

*Лекция на тему:
«Физиология сосудов. Общие
законы гемодинамики.
Функциональная система АД»*

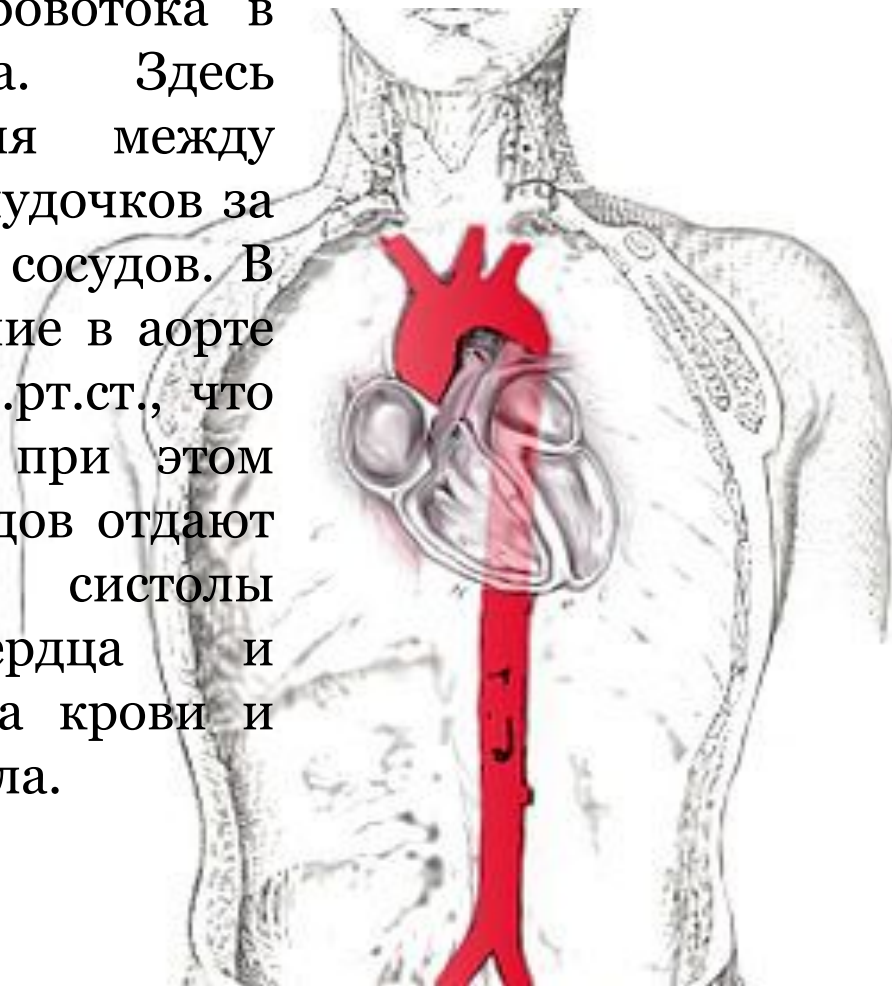
Классификация сосудов

С позиции функциональной значимости для системы кровообращения сосуды подразделяют на несколько групп:

- 1. Упруго-растяжимые (амортизирующие)** – аорта с крупными артериями в большом круге кровообращения, легочная артерия с ее ветвями – в малом круге, т.е. сосуды эластического типа.
- 2. Сосуды сопротивления (резистивные сосуды)** – артериолы, в том числе и прекапиллярные сфинктеры, т.е. сосуды с хорошо выраженным мышечным слоем.
- 3. Обменные (капилляры)** – сосуды, обеспечивающие обмен газами и другими веществами между кровью и тканевой жидкостью.
- 4. Шунтирующие (артериовенозные анастомозы)** – сосуды, обеспечивающие «сброс» крови из артериальной в венозную систему сосудов, минуя капилляры.
- 5. Емкостные** – вены, обладающие высокой растяжимостью. Благодаря этому в венах содержится 75-80% крови

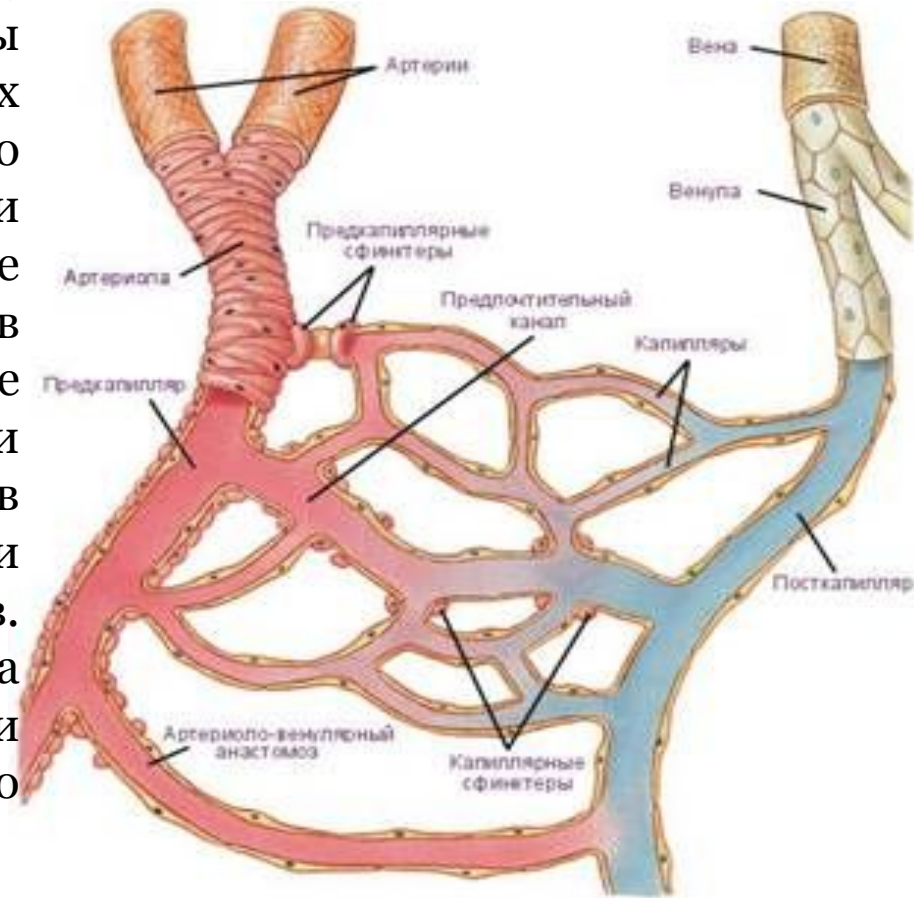
Упруго-растяжимые (амортизирующие) сосуды

Специфическая функция этих сосудов – поддержание движущей силы кровотока в диастолу желудочков сердца. Здесь сглаживается перепад давления между систолой, диастолой и покоем желудочков за счет эластических свойств стенки сосудов. В результате в период покоя давление в аорте поддерживается на уровне 80 мм.рт.ст., что стабилизирует движущую силу, при этом эластические волокна стенок сосудов отдают накопленную во время систолы потенциальную энергию сердца и обеспечивают непрерывность тока крови и давление по ходу кровеносного русла.

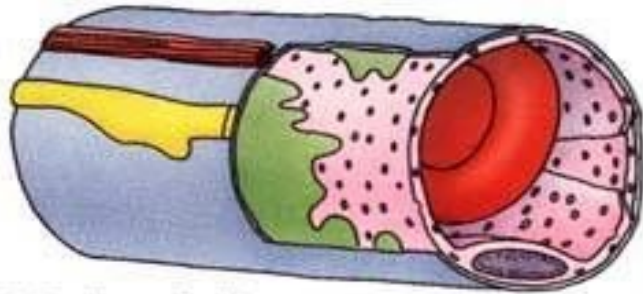


Сосуды сопротивления (резистивные сосуды)

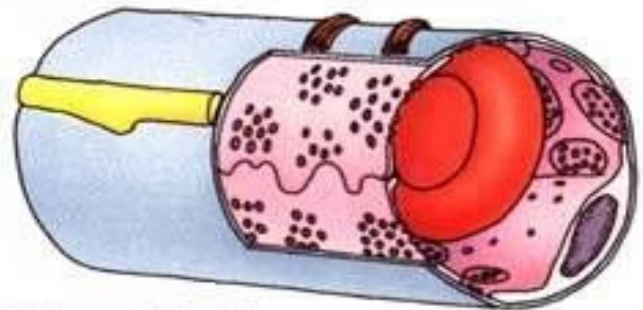
К ним относят артерии диаметром менее 100 мкм, артериолы, прекапиллярные сфинктеры, сфинктеры магистральных капилляров. На долю этих сосудов приходится около 50-60% общего сопротивления кровотоку, с чем и связано их название. Суммарное сопротивление сосудов разных регионов формирует системное диастолическое артериальное давление, изменяет его и удерживает на определенном уровне в результате общих нейрогенных и гуморальных изменений тонуса сосудов. Сосуды сопротивления микрорегиона распределяют кровоток между обменной и шунтовой цепями, определяют количество функционирующих капилляров.



Обменные сосуды - капилляры



A Continuous Capillary



B Fenestrated Capillary



C Sinusoidal (discontinuous) Capillary

В среднем диаметр многих капилляров составляет 3-5 мкм, длина – 750 мкм. В условиях покоя часть капилляров закрыта, а часть является «дежурными» капиллярами. Одним из факторов, определяющим возможности транскапиллярного обмена, является проницаемость капиллярной стенки для различных веществ, мигрирующих из крови в ткань и наоборот. Капилляры представляют собой трубку, стенка которых состоит из однослойного эпителия и базиллярной мембраны. Мышечные элементы отсутствуют.

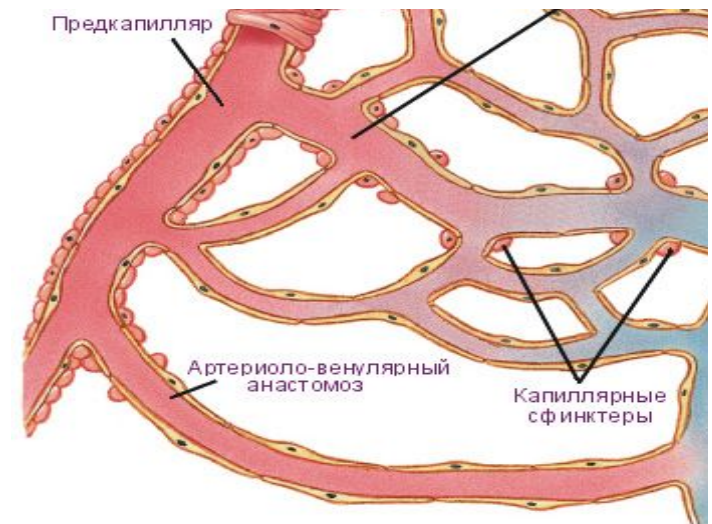
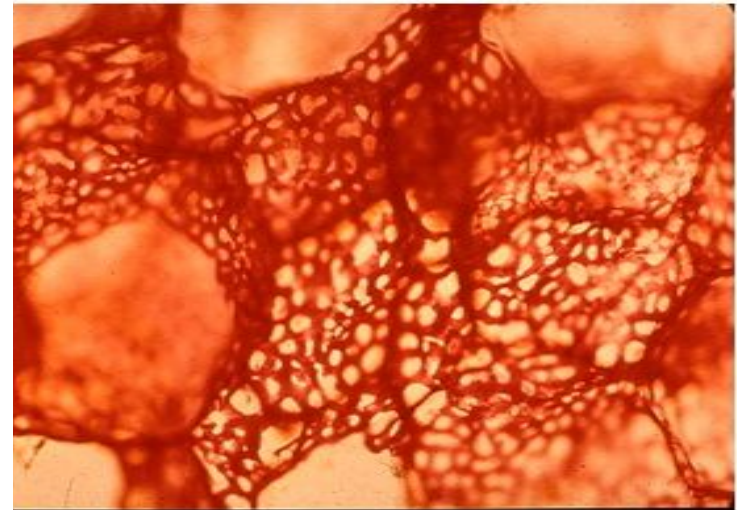
Выделяют три типа капилляров по строению стенки:

1. **Сплошные (соматические) капилляры**
2. **Окончатые (висцеральные) капилляры**
3. **Несплошные (синусоидные) капилляры**

Шунтирующие сосуды

Относят артериоловеноулярные анастомозы. Их функции – шунтирование кровотока.

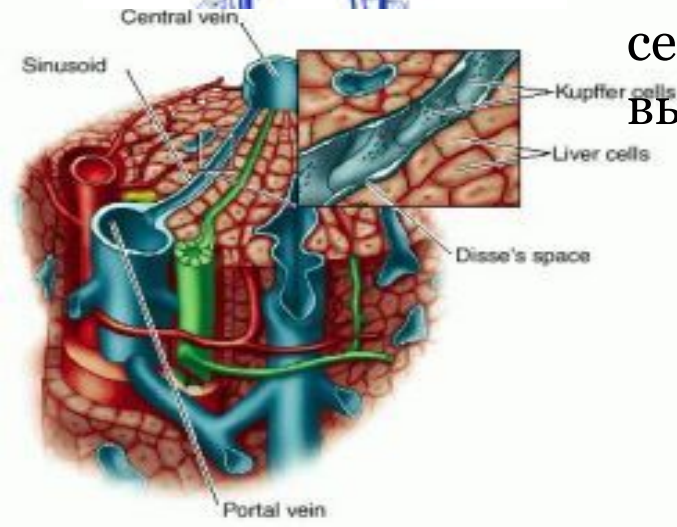
Истинные анатомические шунты есть не во всех органах. Наиболее типичны эти шунты для кожи: при необходимости уменьшить теплоотдачу кровотоков по системе капилляров прекращается и кровь (тепло) сбрасывается по шунтам из артериальной системы в венозную.



Емкостные (аккумулирующие) сосуды

Функции этих сосудов связаны со способностью изменять свою емкость, что обусловлено рядом морфологических и функциональных особенностей емкостных сосудов.

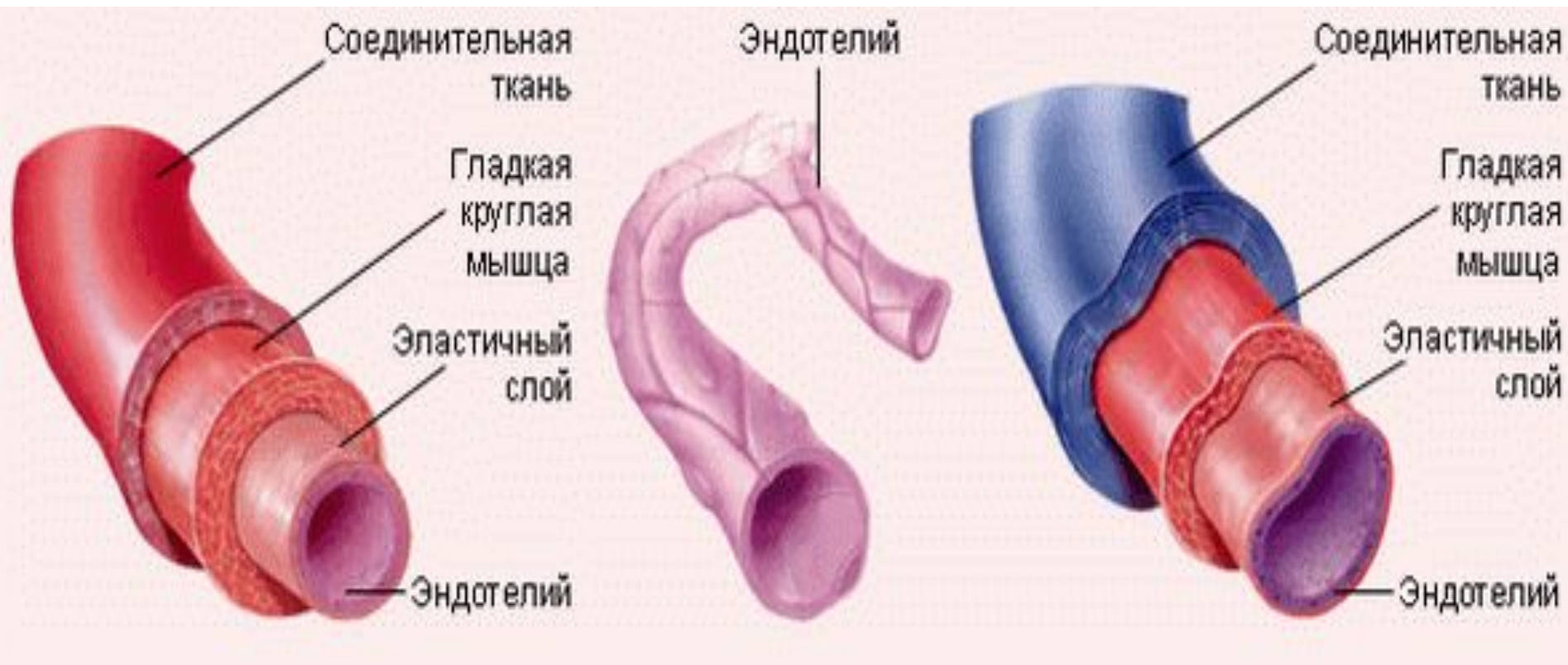
В замкнутой сосудистой системе изменение емкости одного отдела влияет на объем крови в другом, поэтому изменение емкости вен влияют на распределение крови во всей системе кровообращения, в отдельных регионах и микрорегионах. Они регулируют наполнение сердечного насоса, и следовательно, сердечный выброс.



Строение сосудистого модуля

Центральным звеном сосудистого модуля являются капилляры. Стенки капилляров состоят из трех слоев:

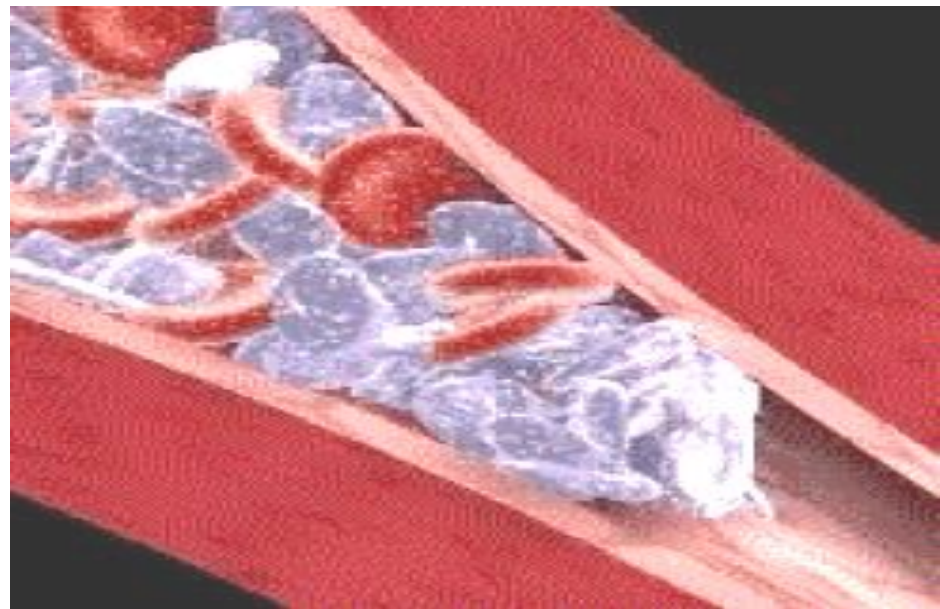
1. **Эндотелиальные клетки**
2. **Базальный слой**
3. **Адвентициальный слой**



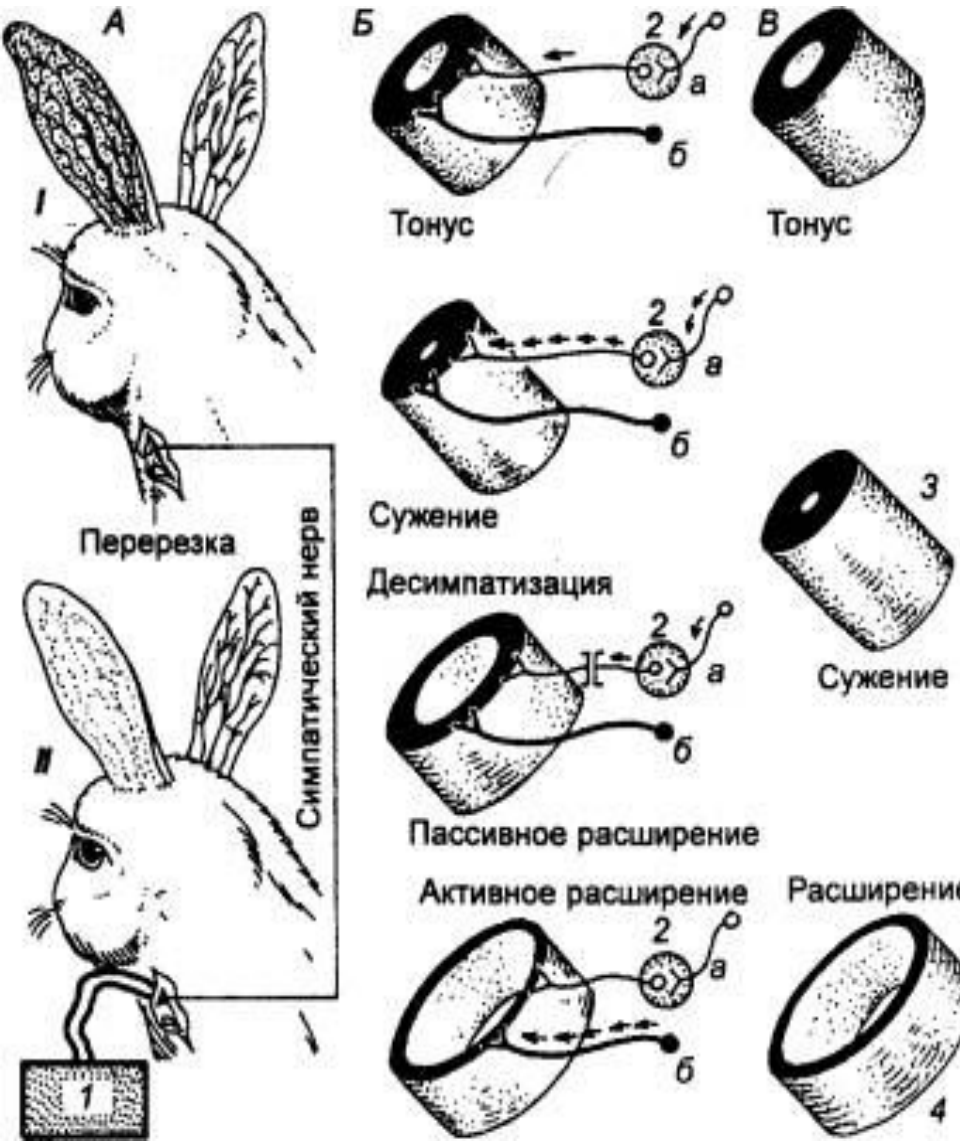
Нервная регуляция

Сужение артерий и артериол, снабженных преимущественно симпатическими нервами (**вазоконстрикция**), было впервые обнаружено А.П. Вальтером в опытах на лягушках, а затем К. Бернардом в экспериментах на ухе кролика.

Сосудорасширяющие эффекты (**вазодилатация**) впервые обнаружили при раздражение нескольких нервных веточек, относящихся к парасимпатическому отделу автономной нервной системы. При раздражении барабанной струны вызывает расширение сосудов нижнеподчелюстной и подъязычной желез языка.



Классический опыт Бернара



А — влияние симпатического нерва (опыт К. Бернара):

I — результат десимпатизации, II — результат раздражения периферического конца перерезанного симпатического нерва;

Б — нервная регуляция просвета сосуда:

а — сосудосуживающие симпатические нервы (адренергические), б — сосудорасширяющие нервы;

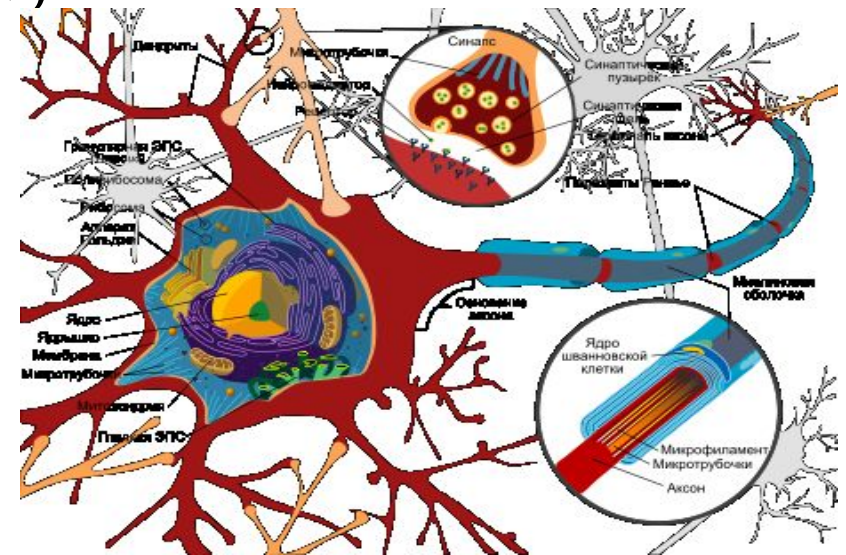
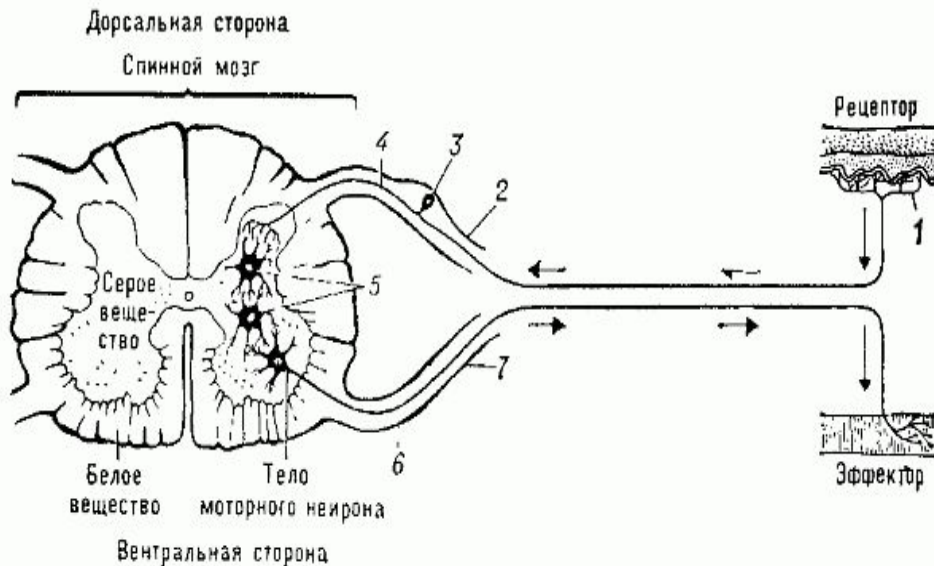
В — гуморальная регуляция просвета мелких сосудов;

1 — стимулятор, 2 — симпатический ганглий, 3 — норадреналин, ангиотензин, вазопрессин и др., 4 — CO₂, молочная кислота, гистамин, брадикинин и др.



Теории Бейлиса и Орбели

Одни и те же заднекорешковые волокна передают импульсы в обоих направлениях: одна веточка каждого волокна идет к рецептору, а другая – к кровеносному сосуду. Рецепторные нейроны, тела которых находятся в спинномозговых узлах, обладают двойкой функцией: передают афферентные импульсы в спинной мозг и эфферентные импульсы к сосудам. Передача импульсов в двух направлениях возможна потому, что афферентные волокна, как и все остальные нервные волокна обладают двусторонней проводимостью («аксон - рефлекс»)



Гуморальная регуляция сосудосуживающе вещества:

- **Адреналин** – гормон мозгового вещества надпочечников: сужает артерии кожи, органов пищеварения в низких концентрациях расширяет сосуды мозга, сердца и скелетных мышц.
- **Норадреналин** – гормон мозгового вещества надпочечников по своему действию близок к адреналину, но его действие более выражено и продолжительно.
- **Вазопрессин** – гормон, образующийся в нейронах супраоптического ядра гипоталамуса, накапливающийся и превращающийся в активную форму в задней доле гипофиза, действует на артериолы.
- **Серотонин** – вырабатывается клетками стенки кишки, клетками некоторых участков головного мозга.
- **Ангиотензин II** – образуется из ангиотензина I под влиянием ангиотензинпревращающего фермента.

Гуморальная регуляция

Сосудорасширяющие вещества:

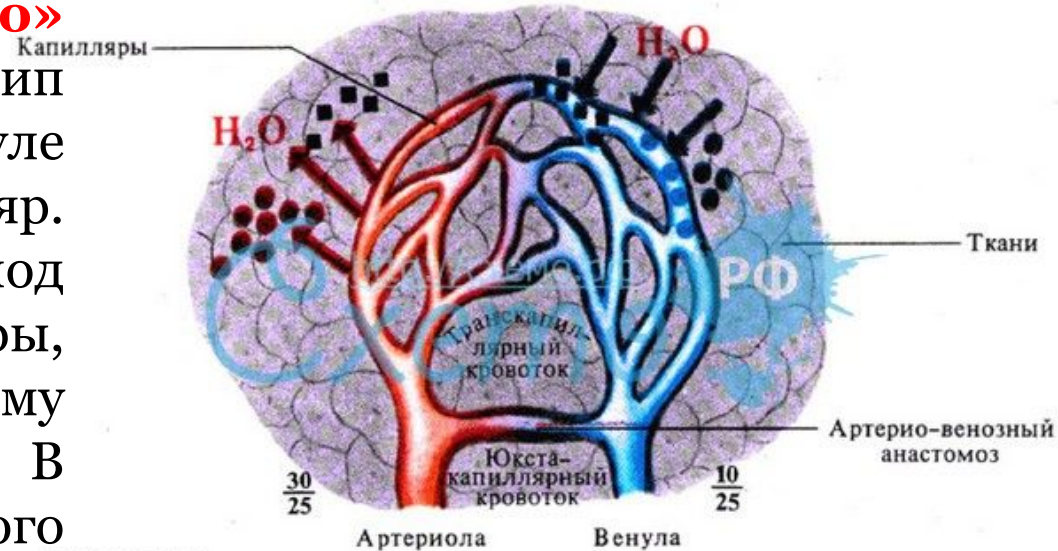
- **Гистамин** – образуется в стенке желудка, кишечника, других органов, расширяет артериолы.
- **Ацетилхолин** – медиатор парасимпатических нервов и симпатических вазодилататоров, расширяет артерии и вены.
- **Брадикинин** – выделен из экстрактов органов поджелудочной железы, легких, образуется при расщеплении одного из глобулинов плазмы крови, расширяет сосуды скелетных мышц, сердца, спинного и головного мозга, слюнных и потовых желез.
- **Простагландины** – образуются во многих органах и тканях, оказывают местное сосудорасширяющее действие.
- **Угольная кислота** - расширяет сосуды мозга.

Микроциркуляция

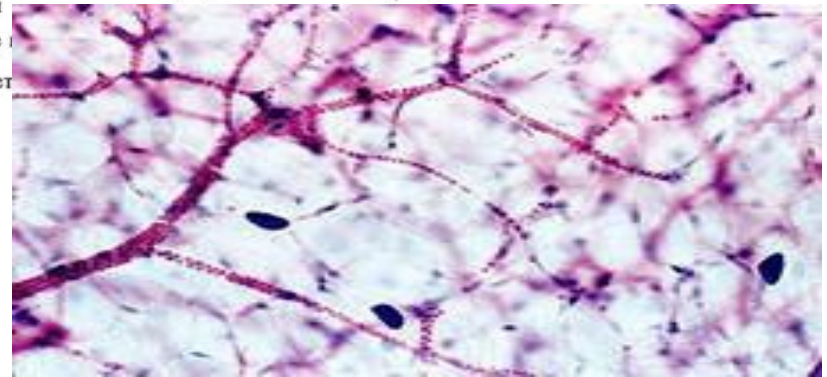
Это процессы движения крови по мельчайшим кровеносным и лимфатическим сосудам. В состав микроорганныго микроциркуляторного модуля входят: артериолы, прекапилляры, капилляры, прекапиллярные сфинктеры, венулы, анастомозы, замкнутые лимфатические капилляры и т. д.

«Микроциркуляторное русло»

– комплекс сосудов. Принцип строения: от артериолы к венуле отходит магистральный капилляр. От этого капилляра отходят под углом истинные капилляры, несущие кровь к другому магистральному капилляру. В месте ответвления истинного капилляра от магистрального располагается прекапиллярный сфинктер, который в сокращенном состоянии вызывает перемещение тока крови по истинному капилляру.

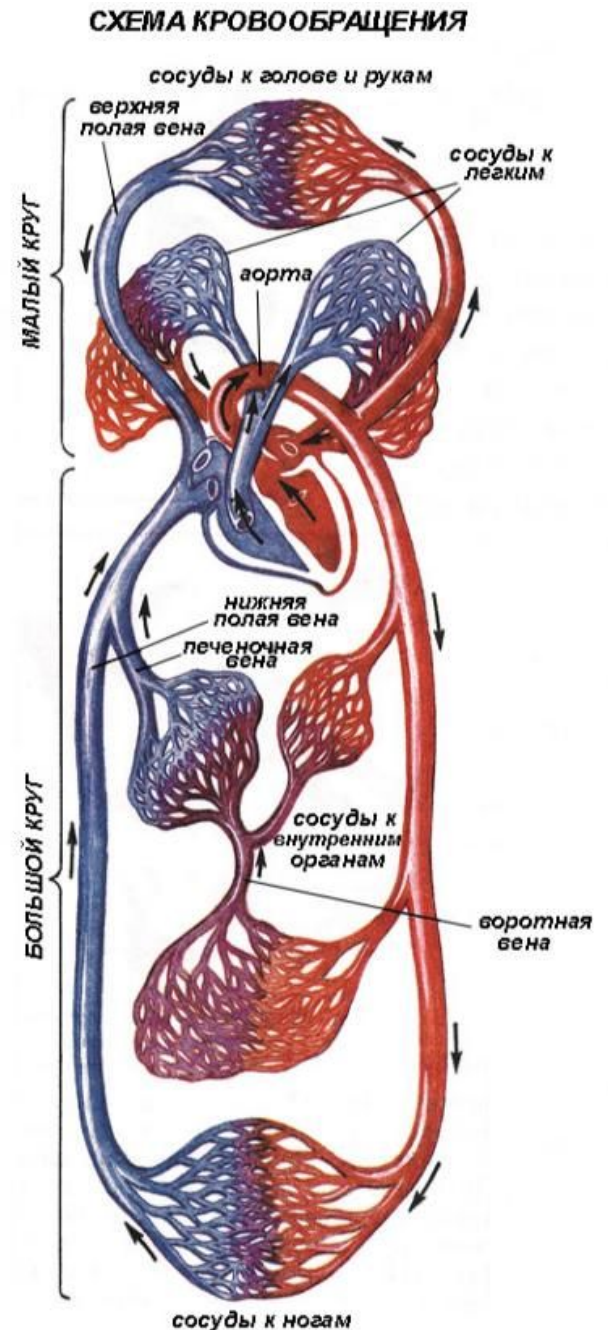


- Электролиты
- Питательные
- Продукты мет



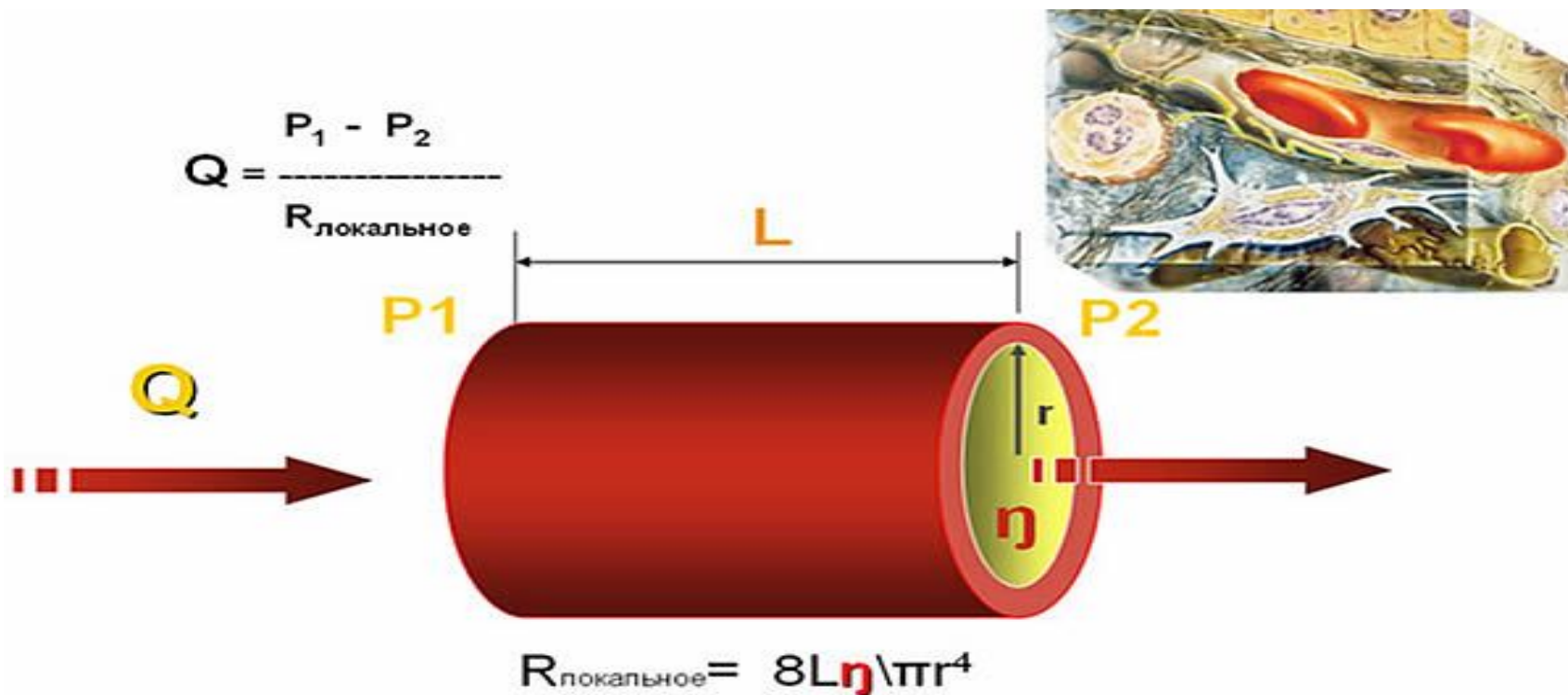
Процессы, обеспечивающие непрерывность циркуляции (круговорот) крови по системе последовательно соединенных сосудов, называют гемодинамикой.

Процессы, протекающие в параллельно подключенных к аорте и полым венам сосудистых руслах, обеспечивающие кровоснабжение органов, называют **регионарной, или органной гемодинамикой**



Объемная скорость кровотока

Это объём крови, протекающий через поперечное сечение сосуда в единицу времени (мл/мин). Самая высокая объёмная скорость кровотока в капиллярах. Для расчета величины сопротивления току крови на определенном участке сосудистой сети можно использовать формулу Пуазейля



Сопротивление току крови тем больше, чем больше ее вязкость, чем больше длина сосуда по которому течет кровь, и чем меньше радиус этого сосуда. Это отражает второе уравнение Пуазейля.

Линейная скорость кровотока

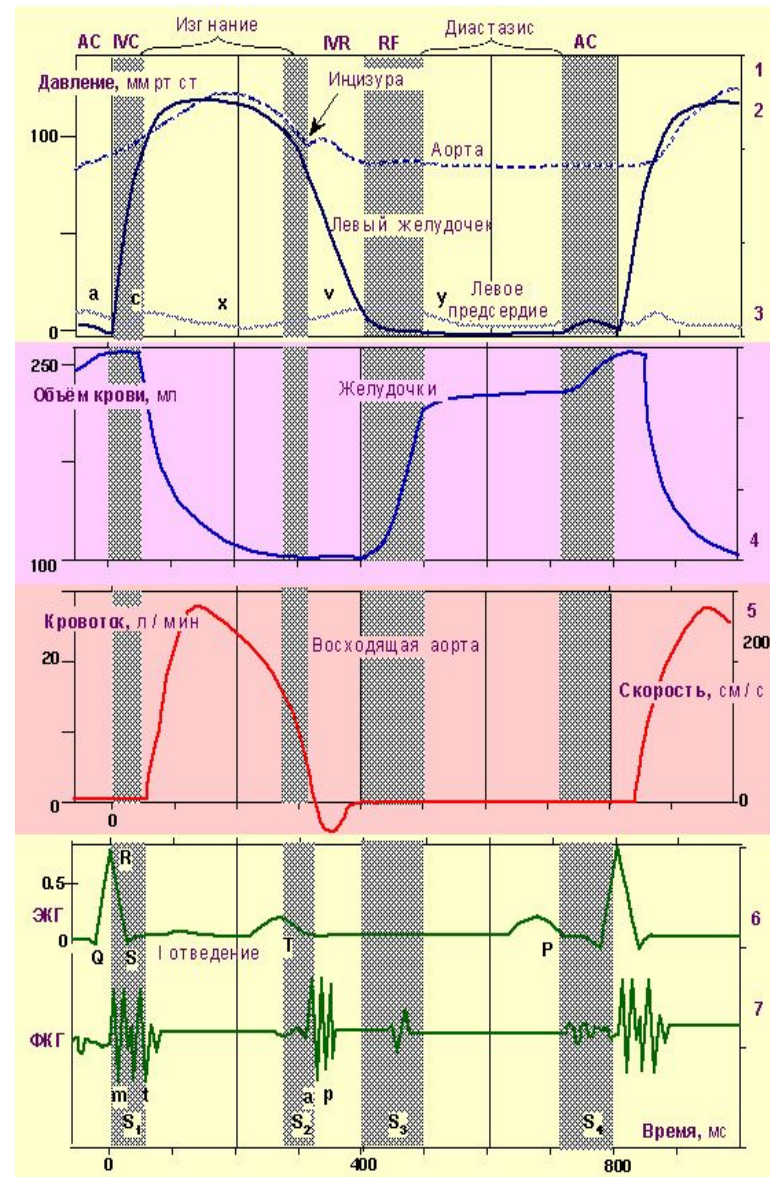
Линейная скорость кровотока это расстояние, которое частица крови проходит за единицу времени. Линейная скорость кровотока V пропорциональна площади поперечного сечения

$$V = L / t.$$

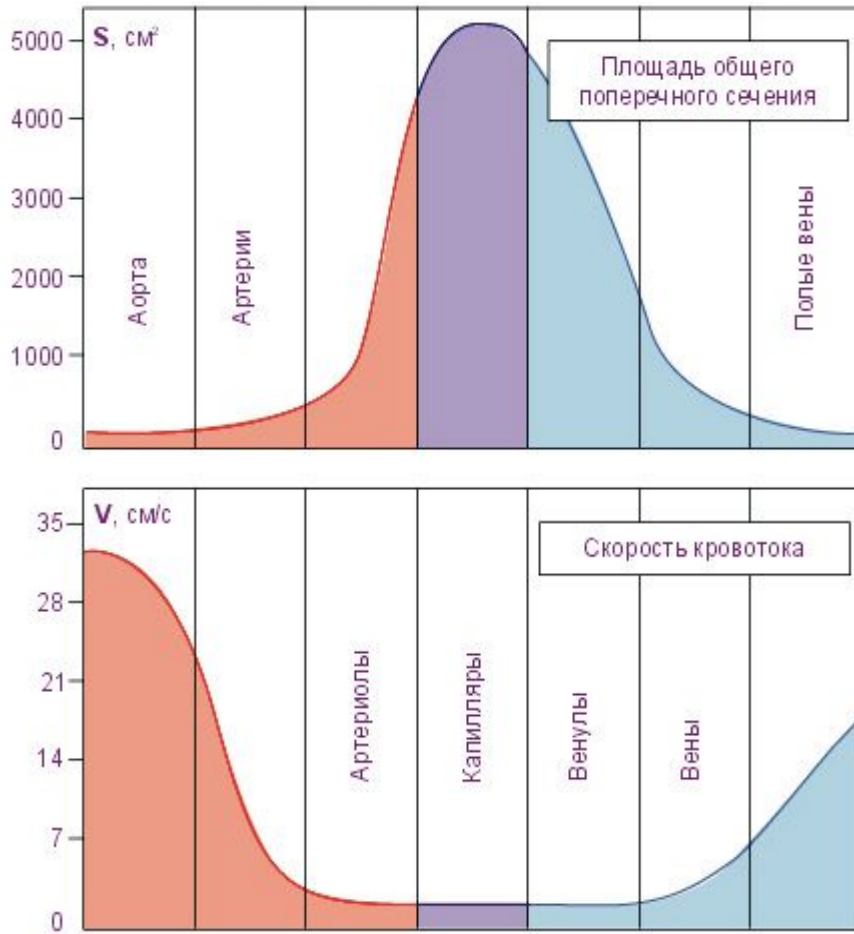
Здесь L - путь (м), t - время (с)

Объемная скорость кровотока не меняется по ходу сосудистого русла, линейная скорость зависит только от общей поперечной площади сосудов одного калибра. Чем больше площадь, тем меньше скорость. Во время выброса крови из сердца линейная скорость кровотока равна 50-60 см/с. Во время диастолы скорость падает до 0. В артериях максимальная скорость кровотока равняется 25-40 см/с. В артериолах толчкообразное течение сменяется непрерывным. Самая низкая скорость в капиллярах – 0,5 мм/с. В венах линейная скорость кровотока возрастает до 5-10 см/с

Линейная скорость максимальна в центре сосуда и минимальна у его стенок в связи с наличием сил трения между кровью и стенкой сосуда.



Линейная скорость кровотока в различных сосудах системы кровообращения



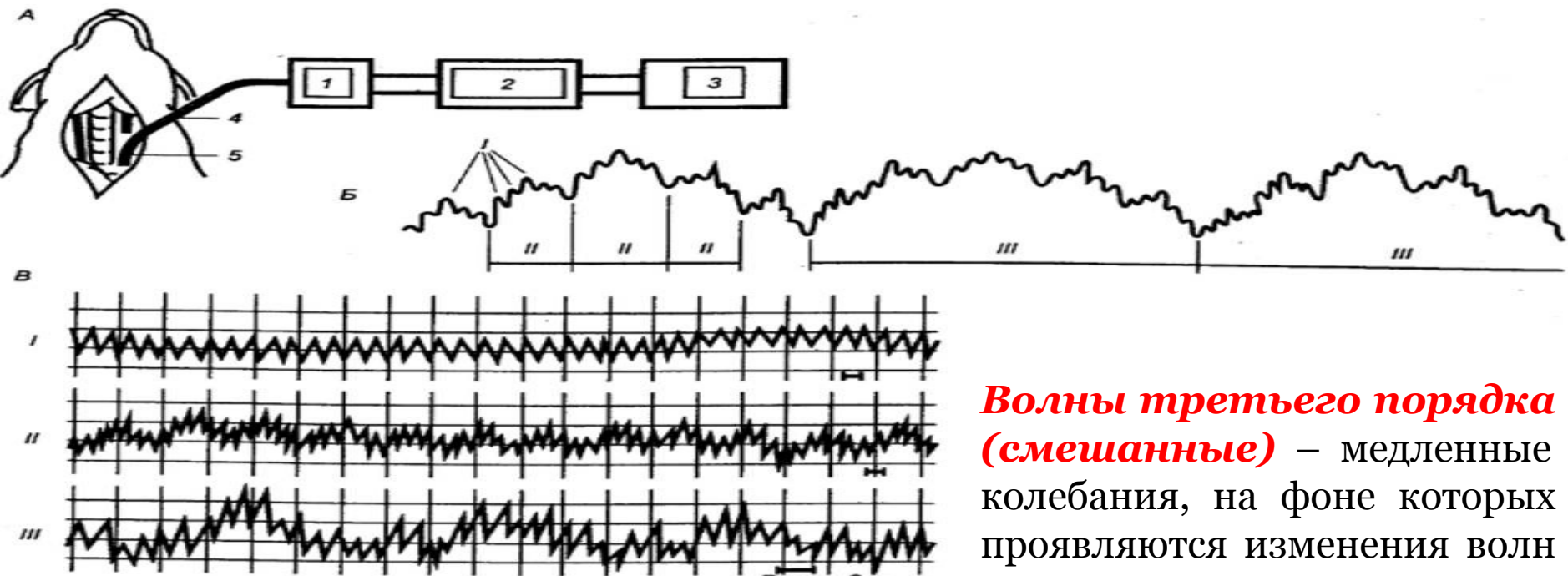
Линейная скорость кровотока в сосудах разного типа различна и зависит от объёмной скорости кровотока (ОСК) и площади поперечного сечения сосудов (ППСС). ОСК для сосудистой системы большого круга кровообращения является минутным объёмом крови (МОК), нагнетаемым сердцем в аорту. Наименьшая площадь см^2 поперечного сечения в аорте (3-4), а самая большая суммарная площадь попер см^2 го сечения в капиллярах (3000).

Функциональная система артериального давления

ФС, поддерживающая АД – это динамическая, саморегулирующаяся организация, где все элементы которой взаимосвязаны, взаимообусловлены и направлены на достижение полезного приспособительного результата: систолическое давление в пределах 130 мм. рт.ст, а диастолическое в пределах 80мм.рт.ст.

Структура ФС, поддерживающей АД

- 1) **Полезный приспособительный результат** (систолическое давление в пределах 130 мм.рт. ст, а диастолическое -80мм.рт. ст.);
- 2) **Рецепторы** (барорецепторы);
- 3) **Обратная афферентация** (нервный и гуморальный путь);
- 4) **Нервный центр** (сосудодвигательный, гипоталамус, кора больших полушарий);
- 5) **Исполнительные механизмы** (поведенческая, вегетативная и гуморальная; вегетативная и гуморальная регуляция направлены на изменение работы сердца, тонуса сосудов, депонирование крови, регионарное перераспределение, кровеобразование и кроверазрушение).



Волны первого порядка (пульсовые) – периодические увеличения и уменьшения артериального давления, т. е. связанные с деятельностью сердца. Давление крови в аорте повышается с 80 до 120 мм.рт.ст. при выбросе крови из левого желудочка в фазу изгнания.

Волна второго порядка (дыхательные) – связанные с дыхательными движениями грудной клетки. Они имеют большую частоту и длительность, чем волны первого порядка. Происхождение их связано с изменением внутри грудного давления.

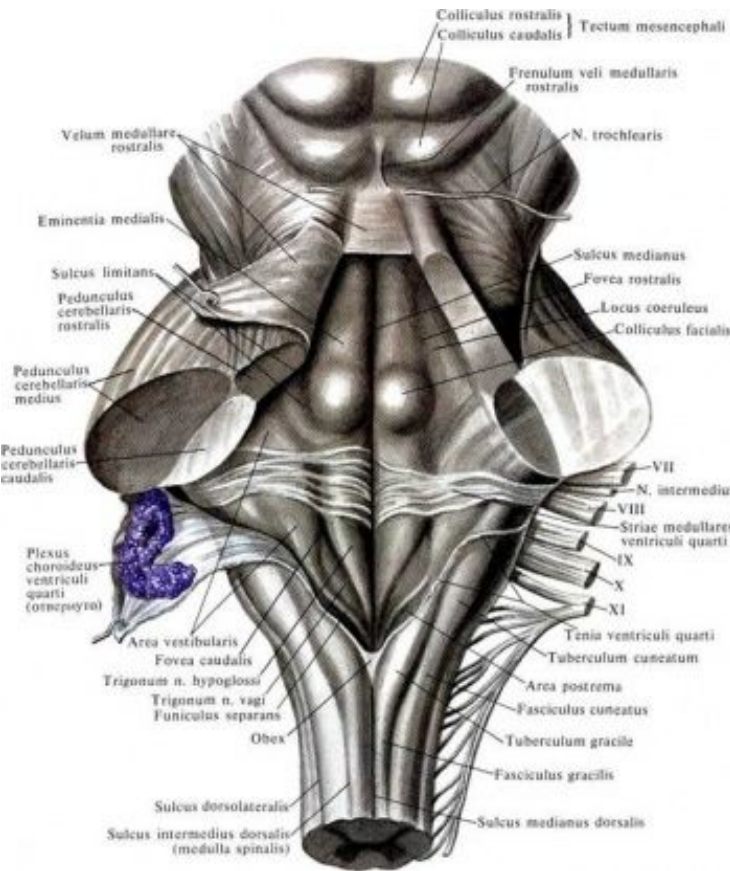
Волны третьего порядка (смешанные) – медленные колебания, на фоне которых проявляются изменения волн первого и второго порядка, связанные с изменением тонуса дыхательного и сердечно-сосудистого центров (при недостаточности кислорода, кровопотере, интоксикации).

Сосудодвигательный центр

Ф. В. Овсянников установил, что нервный центр, обеспечивающий определенную степень сужения артериального русла – сосудодвигательный центр – находится в продолговатом мозге. Сосудодвигательный центр продолговатого мозга располагается на дне IV желудочка и состоит из двух отделов – прессорного и депрессорного.

Раздражение прессорного отдела сосудодвигательного центра вызывает сужение артерий и подъем АД, а раздражение второго – расширение сосудов и падение АД.

Считают, что депрессорный отдел сосудодвигательного центра вызывает расширение сосудов, понижая тонус прессорного отдела и снижая, таким образом, эффект сосудосуживающих нервов. Влияния, идущие от сосудосуживающегося центра продолговатого мозга, приходят к нервным центрам симпатической части ВНС, расположенным в боковых рогах грудных сегментов спинного мозга, регулирующих тонус сосудов отдельных участков тела.



Кроме сосудодвигательных центров продолговатого и спинного мозга, на состояние сосудов оказывают влияние нервные центры промежуточного мозга и коры больших полушарий.

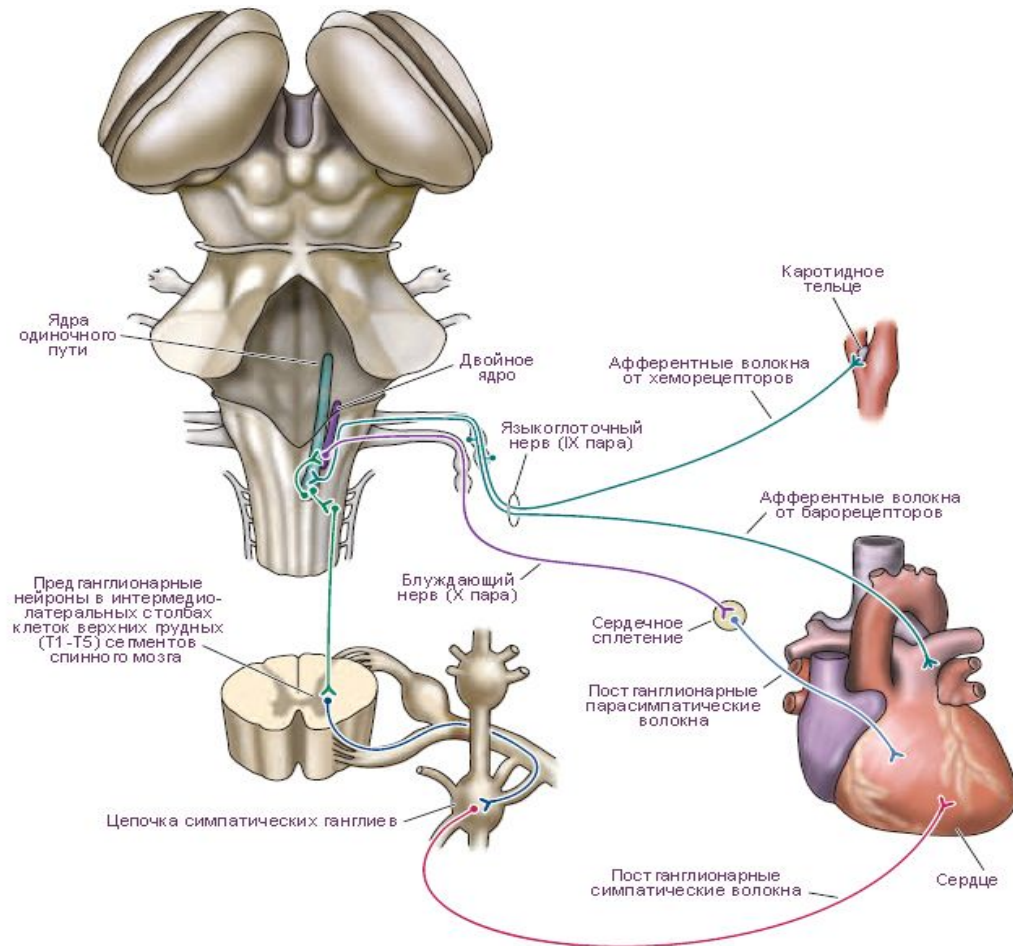
Механизмы быстрого реагирования

Это регуляция АД с помощью изменения работы сердца и изменения тонуса сосудов (срабатывает в течении нескольких секунд).

При повышении АД тормозится работа сердца, снижается просвет сосудов и они расширяются, в результате АД снижается до оптимальных величин.

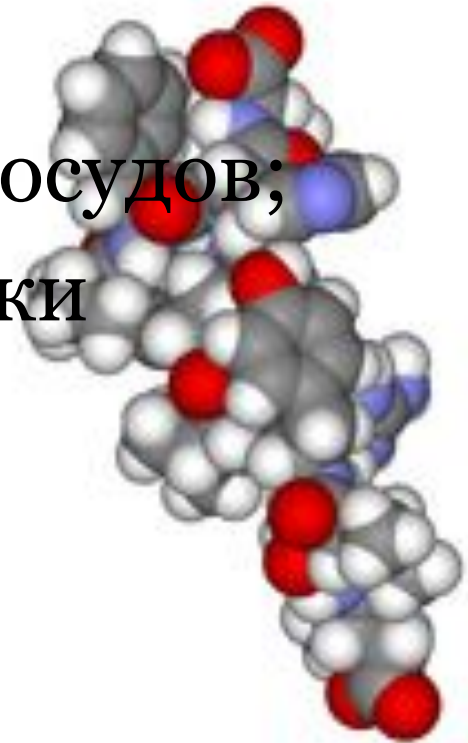
При понижении АД усиливается работа сердца, суживаются сосуды, в результате давление стабилизируется.

При повышении АД снижается тонус емкостных сосудов, что ведет к задержке крови в венах, снижению притока крови к сердцу и снижению выбросу крови сердцем. При понижении АД - противоположные эффекты.

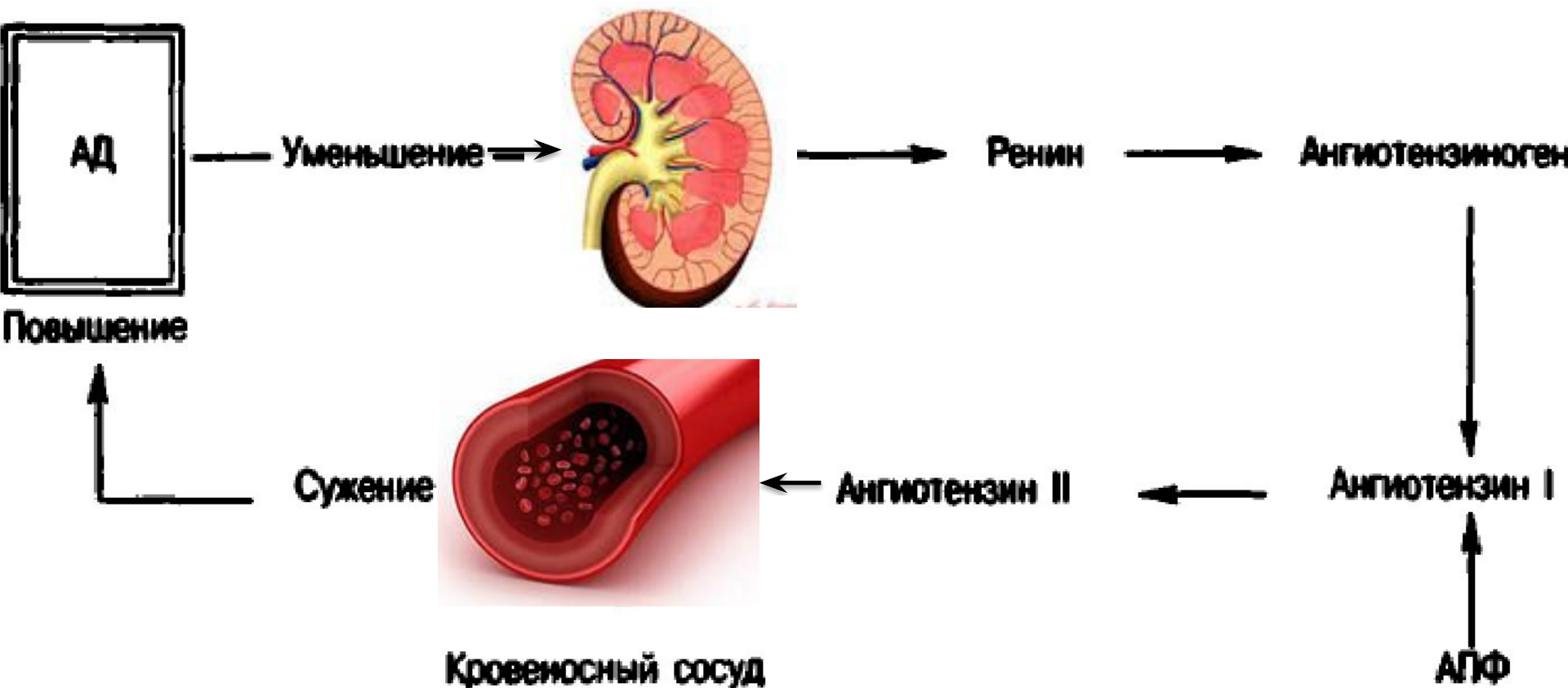


Механизмы небыстрого реагирования – средние по скорости развития реакции (минуты)

- 1) Изменение скорости кровотока транскапиллярного перехода жидкости;
- 2) Увеличение или уменьшение объема депонированной крови;
- 3) Изменение миогенного тонуса сосудов;
- 4) Изменение количества выработки ангиотензина.



Регуляция АД посредством изменения тонуса сосудов с помощью ренин-ангиотензиновой системы (механизм небыстрого реагирования – около 20 мин)



Механизмы медленного реагирования – это регуляция системного АД с помощью изменения количества выводимой из организма воды

При увеличении количества воды в организме АД возрастает, а при уменьшении – АД снижается.

1) Фильтрационное давление в почечных клубочках определяет количество первичной мочи. При повышении АД растет и фильтрационное давление, что ведет к возрастанию объема фильтрата в почечных клубочках и наоборот;

2) Гормональная регуляция

- **АДГ**- участвует посредством изменения количества выводимой из организма воды в случае значительного его падения. При снижении кровяного давления выброс АДГ возрастает, выделение жидкости уменьшается и это способствует повышению АД.
- **Альдостерон** – участвует за счет изменения объема диуреза и за счет повышения тонуса симпатической нервной системы.
- **Натрийуретические гормоны** (антагонисты альдостерона в отношении Na^+) – способствуют выведению Na^+ .

A close-up photograph of a person in a white medical coat, likely a doctor or nurse, wearing blue nitrile gloves. The person is holding a bright red, plush heart in their hands. A stethoscope is visible around the person's neck. The background is a blurred clinical setting.

**Спасибо за
внимание!**