



Гомельский государственный
медицинский университет
Курс нормальной физиологии

Физиология сосудистой системы

**Микроциркуляция. Движение крови по венам.
Регуляция системы кровообращения**

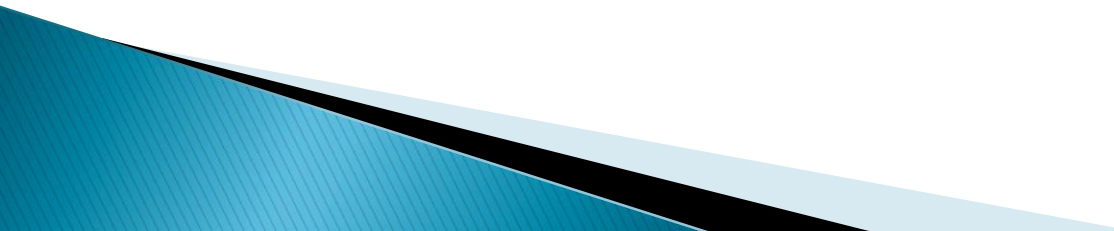
**Лекция №4
для студентов 2 курса**

Доцент, к.б.н. Мельник Светлана Николаевна

План лекции:

- 1. Движение крови по сосудам низкого давления (вены). Венный пульс.**
- 2. Микроциркуляция. Капиллярный кровоток и его особенности.**
- 3. Регуляция сосудистого тонуса, как основного механизма поддержания давления крови.**
- 4. Регуляция АД, как одной из важнейших констант сердечно-сосудистой системы.**
- 5. Физиология лимфы.**

***Движение крови по сосудам
низкого давления (вены).
Венный пульс.***



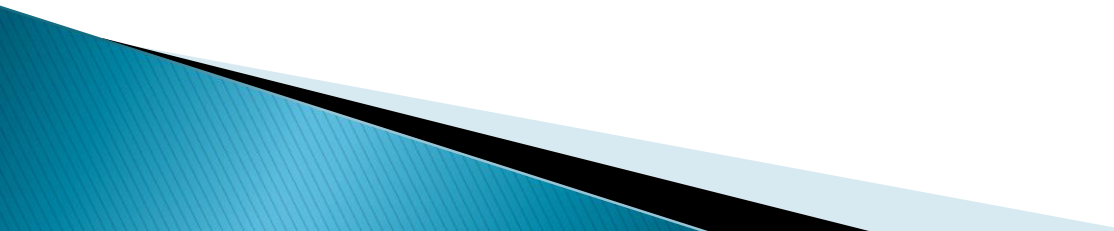
Вены являются **емкостными** сосудами. **Вмещают 70 – 80 % крови.**

Давление в венулах составляет **12 -18 мм рт. ст.**

В венах вне грудной полости – **5 -9 мм рт.ст.** При впадении в правое предсердие оно колеблется в зависимости от фаз дыхания:

на вдохе – **ниже** атмосферного,

на выдохе – **выше** на **2 – 5 мм рт.ст.**



Центральное венозное давление (ЦВД) -
давление крови в правом предсердии.
Измеряется при помощи вводимого катетера, в котором имеется передатчик.

ЦВД оказывает существенное влияние на величину венозного возврата крови к сердцу.

При понижении давления в правом предсердии от 0 до -4 мм рт.ст. приток венозной крови возрастает на 20-30 %, но когда давление в нем становится ниже -4 мм рт.ст., дальнейшее снижение давления не вызывает уже увеличения притока венозной крови.

Если снижение ЦВД увеличивает приток венозной крови к сердцу по полым венам, то его повышение на 1 мм рт.ст. снижает венозный возврат на 14 %.

У здоровых людей венозное давление находится в пределах **70–90 мм вод. ст.** с колебаниями **от 60 до 120 мм вод. ст.**

Повышение венозного давления до 200–350 мм вод. ст. является одним из симптомов сердечнососудистой недостаточности, может наблюдаться при ослаблении деятельности правого желудочка, недостаточности трехстворчатого клапана и др.

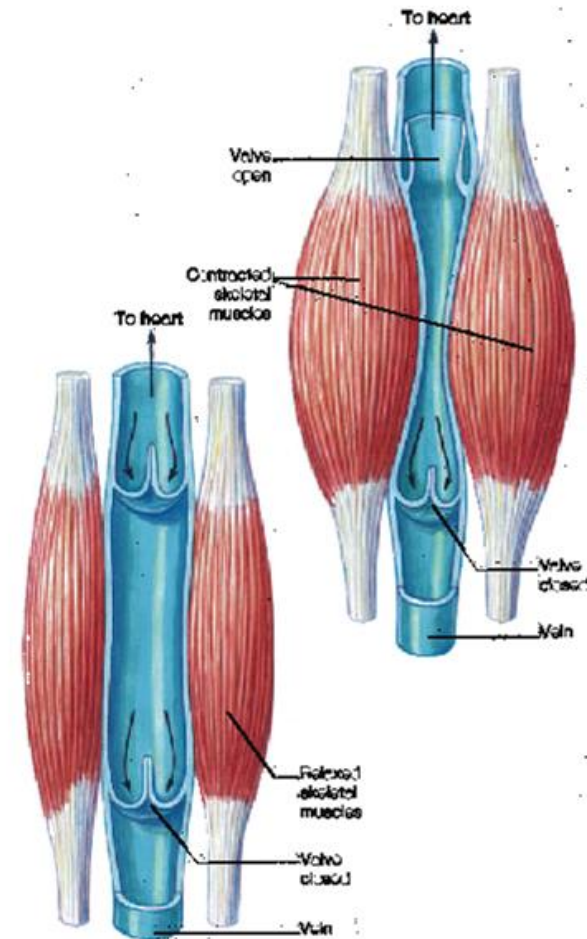
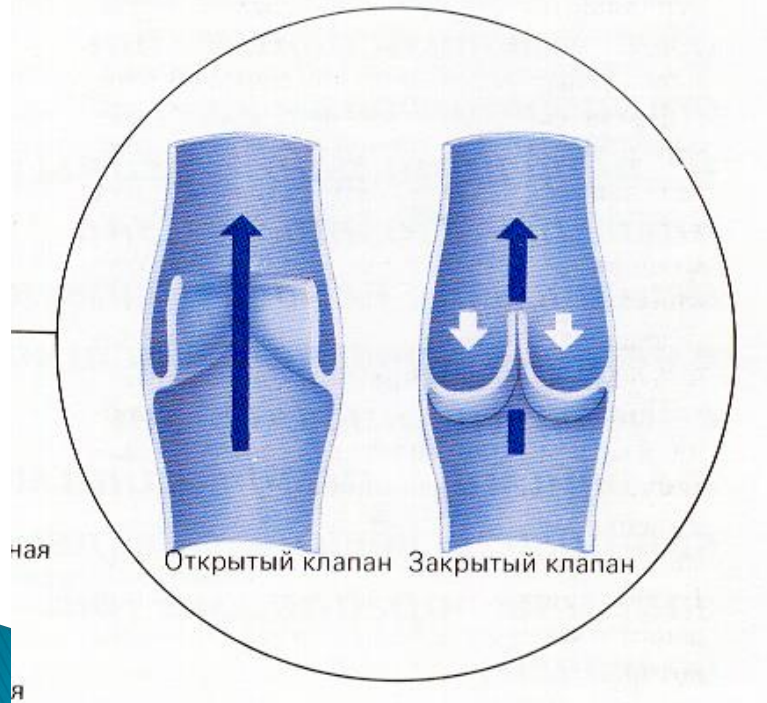
Венозная гипотония (10–30 мм вод. ст.) наблюдается у астеников, у истощенных и больных инфекционными заболеваниями, при острых и хронических интоксикациях, при неврогенных сосудистых гипотониях.

Дополнительные факторы обеспечивающие кровоток в венах:

1. Присасывающее действие грудной клетки. На вдохе снижается давление в грудной полости, это способствует расширению вен, срабатывает эффект засасывания крови из соседних сосудов. **Диафрагма, опускаясь вниз,** увеличивает внутрибрюшное давление, что способствует венозному притоку к сердцу из сосудов брюшной полости.



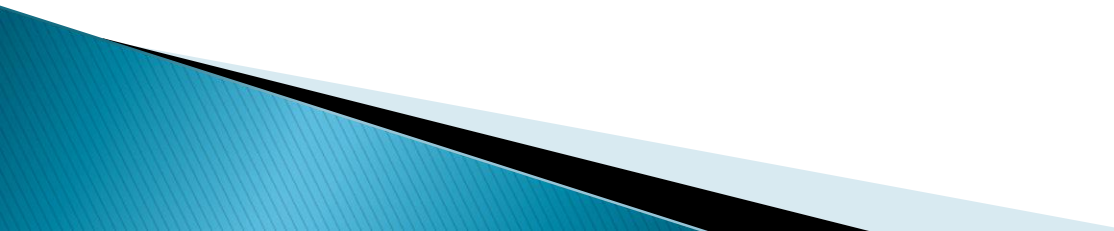
2. Сокращения скелетных мышц («мышечный насос»). Скелетные мышцы, сокращаясь, сдавливают вены, что проталкивает кровь к сердцу. Наличие клапанов на внутренней поверхности некоторых вен противодействует обратному кровотоку.



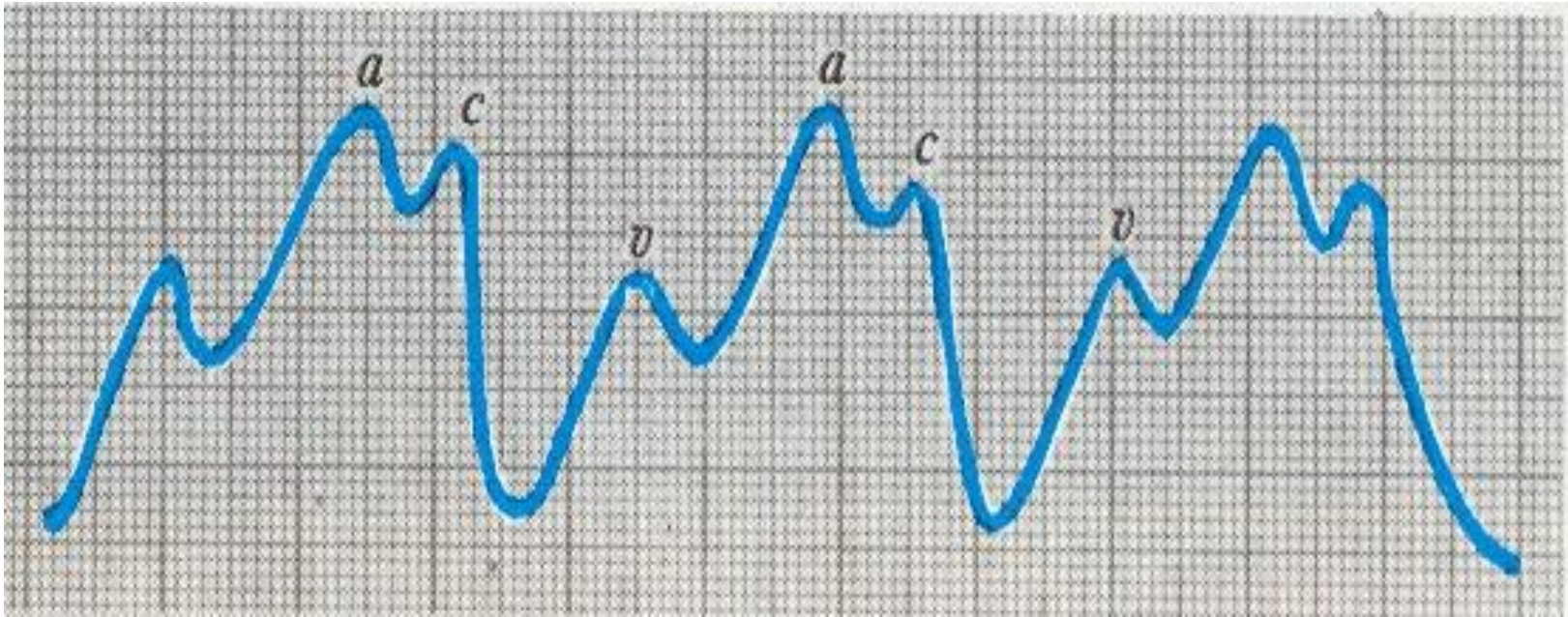
3. Присасывающее действие сердца. Предсердно-желудочковая перегородка при систоле желудочка, смещаясь вниз создает присасывающий эффект крови к сердцу из вен.

4. Перистальтические сокращения стенок некоторых вен — 2–3 в мин.

5. Пульсация рядом расположенных артерий.



Венный пульс



- a** — повышение давления при **систоле предсердия**, когда отток крови из вены прекращается;
- c** — обусловлена повышением давления в полой вене при **сокращении желудочков**;
- v** — волна обусловлена повышением давления в вене в связи с прекращением оттока крови из вены **в конце диастолы предсердий**, после их заполнения кровью.

***Микроциркуляция.
Капиллярный кровоток и
его особенности***

Микроциркуляция - это движение крови по сосудам микроциркуляторного русла, к которым относятся:

- 1)артериолы
 - 2)метаартериолы
 - 3)прекапиллярный сфинктер
 - 4)прекапилляры
 - 5)капилляры
 - 6)посткапиллярные венулы
 - 7)венулы
- 

Капилляры, относятся к **обменным** сосудам.
Они обеспечивают:

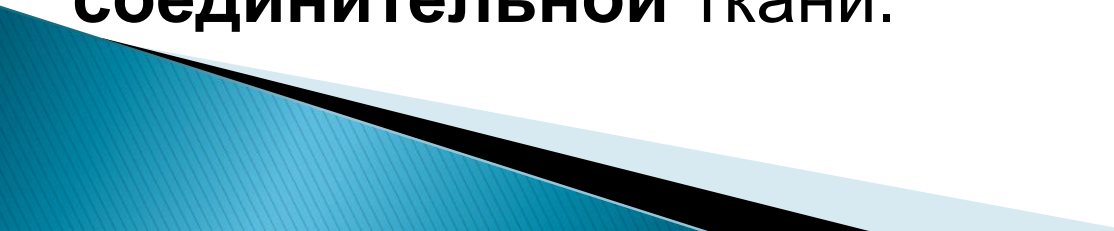
- газообмен,
- снабжение клеток питательными веществами
- выведение продуктов метаболизма.

Обмен происходит также в венулах.

В покое кровь циркулирует лишь в 25–35% всех капилляров.

Плотность капилляров **наибольшая** в миокарде, мозге, печени, почках, легких - до 2500–3000 капилляров на 1 мм².

Наименьшая - в костной, жировой, соединительной ткани.



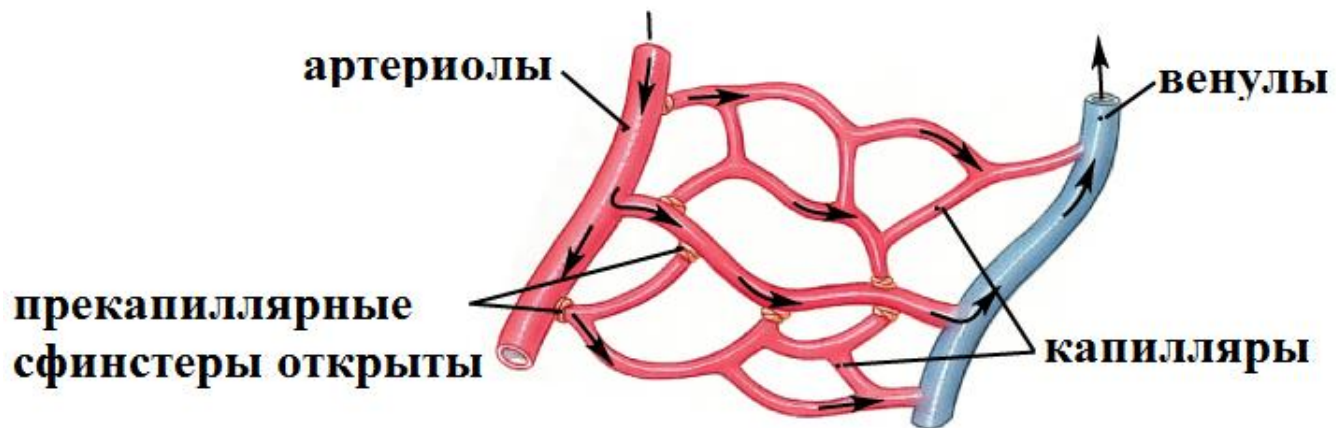
**Диаметр капилляров от 5 до 30
МКМ.**

**Длина одного капилляра – 0,5–1,1
ММ.**

**Общая поверхность всех
капилляров – 1000 м².**

**Общая площадь сечения всех
капилляров большого круга – от
8000 до 11000 см².**





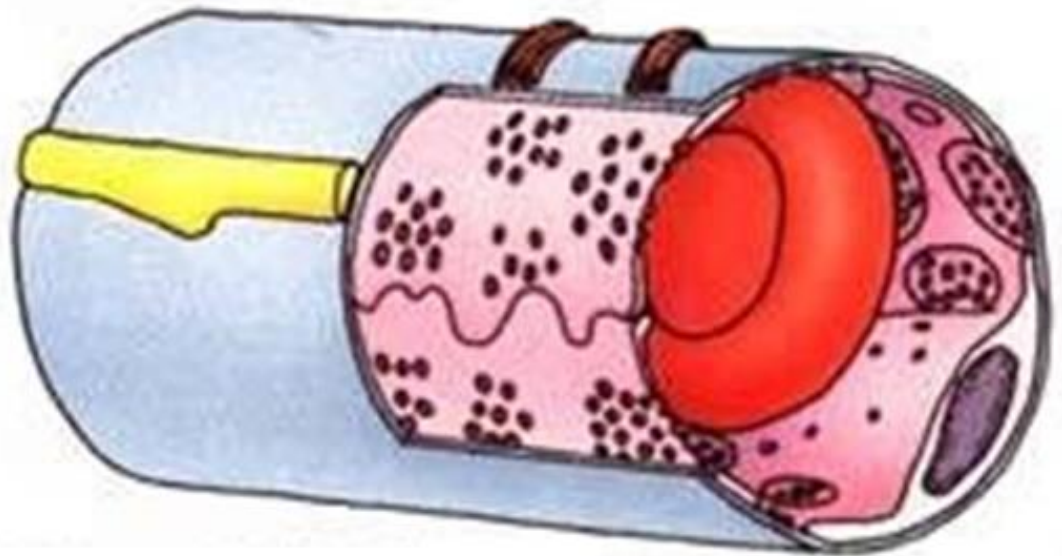
Кровообращение в капиллярах

Классификация капилляров :

- **Соматический тип** – имеет непрерывную эндотелиальную и базальную оболочки, имеет большое количество мельчайших пор (4-5нм). Легко пропускают воду и минеральные вещества. Встречаются в скелетной и гладкой мускулатуре, жировой и соединительной ткани, легких, коре мозга.



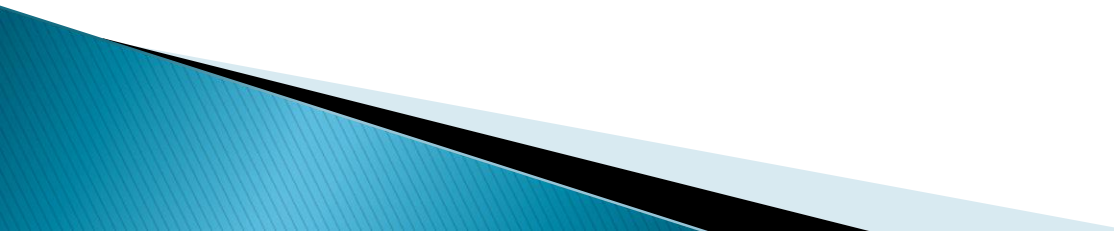
➤ **Висцеральный тип** – имеет «окошки» (фенестры) с диаметром 0,1 мкм. Капилляры покрыты тончайшей мембраной, проницаемы для воды, растворенных солей, макромолекул. Встречаются в почках, ЖКТ, эндокринных железах.



➤ **Синусоидный тип** – базальная мембрана частично отсутствует, эндотелиальная оболочка прерывиста, с большими интерстициальными просветами. Через них проходят жидкости, клетки крови. Локализованы в **костном мозге, печени, селезенке.**

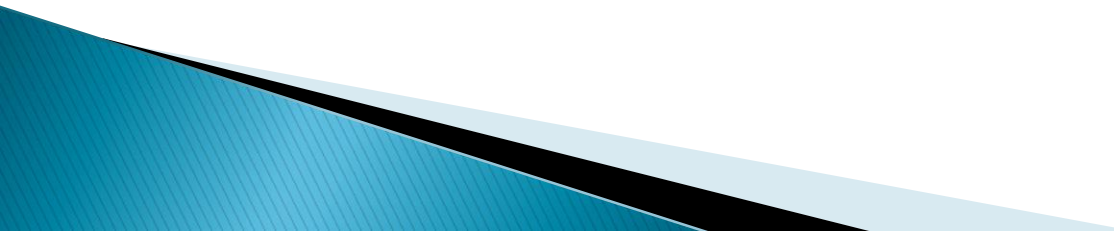


Механизмы (силы), управляющие транспортом веществ через стенку капилляра

- ▶ **Диффузия**
 - ▶ *осмос, пиноцитоз,*
 - ▶ **Фильтрация и реабсорбция**
 - ▶ *активный транспорт.*
- 

Диффузия происходит за счет градиента концентрации веществ

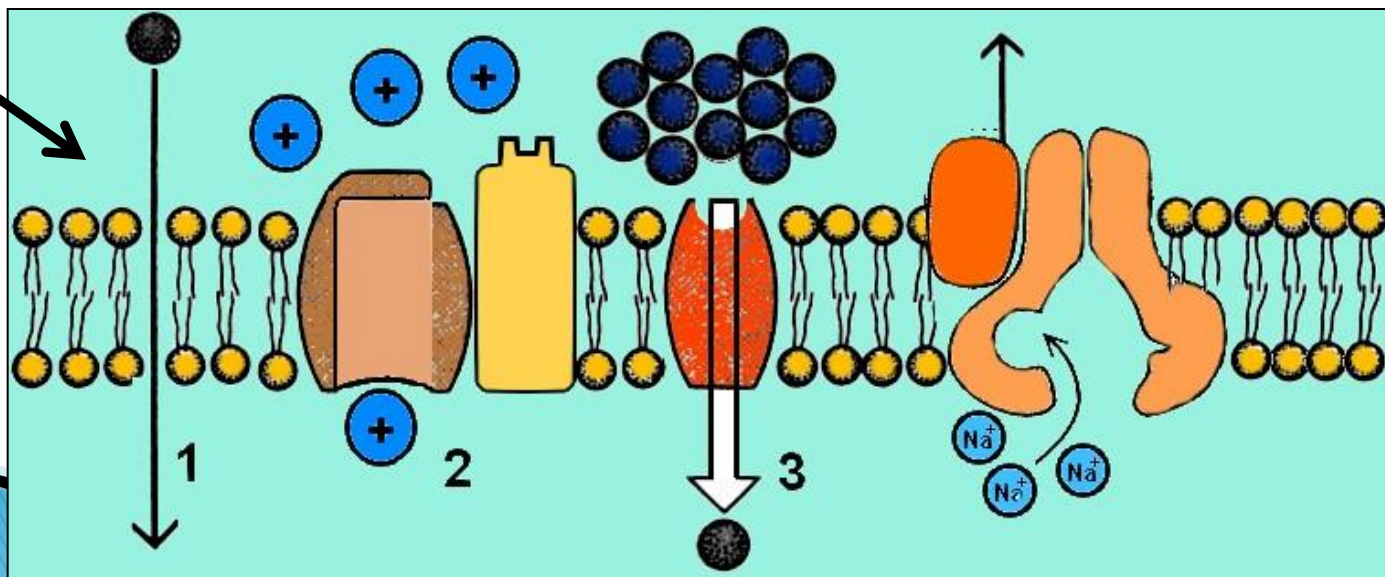
Диффузия имеет 2-сторонний характер, скорость очень высокая. Проходя через капилляр жидкость плазмы 40 раз, полностью обменивается с межклеточной жидкостью. Через общую обменную поверхность организма скорость диффузии приблизительно равна **60 л/мин**, в сутки составляет в среднем **85000 л**.



Перенос через мембраны

Неполярные
(*жирорастворимые*) вещества и
мелкие незаряженные молекулы
(O_2 , CO_2 , NH_3 и вода) могут
диффундировать
непосредственно через стенку
капилляров, без необходимости
движения через поры. Скорость их
диффузии через стенку капилляра
во много раз выше скорости
транспорта полярных молекул.

Полярные вещества (например,
ионы Na^+ , K^+ , Cl^- , Ca^{2+} ; различные
небольшие, но полярные
метаболиты, а также **сахара**,
нуклеотиды, **макромолекулы**
белка и **нуклеиновых кислот**)
сами по себе *не проникают* через
мембраны, для их транспорта
необходимы **переносчики** и
ионные каналы (поры).



- ▶ Проницаемость эндотелия капилляров не одинакова в разных тканях тела (капилляры печени проницаемы для альбумина, головного мозга - нет)
- ▶ Венозные отделы капилляров более проницаемы, чем артериальные

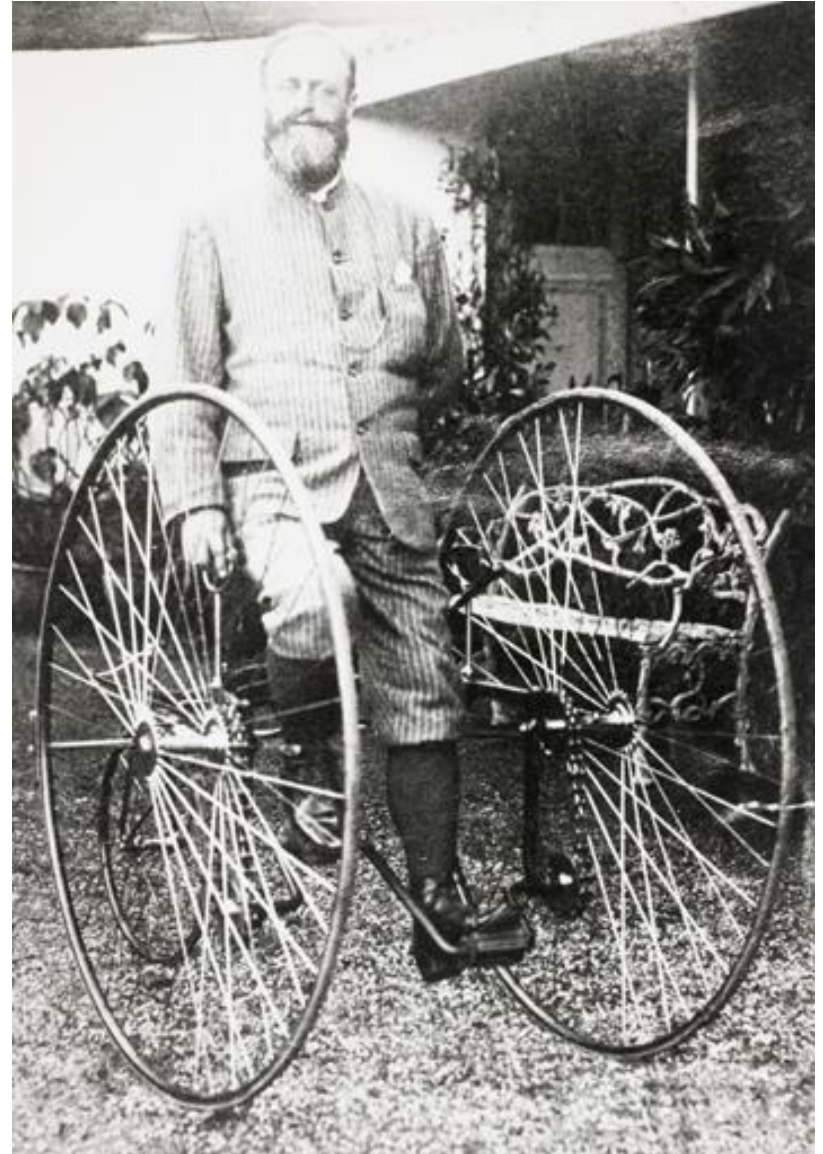
Фильтрация – это выход плазмы крови и растворенных в ней веществ через стенку капилляра в интерстициальную жидкость

Гидростатическое давление в капиллярах – основная сила фильтрации

Реабсорбция – возврат жидкости из интерстициального пространства через эндотелиальную стенку в капилляр

Главная сила обратного всасывания в капилляр – коллоидно-осмотическое (онкотическое) давление плазмы

Силы процесса фильтрации и реабсорбции впервые описал Э.Старлинг в 1896 г



ЗАКОН УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИИ СТАРЛИНГА

$$V = K [P_{гк} + P_{от} - (P_{гт} + P_{ок})]$$

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

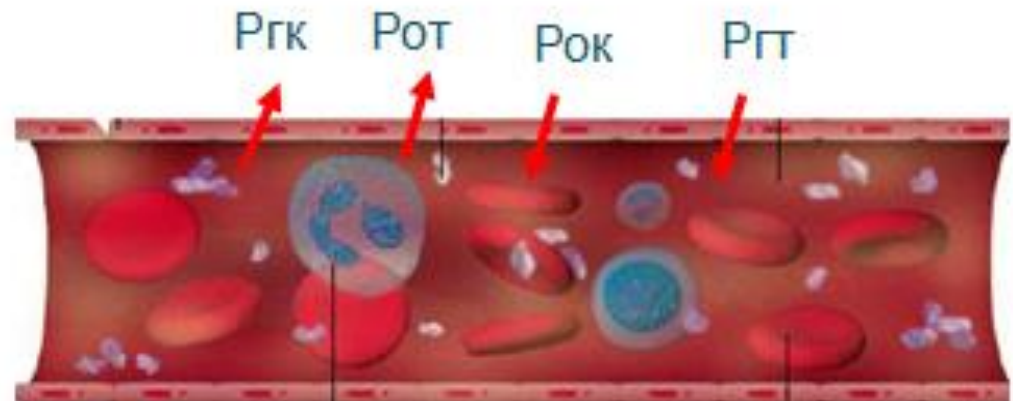
K - коэффициент фильтрации,

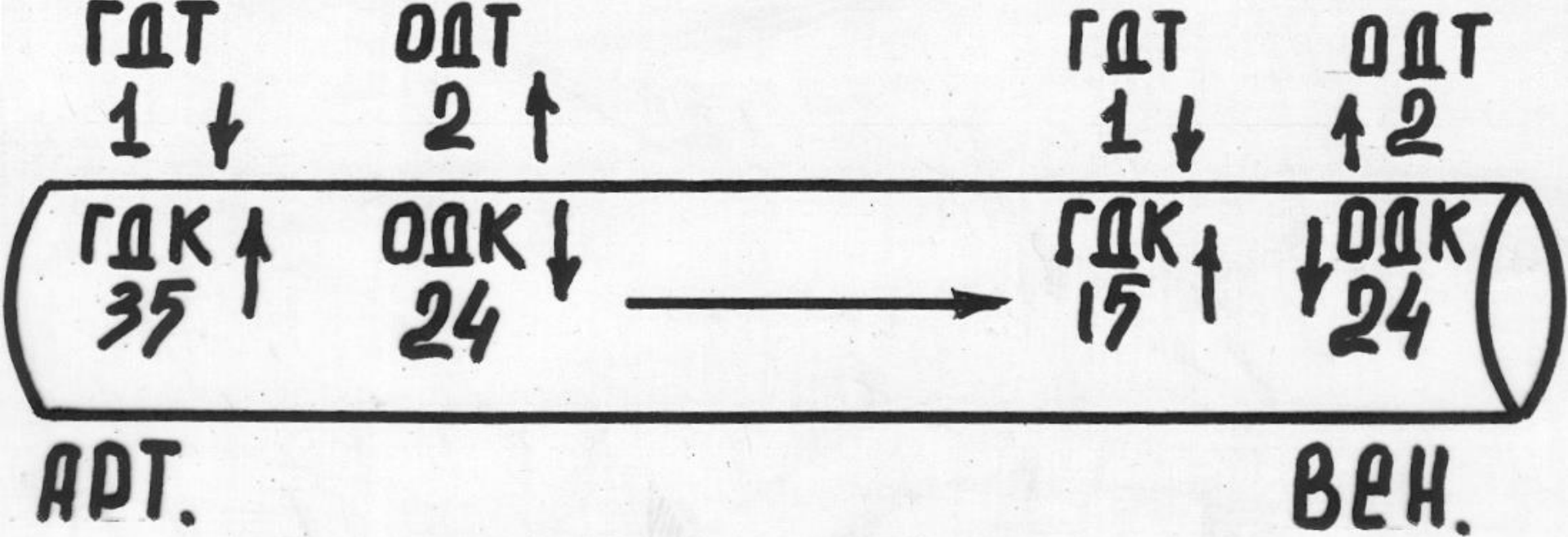
$P_{гк}$ - гидростатическое давление крови,

$P_{от}$ - онкотическое давление ткани

$P_{гт}$ - гидростатическое давление ткани

$P_{ок}$ - онкотическое давление крови



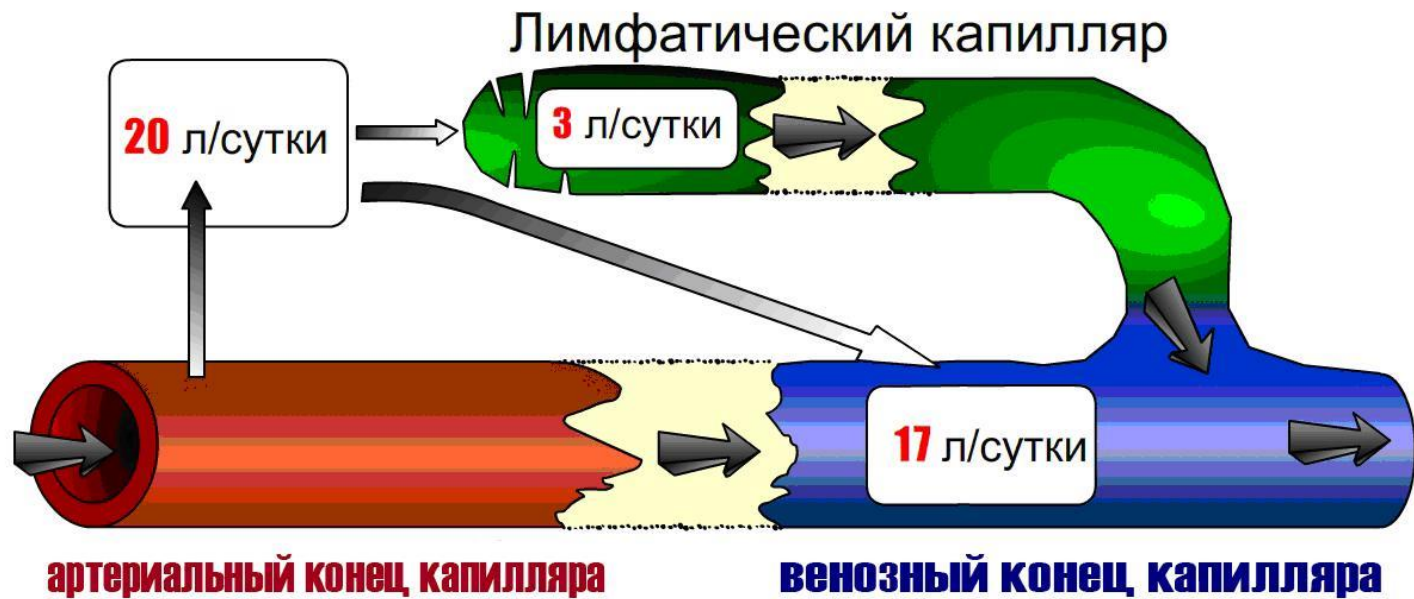


$$\Phi Д = (35 + 2) - (1 + 24) = 12 \text{ мм Н}_2\text{О}$$

$$СВ = (15 + 2) - (1 + 24) = 8 \text{ мм Н}_2\text{О}$$

ФД – фильтрационное давление
СВ – сила всасывания

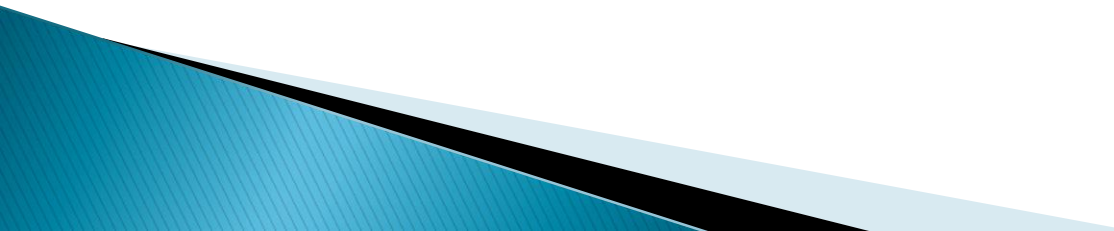
Микроциркуляторное русло - обменник



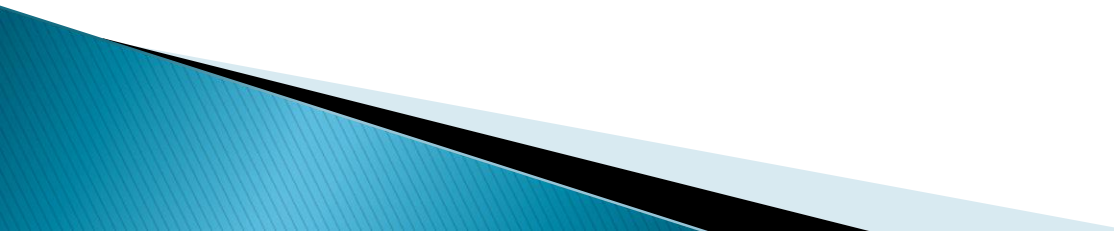
Фильтрация возрастает:

- При повышении общего АД,
- При расширении резистивных сосудов,
- Увеличении объема циркулирующей крови,
- Повышении венозного давления,
- Снижении онкотического давления плазмы,
- При накоплении осмотически активных веществ межтканевой жидкости,
- Повышении проницаемости стенки капилляров.

Реабсорбция увеличивается:

- При снижении АД,
 - Сужении резистивных сосудов,
 - Уменьшении объема циркулирующей крови,
 - Повышении онкотического давления плазмы.
- 

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГЕМОДИНАМИКИ

- ▶ Электромагнитная флоуметрия
 - ▶ Сфигмография и определение скорости распространения пульсовой волны
 - ▶ Допплерометрия
 - ▶ Измерение сердечного выброса
 - ▶ Плетизмография
 - ▶ Реография
 - ▶ Регистрация артериального давления
- 

***Регуляция сосудистого тонуса,
как основного механизма
поддержания давления крови***

**Механизмы регуляции движения
крови по сосудам можно
разделить на две составляющие
части:**

- 1. Местные, регулирующие
кровоток в отдельных органах и
тканях;**
 - 2. Центральные, определяющие
величину АД и системное
кровообращение.**
- 

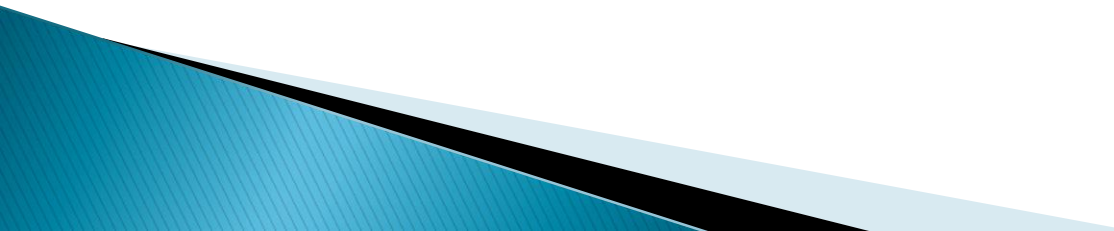
Гладкие мышцы сосудов постоянно сохраняют некоторое напряжение — **мышечный тонус**. Тонус сохраняется даже при полном отсутствии нервных и гуморальных влияний и получил название **базального** или **периферического**. Некоторые гладкие миоциты способны спонтанно возбуждаться, возбуждение передается другим клеткам и в результате возникают ритмические колебания тонуса — **эндогенная вазомоторика**.



В поддержании его ведущая роль принадлежит **миогенной регуляции**. Миогенная регуляция проявляется:

- изменением **тонуса сосудов**, характерного для условия относительного покоя, в *ответ на изменение в них давления крови* (местного механического растяжения).
- **метаболическая регуляция**. способность метаболитов (O_2 , CO_2 , ионы H^+ , АТФ, АМФ, аденозин (продукт расщепления АТФ), молочная кислота и др.) *оказывать расширяющее действие на сосуды кровоснабжающие ткань*.

Нейрогуморальные механизмы регуляции кровотока

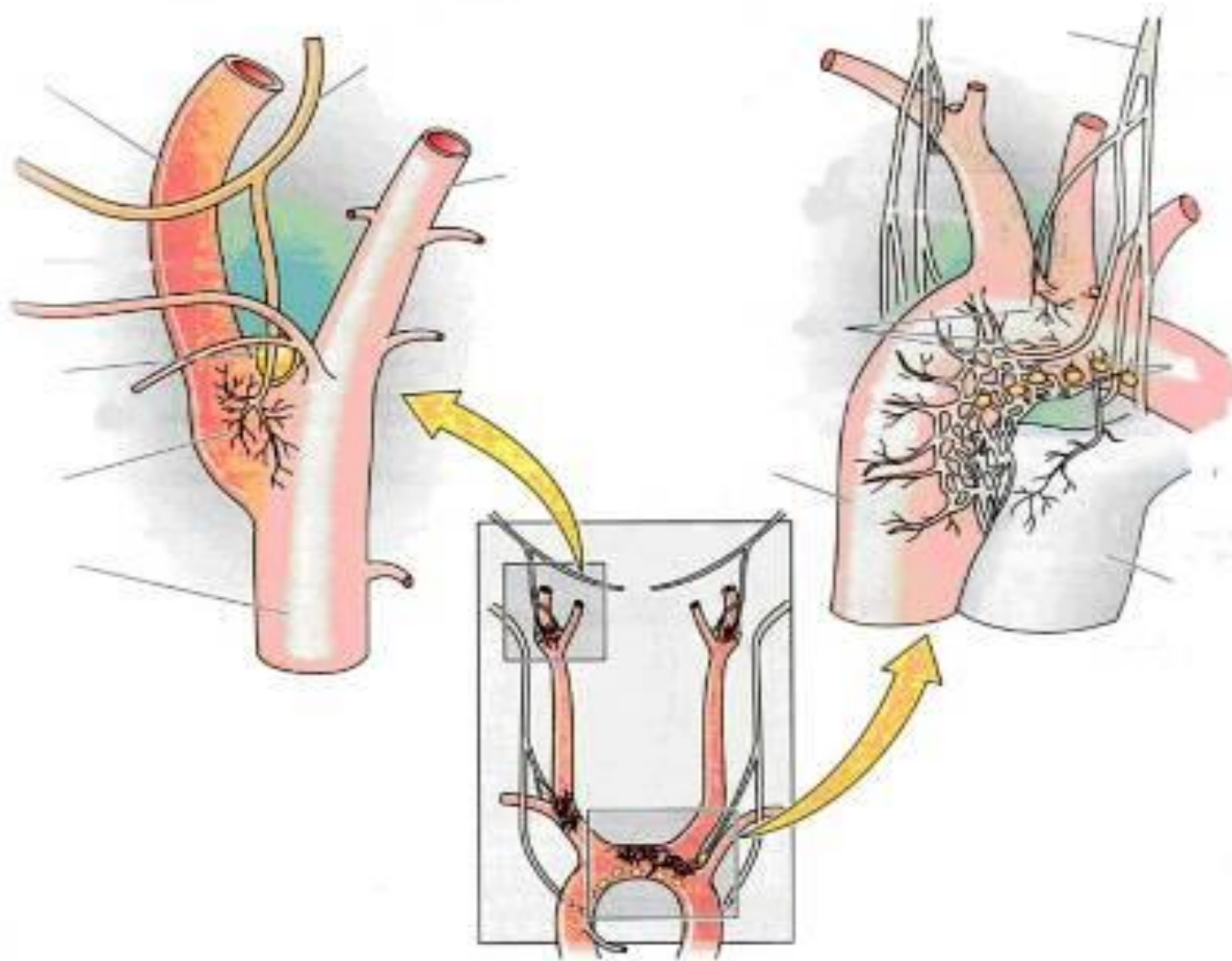
- 1. Афферентное (рецепторное) звено.**
 - 2. Центральное звено.**
 - 3. Эфферентное звено.**
- 

Различают несколько видов рецепторов, расположенных в сосудах (**ангиорецепторов**):

Барорецепторы (прессорные) реагируют на скорость и степень растяжения стенок сосудов. По механизму действия они являются механорецепторами.

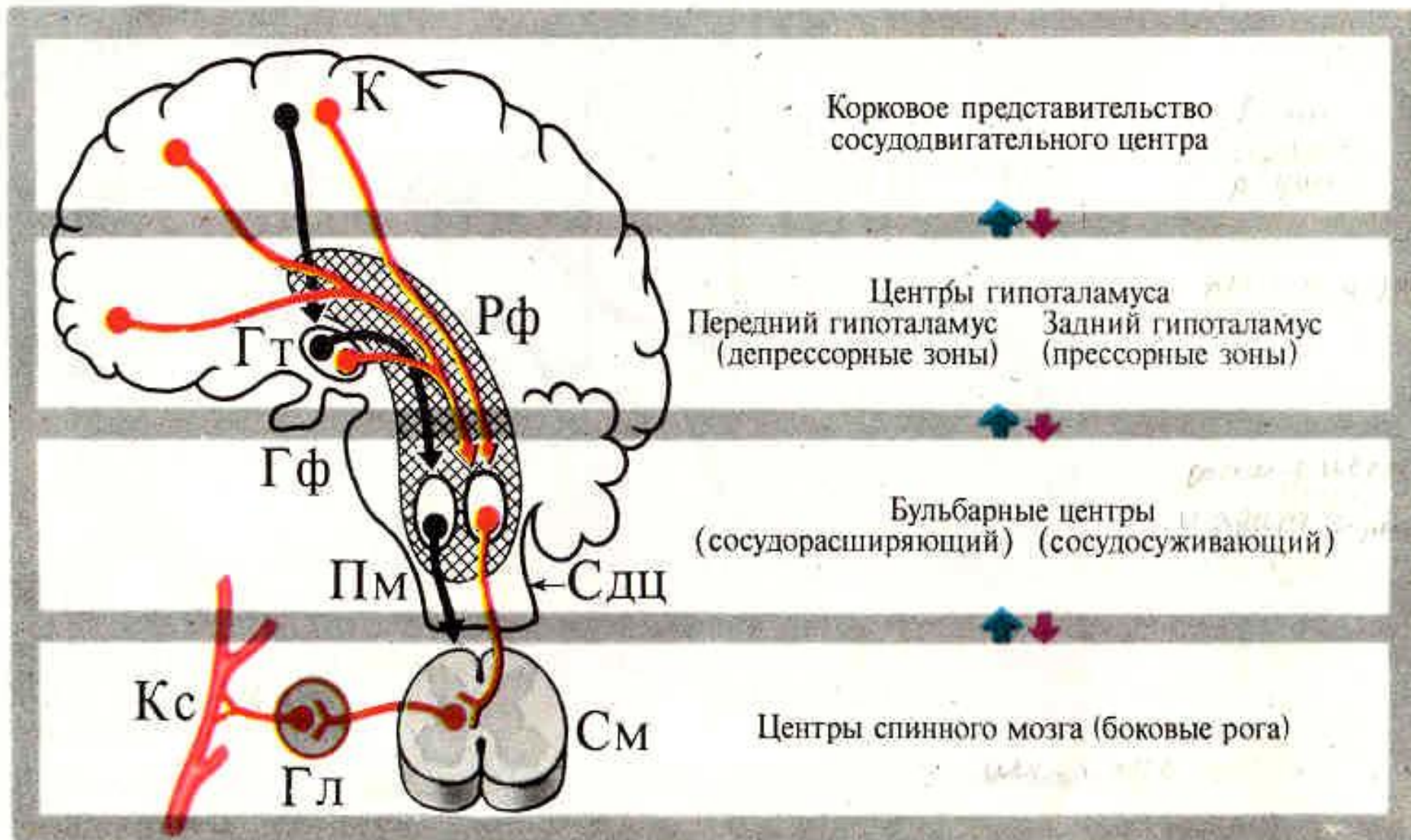
Хеморецепторы — чувствительны к химическому составу крови.

Расположены ангиорецепторы в сосудах всей системы кровообращения, образуя единое **рецептивное поле**, в его состав входят рефлексогенные зоны. Из них наиболее значимые: **аортальная, синокаротидная, зона сосудов легочного круга** и другие.



**Синокаротидная и аортальная
рефлексогенные зоны**

Компоненты сосудодвигательного центра



Центральное звено

Сосудодвигательный центр продолговатого мозга состоит из 2-х зон:

Депрессорная зона. Способствует снижению активности симпатического отдела нервной системы, расширению сосудов, снижению периферического сопротивления, активирует парасимпатические механизмы.

Прессорная зона. Способствует повышению АД, увеличивая сердечный выброс и периферическое сопротивление. Между первой и второй зонами существуют реципрокные взаимоотношения: если депрессорная зона возбуждается, то это приводит к торможению прессорной, и наоборот.

Продолговатый мозг

**Афферентные
волокна**

Депрессор

Прессор

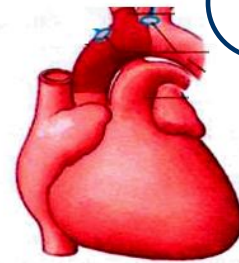
Аортальный нерв, X
Синусный нерв, IX

**Барорецепторы
аортальной зоны**

**Барорецепторы
синокаротидной
зоны**

Давление крови

**Эфферен-
тные
волокна**



АРТЕРИИ

Продолговатый мозг

Афферентные
волокна

Депрессор

Прессор

Аортальный нерв, X

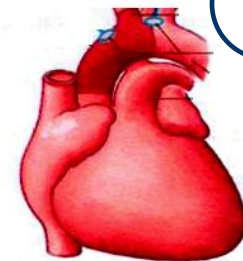
Синусный нерв, IX

Барорецепторы
аортальной зоны

Барорецепторы
синокаротидной
зоны

Давление крови

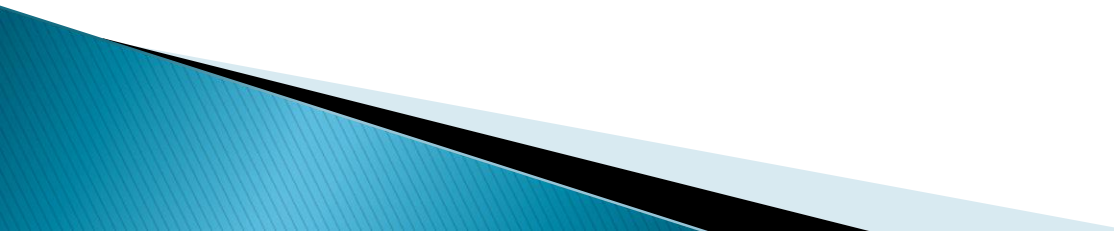
Эфферен-
тные
волокна



АРТЕРИИ



СОСУДИСТЫЕ РЕФЛЕКСЫ по В.Н.Черниговскому

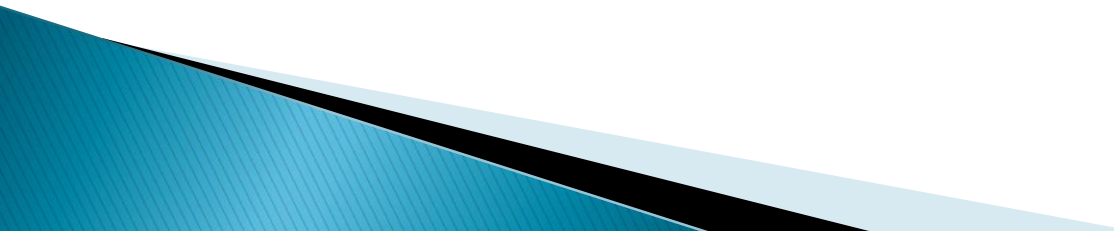
- ▶ **Собственные сосудистые рефлексy или рефлексy с сосудистых рефлексогенных зон**
 - ▶ **Сопряженные сосудистые рефлексy (боль, холод, растяжение желудка и др.)**
 - ▶ **Условные рефлексy**
- 

СОСУДОДВИГАТЕЛЬНЫЕ НЕРВЫ

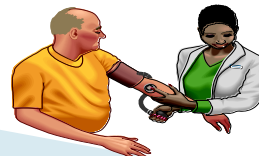
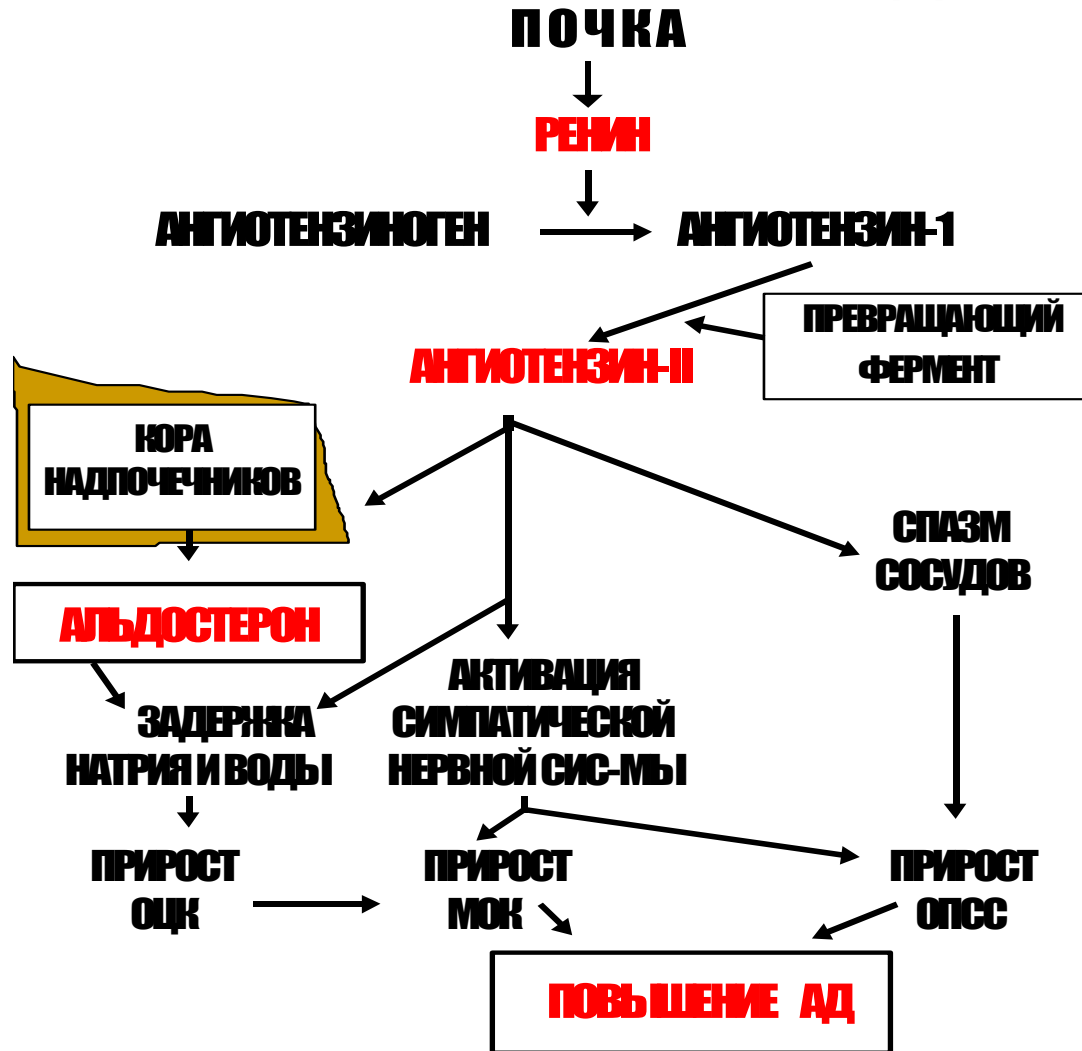
- Симпатические нервы, через:
 - α - адренорецепторы - констрикция и тонус
 - β - адренорецепторы - дилатация
 - M - холинорецепторы - дилатация
- Парасимпатические нервы, через:
 - ацетилхолин - M-холинорецепторы - NO - дилатация сосудов мозга, в подчелюстной железе (хорда тимпани) и органах малого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

ГУМОРАЛЬНАЯ РЕГУЛЯЦИЯ СОСУДИСТОГО РУСЛА

Вазоконстрикторы

- **Ангиотензин**
 - **Вещества, продуцируемые эндотелием
сосудов (эндотелины, тромбоксаны,
эндотелиальный сосудосуживающий
фактор (EDCF))**
 - **Норадреналин**
 - **Вазопрессин**
- 

СИСТЕМА РЕНИН-АНГИОТЕНЗИН-АЛЬДОСТЕРОН



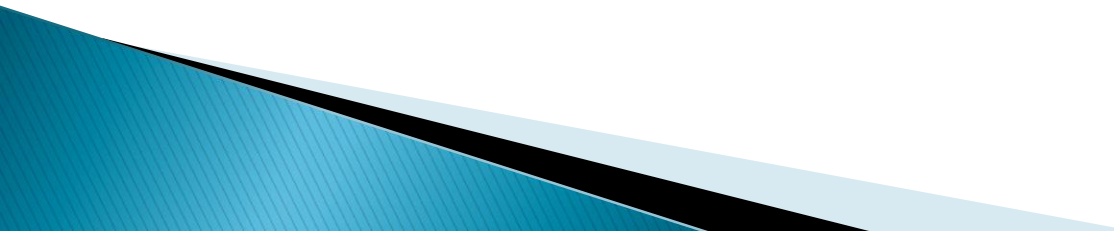
ГУМОРАЛЬНАЯ РЕГУЛЯЦИЯ СОСУДИСТОГО РУСЛА

Вазодилататоры

- Гистамин
 - Натрийуретический гормон (атриопептид)
 - Ацетилхолин
 - Калликреин–кининовая система.
 - Субстанция Р
 - Эндотелиальные регуляторы (оксид азота — NO)
- 

ГУМОРАЛЬНАЯ РЕГУЛЯЦИЯ СОСУДИСТОГО РУСЛА

Вещества двойного действия на сосуды

- Адреналин
 - Серотонин (5-гидрокситриптамиин)
 - Простагландины
- 

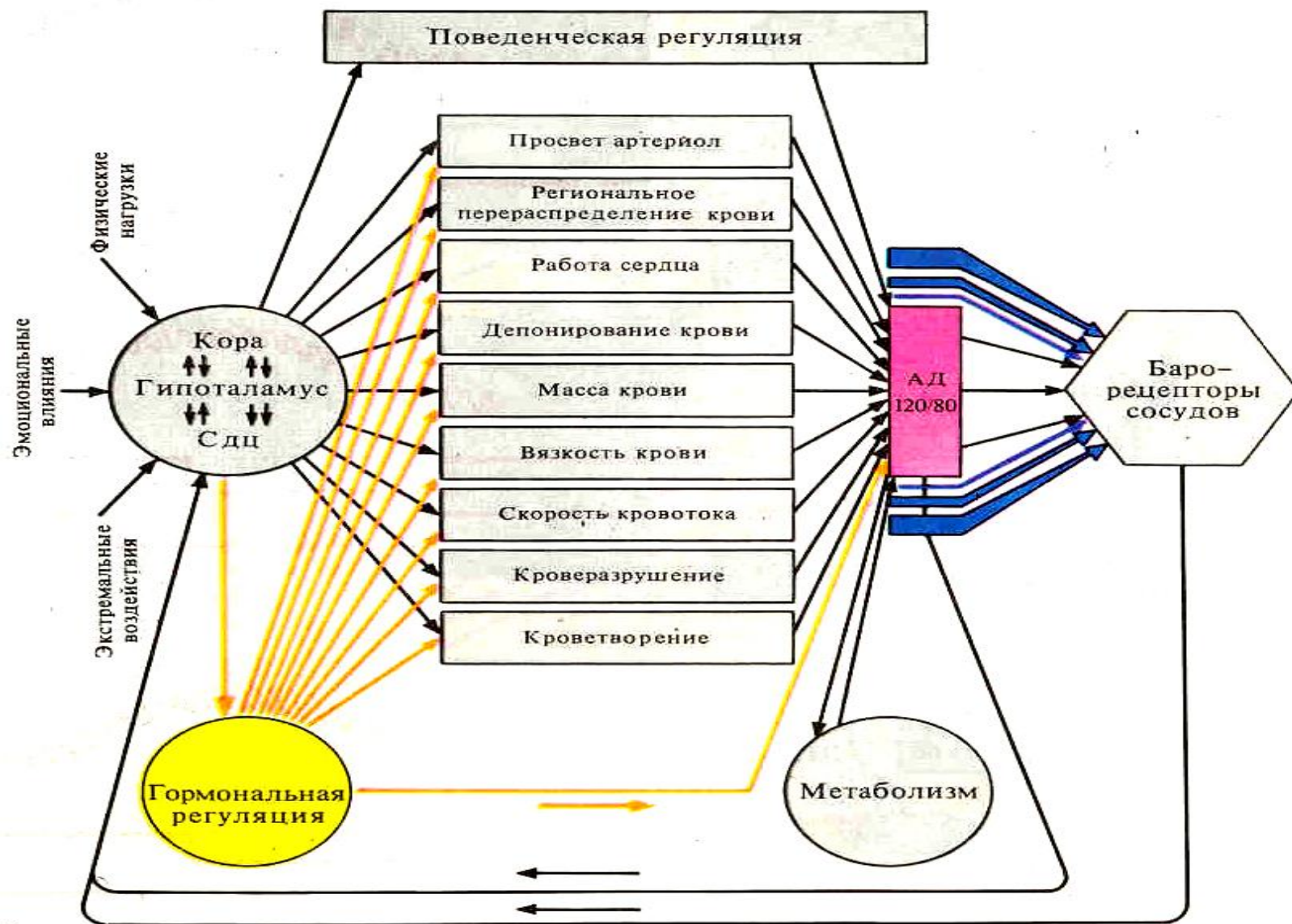
Регуляция уровня артериального кровяного давления

Основные факторы, обеспечивающие величину АД:

- 1. Насосная функция сердца.**
- 2. Объем циркулирующей крови.**
- 3. Общее периферическое сопротивление.**
- 4. Вязкость крови.**

На эти факторы оказывает влияние состояние ЦНС, вегетативной нервной системы, содержание Na^+ в организме, прессорная и депрессорная функция почек, стероиды и др.

Функциональная система поддержания артериального давления (ФСАД)



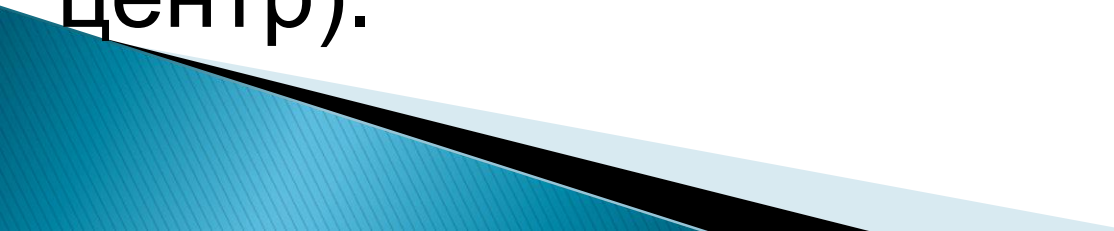
Функциональная система поддержания артериального давления (ФСАД)

Функциональная система, поддерживающая оптимальный уровень АД, включает следующие звенья:

- 1 звено** — *полезный приспособительный результат* — оптимальный для метаболизма уровень давления крови.
- 2 звено** — *рецепторы.*
- 3 звено** — *нервный центр.*

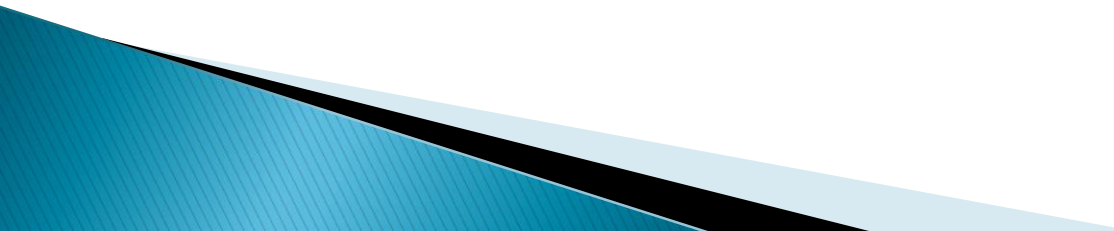
Спинальный уровень регуляции способен самостоятельно поддерживать тонус сосудов и уровень АД, но он находится в подчинении головному мозгу.

Бульбарный вазомоторный центр получает информацию от баро- и хеморецепторов по аортальному и синокаротидному нервам (основной центр).



В гипоталамусе, в задних отделах, расположены **прессорные зоны**, в передних отделах — **депрессорные зоны**. Гипоталамус участвует в формировании эмоции и способствует **адекватной адаптации уровня АД** соответственно поведенческим реакциям и эмоциональному состоянию организма.

Кора координирует деятельность всех нижележащих отделов ЦНС и вегетативной нервной системы.



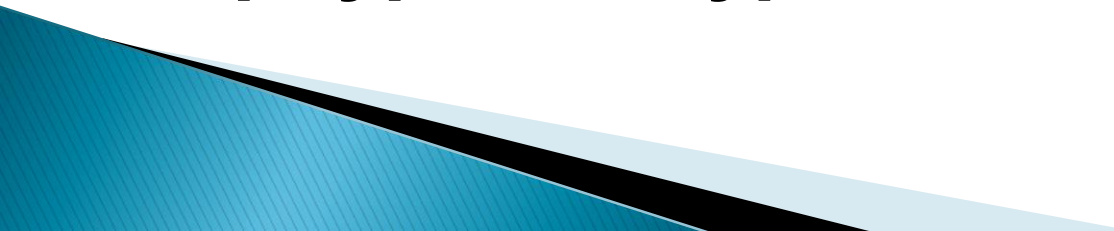
4 звено — *исполнительные органы.*

Эфферентные посылки из головного мозга приводят: ***к перераспределению крови; изменению процессов кроветворения и объема циркулирующей крови, просвета артериол и скорости кровотока, что приводит к соответствию АД запросам метаболизма.***

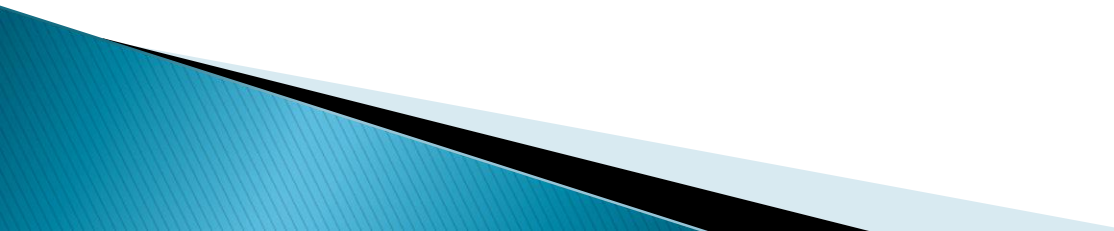
Роль гормональной системы, например, в случае «выброса» адреналина с сосудистое русло, сводится ***к модуляции работы отдельных звеньев функциональной системы.***



ОБЩИЕ МЕХАНИЗМЫ РЕГУЛЯЦИИ АД

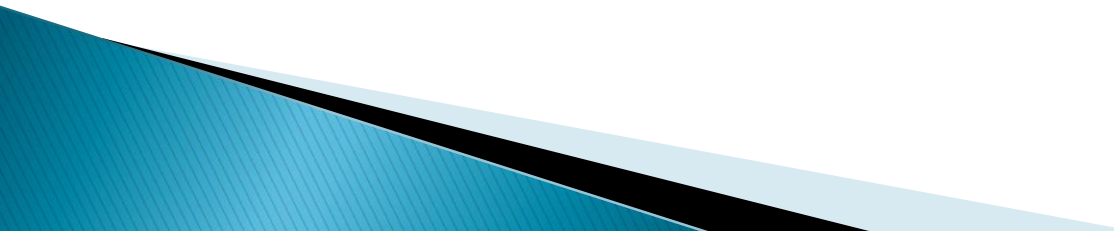
- **СРОЧНЫЕ (КРАТКОВРЕМЕННЫЕ) —** быстрые, механо- и хемо- реффлекторные;
 - **ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ —**гуморальные: ренин-ангиотензиновая система, натрийуретический гормон;
 - **ДОЛГОСРОЧНЫЕ (ДЛИТЕЛЬНО ДЕЙСТВУЮЩИЕ) —** «перестройка» краткосрочных, механизм «давление-натриурез - диурез» .
- 

Срочные механизмы

- рефлекторный спазм сосудов с хемо- и барорецепторов рефлексогенных сосудистых зон;
 - рефлекторное сужение сосудов в ответ на ишемию мозга;
 - выход крови из депо: селезёнки, печени, лёгких и подкожных сосудов.
- 

Промежуточные по времени регуляторные механизмы

Они поддерживают уровень артериального давления с помощью:

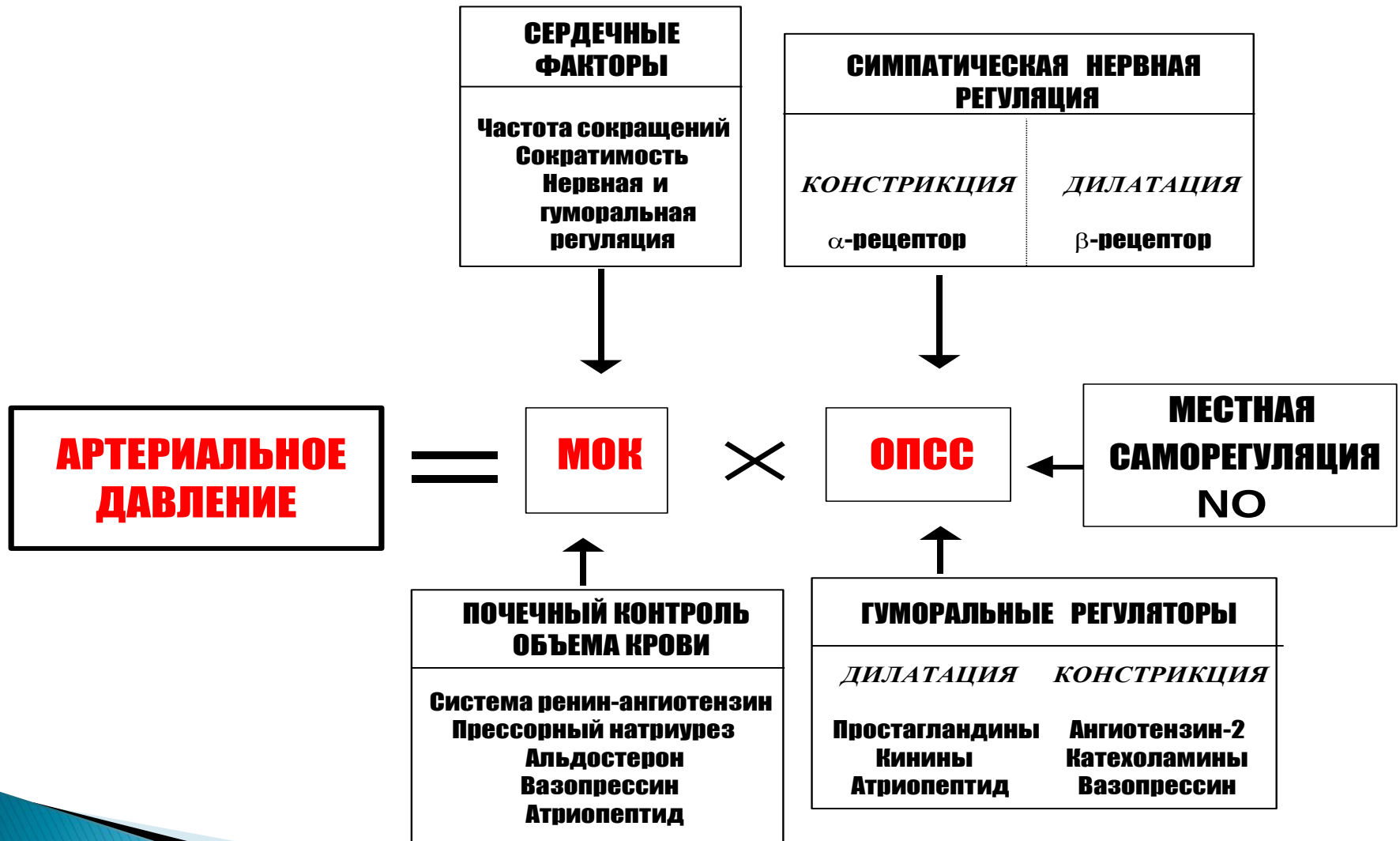
- изменения транскапиллярного обмена;
 - релаксации напряжения сосудистой стенки;
 - ренин-ангиотензиновой системы.
- 

Длительно действующие механизмы регуляции

К ним относятся:

- почечная система контроля за объёмом жидкости;
- система вазопрессина;
- система альдостерона.

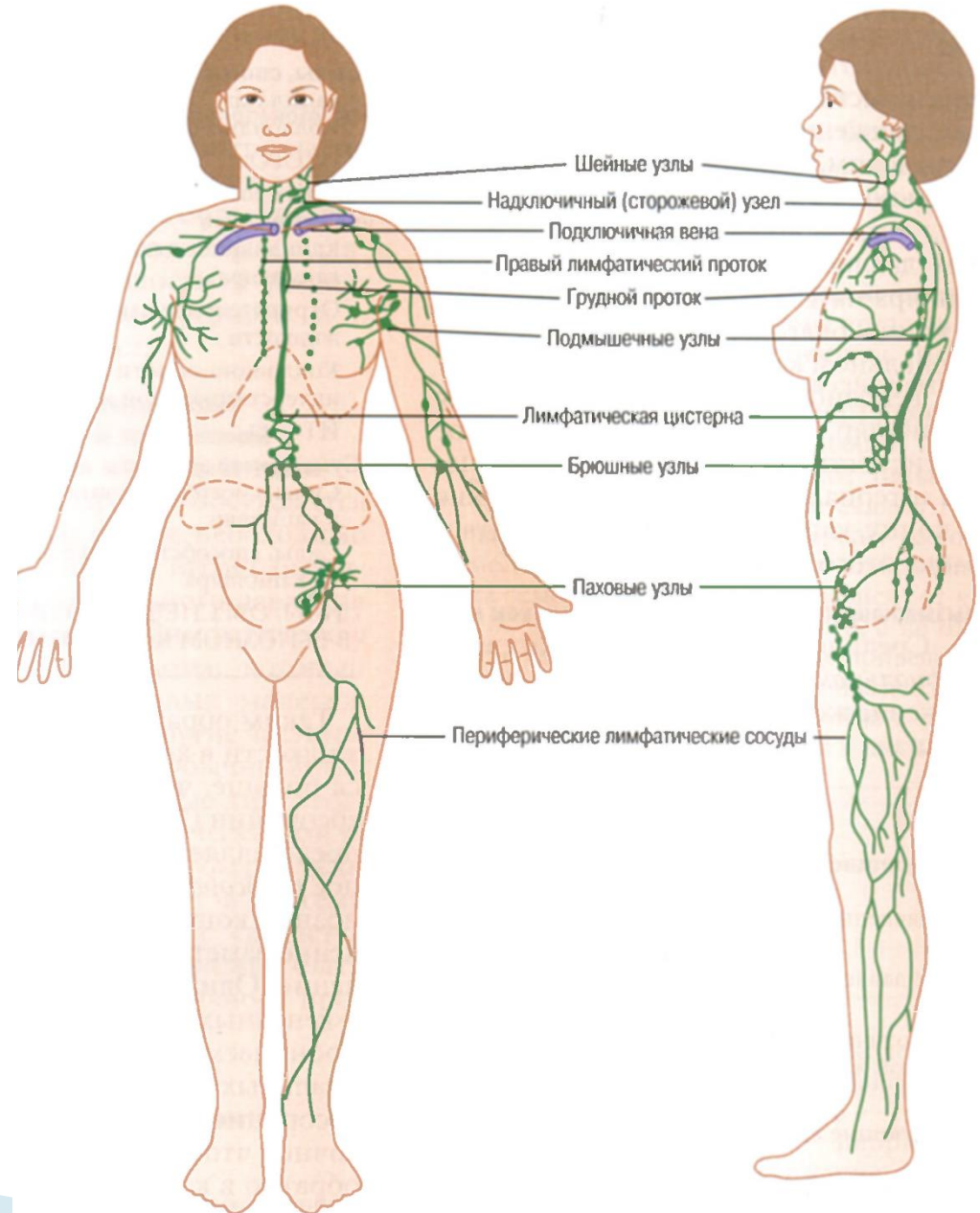
ПРИНЦИПЫ РЕГУЛЯЦИИ АД



***Физиология лимфы. Состав
лимфы. Лимфообразование.
Механизмы передвижения
лимфы***

Строение лимфатической системы

1. Замкнутые капилляры,
2. Внутриорганные сплетения посткапилляров и мелкие, имеющие клапаны лимфатические сосуды
3. Экстраорганные отводящие лимфатические сосуды.
4. Лимфатические стволы
5. Лимфатические протоки — правый лимфатический и грудной



Функции лимфатической системы

- ▶ 1. Поддержание **постоянства и состава тканевой жидкости**.
 - ▶ 2. Обеспечение **гуморальной связи органов, тканей и крови** через посредство **тканевой жидкости**.
 - ▶ 3. **Транспорт питательных веществ** (например, **липидов**) от кишечника в венозную систему.
 - ▶ 4. **Участие в иммунологических процессах**. Доставка из лимфоидных органов клеток плазматического ряда, Ig, лимфоцитов, фильтрационная деятельность синусов лимфоузлов.
- 

Функции лимфатической системы

- ▶ 5. **Дренажная.** Возврат белков, воды и электролитов из межклеточного пространства в кровь.
- ▶ 6. **Детоксикационная.** Обеспечивается переход из межклеточного пространства патологически измененных белков, токсинов и клеток с последующим обезвреживанием их в лимфоузлах.
- ▶ 7. **Транспорт клеток опухолей**

Состав лимфы:

Лимфоциты, белки, липиды, аминокислоты, глюкоза, электролиты, факторы свертывания крови, антитела, ферменты.

Свойства лимфы:

pH – 7,35 – 9,0

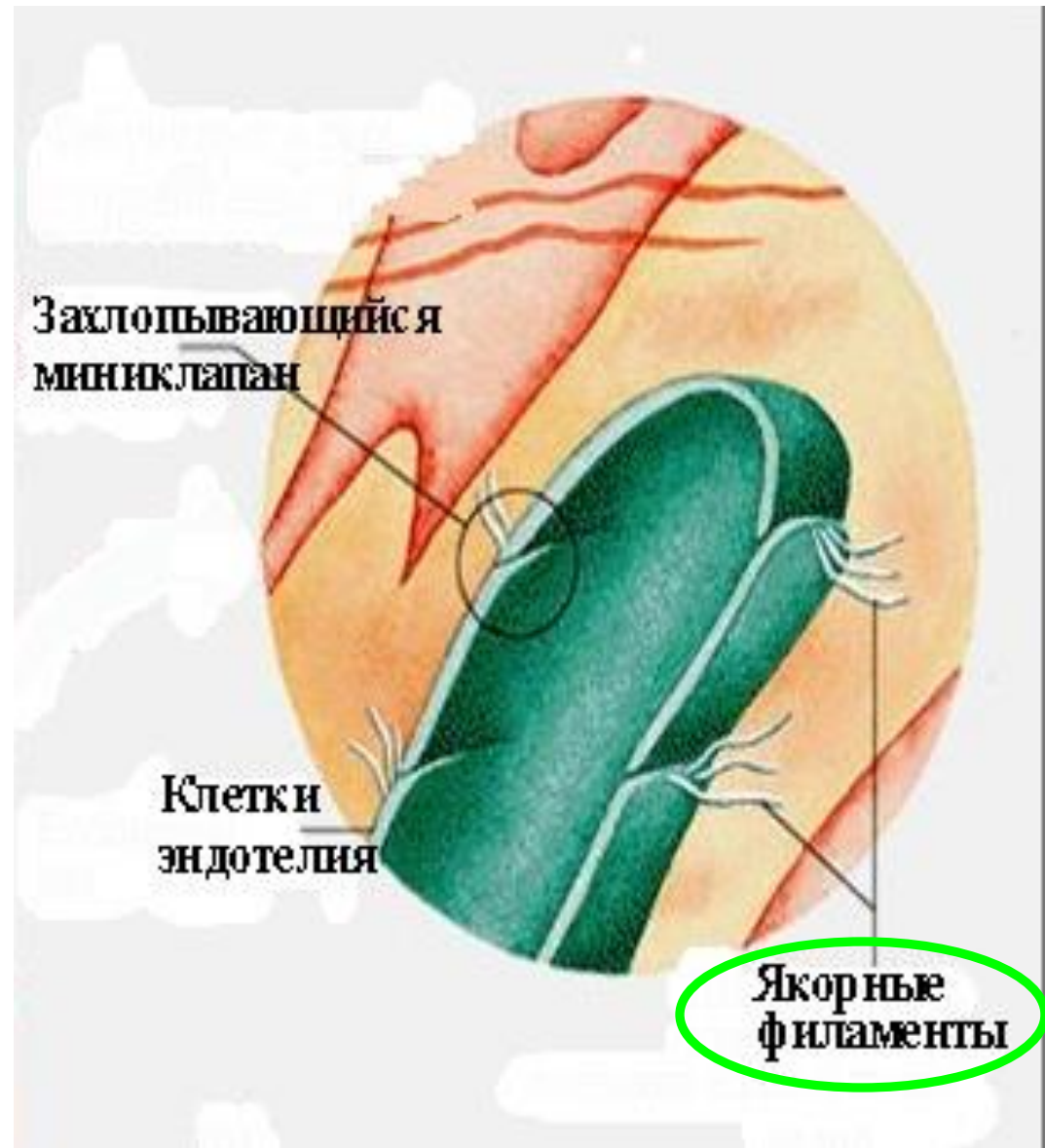
**Относительная плотность –
1,012 -1,023**

Вязкость – 1,0 – 1,3



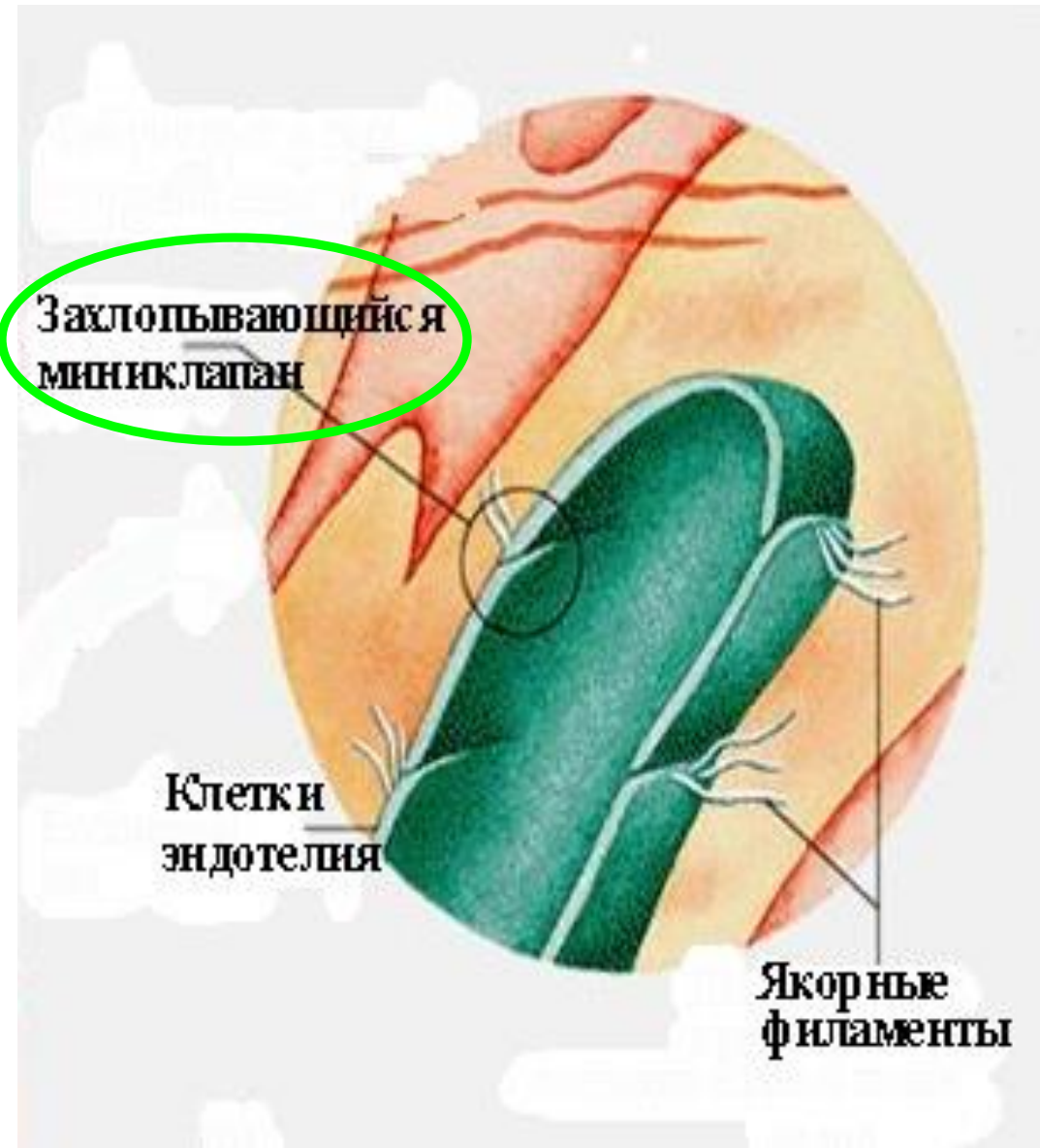
Лимфообразование

Стенки лимфатических капилляров и посткапилляров представлены **одним слоем** эндотелиальных клеток. Эндотелиальные клетки лимфатических капилляров фиксированы к окружающей соединительной ткани так называемыми **поддерживающими филаментами**.

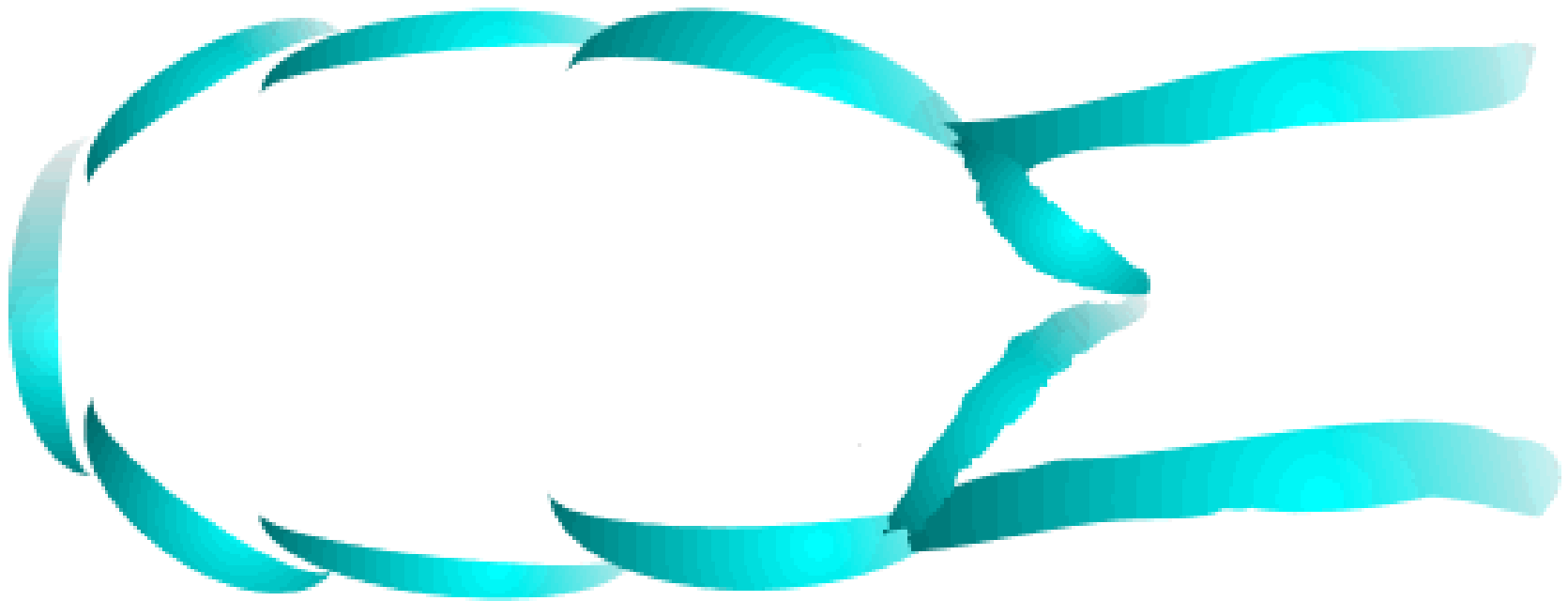


Лимфообразование

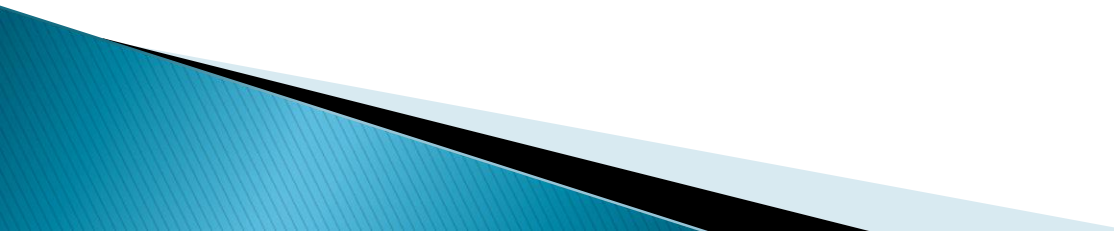
В местах контакта эндотелиальных клеток конец одной эндотелиальной клетки перекрывает кромку другой клетки. Перекрывающиеся края клеток образуют **подобие клапанов**, выступающих внутрь лимфатического капилляра.



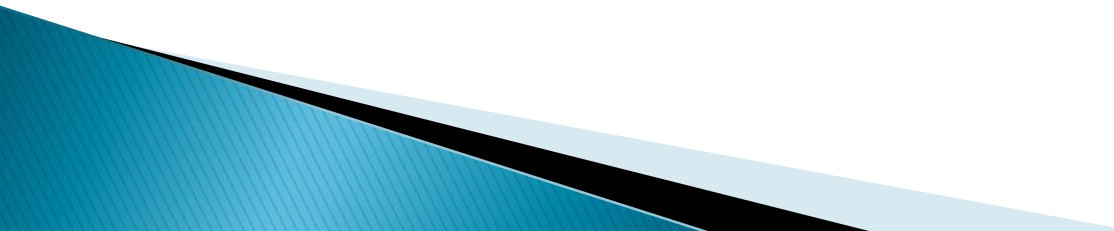
Работа капиллярного насоса



Факторы, обеспечивающие образование лимфы:

- **Разность гидростатического давления в кровеносных капиллярах и межтканевой жидкости.**
 - **Проницаемость стенок кровеносных капилляров.**
 - **Онкотическое давление крови.**
 - **Осмотическое давление в тканях.**
- 

Дополнительные факторы образования лимфы:

- **Колебания давления в тканях при пульсации артерий,**
 - **Сокращение мышц («мышечный насос»),**
 - **Клапаны, при сдавливании сосудов, создают засасывающий эффект жидкости из тканей,**
 - **Лимфогоны.**
- 

Лимфогонные вещества увеличивающие проницаемость капилляров - это капиллярные яды (гистамин, пептон, экстракт из земляники).

Лимфогонные вещества усиливающие фильтрацию жидкости из крови (гипертонические растворы глюкозы, NaCl, концентрированные растворы некоторых солей), которые, попав в кровь, быстро покидают кровеносное русло и создают повышенное осмотическое давление в межтканевом пространстве, способствующее выходу H_2O из крови.

Механизмы движения лимфы

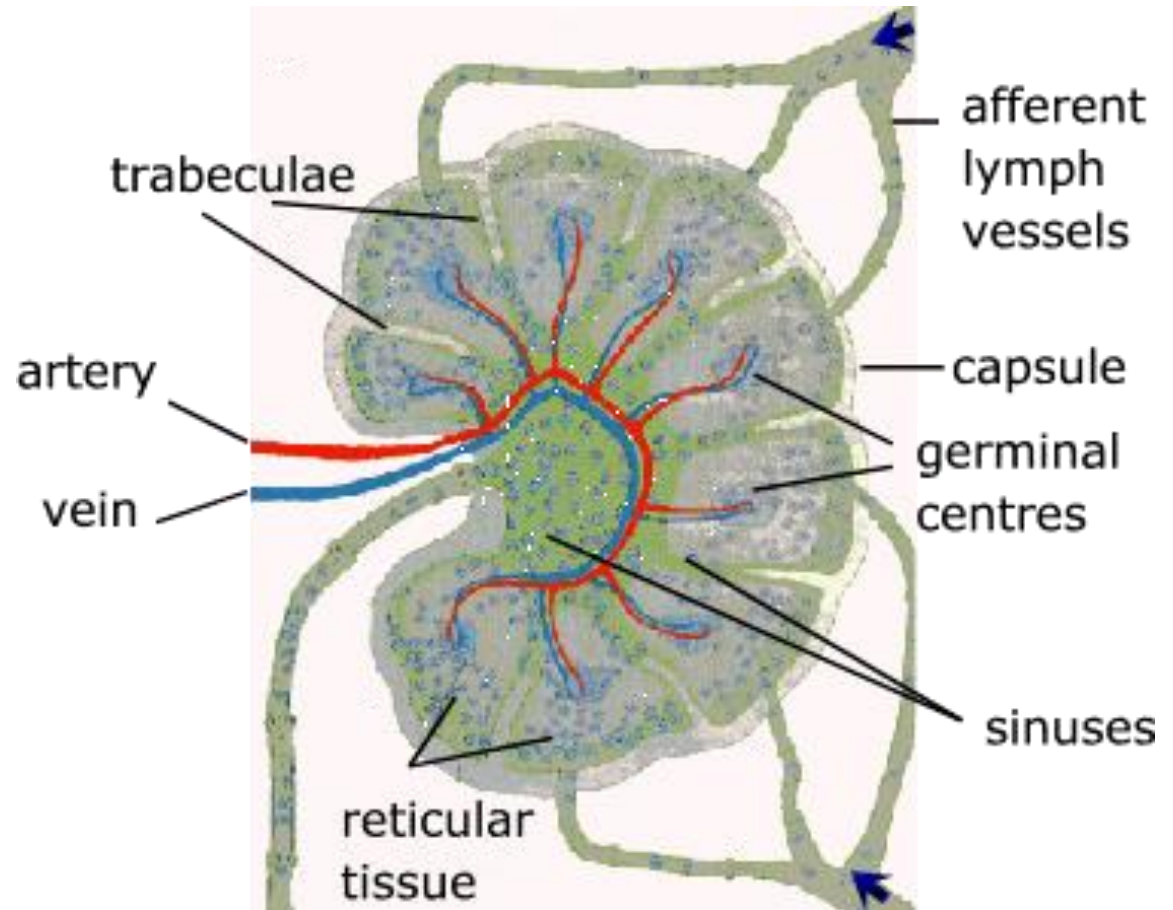
- ▶ **Лимфангион** — межклапанный сегмент — структурно-функциональная единица.
- ▶ Каплевидная форма, ограничен клапанами, дистально — расширен, проксимально — сужен.
- ▶ В среднем отделе лимфангиона имеется мышечная «манжетка» (продольный и циркулярный слои гладких мышц)



Лимфангион –
периферическое
сердце системы –
вторые насосы
лимфатической
системы.



Третий насос в лимфатической системе – лимфатический узел, он сокращаются 6 – 8/мин

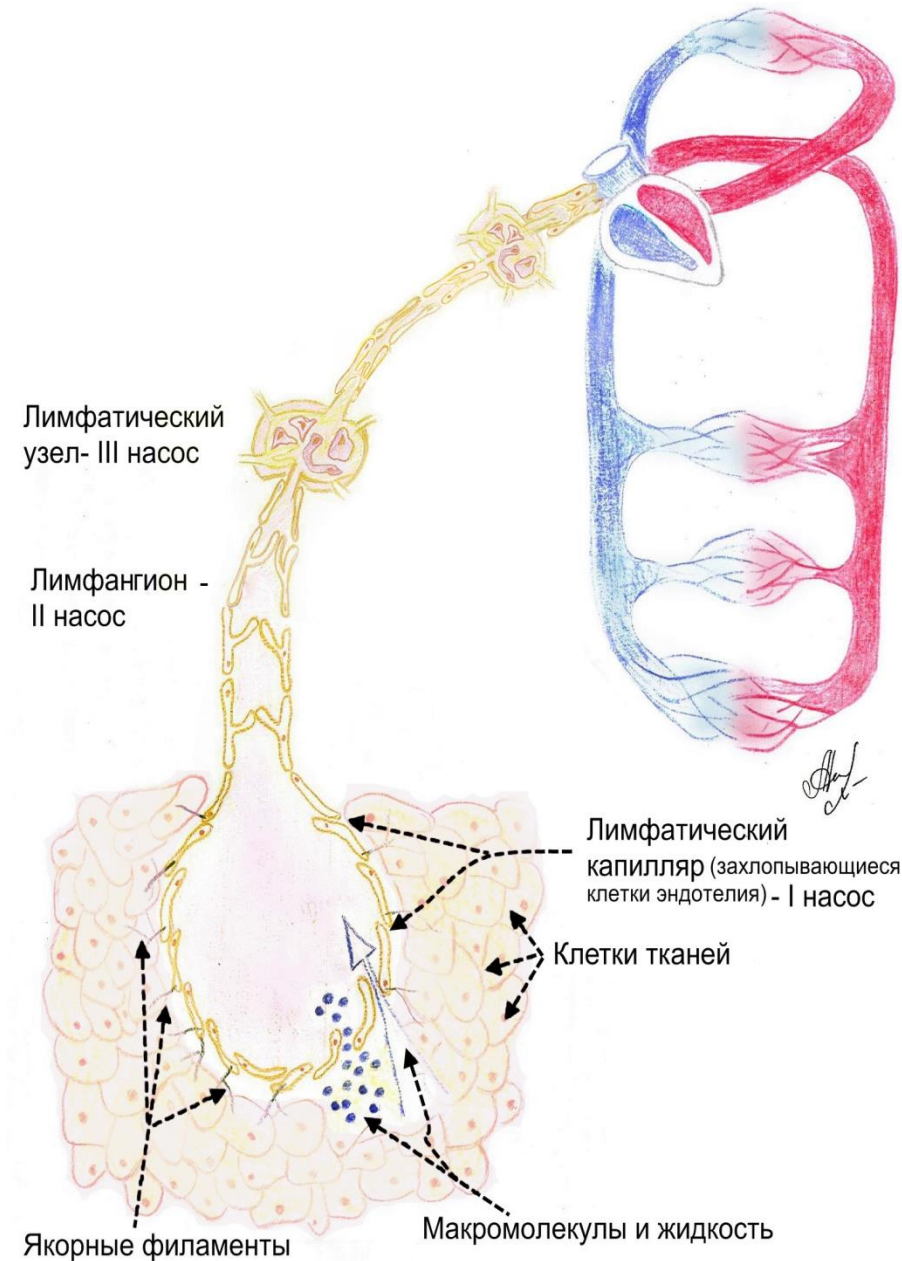


Заключение

Существует **3 насоса** «для подъема» (продвижения лимфы) против градиента давления):

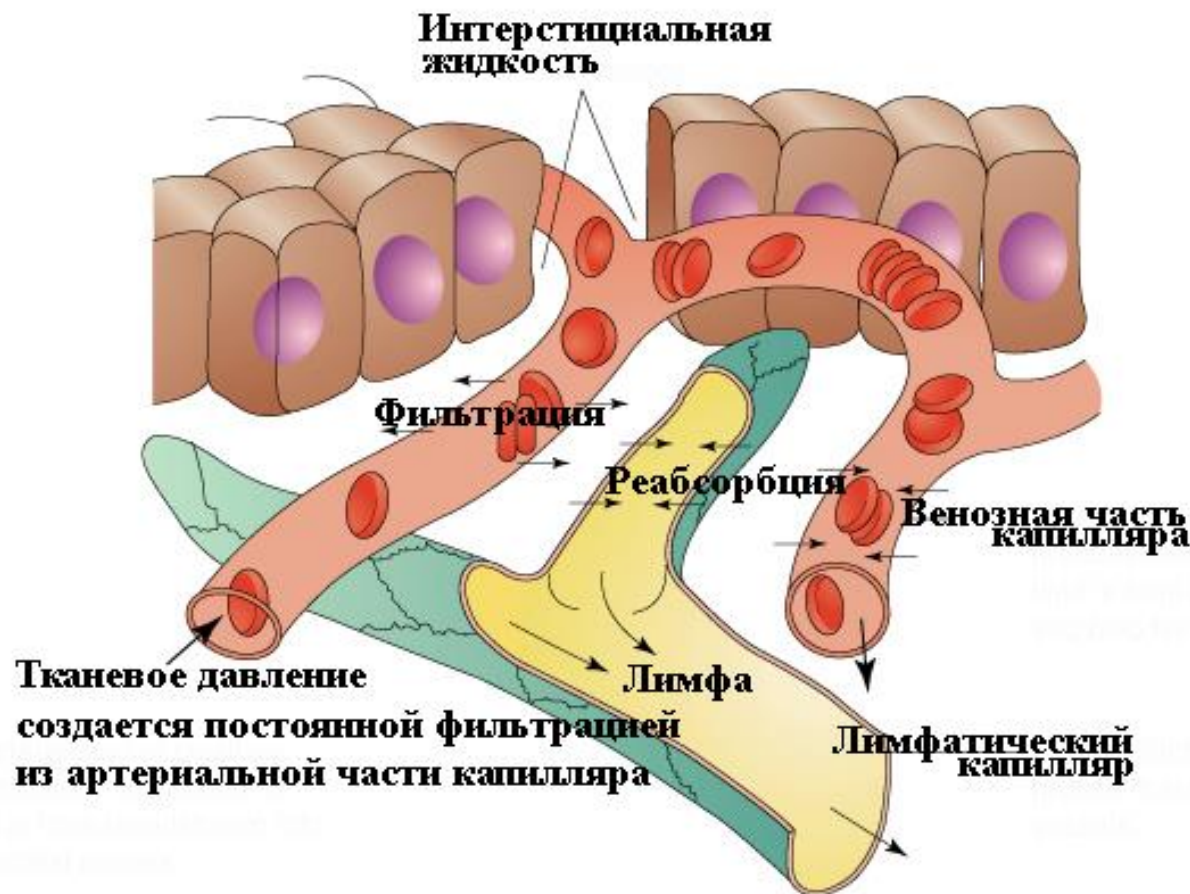
- ▶ **Откидные захлопывающиеся клапаны** (эндотелиальные клетки стенки лимфатического капилляра)
- ▶ **Лимфангионы**
- ▶ **Лимфатические узлы**

Все три насоса - активные помпы



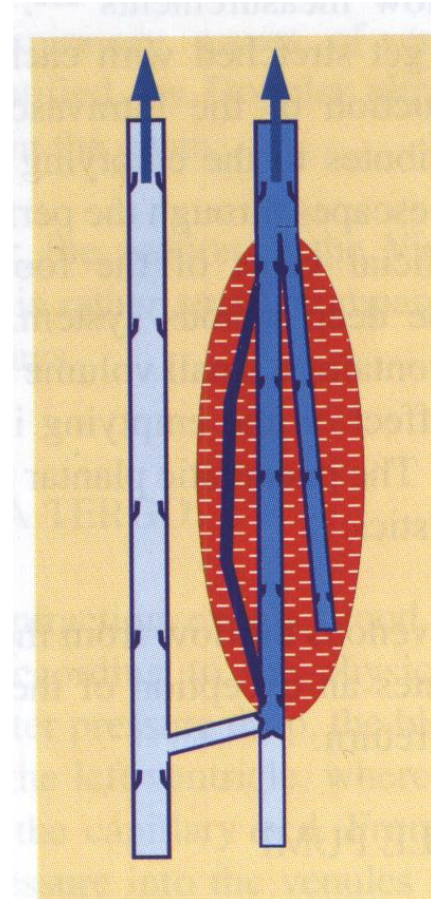
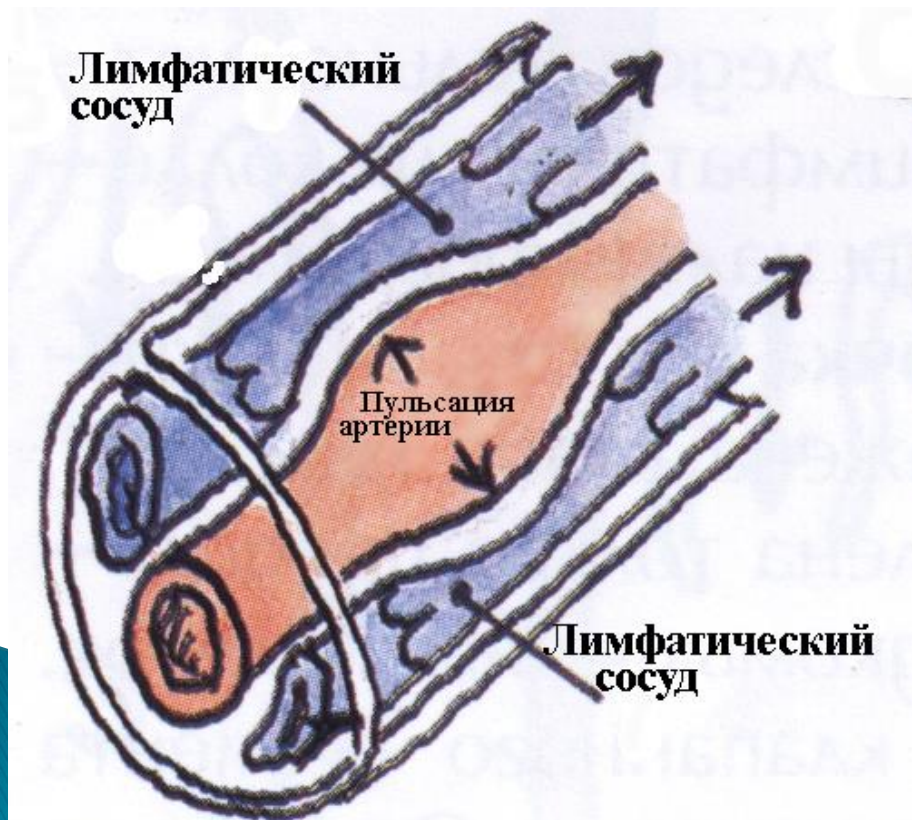
Дополнительными факторами, обеспечивающими движение лимфы по сосудам, являются:

- ▶ Тканевое давление интерстициальной жидкости (постоянная фильтрация плазмы)



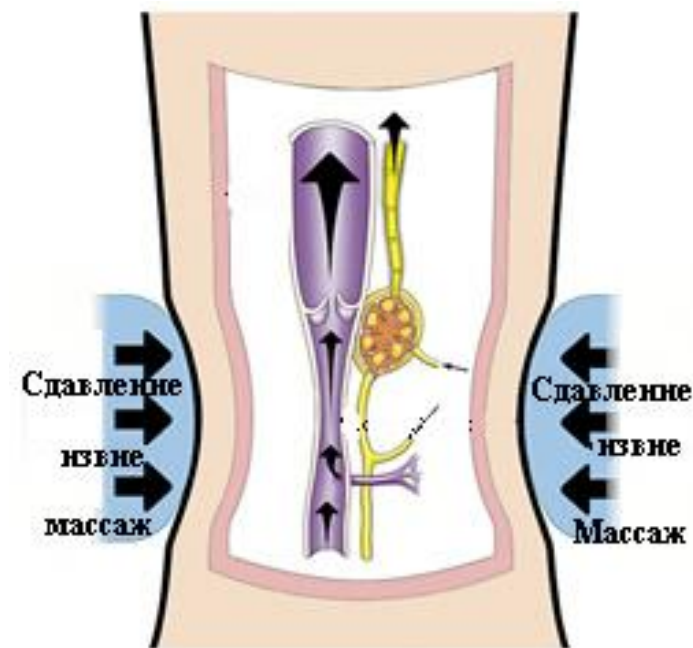
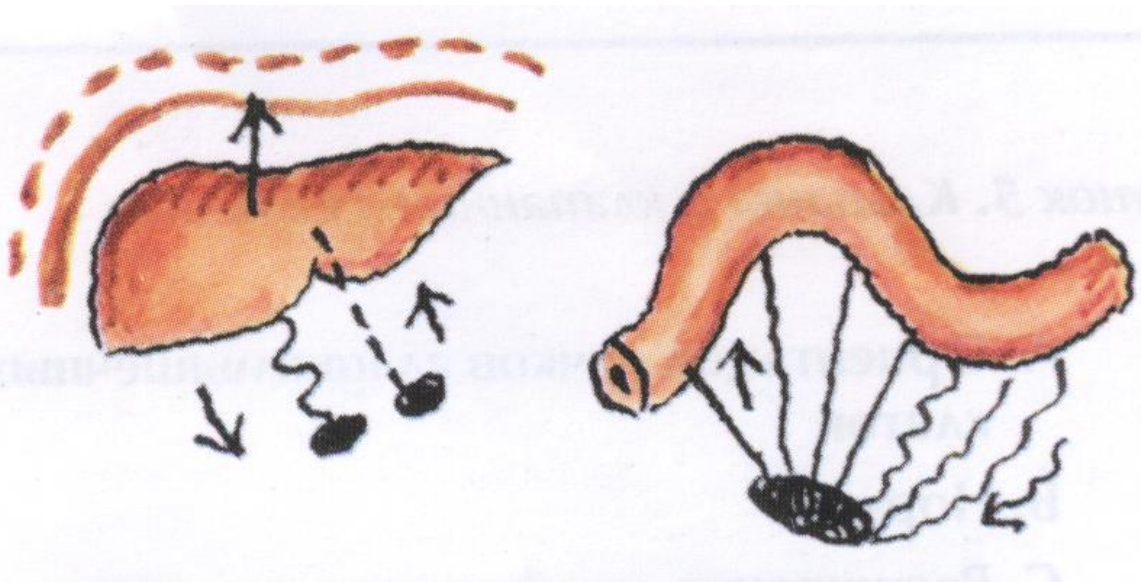
Дополнительными факторами, обеспечивающими движение лимфы по сосудам, являются:

- **Массажное действие тканей** (сокращение скелетных и гладких мышц, окружающих лимфатические сосуды, пульсация артерий. Наличие клапанов - своеобразный мышечный насос).

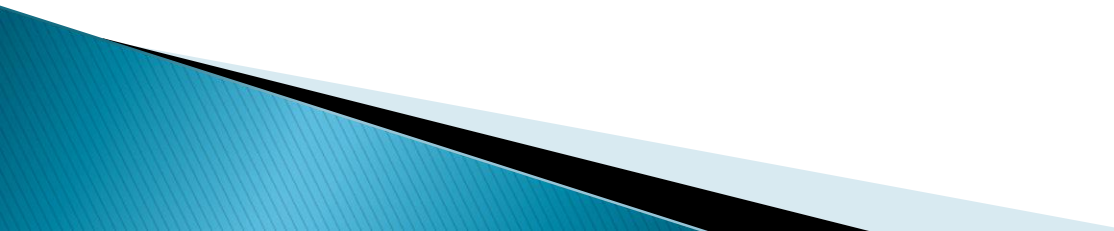


Дополнительными факторами, обеспечивающими движение лимфы по сосудам, являются:

- ▶ Любые пассивные движения конечности или туловища.
- ▶ Смещение внутренних органов, перистальтика.
- ▶ Сдавления сосудов извне – массаж.

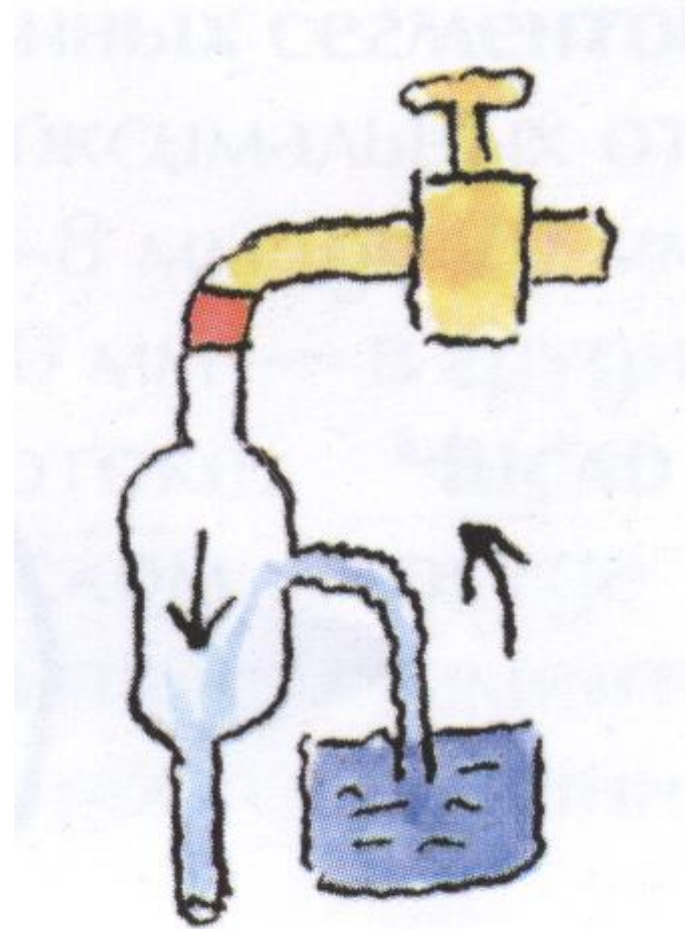


Дополнительными факторами, обеспечивающими движение лимфы по сосудам, являются:

- **Дыхательный насос** (отрицательное давление в грудной полости. При вдохе 6-8 см, выдохе - 3-5 см водного столба).
 - **Лимфатический насос.** Ритмические сокращения (10-15 в мин) лимфососудов (наличие клапанов).
- 

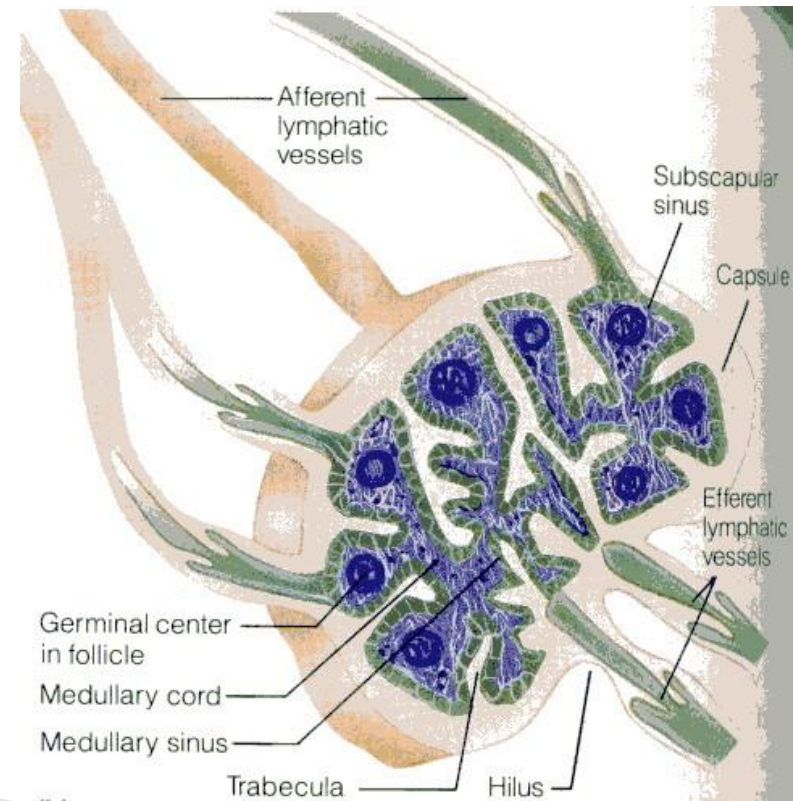
Дополнительными факторами, обеспечивающими движение лимфы по сосудам, являются:

Движение диафрагмы. При вдохе осуществляется давление диафрагмы на внутренние органы брюшной полости, выжимающее лимфу из их сосудов. Оказывают присасывающее действие на ток лимфы в грудном протоке (подобно вакуумному насосу).



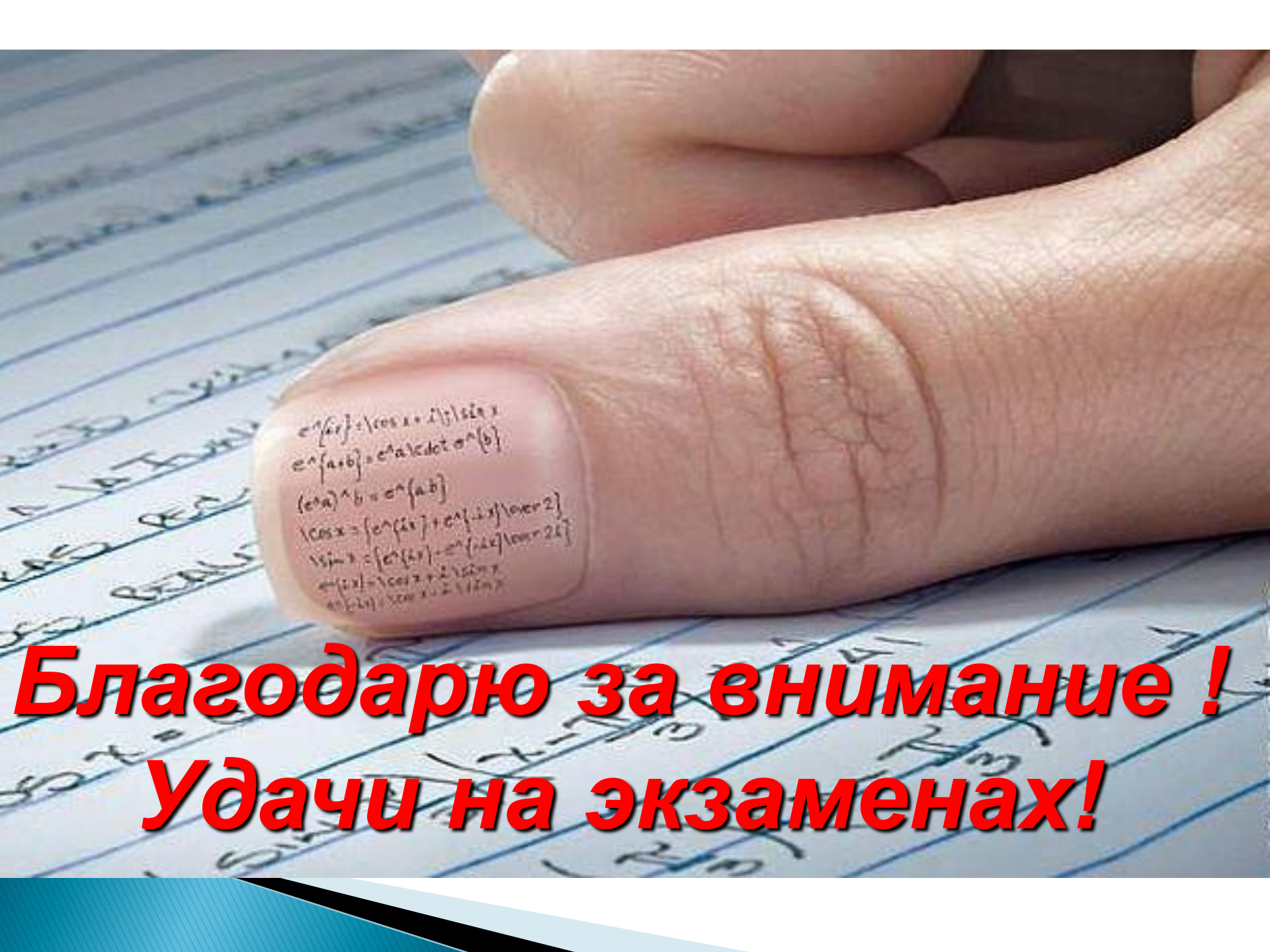
Значение лимфоузлов:

- гемопоэтическая,
- иммунологическая,
- защитно-фильтрационная,
- резервуарная,
- обменная,
- пропульсивная.



Примеры патологии





$$e^{i(x)} = (\cos x + i \sin x)$$
$$e^{i(a+b)} = e^{ia} \cdot e^{ib}$$
$$(e^{ia})^b = e^{i(ab)}$$
$$\cos x = \frac{e^{ix} + e^{-ix}}{2}$$
$$\sin x = \frac{e^{ix} - e^{-ix}}{2i}$$
$$e^{i(x)} = \cos x + i \sin x$$
$$e^{-i(x)} = \cos x - i \sin x$$

Благодарю за внимание !
Удачи на экзаменах!