



Лекция Физиология ВЫДЕЛЕНИЯ

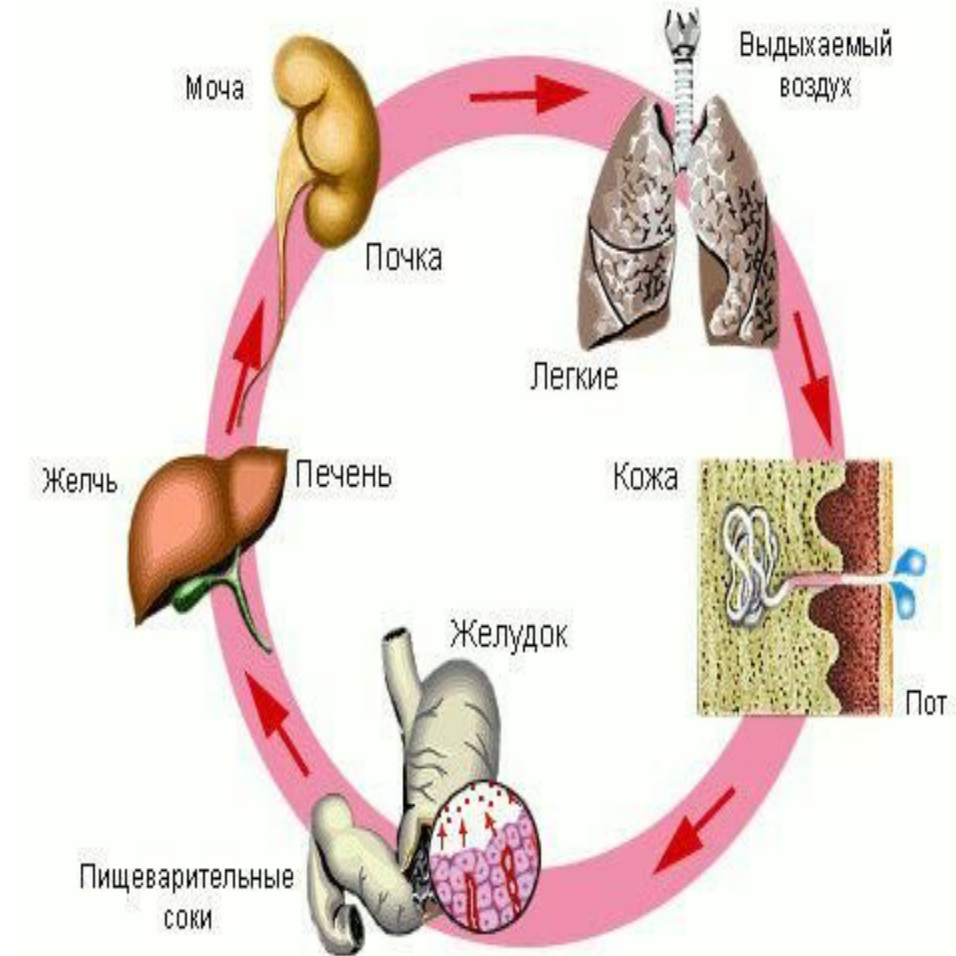
ЦЕЛЬ ЛЕКЦИИ: познакомиться с физиологическими особенностями выделительной системы

ПЛАН ЛЕКЦИИ

- Органы выделения, их участие в гомеостазе
- Почки, строение. Нефрон, как структурно-функциональная единица почки. Виды нефронов, их функция, кровоснабжение
- Механизм образования первичной мочи, ее состав и количество. ЭФД.СКФ, .
- Канальцевая реабсорбция. Виды транспорта. Поворотно-противоточная система.
- Канальцевая секреция. Состав, свойства, количество конечной мочи.
- Регуляция почек. ЮГА.
- Процессы мочевыделения и мочеиспускания, регуляция их.

Выделение-это процесс освобождения организма от конечных и промежуточных продуктов метаболизма,

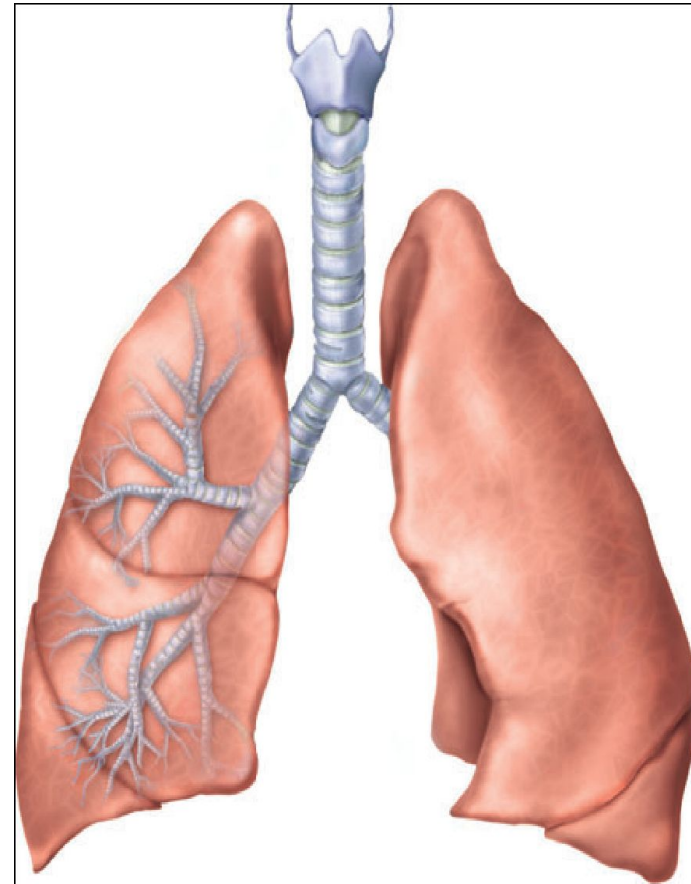
- с целью обеспечения гомеостаза организма.



Органы, участвующие в выделении ₃

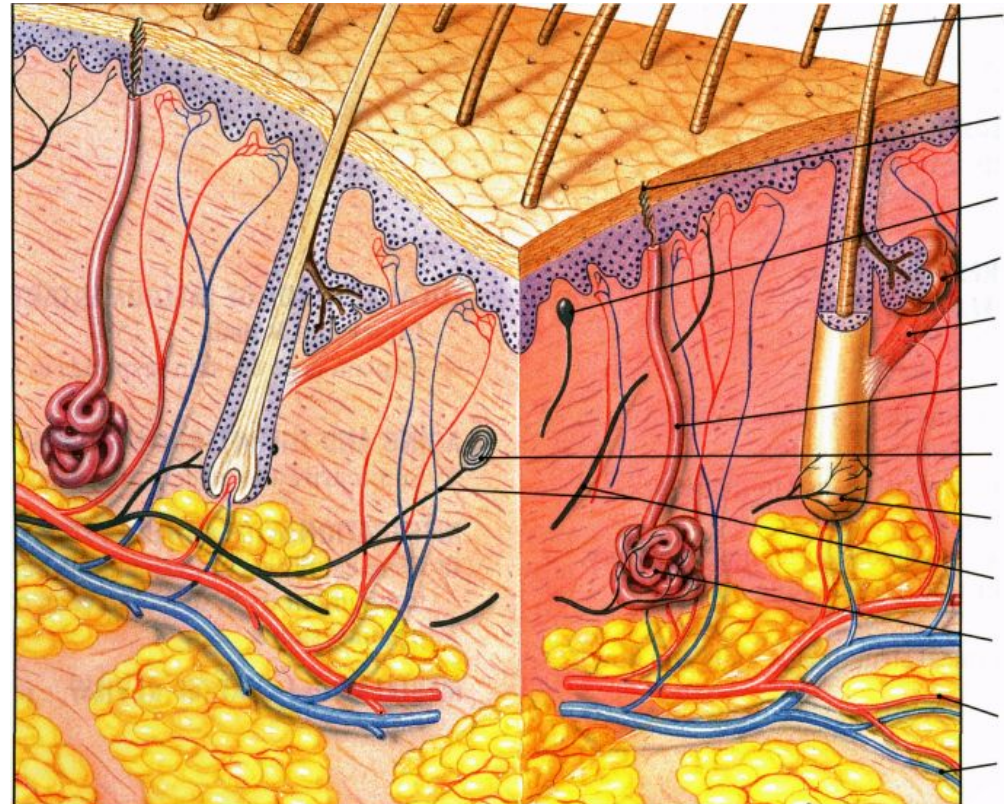
Выделительная функция системы дыхания

- С выдыхаемым воздухом из организма выводятся: CO_2 , аммиак, ацетон, мочеви́на и др.
- Испаряется 400 мл воды в сутки



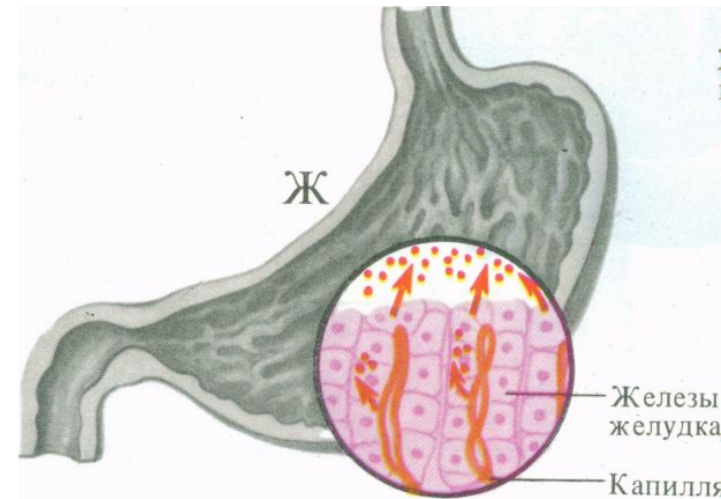
Выделительная функция кожи

- В составе пота выделяется 500 мл воды в сутки, мочевины, мочевая кислота, креатинин, электролиты
- Сальные железы за сутки выделяют 20 г секрета, который на 2/3 состоит из воды, 1/3 холестерин, продукты обмена половых гормонов, кортикостероидов, электролиты



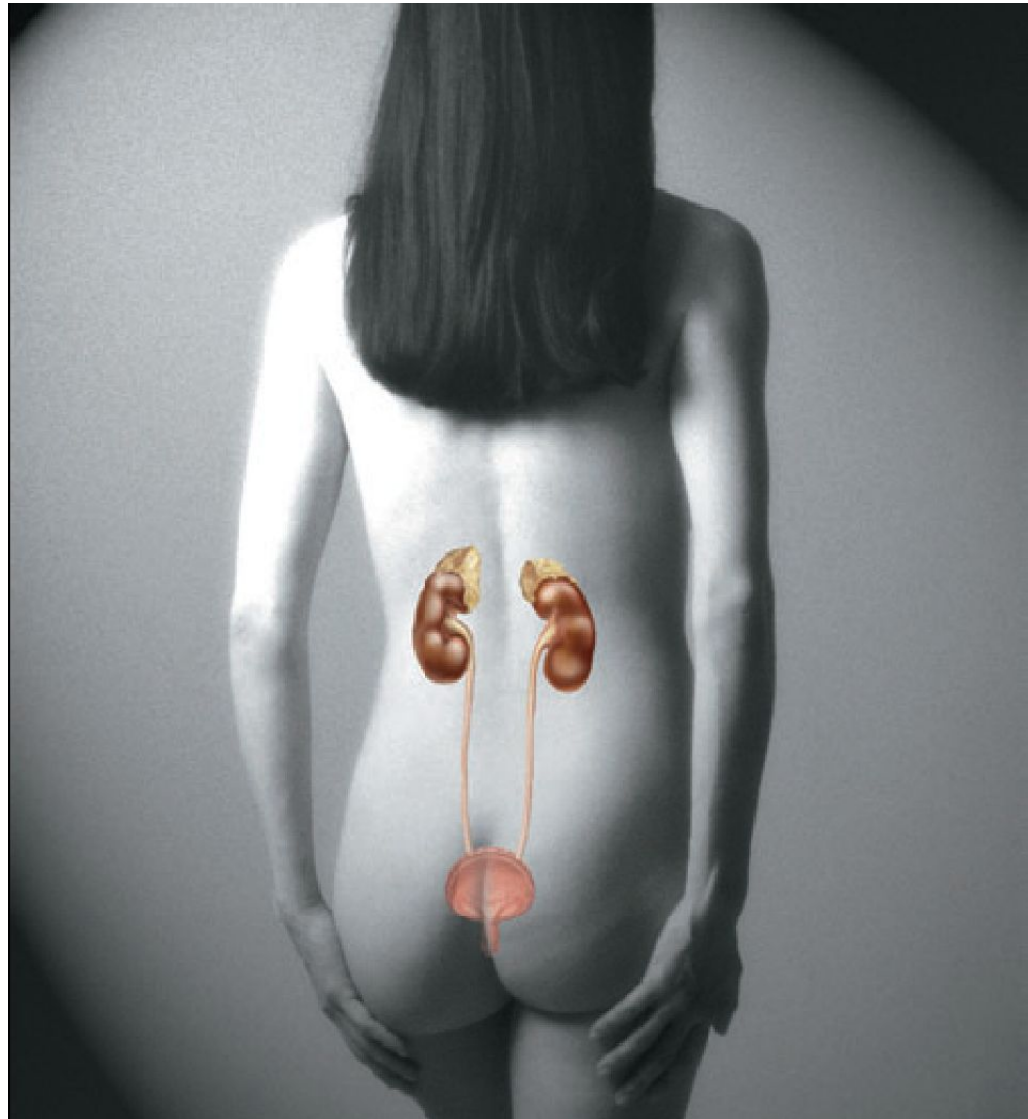
Выделительная функция пищеварительной системы

- Слюнные железы: выделение солей тяжелых металлов, лекарств
- Желудок: мочевины, мочевая кислота, лек. вещ-ва, ядовитые (ртуть, йод, хинин)
- Печень: билирубин, холестерин, желчные кислоты, ядохимикаты
- Кишечник: вода 150 мл, продукты распада пищевых веществ соли тяж. металлов



Главным органом выделения являются почки

- – парный орган,
массой 120 г.
- расположены
симметрично по
обе стороны
позвоночного
столба

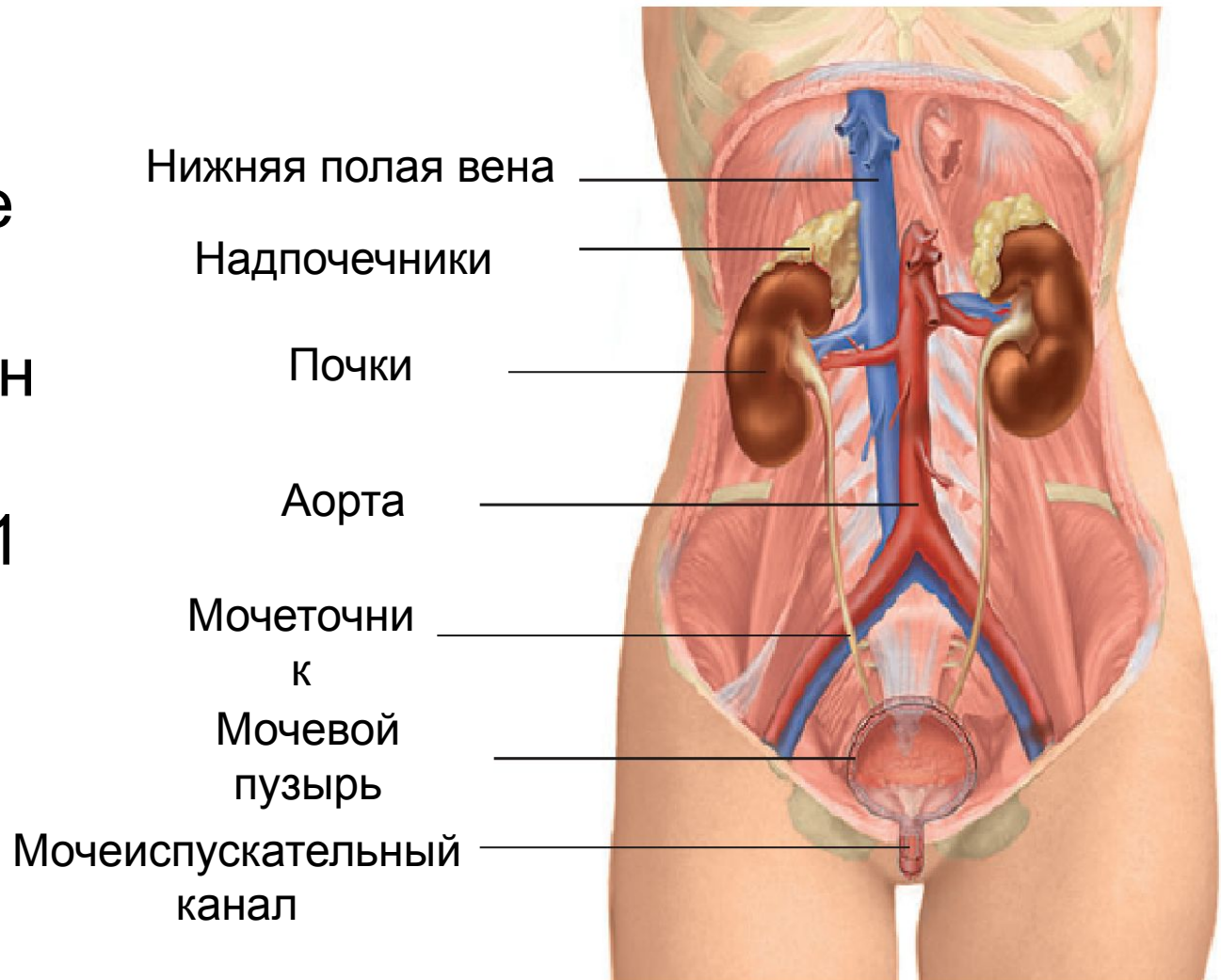


Функции почек

1. Выделительная (экскреторная)
2. Волюморегуляция (объема жидкости)
3. Осморегуляция
4. Ионная регуляция
5. Регуляция рН организма
6. Регуляция уровня АД
7. Регуляция эритропоэза (эритропоэтин)
8. Инкреторная (ренин, брадикинин, урокиназа..)
9. Гемостаз(урокиназа,тромбопластин,тромбоксан)
10. Метаболическая (участие в обмене белков, жиров, углеводов: глюконеогенез)

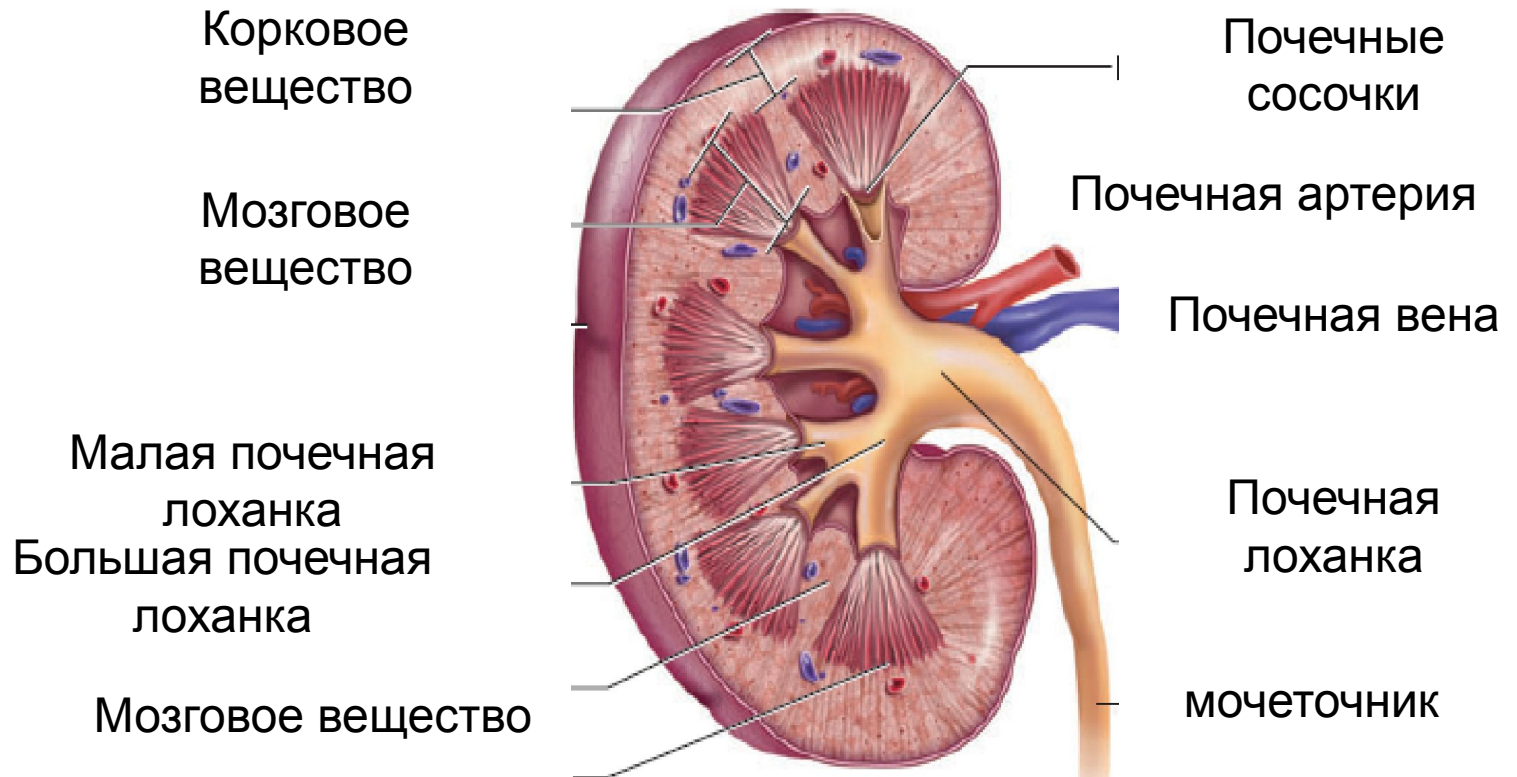
Общая анатомия мочевой системы

- почки расположены забрюшинно на уровне T11–L3,



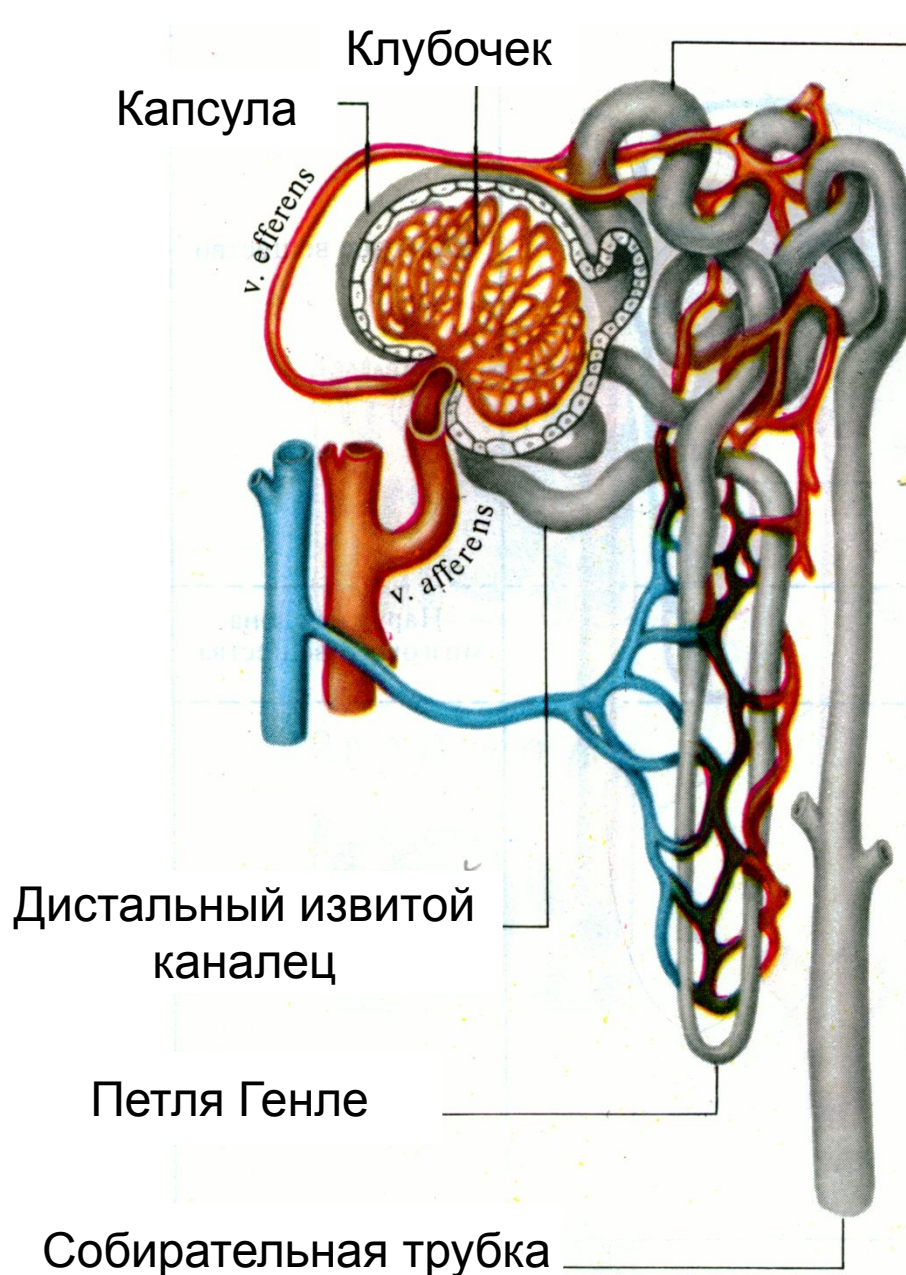
Строение почки

- в структуре почки: кора и мозговое в-во, мозговое в-во – 8-15 пирамид,
- моча выходит в области сосочков пирамид и собирается в маленькие чашечки →большие чашечки →почечную лоханку



Нефрон - основная структурно-функциональная единица почки, в котором происходит образование мочи. В зрелой почке человека содержится около 1 млн нефронов.

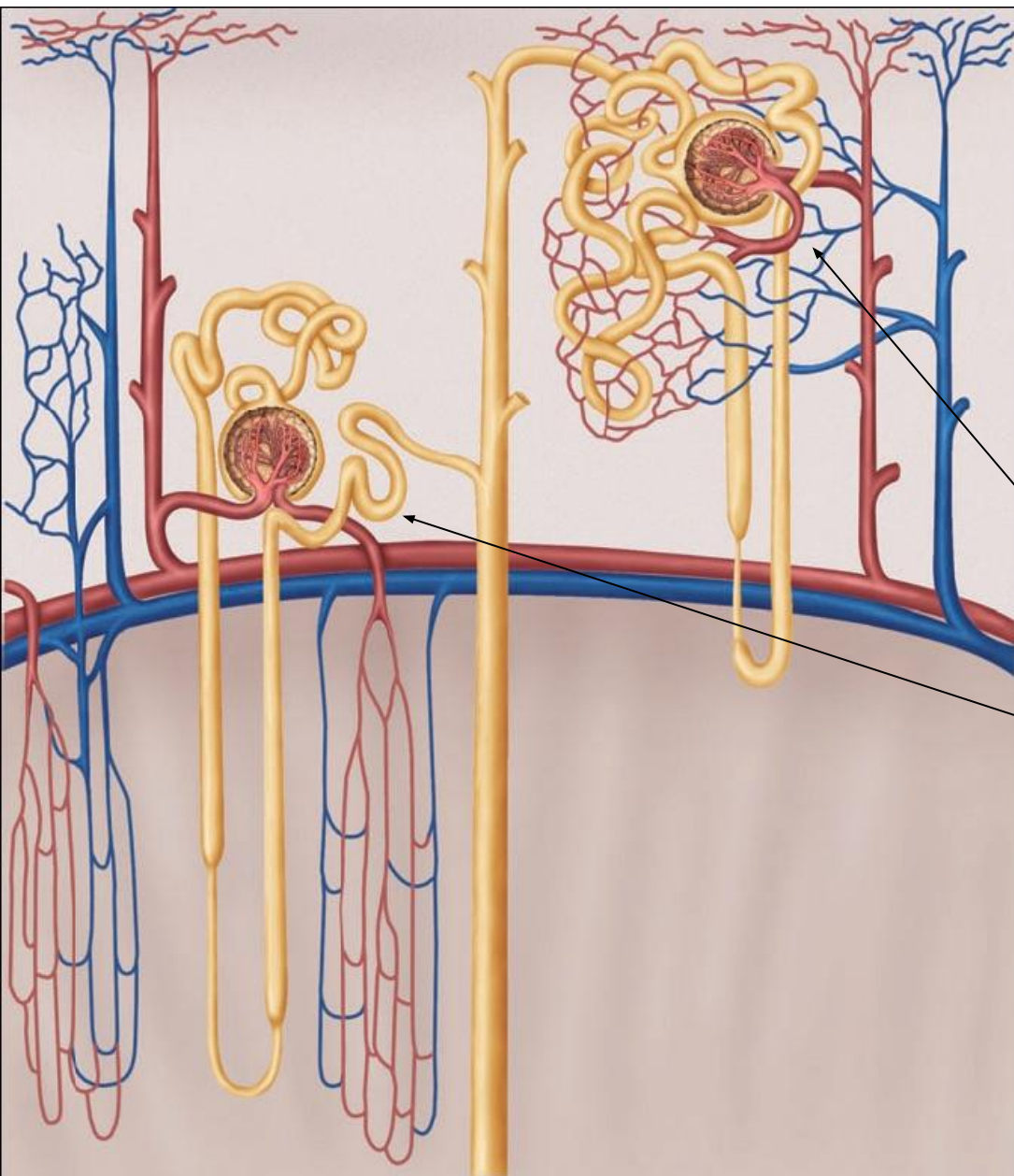
- Нефрон состоит из нескольких последовательно соединенных отделов, значение каждого из которых специфично.



Проксимальный
извитой
каналец

Нефрон состоит:

1. Почечное тельце (капсула + клубочек)
2. Проксимальный извитой каналец
3. Петля Генле
4. Дистальный извитой каналец
5. Собирательная трубка



По локализации клубочков различают 3 типа нефронов: поверхностные (15%) - поверхность почки, корковые (70%) – средняя часть коркового слоя, юкстамедулярные (15%) – в корковой зоне, вблизи мозгового слоя

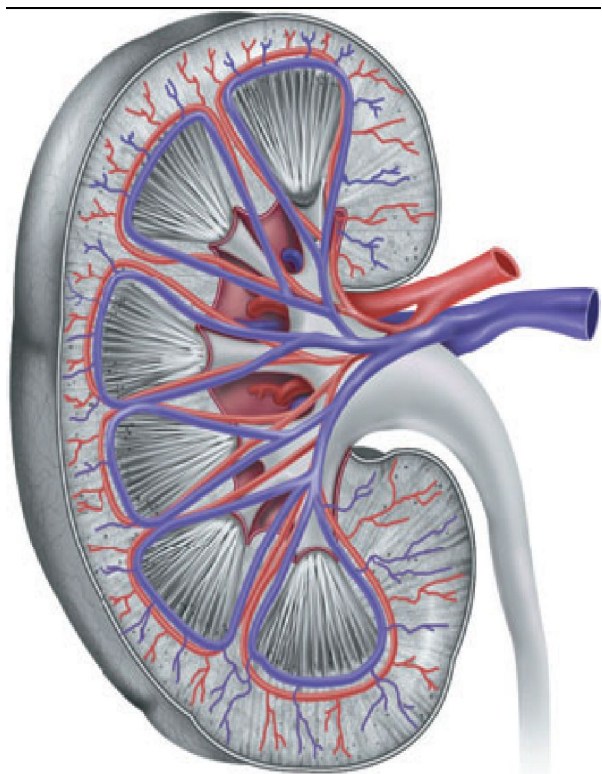
Кровоснабжение почек

Особенностью кровоснабжения почек является то, что кровь используется не только для трофики органа, но и для образования мочи.

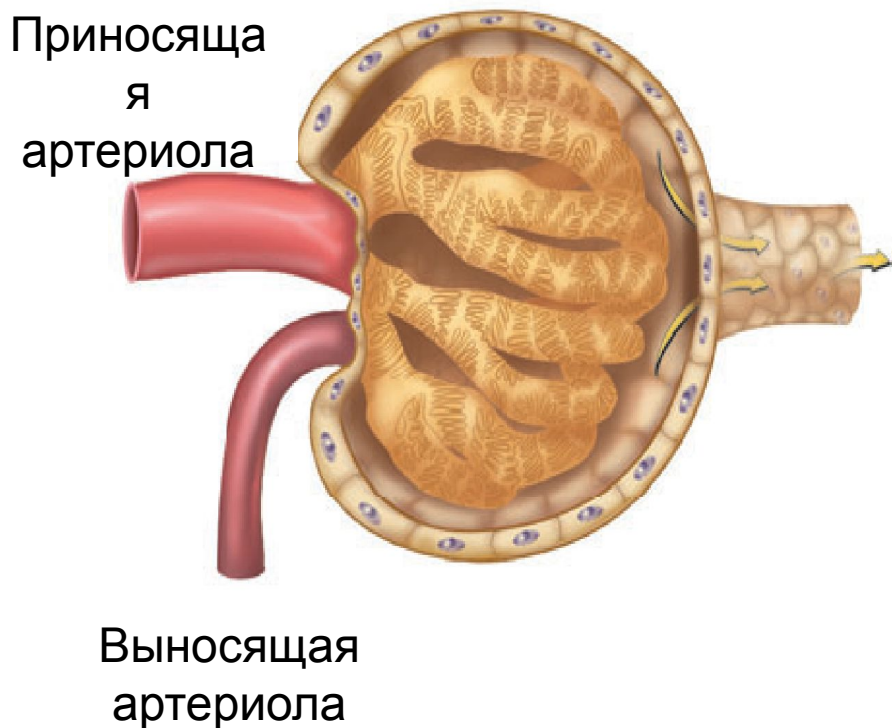
Почки получают кровь из коротких почечных артерий, которые отходят от брюшного отдела аорты.

В почке артерия делится на большое количество мелких сосудов-артериол, приносящих кровь к клубочку.

Через сосуды почки в 1 мин проходит около 1/4 объема крови, выбрасываемого сердцем в аорту.

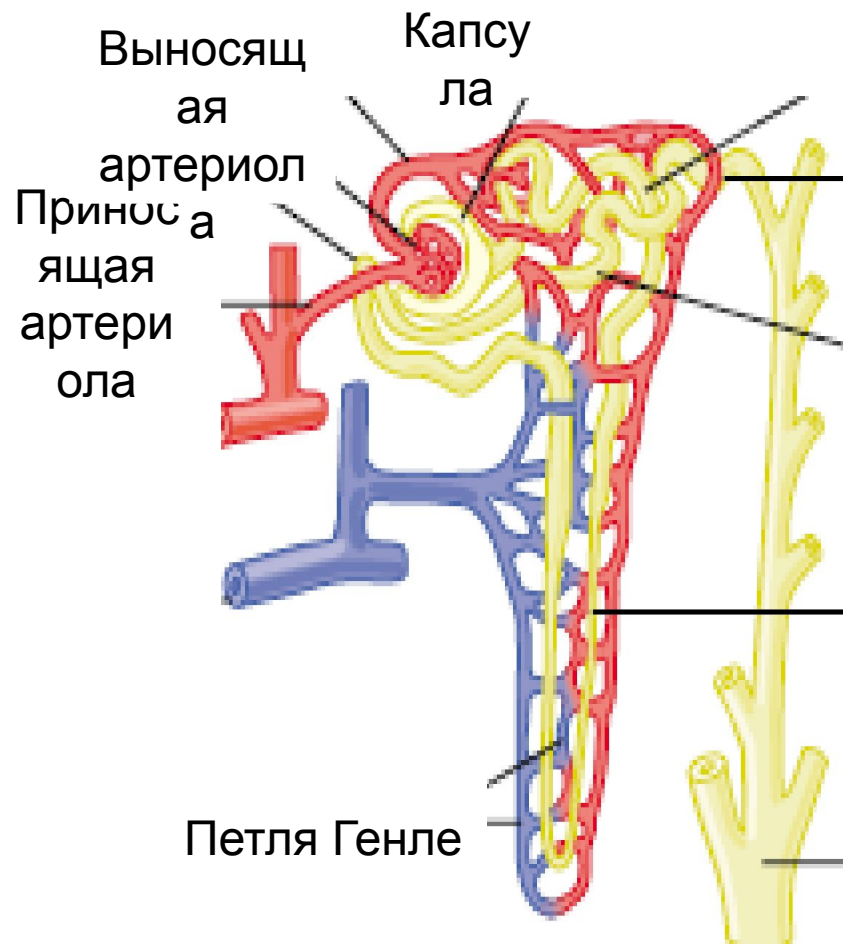


Кровоснабжение нефрона



Приносящая (афферентная) артериола входит в клубочек и распадается на капилляры, которые, сливаясь, образуют **выносящую** (эфферентную) артериолу.

Диаметр приносящей артериолы в 2 раза больше, чем выносящей, что создает условия для поддержания необходимого артериального давления (70 м.рт.ст.) в клубочке.

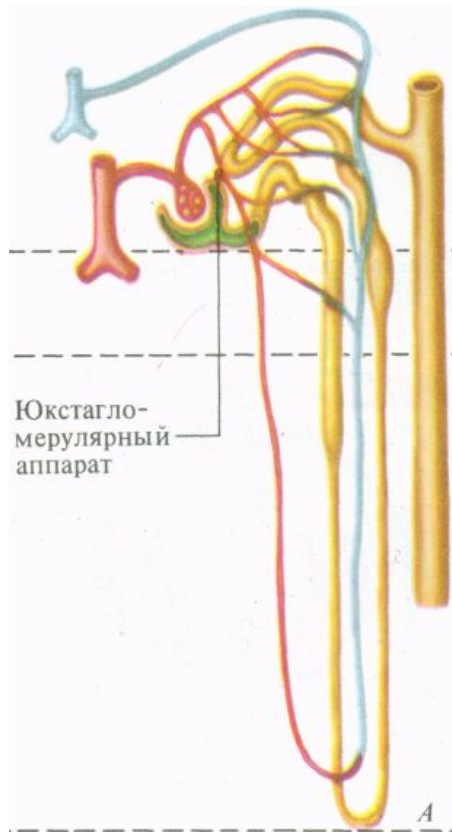


- Выносящая артериола вновь распадается на сеть капилляров вокруг проксимальных и дистальных канальцев.
- Артериальные капилляры переходят в венозные, которые сливаясь в вены, отдают кровь в нижнюю полую вену.
- Капилляры клубочков выполняют только функцию мочеобразования, капилляры канальцев мочеобразования и трофики

Кровоснабжение юкстамедуллярного нефрона

-диаметр приносящей и выносящей артериол одинаковый,

- эфферентная артериола не распадается на капиллярную сеть, а образует прямые сосуды, которые вместе с петлей Генле спускаются в мозговое вещество почки и участвуют в осмотическом концентрировании мочи



Механизмы мочеобразования

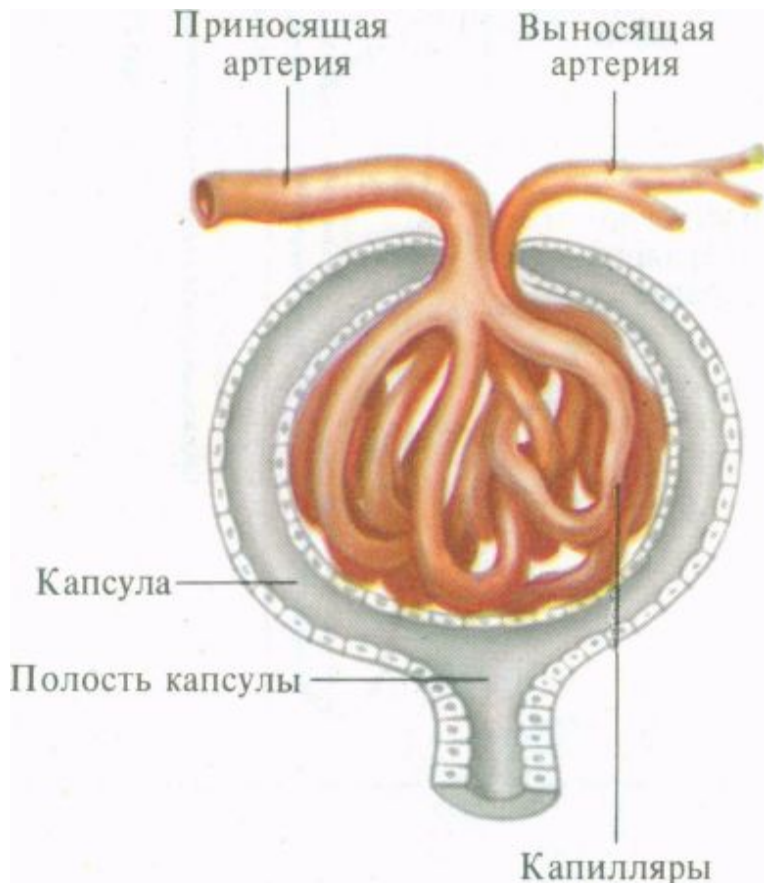
осуществляются за счет 3 последовательных процессов:

- **1. Клубочковая фильтрация** воды и низкомолекулярных компонентов плазмы крови в капсулу почечного клубочка с образованием первичной мочи;
- **2. Канальцевая реабсорбция** - процесс обратного всасывания профильтровавшихся веществ и воды из первичной мочи в кровь;
- **3. Канальцевая секреции** - процесс переноса из крови в просвет канальцев ионов и органических веществ.

1) Клубочковая фильтрация

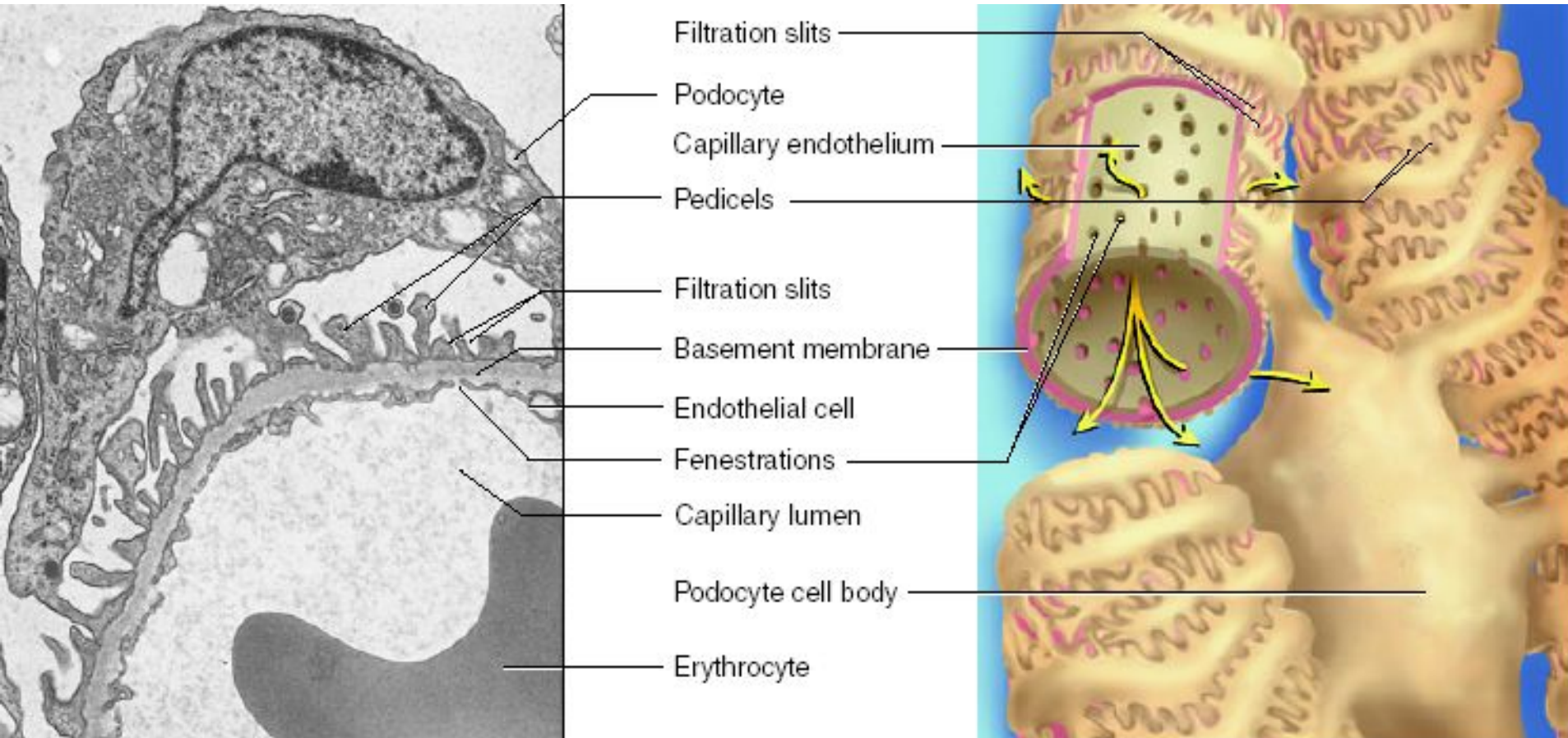
Происходит через клубочковый фильтр, который имеет 3 слоя:

1. эндотелиальные клетки капилляров,
2. базальная мембрана,
3. эпителий висцерального листка капсулы или подоциты.



Структура гломерулула. Фенестры и фильтрационные щели. Образование фильтрата.

В чем роль различного диаметра приносящей и выносящей артериол?



1-й слой - эндотелий капилляров

- Имеет поры диаметром 50-100 нм, что ограничивает прохождение форменных элементов крови (эритроцитов, лейкоцитов, тромбоцитов).
- При нормальном кровотоке наиболее крупные белковые молекулы образуют барьерный слой на поверхности пор эндотелия, ограничивая тем самым прохождение форменных элементов крови и белков через эндотелий.
- Другие компоненты плазмы крови и вода могут свободно достигать базальной мембраны.

СТРОЕНИЕ КЛУБОЧКА

Приносящая
артериола

Выносящая
артериола

Ток крови

Ток крови

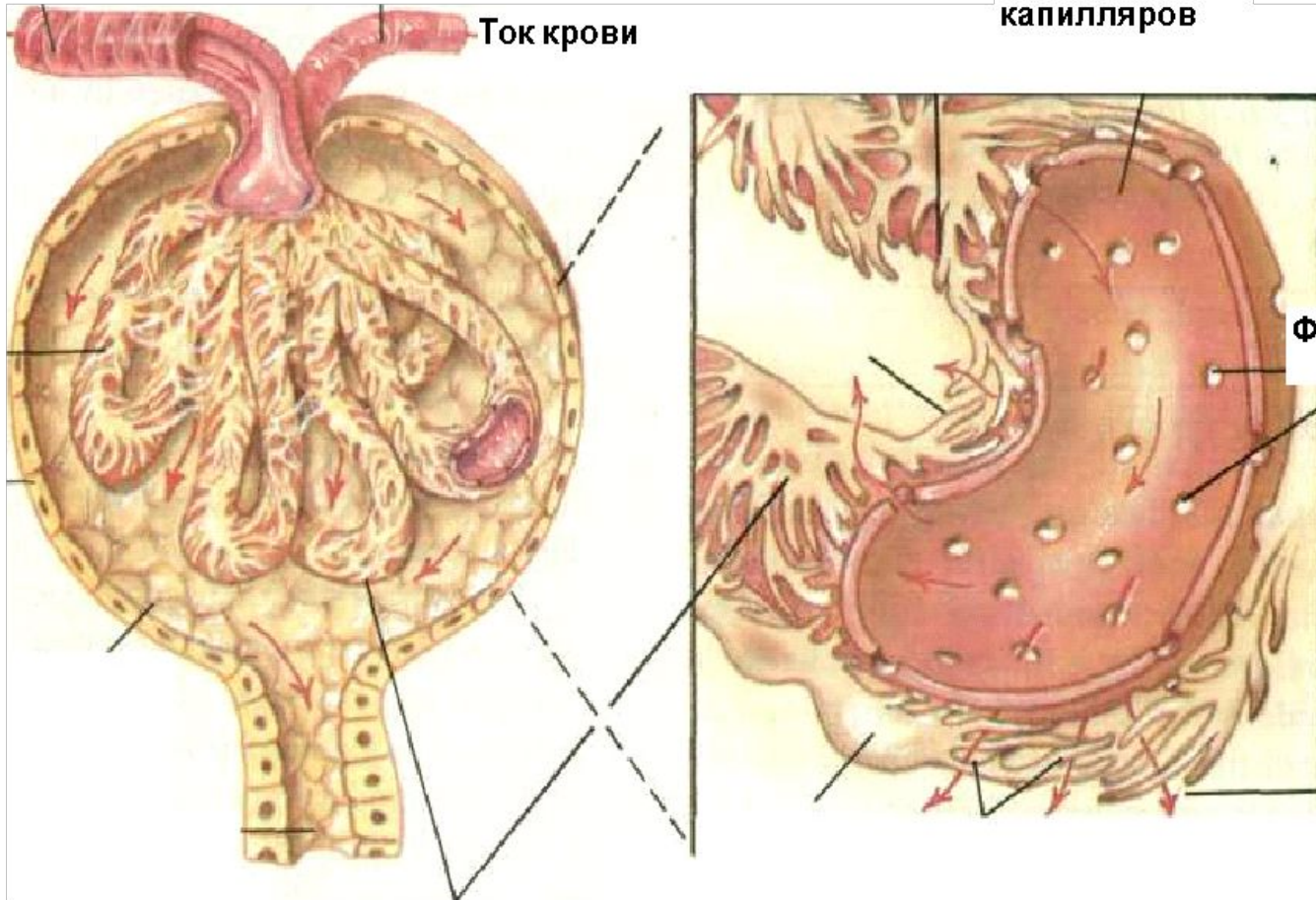
Эндотелий
капилляров

Капилляры

Клубочек

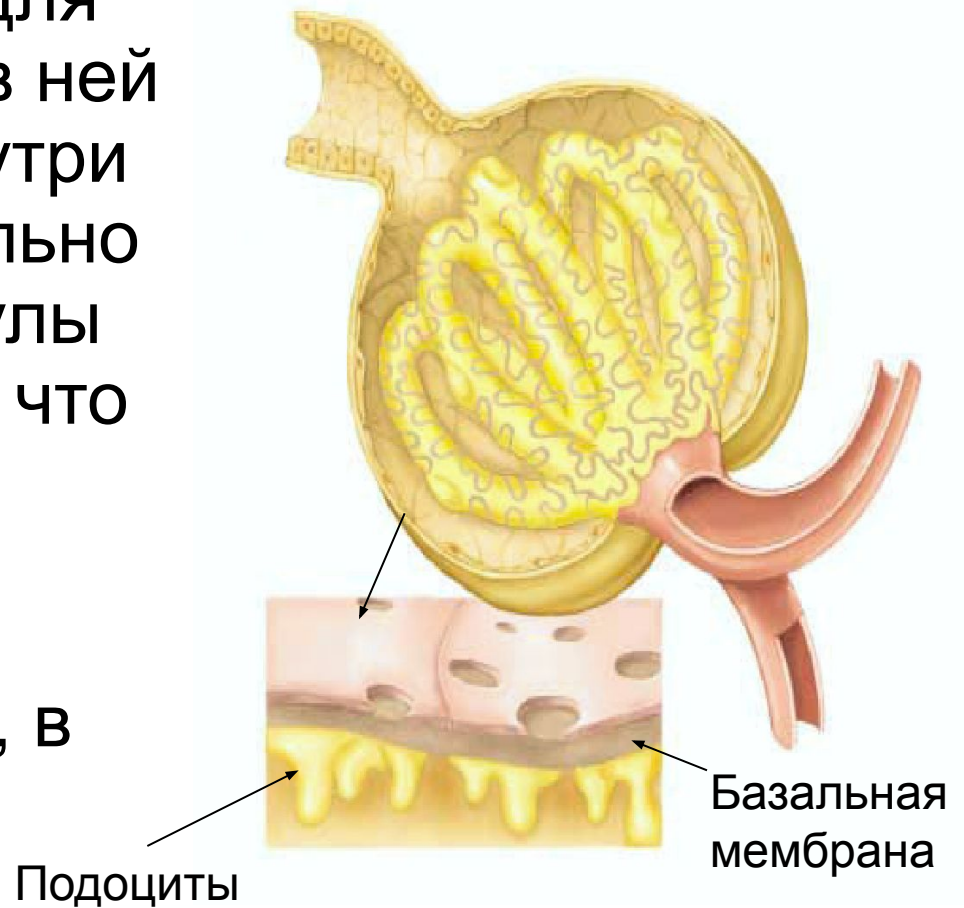
Фенестры

Подоциты



2-й слой - базальная мембрана

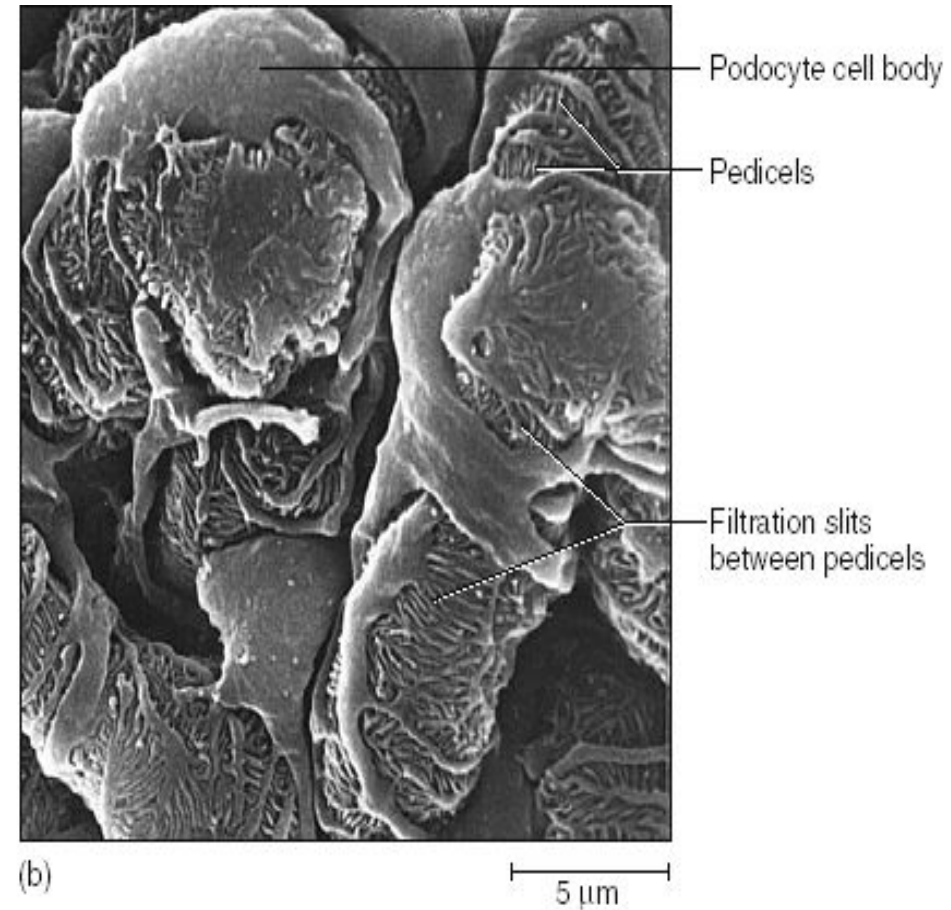
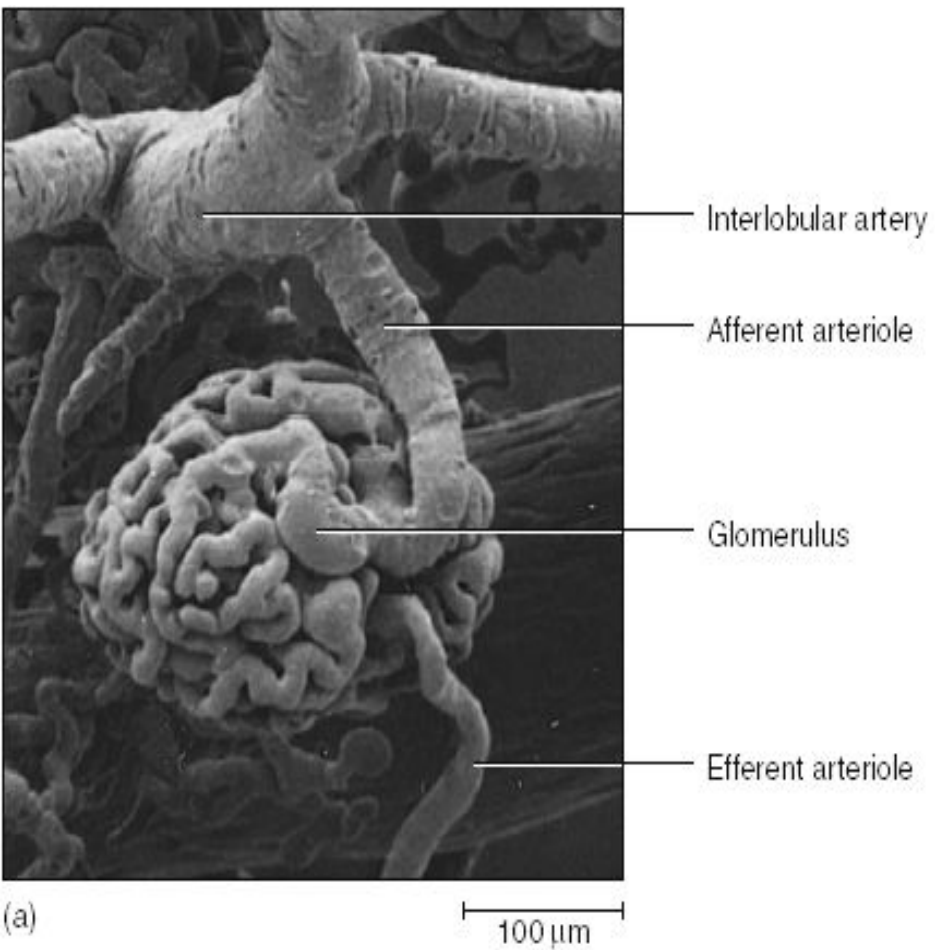
- - основной барьер для фильтрации, поры в ней 6 нм. Эти поры изнутри содержат отрицательно заряженные молекулы (анионные локусы), что препятствует проникновению отрицательно заряженных частиц, в том числе белков.



3-й слой эпителий висцерального листка капсулы

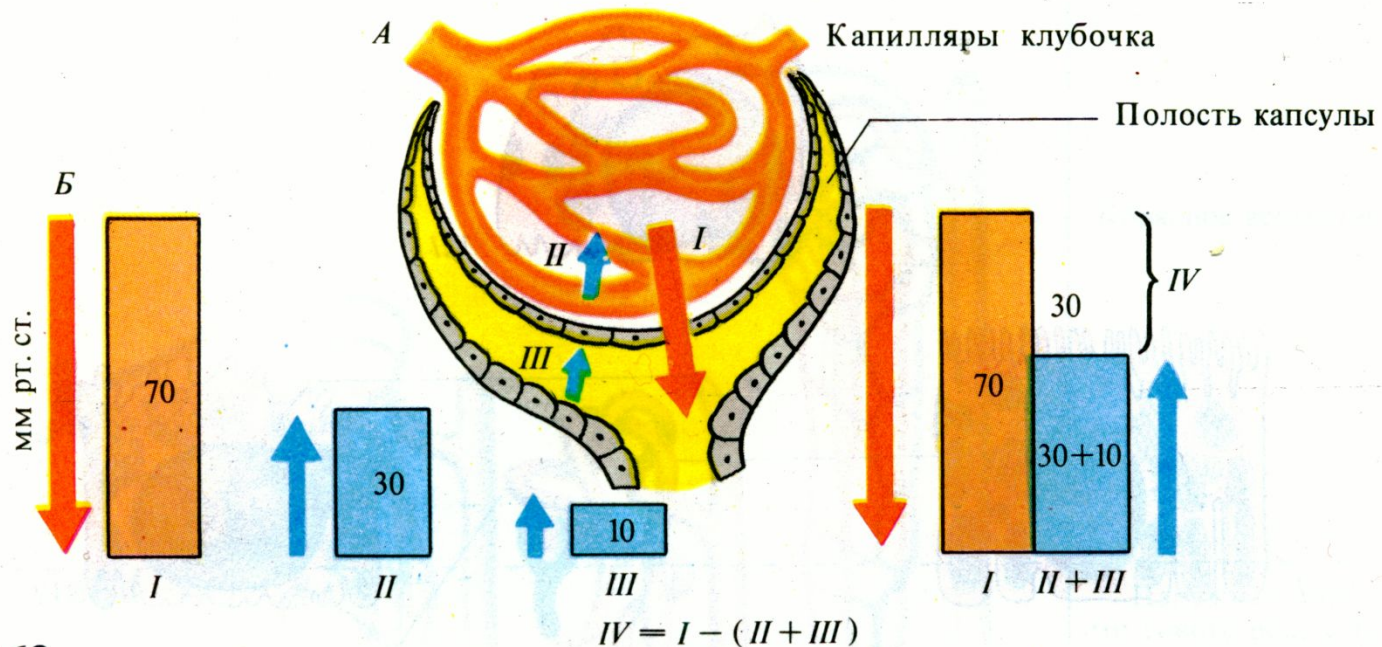
- образован отростками подоцитов (пальцевидных ножек), вдавленных в базальную мембрану, между которыми имеются щелевидные диафрагмы, которые ограничивают прохождение альбуминов и других молекул с большой молекулярной массой. Эта часть фильтра также несет отрицательный заряд. (при нефропатиях поры теряют отрицательный заряд, что приводит к прохождению через них белков)

Сканирующая электронная микроскопия – структура почечного тельца



- Таким образом, **первичная моча** - плазма крови, лишенная белков
- За сутки образуется до 180 л фильтрата (первичной мочи)

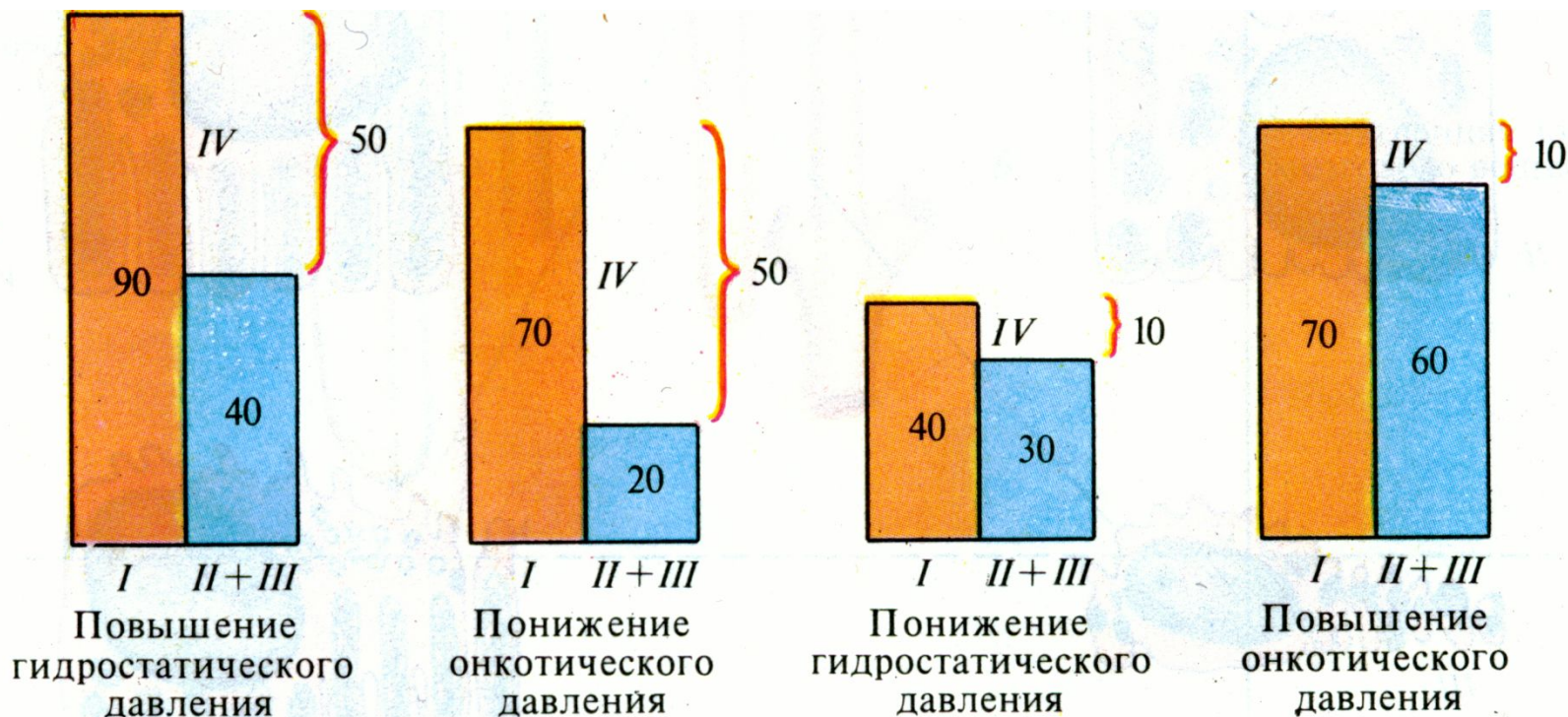
- Основным фактором, способствующим процессу фильтрации, является **гидростатическое** давление крови в капиллярах клубочков = **70** мм рт.ст.
- К силам, препятствующим фильтрации относится **онкотическое** давление белков плазмы крови = **30** мм.рт.ст. и давление жидкости в полости капсулы клубочка (**внутрипочечное**) = **10** мм.рт.ст.



- Следовательно, **эффективное фильтрационное давление (ЭФД)** составляет разность между гидростатическим давлением и суммой онкотического и внутрипочечного давления:

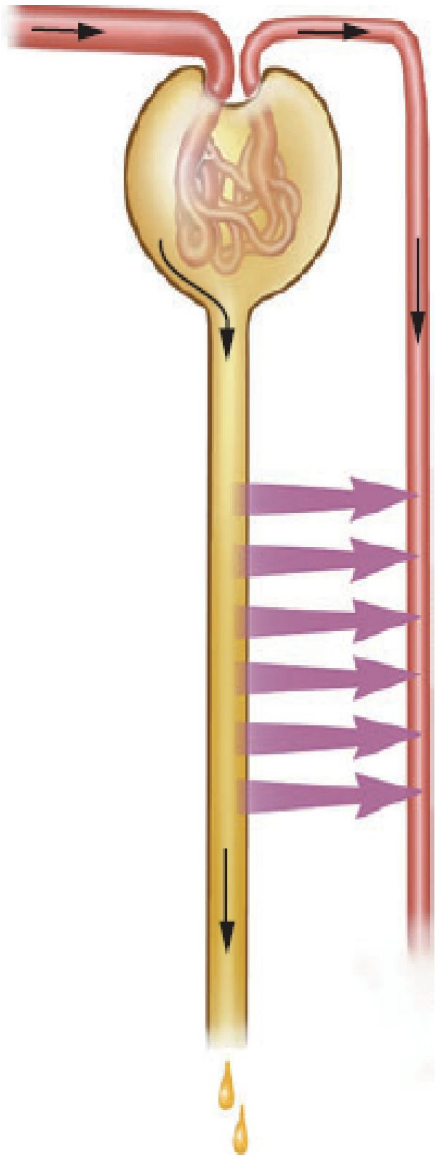
$$P_{\text{эфд}} = P_{\text{гидр}} - (P_{\text{онк}} + P_{\text{мочи}})$$

$$20\text{мм.рт.ст.} = 70\text{мм.рт.ст.} - (30\text{мм.рт.ст.} + 20\text{мм.рт.ст.})$$



2) Канальцевая реабсорбция

- В обычных условиях в почке человека за сутки образуется до 180 л фильтрата (первичной мочи), а выделяется 1,0—1,5 л мочи, остальная жидкость всасывается в канальцах.
- Канальцевая реабсорбция - это обратное всасывание воды и веществ из просвета канальцев нефронов в кровь и лимфу. Основным смыслом ее состоит в том, чтобы сохранить для организма все жизненноважные вещества в необходимых количествах.

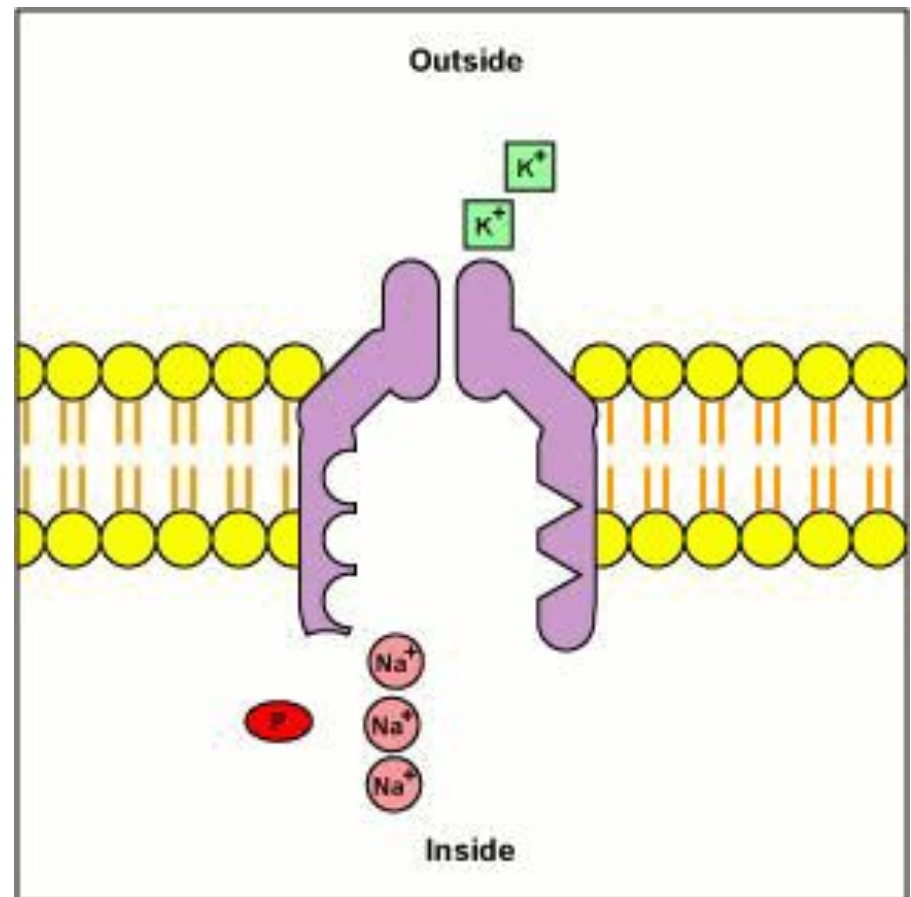


- Обратное всасывание происходит во всех отделах нефрона. Основная масса молекул реабсорбируется в проксимальном отделе : здесь практически полностью реабсорбируются глюкоза, аминокислоты, витамины, белки, микроэлементы, ионы Na, Cl, HCO_3 , многие другие. В петле Генле, дистальном отделе всасываются электролиты и вода.

Реабсорбция обеспечивается **активным** и **пассивным** транспортом.

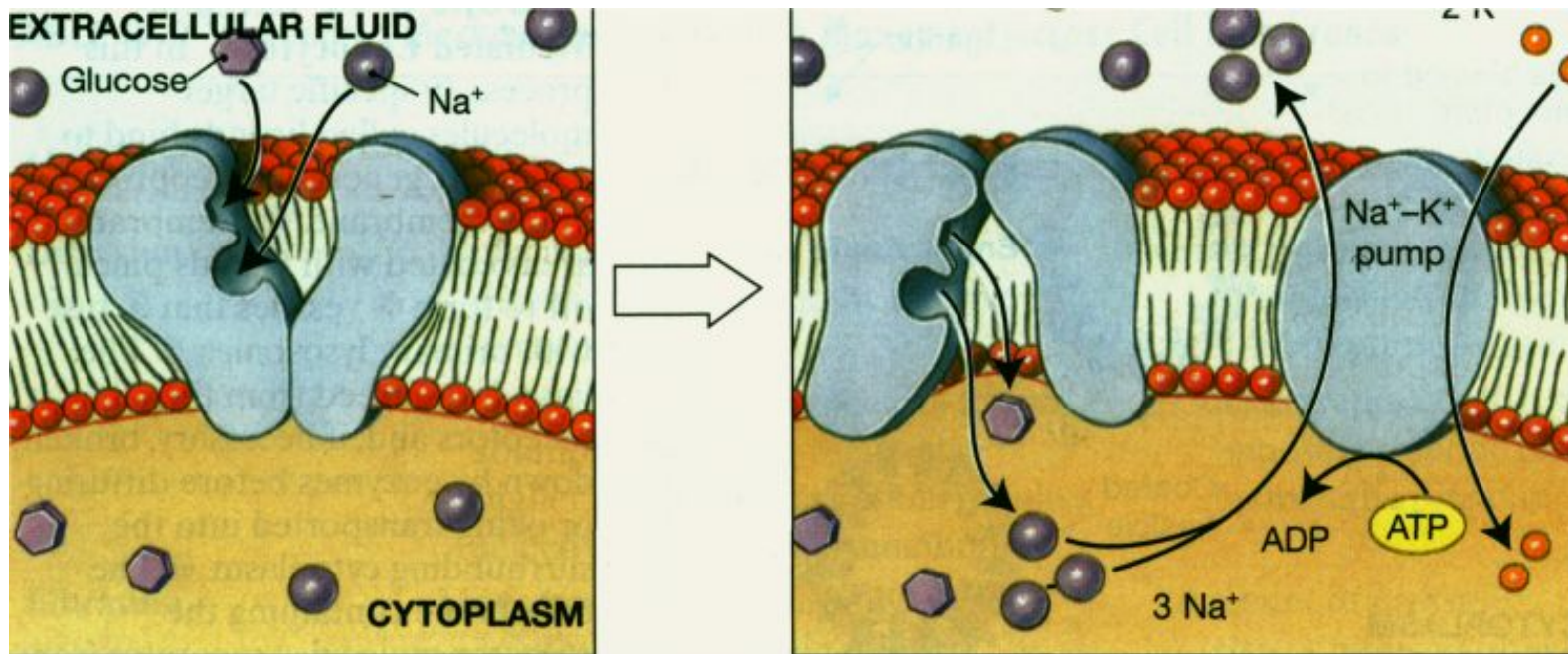
Различают два вида активного транспорта — первично-активный и вторично-активный.

- **Первично-активный** транспорт - перенос вещества против электрохимического градиента за счет энергии клеточного метаболизма. Примером служит транспорт ионов Na с помощью фермента Na, K-АТФ-азы, использующей энергию АТФ.



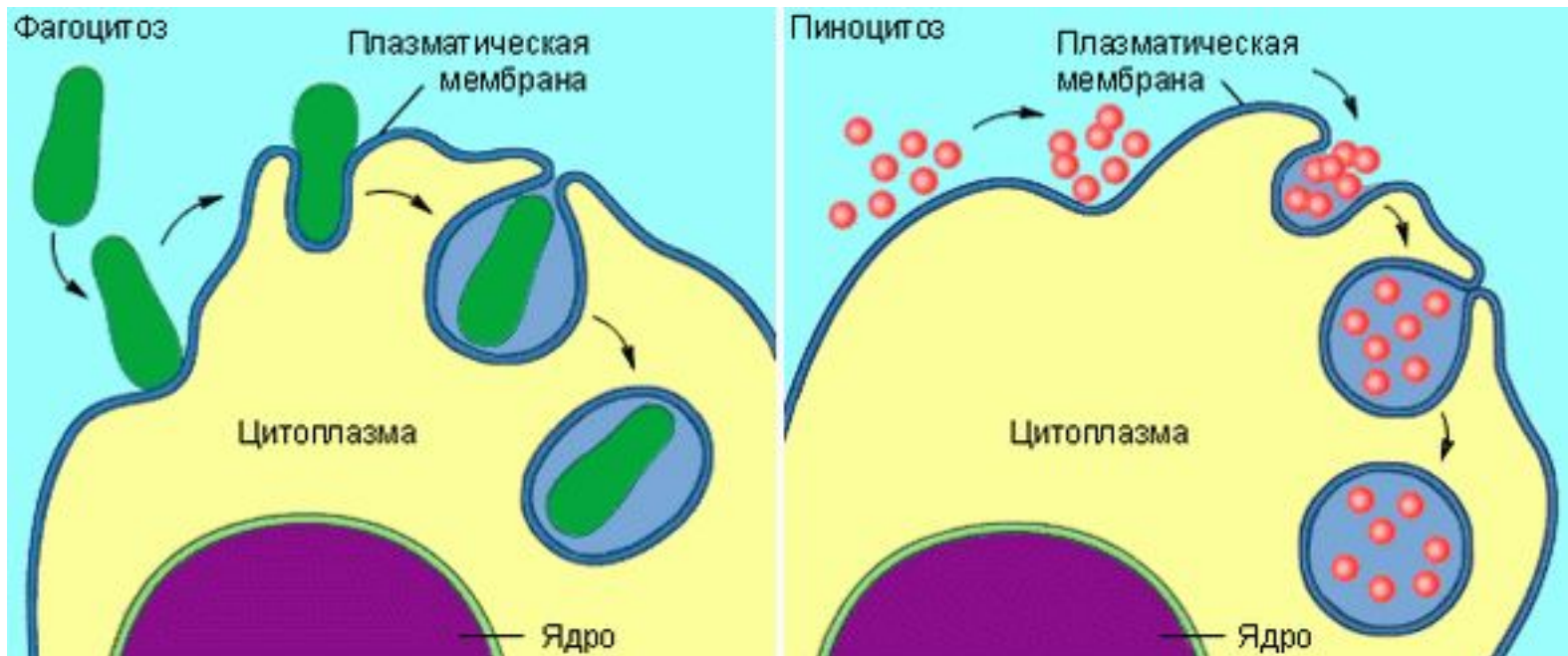
Вторично-активный транспорт- перенос вещества за счет энергии транспорта другого вещества. Так реабсорбируются глюкоза, аминокислоты.

- Они присоединяются к специальному переносчику, который присоединяет ион Na^+ . Этот комплекс (переносчик + органическое вещество + Na) перемещается внутрь клетки. Энергия затрачивается на перемещение Na^+ .
- В клетке этот комплекс распадается на составные компоненты. Натрий возвращается наружу с помощью натрий-калиевого насоса. Глюкоза идет в кровь по градиенту концентрации.



- В норме при обычной концентрации глюкозы в крови и, соответственно, в первичной моче вся глюкоза реабсорбируется. При избытке глюкозы в крови (10 ммоль/л) в первичной моче происходит максимальная загрузка канальцевых систем транспорта, т.е. всех молекул-переносчиков. В этом случае глюкоза больше не сможет реабсорбироваться и появится в конечной моче - глюкозурия.
- Вещества, реабсорбция которых зависит от их концентрации в плазме крови, называются пороговыми, например, глюкоза. К непороговым веществам относят: инулин, эндогенный креатинин, маннитол, сульфаты.

- **Белки.** В норме небольшое количество белка попадает в фильтрат и реабсорбируется. Реабсорбция белка происходит в проксимальном канальце с помощью пиноцитоза. Эпителий почечного канальца активно захватывает крупные белки. Войдя в клетку, белок подвергается гидролизу со стороны ферментов лизосом и превращается в аминокислоты.



Реабсорбция воды

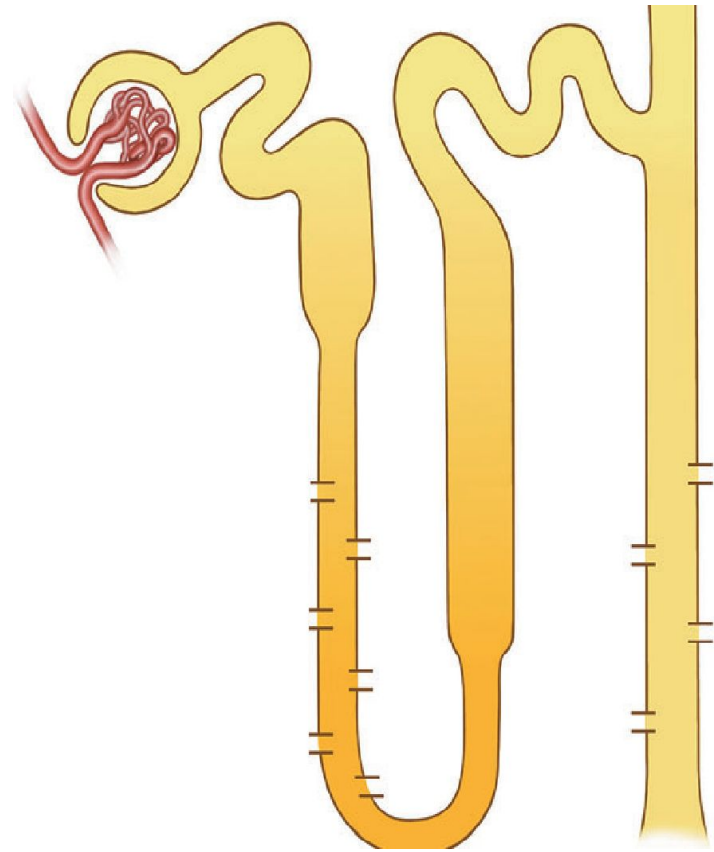
- происходит во всех отделах нефрона (2/3 в проксимальном, 15% в петле Генле, 15% в дистальных извитых канальцах и собирательных трубочках.). Вода реабсорбируется **пассивно за счет транспорта** — осмотически активных веществ: глюкозы, а/к, белков, ионов натрия, калия, кальция, хлора. При снижении реабсорции осмотически активных веществ уменьшается реабсорбция воды.

- Основным ионом, обеспечивающим пассивное всасывание воды, является натрий. Около 65% натрия реабсорбируется в проксимальном канальце, 25% в петле, 9% в собирательных трубочках, 1% собирательных трубочках.
- Большое значение в механизмах реабсорбции воды и ионов натрия, а также концентрировании мочи имеет работа так называемого

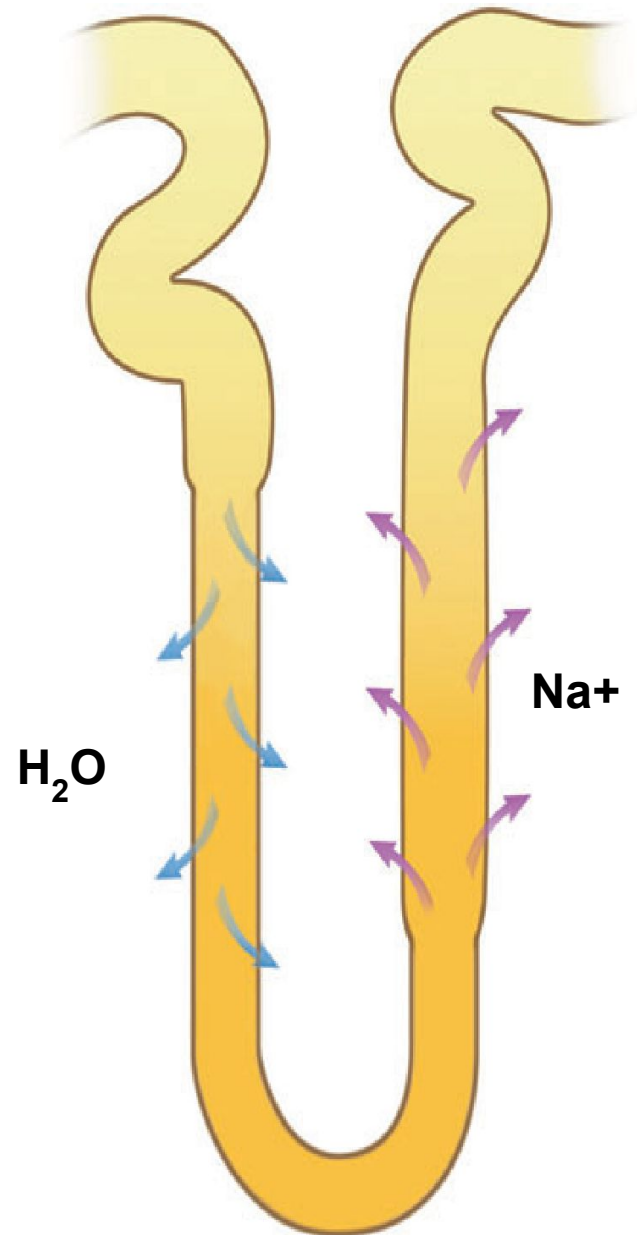
поворотного-противоточно-множительной системы (ППМС).

Поворотно-противоточно-множительная система (ППМС)

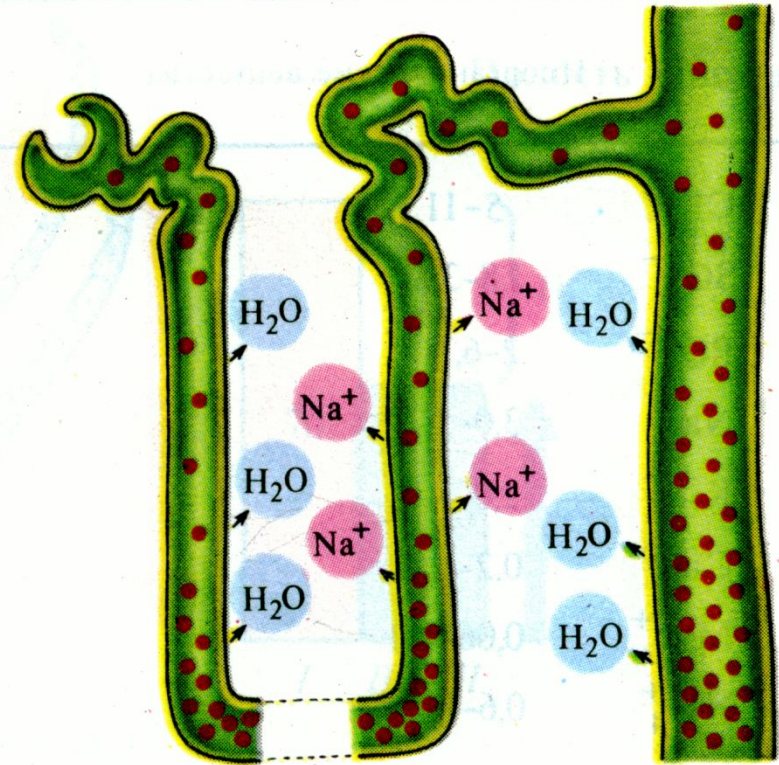
- представлена параллельно расположенными коленами петли Генле и собирательной трубкой, по которым жидкость движется в разных направлениях.



- Эпителий нисходящего отдела петли Генле пропускает только воду, а эпителий восходящего отдела непроницаем для воды, но способен активно переносить ионы натрия в тканевую жидкость, а через нее в кровь



- Отдача воды происходит пассивно за счет того, что в восходящем колене осуществляется активная реабсорбция натрия. Ионы натрия, поступая в тканевую жидкость, повышают в ней осмотическое давление, тем самым способствуя притягиванию воды из нисходящей петли



Реабсорбция H_2O вслед за Na

- **Мочевина.** Большая ее часть образуется в печени в реакциях, нейтрализующих аммиак крови. Образующийся при распаде белков азот выводится в основном в виде мочевины.
- Реабсорбция идет пассивно с током реабсорбируемой воды

Канальцевая секреция

- транспорт веществ из крови в просвет канальца (мочу).
Осуществляется первично-активным транспортом с помощью различных переносчиков, преимущественно а проксимальных канальцах. Здесь секретируются

- 1) органические кислоты ПАГ (парааминогиппуровая кислота), мочевая кислота;
- 2) органические основания (холин, гуанидин)
- 3) лекарственные вещества: антибиотики, морфин, рентгеноконтрастные йод-содержащие вещества...
- 4) красители (феноловый красный),
- 5) ионы К (секретируется в дистальном сегменте и собирательных трубках).
- 6) ионы водорода и аммиак

Количество, состав и свойства мочи

- За сутки выделяется 1,5 л мочи.
- Моча представляет собой прозрачную жидкость светло-желтого цвета, с удельным весом 1,010-1,025.
- Реакция мочи здорового человека обычно слабокислая. Однако рН ее колеблется от 5,0-7,0 в зависимости от характера принятой пищи. При питании преимущественно белковой пищи реакция мочи становится кислой, растительной - нейтральной, даже щелочной.

Состав мочи:

- Форменные элементы: эритроциты до 1000 в мл, лейкоциты до 4000 в мл, единичные эпителиальные клетки; глюкоза и белок практически отсутствуют. Небольшая протеинурия наблюдается у здоровых людей после тяжелой физической нагрузки и исчезает после отдыха.
- С мочой выделяются электролиты: натрия, калия, хлора, кальция, магния, сульфатов.
- Азотистые вещества: мочевины, мочевая кислота, аммиак, креатинин...
- В моче содержатся гормоны и их метаболиты (эстрогены), витамины (аскорбиновая кислота, тиамин).

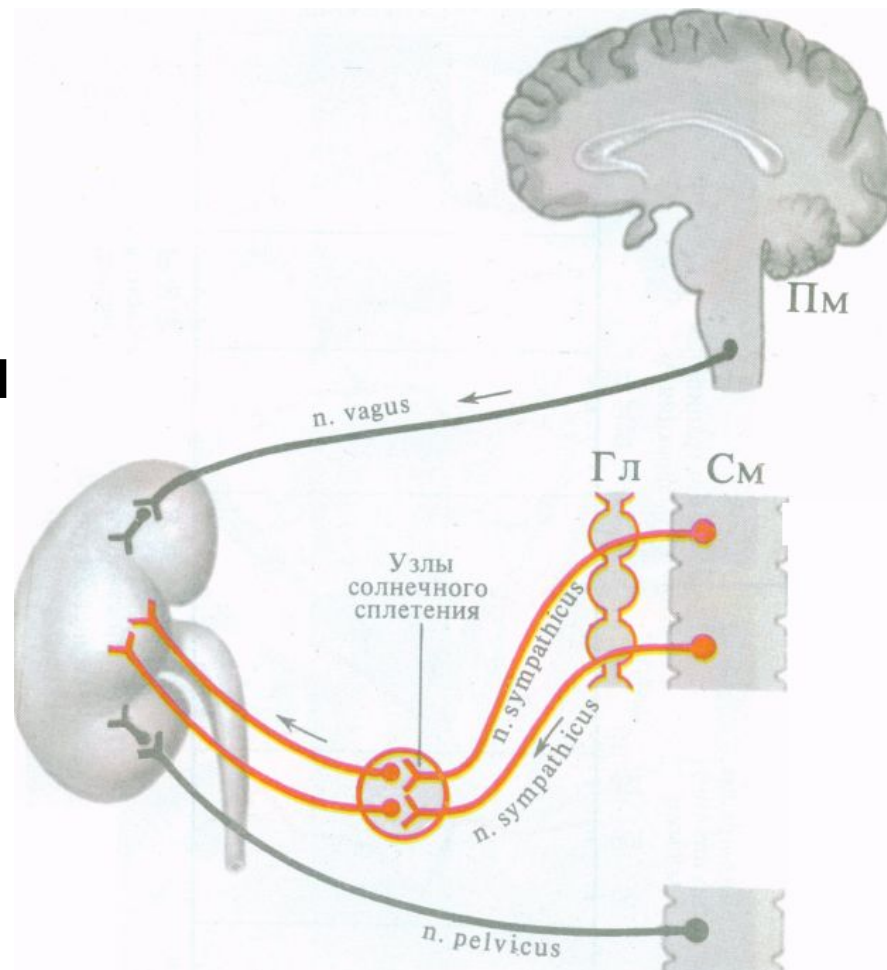
Регуляция деятельности почек

- Почки служат исполнительными органами в цепи различных рефлексов, обеспечивающих постоянство состава и объема жидкостей внутренней среды. В ЦНС поступает информация о состоянии внутренней среды, происходит интеграция сигналов и обеспечивается регуляция деятельности почек при участии эфферентных нервов или эндокринных желез.

Нервная регуляция

Иннервация обеспечивается симпатическими и парасимпатическими волокнами.

- Импульсы, поступающие по эфферентным нервам к почке, регулируют гемодинамику и работу юкстагломерулярного аппарата почки, а также фильтрацию, реабсорбцию и секрецию.



Влияния на сосуды

- Симпатические влияния через α -АР – сужение, β - АР- расширение
- Парасимпатические влияния – через М-хр усиление продукции NO, который расслабляет сосуды

Влияния на канальцы

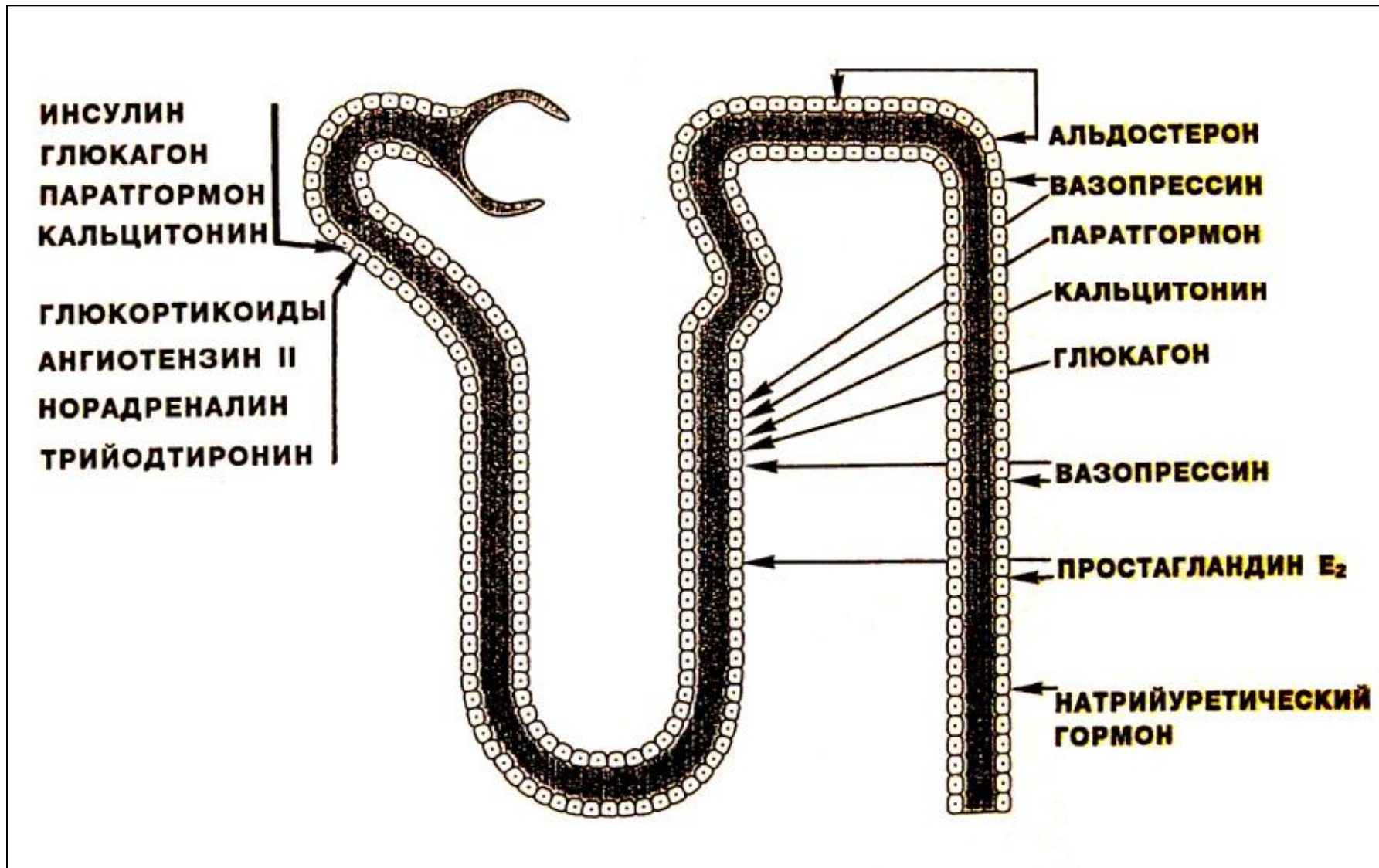
- Симпатические – увеличивают реабсорбцию натрия и воды, уменьшают диурез
- Парасимпатические – снижают реабсорбцию натрия и воды, повышают экскрецию Na^+ , Cl^- , K^+ , Ca^{2+} , и фосфатов.

Гуморальная регуляция

- **Антидиуретический гормон (АДГ)**, или вазопрессин способствует повышению реабсорбции воды в дистальных отделах нефрона.
- **Альдостерон** увеличивает реабсорбцию ионов Na
- **Адреналин** в малых дозах суживает просвет выносящих артериол, в результате чего повышается гидростатическое давление, увеличивается диурез. В больших дозах он вызывает сужение как выносящих, так и приносящих артериол, что приводит к уменьшению диуреза вплоть до анурии

- **Натрийуретический** гормон усиливает выведение ионов натрия с мочой.
- **Паратгормон** стимулирует реабсорбцию кальция и тормозит реабсорбцию фосфатов,
- **Кальцитонин** тормозит реабсорбцию кальция и фосфата
- **Инсулин**- недостаток этого гормона приводит к гипергликемии, глюкозурии, увеличению осмотического давления мочи, увеличению диуреза

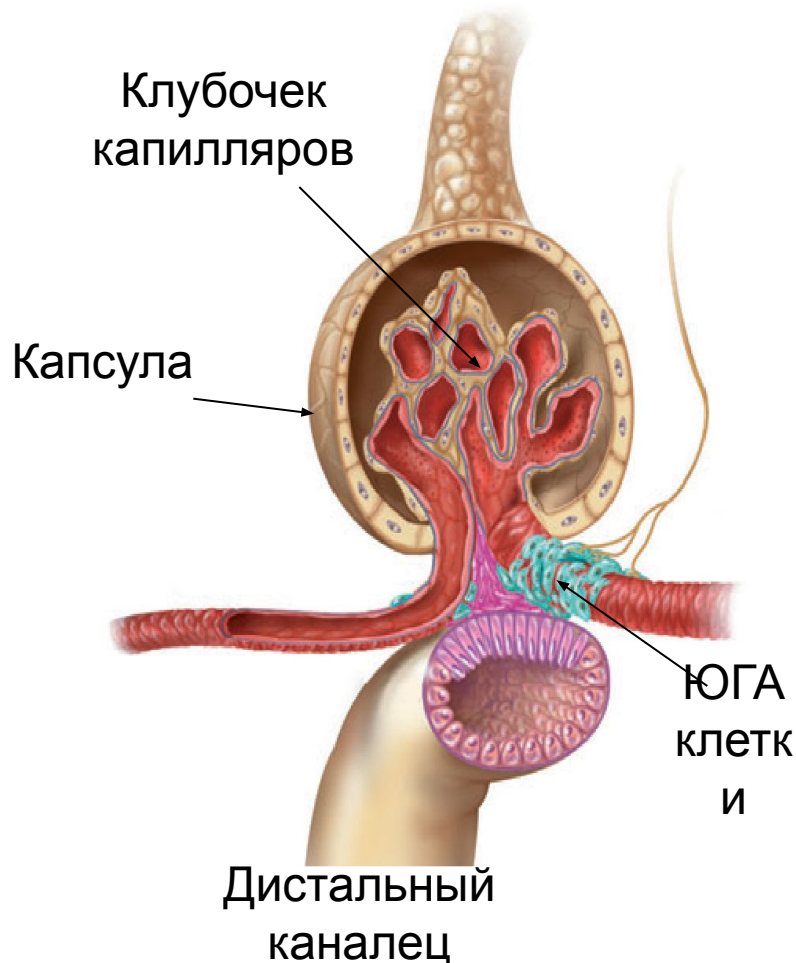
- **Тироксин** усиливает обменные процессы, в результате чего в моче возрастает количество осмотически активных веществ, в частности азотистых, что приводит к увеличению диуреза.
- **Простогландины** угнетают реабсорбцию натрия, стимулируют кровоток в мозговом веществе почки, увеличивают диурез.
- **Соматотропин и андрогены** увеличивают секрецию парааминогиппуровой кислоты.
- **Ренин-ангиотензин-альдостероновая** система участвует в регуляции системного и почечного кровотока, ОЦК, электролитного баланса.



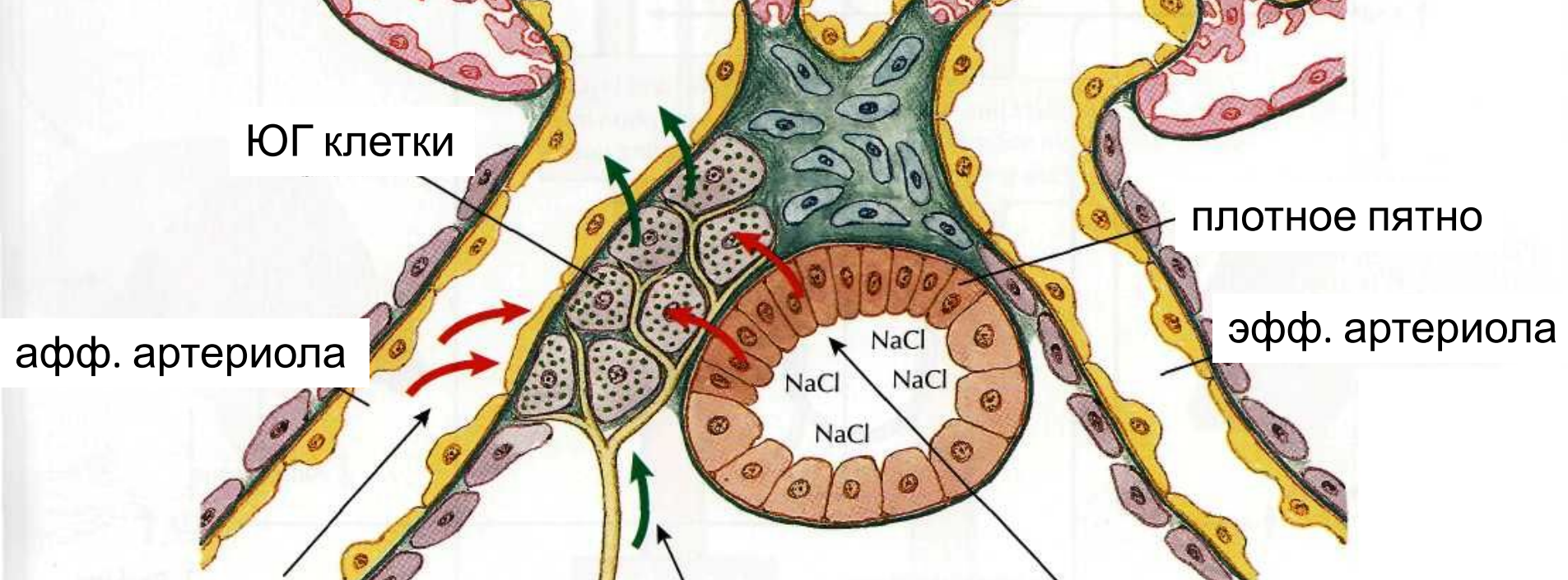
Локализация эффекта физиологически активных веществ в нефроне

Юкстагломерулярный аппарат (ЮГА)

выполняет инкреторную функцию.



- представляет собой совокупность клеток, синтезирующих **ренин**.
- Морфологически ЮГА образует как бы треугольник, две стороны которого составляют афферентная (ЮГА клетки) и эфферентная артериолы,
- основание - участок дистального канальца - плотное пятно (*macula densa*)- натриевые рецепторы, реагируют на осмотическое давление.



Барорецепторный
механизм

секреции ренина:

- \uparrow АД \rightarrow \downarrow ренина \rightarrow
 \uparrow ренина

Симпатергический
механизм

секреции ренина:

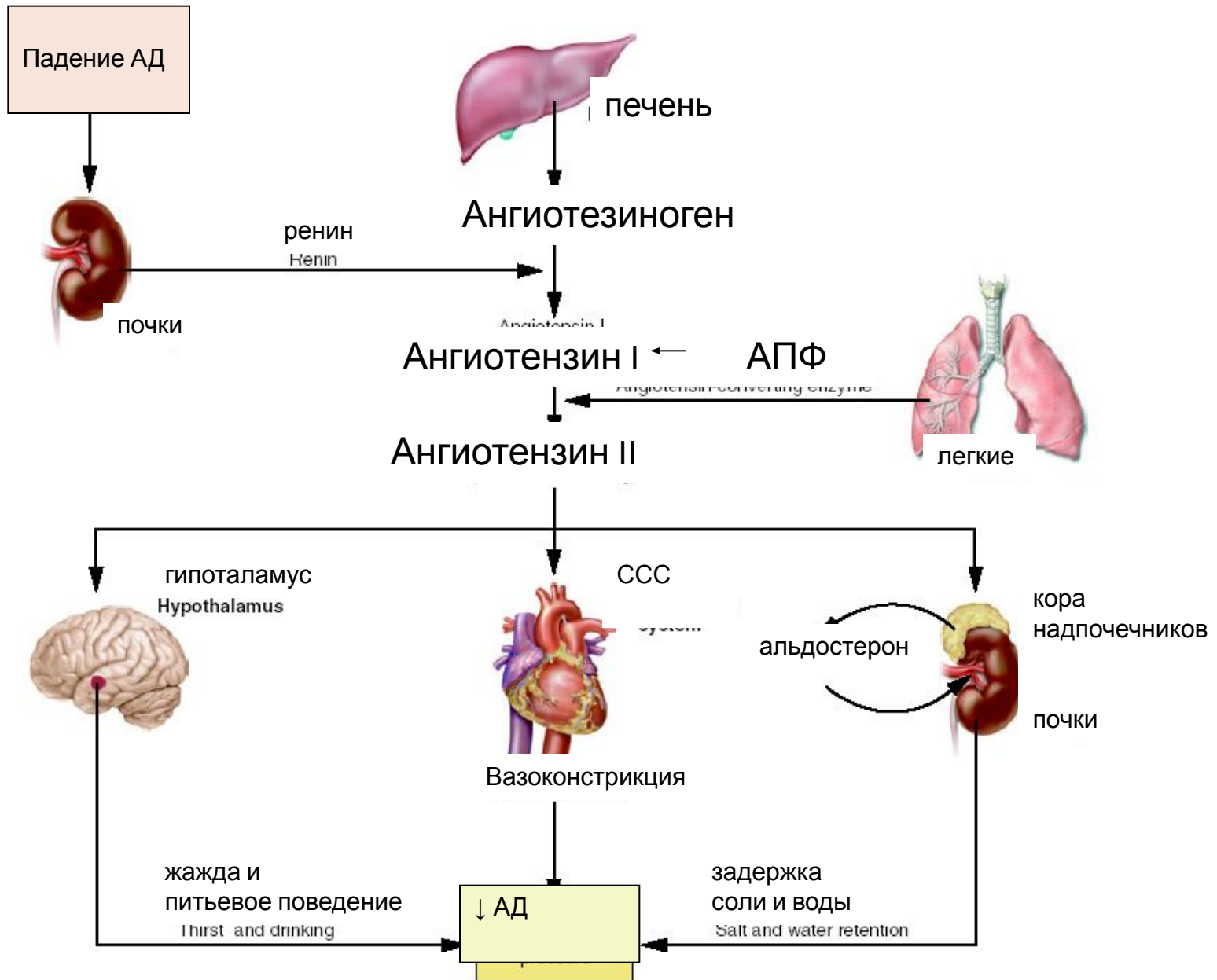
- β_1 - рецепторы ЮГ
клеток \rightarrow \uparrow ренина

Механизм

плотного пятна:

- \uparrow NaCl в дистальном
отделе нефрона \rightarrow \downarrow ренина

Ренин-ангиотензин-альдостероновый механизм. Эта цепь событий активизируется падением АД и ведет к его повышению.

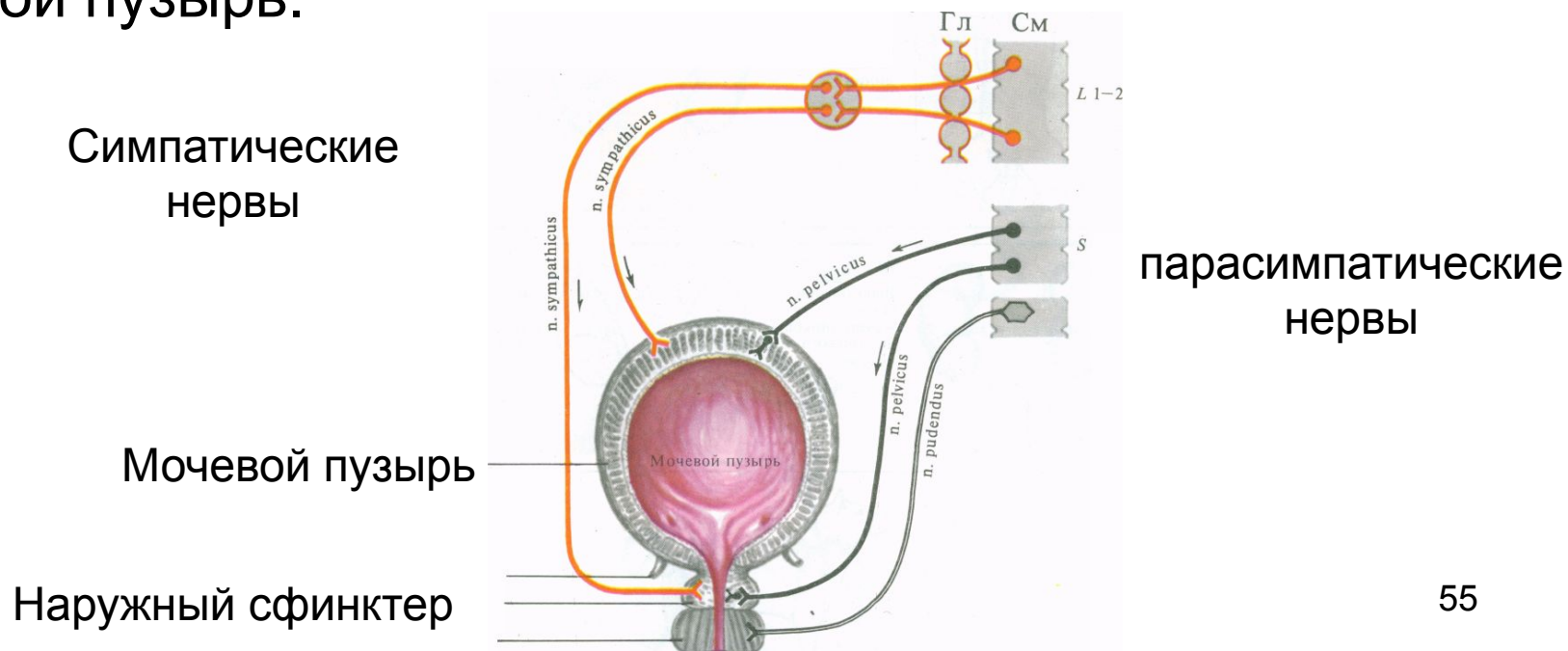


Также в почках вырабатывается несколько БАВ, позволяющих рассматривать ее как инкреторный орган:

- активатор плазминогена — урокиназа.
- простагландины (в мозговом веществе почки), участвуют в регуляции почечного и общего кровотока, увеличивают выделение натрия с мочой, уменьшают чувствительность клеток канальцев к АДГ.
- клетки почки извлекают из плазмы крови образующийся в печени прогормон — витамин D₃ и превращают его в физиологически активный гормон — D₃. Этот стероид стимулирует образование кальцийсвязывающего белка в кишечнике, способствует освобождению кальция из костей, повышает его реабсорбцию в почечных канальцах.
- эритропоэтина, стимулирующего эритропоэз в костном мозге.
- брадикинин, являющийся сильным вазодилататором.

Процесс мочеиспускания

Образуемая в почечных канальцах моча выделяется в почечную чашечку, а затем в фазе систолы почечной чашечки происходит опорожнение в почечную лоханку. Последняя постепенно заполняется мочой, и по достижении порога раздражения возникают импульсы от барорецепторов, сокращается мускулатура почечной лоханки, раскрывается просвет мочеточника, и моча благодаря сокращениям его стенки продвигается в мочевой пузырь.



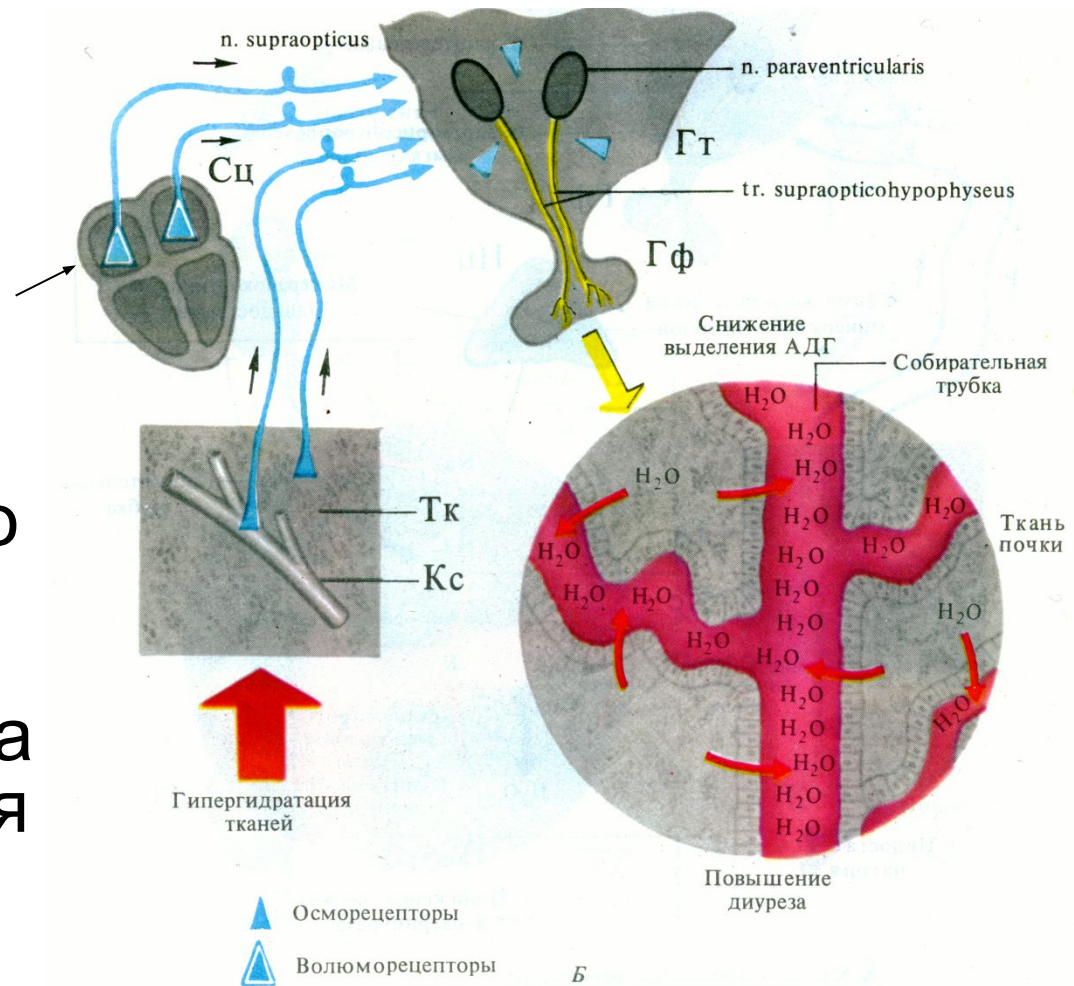
Объем мочи в пузыре постепенно увеличивается, стенка растягивается. Когда объем мочи в пузыре достигает определенного предела, раздражаются механорецепторы мочевого пузыря. Импульсы по центростремительным нервам поступают в крестцовые отделы спинного мозга, во II — IV сегментах которого находится непроизвольный центр мочеиспускания. Импульсы из этого центра идут по парасимпатическим волокнам к мочевому пузырю и мочеиспускательному каналу, вызывая сокращение стенки мочевого пузыря и расслабление сфинктера мочеиспускательного канала.

Спинальный центр находится под регуляцией вышележащих отделов: КГМ и средний мозг тормозят его, а задний гипоталамус возбуждает.

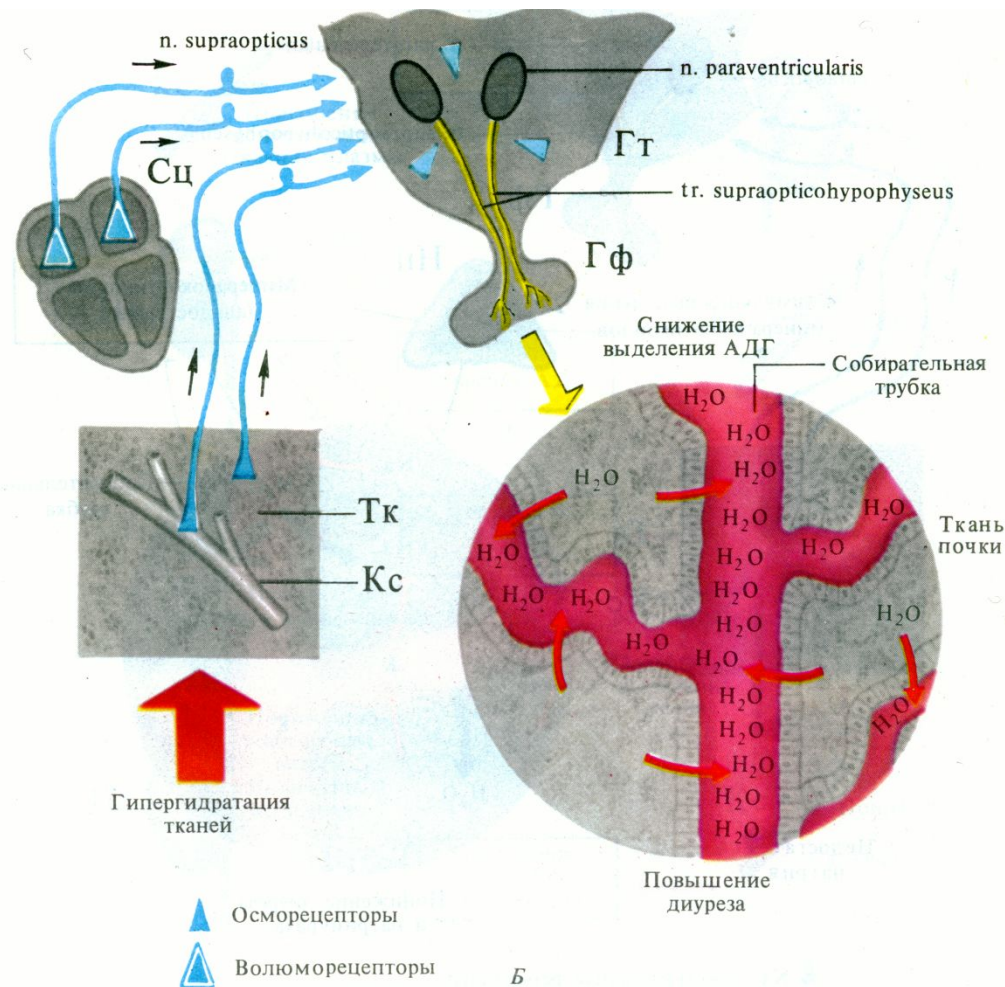
Первые позывы к мочеиспусканию появляются у человека, когда объем содержимого пузыря достигает 150 мл, усиленный поток импульсов наступает при увеличении объема 200- 300 мл.

Роль почек в регуляции водного баланса организма

- При увеличении притока крови в правое и левое предсердие волюморецепторы, расположенные здесь, возбуждаются. Импульсы по афферентным волокнам блуждающего нерва идут в ЦНС, угнетая секрецию АДГ, что приводит к увеличению диуреза.



- При максимальной водной нагрузке кровь становится гипоосмолярной
- Уменьшается стимуляция осморорецепторов ГТ
- Прекращается действие АДГ
- В отсутствии АДГ вода не реабсорбируется и выделяется большой объем мочи



Таким образом,

знание мембранных механизмов, обеспечивающих образование мочи, необходимо как для более рационального применения имеющихся лекарственных веществ, так и для целенаправленного поиска новых более эффективных фармакологических препаратов.