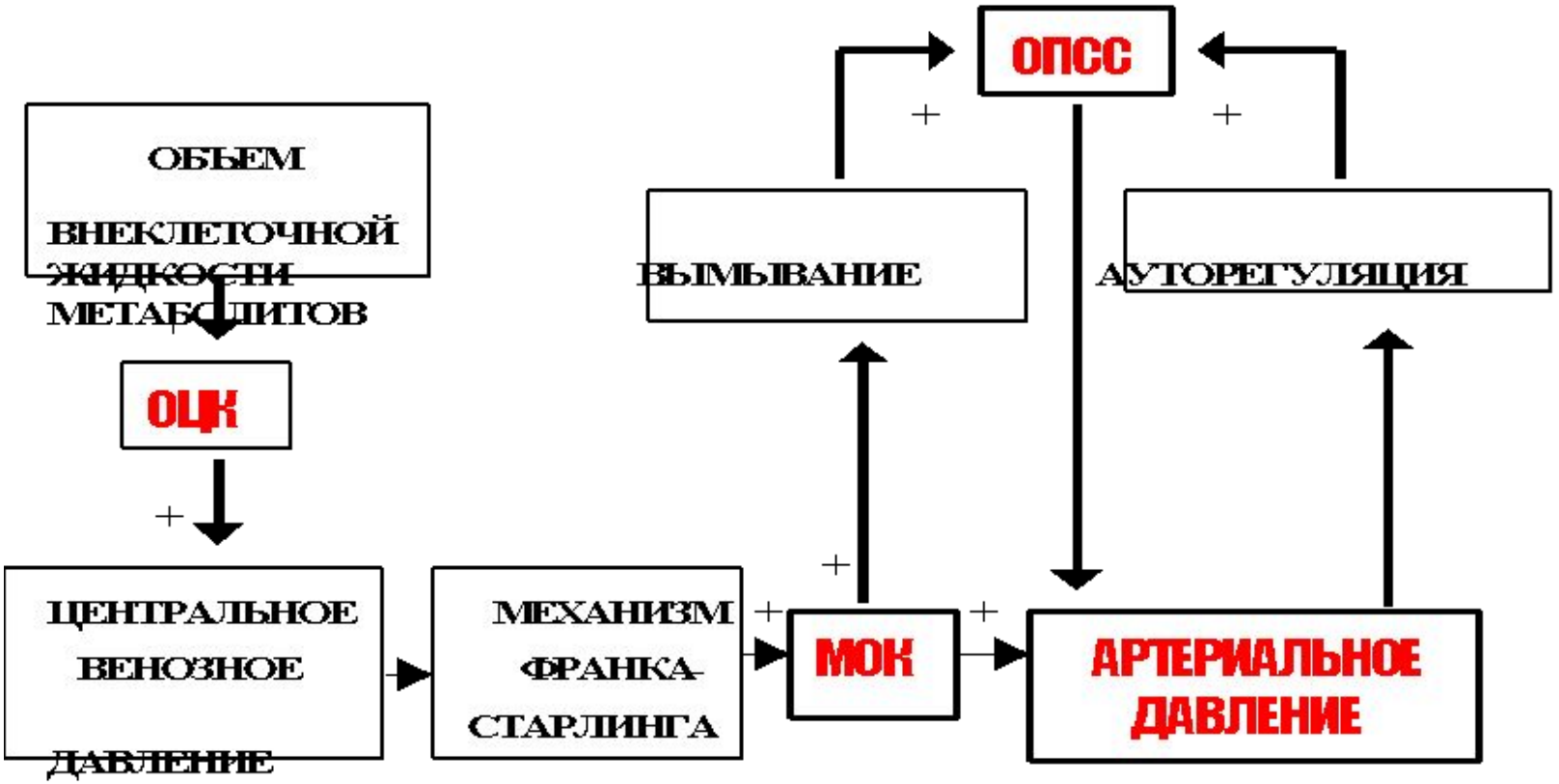
МЕХАНИЗМ «ДАВЛЕНИЕ - НАТРИУРЕЗ - ДИУРЕЗ»



АУТОРЕГУЛЯЦИЯ ПОЧЕЧНОГО КРОВОТОКА



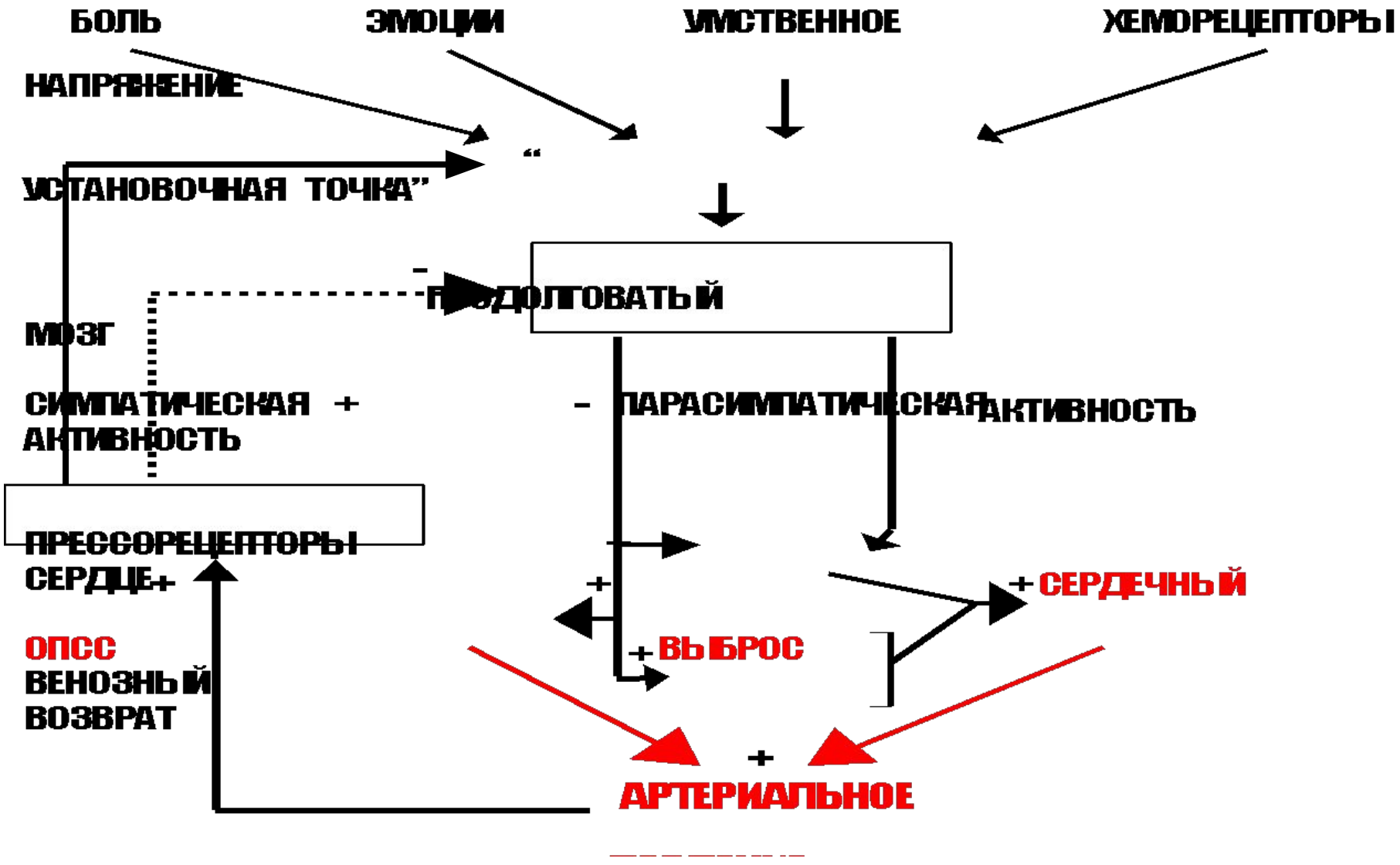
Механизм влияния объема жидкости на артериальное давление



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**

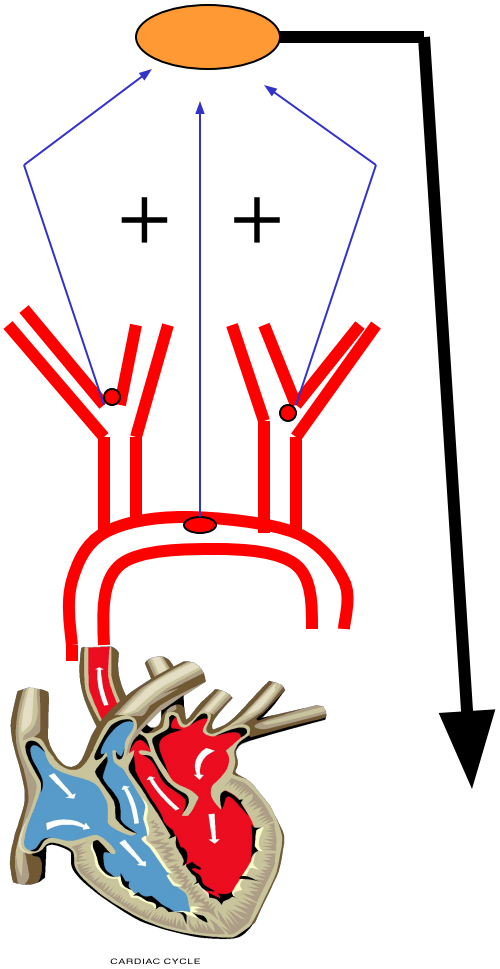
СОСУДИСТЫЕ РЕФЛЕКСОГЕННЫЕ ЗОНЫ

`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

  м - холинорецепторы - дилатация

- **Парасимпатические нервы, через:**

  ацетилхолин - м-холинорецепторы - NO - дилатация сосудов мозга, в подчелюстной железе (хорда тимпани) и органах малого таза (n.pelvici),

  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**

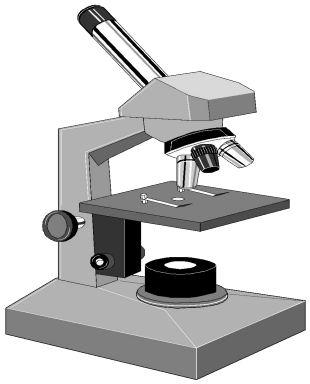
Эндотелин **Окись азота (NO)**

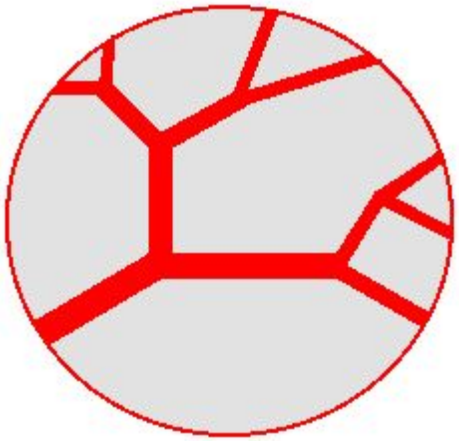
- **Гуморальная регуляция метаболитами**

Лактат и др (<pH)

Тканевые кинины

Гистамин, АДФ





- ***ФИЗИОЛОГИЯ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ***

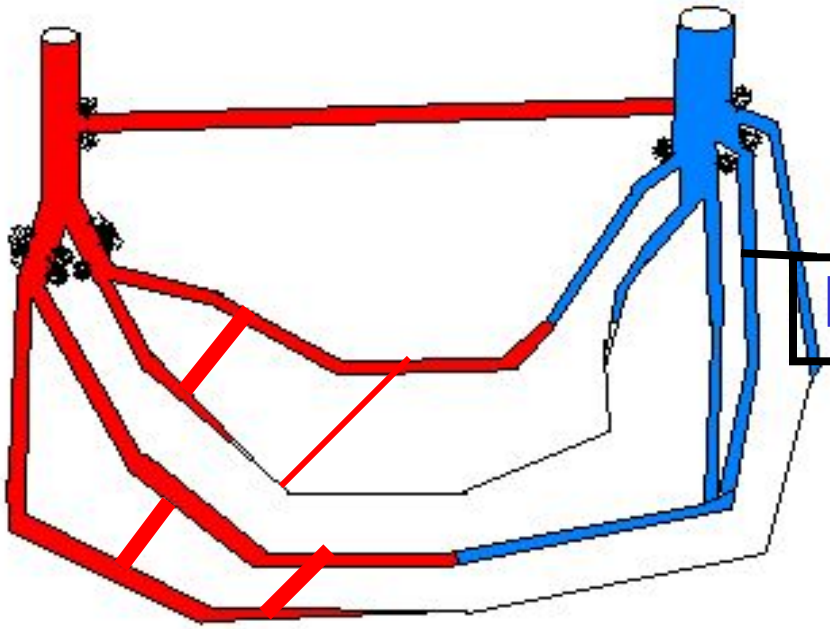
ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

- **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, венулы, артериоло-венулярные анастомозы**

СОСУДИСТЫЙ МОДУЛЬ

Артериоло-венулярный анастамоз

Артериола



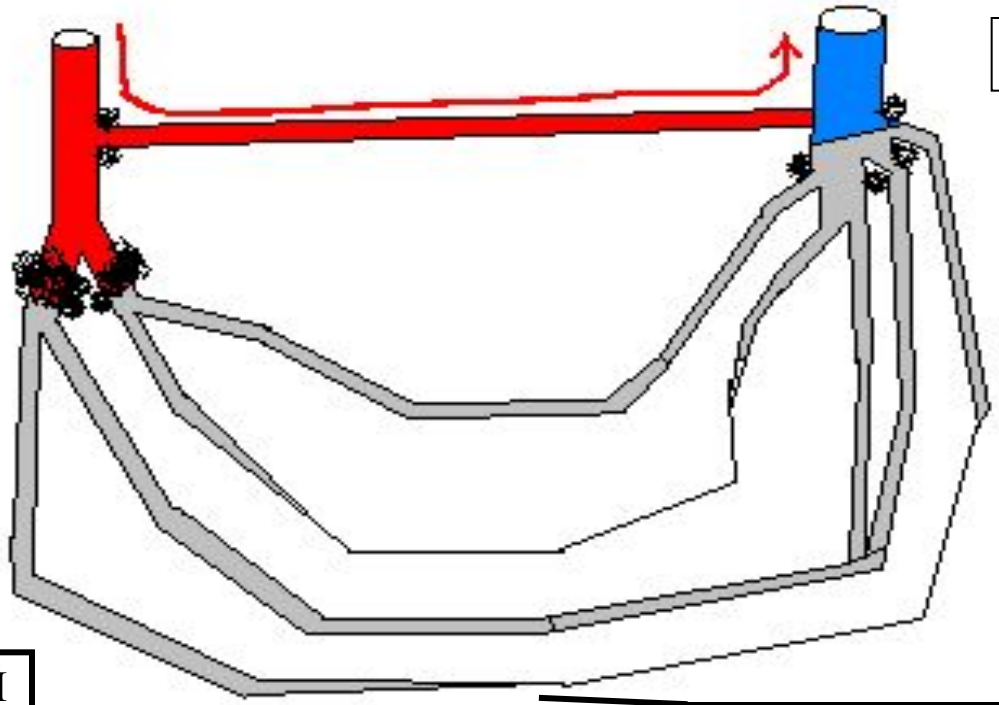
Венула

Прекапилляр со сфинктером

Посткапилляр

Капилляры

ЦЕНТРАЛИЗАЦИЯ КРОВООБРАЩЕНИЯ



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 $см^2$/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,

К - коэффициент фильтрации,

$P_{гк}$ - гидростатическое давление крови,

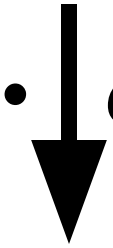
$P_{ои}$ - онкотическое давление интерстиция,

$P_{ги}$ - гидростатическое давление интерстиция,

$P_{ок}$ - онкотическое давление крови

Закон ультрафильтрации Старлинга (средние примерные значения)

АРТЕРИАЛЬНЫЙ КОНЕЦ	**ВЕНОЗНЫЙ КОНЕЦ**
$P_{гк}$ = 30 мм Hg	$P_{гк}$ = 15 мм Hg
$P_{ок}$ = 25 мм Hg	$P_{ок}$ = 25 мм Hg
$P_{ги}$ = 0	$P_{ги}$ = 0
$P_{ои}$ = 8 мм Hg	$P_{ои}$ = 8 мм Hg
V = +13 мм Hg	V = - 2 мм Hg



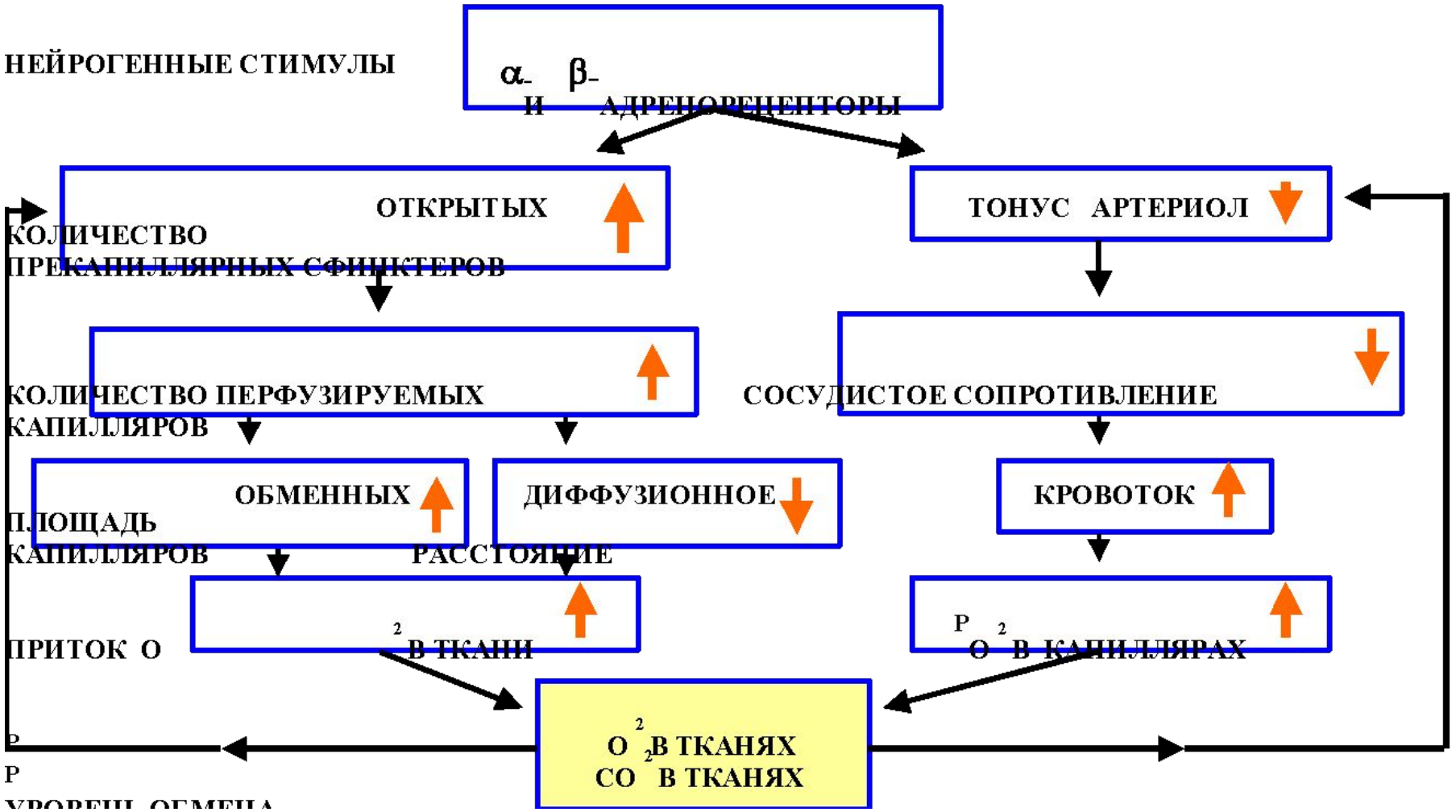
выход

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 КРОВОСНАБЖЕНИЯ 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 Hg**
- **нижний - 50-60 мм Hg**
- ***Для почечного кровообращения:***
- **верхний - 180-190 мм Hg**
- **нижний - 80-90 мм Hg**