

Лекция 6: Физиология выделительной системы

Название дисциплины: Нормальная физиология

для специальности 31.05.02 Педиатрия 2 курс

Учебный год 2020 -2021

Кафедра нормальной и патологической физиологии

Лектор: доцент Климкина Татьяна Николаевна



Содержание:

- ▶ Основное назначение органов выделения
- ▶ Основные функции почек
- ▶ Типы нефронов
- ▶ Процессы обеспечивающие мочеобразование
- ▶ Регуляция мочеобразования



Выделение

Выделение – это освобождение организма от конечных продуктов обмена, избытка питательных и чужеродных веществ.

Выделение является последним этапом совокупности процессов обмена веществ, конечными продуктами которого являются H_2O , CO_2 , NH_3 .

Аммиак образуется только при окислении белков, и выделяется в виде мочевины. Вода и CO_2 образуются при окислении белков, жиров и углеводов и выделяются из организма в свободном виде. Почки выделяют практически все азотсодержащие вещества, больше половины воды, минеральные соли, чужеродные вещества (лекарства) и др.





Основное назначение органов выделения

Основное назначение органов выделения

состоит в поддержании постоянства состава и объёма жидкостей, внутренней среды организма, прежде всего крови.

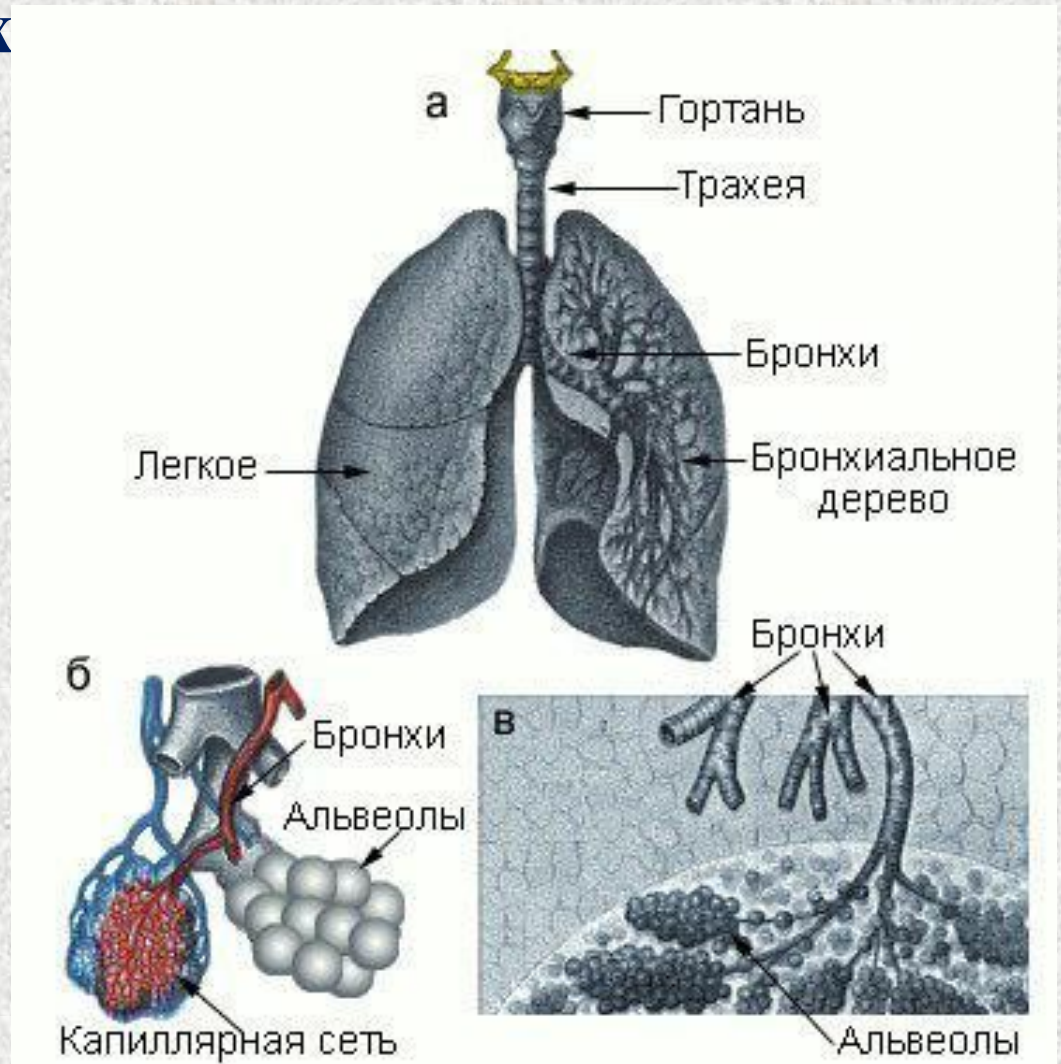
Выделительную функцию кроме почек

выполняют также лёгкие, кожа (потовые и сальные железы), желудочно-кишечный тракт, слизистые оболочки, слюнные железы



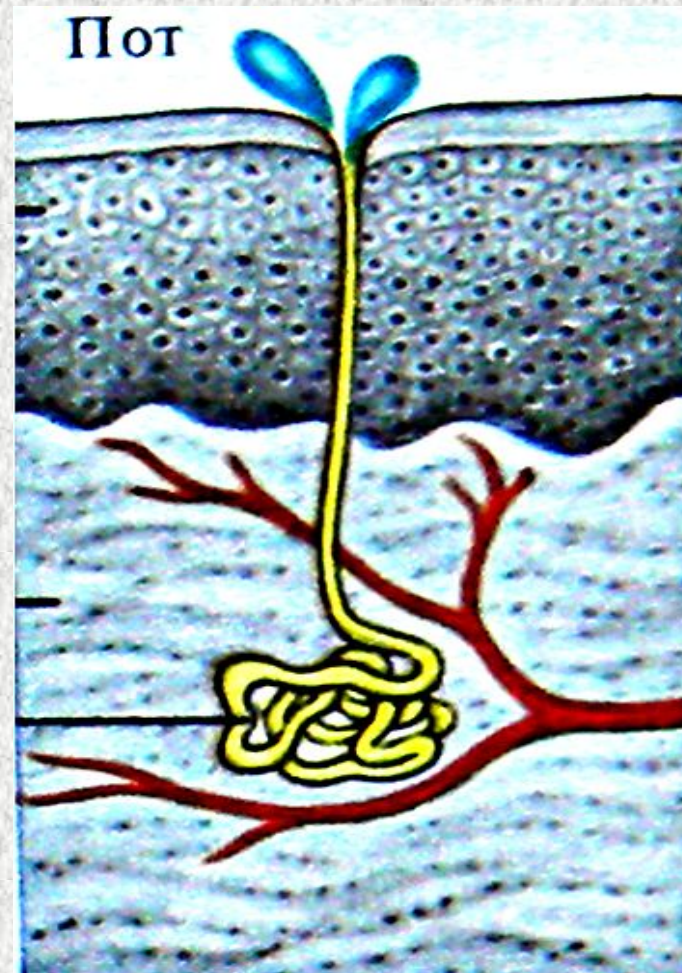
Выделительная функция легких

Легкие выделяют практически весь образующийся в организме CO_2 , они выделяют также воду, некоторые летучие вещества (алкоголь, эфир, газы)



Выделительная функция кожи

- Потовые железы выделяют воду, соли Na, K, Ca, креатинин, мочевую кислоту
- Потовые железы плотно расположены на ладонях, подошвах и подмышечных впадинах

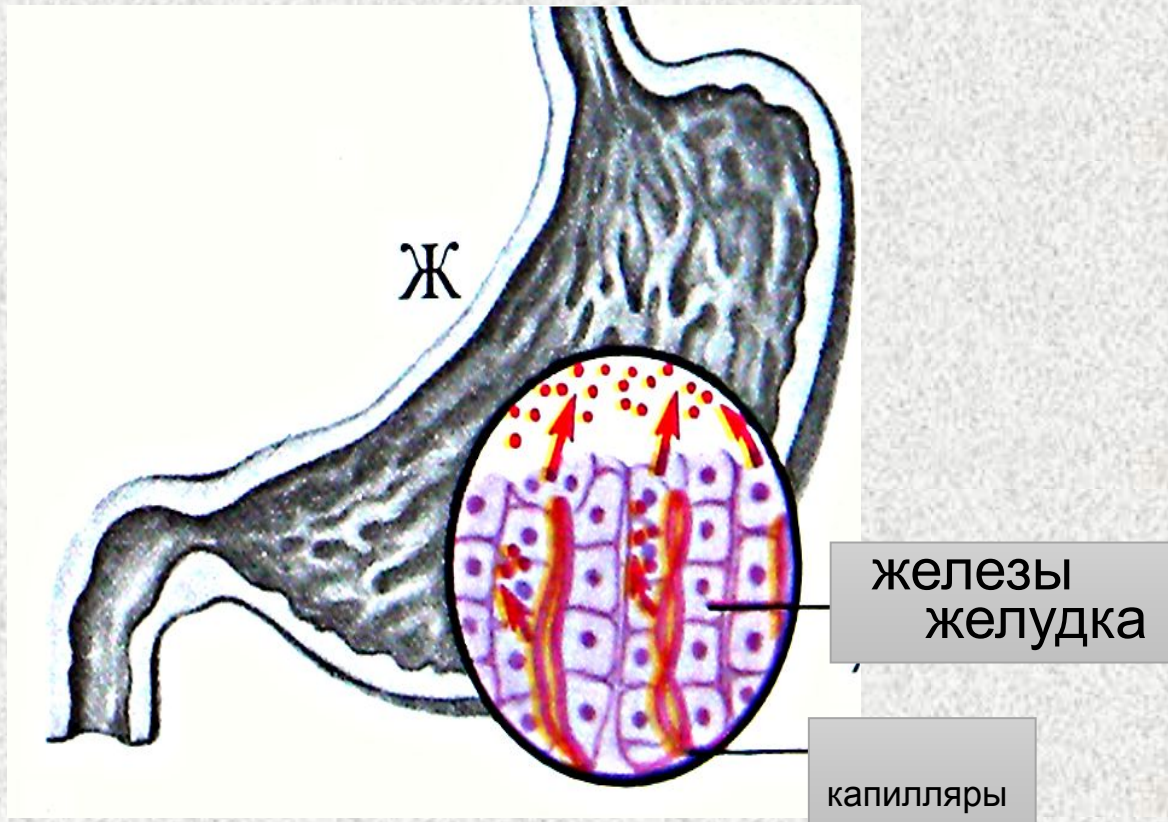


0,5 – 1,0 л
воды
удаляется
в виде паров с
поверхности
кожи

капилляр

потова
железа

Выделительная функция пищеварительного тракта



Железы пищеварительного тракта могут выделять:

- соли тяжёлых металлов
- чужеродные органические соединения
- мочевины и мочевая кислота
- лекарственные вещества (морфий, хинин, салицилаты)

Почка – главный орган выделения

Около 1,5 л выводится с мочой

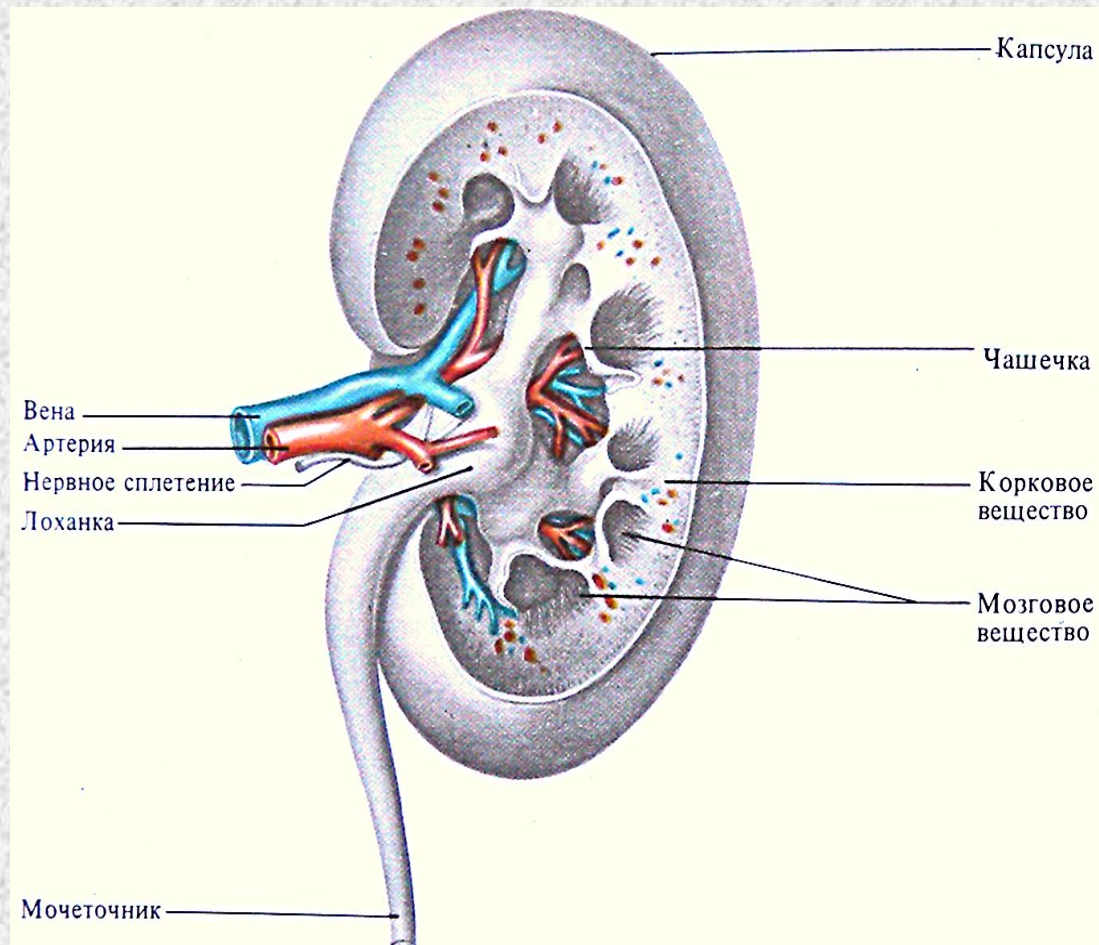
С калом – 100 мл

500 мл – с поверхности кожи

С дыханием – 500 – 1000 мл

Всего около 2,5 л в сутки

Половина этой воды поступает с питьём, половина – с твердой пищей.



Функции почек

- Участие в регуляции объёма крови и внеклеточной жидкости (**волюморегуляция**)
- Регуляция концентрации осмотически активных веществ в крови и других жидкостях тела (**осморегуляция**)
- Регуляция ионного состава сыворотки крови и ионного баланса организма (**ионная регуляция**)
- Участие в регуляции кислотно-основного состояния (pH крови)
- Участие в регуляции артериального давления, эритропоэза, свёртывания крови, модуляции действия гормонов (**инкреторная функция**)
- Выделение из организма конечных продуктов **азотистого обмена**, чужеродных, избытка органических (глюкоза)



Функции почек

- **Экскреторная функция** — является жизненно важной: острая почечная недостаточность течение 1 – 2 недель ведёт к летальному исходу, вследствие отравления организма продуктами обмена белкового происхождения
- **Метаболическая функция** — расщепляет белки, реабсорбируемые из первичной мочи (с помощью пиноцитоза) , при голодании 50% глюкозы, поступающей в кровь, образуется в почке. Участвует в обмене липидов
- **Выработка БАВ.** Почка продуцирует ферменты (ренин, урокиназу, тромбопластин) - вещества, действующие непосредственно на клетки различных тканей (выделение натрия с мочой, извлечение из плазмы прогормона ДЗ



Нефрон

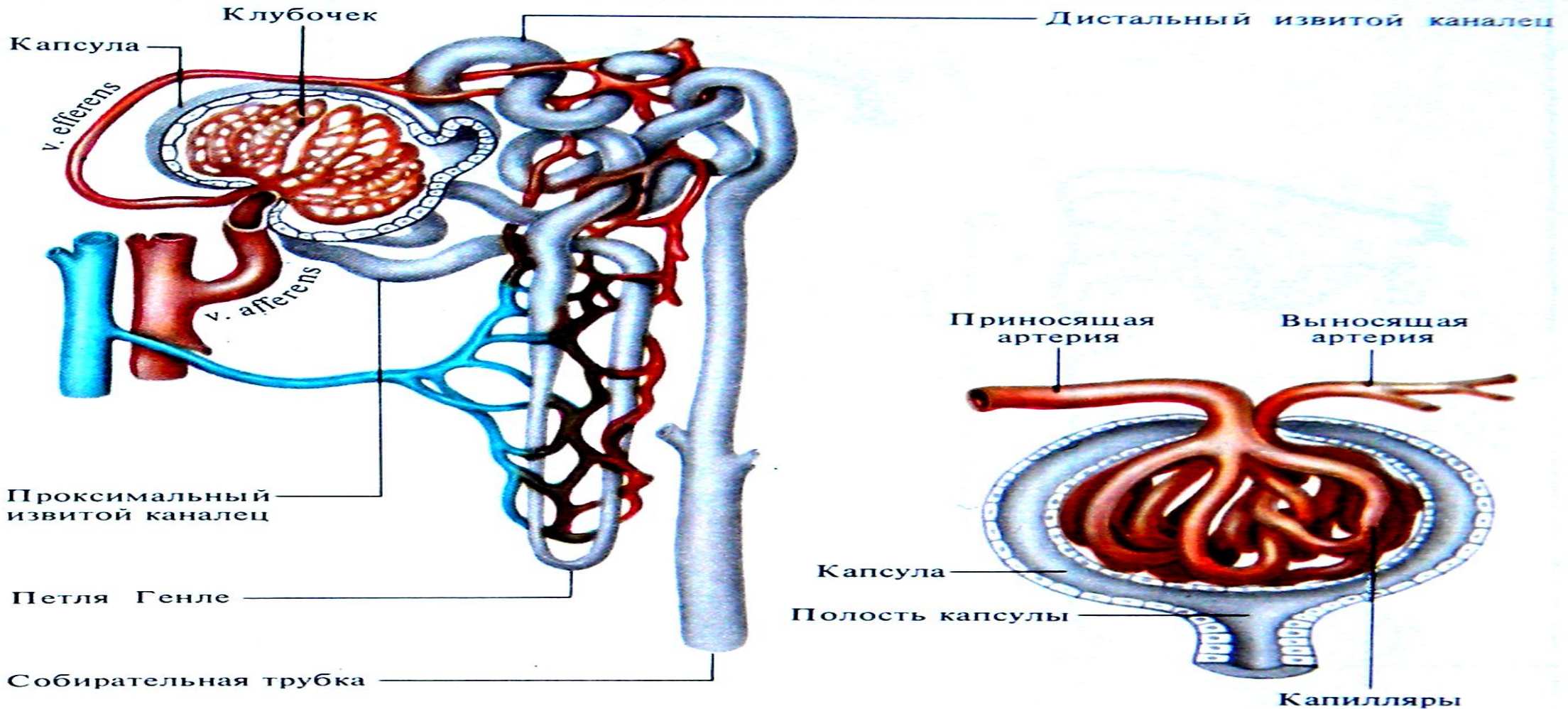
В каждой почке у человека содержится около 1 млн функциональных единиц – **нефронов**, в которых происходит образование мочи. Он состоит из нескольких структурных элементов, значение каждого из которых – специфично.

Нефрон – начинается с почечного (**мальпигиевого**) тельца – клубочка, представляющего собой клубочек капилляров, окутанный двустенной капсулой (**Шумлянского - Боумена**).

Каждый клубочек включает 30-50 капиллярных петель. Наружная стенка капсулы переходит в проксимальный извитой каналец, длина которого 14 мм. Особенностью этого каналца является наличие щёточной каёмки – большого количества микроворсинок, обращённых в просвет каналца.



Строение нефрона



Строение нефрона

Следующий отдел нефрона - **тонкая нисходящая часть петли нефрона (петля Генле)**. Её стенка образована низкими, плоскими эпителиальными клетками. Нисходящая часть петли может опускаться глубоко в мозговое вещество, где каналец изгибается на 180° , и поворачивает в сторону коркового вещества почки, образуя восходящую часть петли нефрона, которая поднимается до уровня клубочка своего же нефрона, где начинается дистальный извитой каналец.

Конечный отдел нефрона – короткий связующий каналец, впадает в собирательную трубку. Начинаясь в корковом веществе почки, собирательные трубки проходят через мозговое вещество и открываются в полость почечной лоханки.



Типы нефронов

В почке функционирует несколько **типов нефронов**:

- **Суперфициальные** (поверхностные),
- **интракортикальные**
- **юкстамедулярные**

Различие между ними заключается:

- ❖ **в локализации в почке**
- ❖ **в величине клубочков** (юкстамедулярные крупнее суперфициальных)
- ❖ **глубине расположения** канальцев (суперфициальные нефроны имеют короткие петли, проксимальные, напротив, длинные, спускающиеся во внутреннее мозговое вещество)

Расположение каждой из частей нефрона определяет форму участия деятельности почки, в частности, осмотическом концентрировании мочи

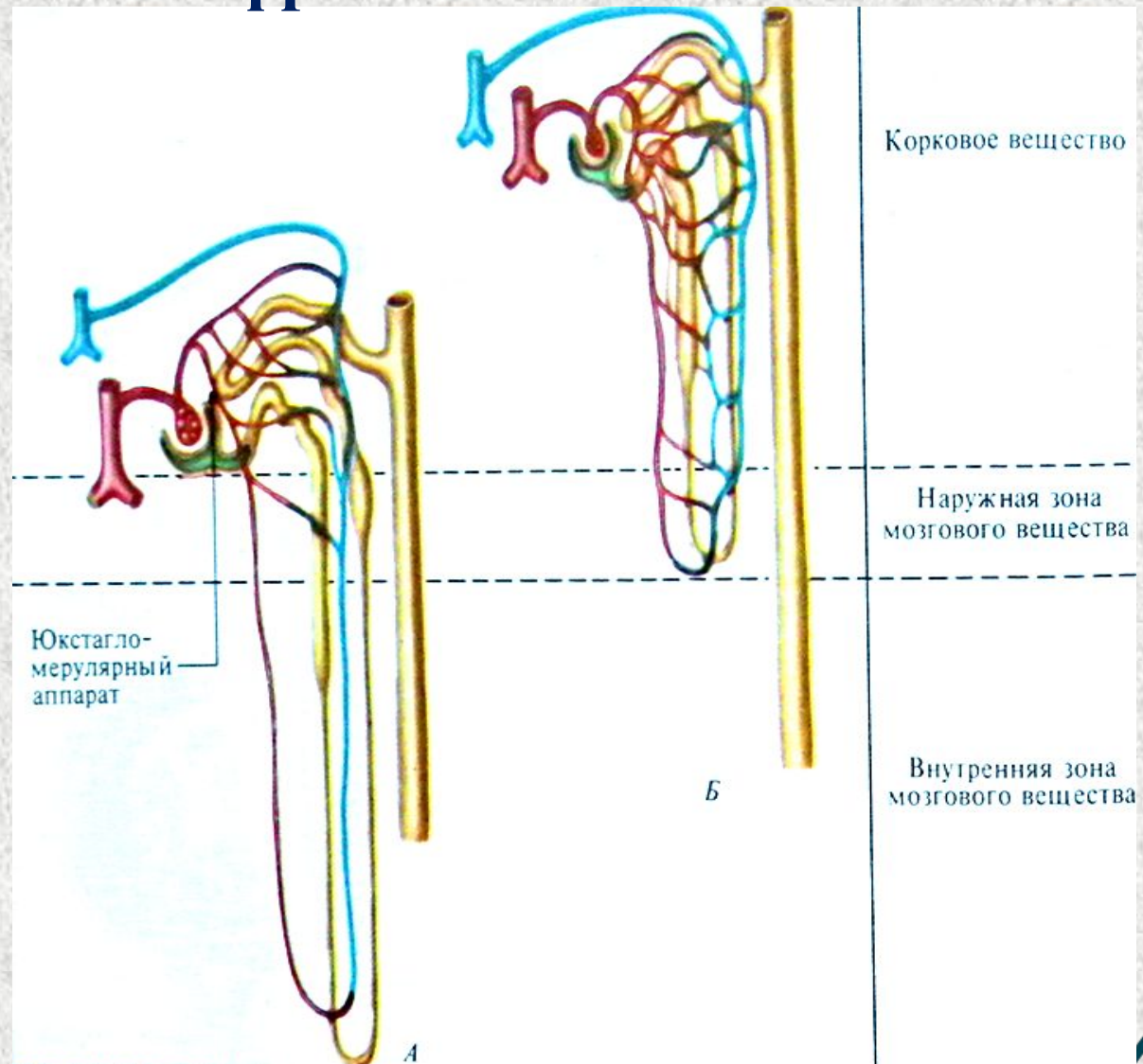


А - Юкстамедуллярный нефрон

(выносящая артериола не распадается на околоканальцевую капиллярную сеть, а образует прямые сосуды, кровоснабжающие мозговое вещество)

Б – Кортикальный нефрон

Типы нефронов



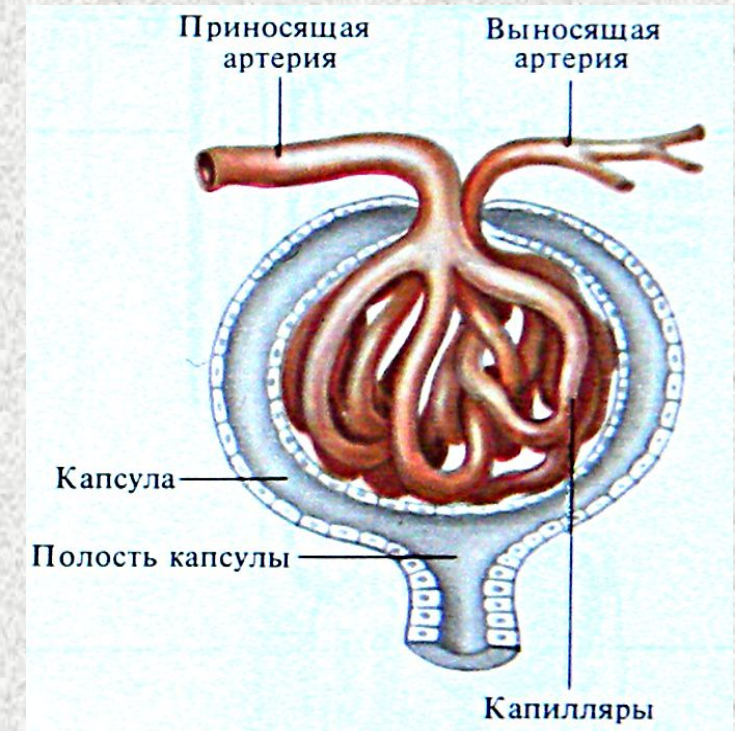
Процессы обеспечивающие мочеобразование

Образование конечной мочи является результатом трех последовательных процессов:

В **почечных клубочках** происходит начальный этап мочеобразования – **клубочковая фильтрация** – ультрафильтрация безбелковой жидкости из плазмы крови в капсулу почечного клубочка под действием гидростатического (**фильтрационного**) давления, создаваемого за счёт деятельности сердца

– в результате образуется **первичная моча**

(**180 л ультрафильтрата**), а выделяется **1,0 –1,5 л мочи**, а остальная всасывается в канальцах.



Фильтрационное давление

Уровень клубочковой фильтрации зависит от разности между гидростатическим давлением крови, онкотическим давлением белков плазмы крови и гидростатическим давлением в капсуле клубочка.

Фильтрационное давление:

$$\text{ФД} = \text{КД} - \text{ОД} - \text{ПД},$$

где **КД** – капиллярное давление (при АД = 120 мм.рт.ст.,
КД = 70-80 мм.рт.ст.);

ОД - онкотическое давление плазмы крови (часть осмотического давления, создаваемого белками) – около 20 -30 мм.рт.ст.;

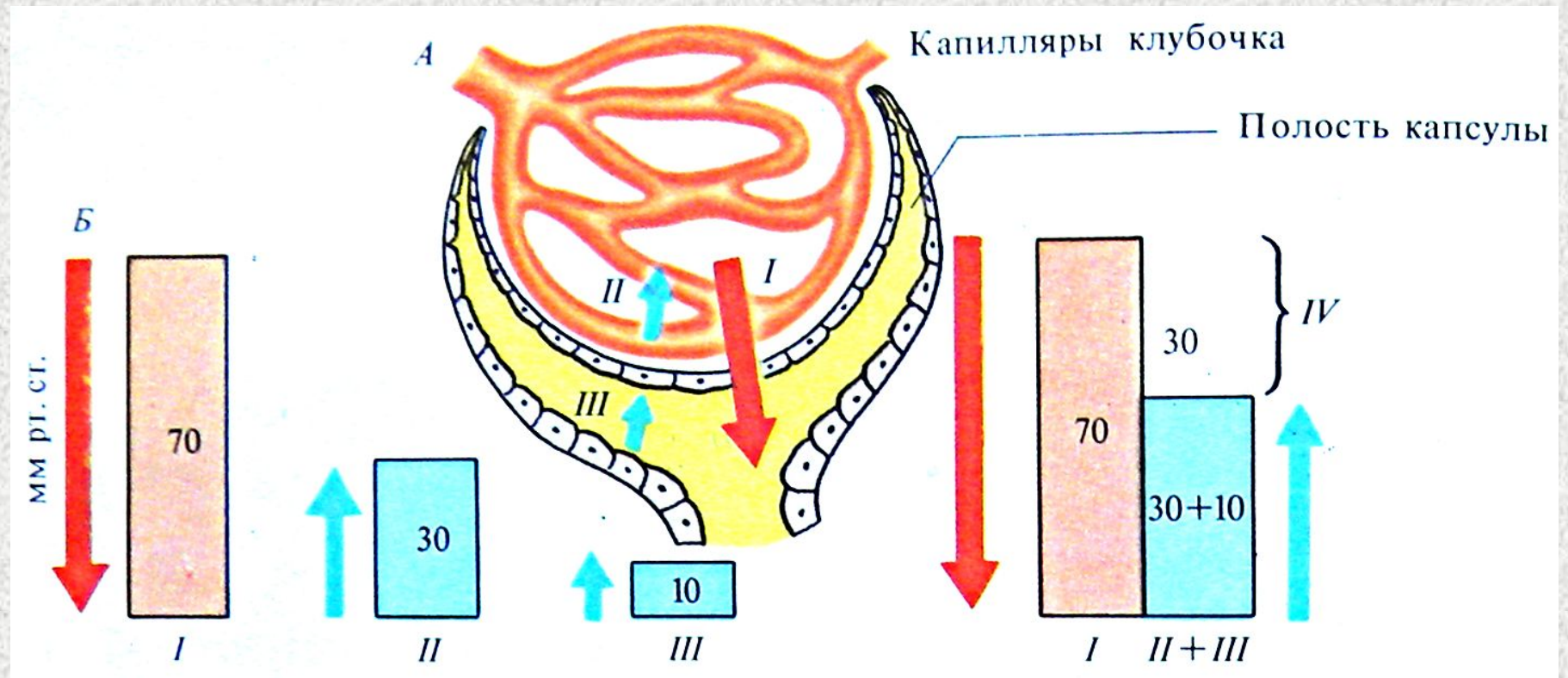
ПД – почечное (капсульное гидростатическое давление первичной мочи, около 10- 20 мм.рт.ст).

Таким образом, в среднем **ФД = 70 - (30+10) = 30 мм.рт.ст.**



Клубочковый диурез:

Фильтрационно
е
давление:
 $70 - (30 + 10) =$
 $= 30 \text{ мм рт.ст}$



А - взаимодействие давлений, участвующих в фильтрации мочи:
I- гидростатическое, II- онкотическое, III- внутривнепочечное (20 мм рт.ст);
Б - представление о фильтрационном давлении (IV)

Процессы обеспечивающие мочеобразование

Секреция - транспорт веществ из интерстиция клетками эпителия канальцев в их просвет – идёт по всему канальцу нефрона.

Её назначение – **выведение** из организма ненужных или токсических веществ, с непосредственной затратой энергии

Канальцевая реабсорбция – возврат веществ из канальцев в интерстиций и в кровь – обеспечивает сохранение необходимых организму веществ. Осуществляется во всех канальцах нефрона.

В проксимальном сегменте нефрона практически **полностью реабсорбируются аминокислоты, глюкоза, витамины, белки, микроэлементы**, значительное количество **Na⁺, Cl⁻**



Канальцевая реабсорбция

Реабсорбция – процесс обратного всасывания профильтровавшихся веществ и воды.

Механизмы:

1. **Активный транспорт**

(против электрохимического и контрационного градиентов)

первично-активный

(за счет энергии клеточного метаболизма)

транспорт Na^+ при участии Na^+ , K^+ -АТФазы, используя АТФ

вторично-активный

(без затраты энергии клетки)

глюкоза, аминокислоты





Канальцевая реабсорбция

2. Пассивный транспорт

(по электрохимическому, концентрационному или осмотическому градиенту)

По электрохимическому градиенту

транспортируется хлор

По концентрационному градиенту

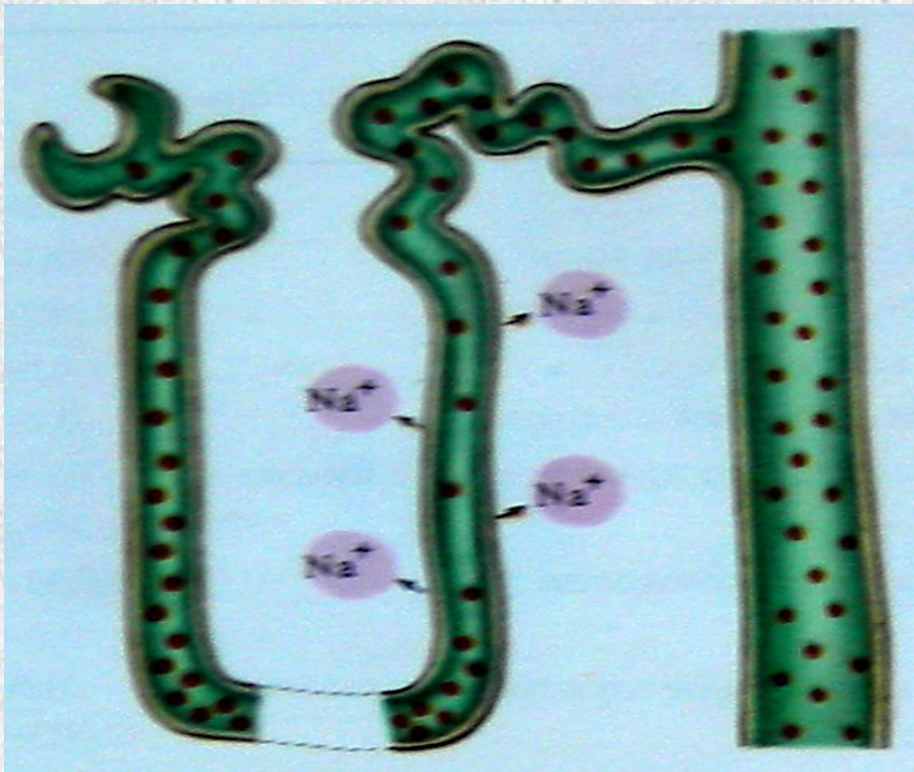
транспортируется мочевины

По осмотическому градиенту

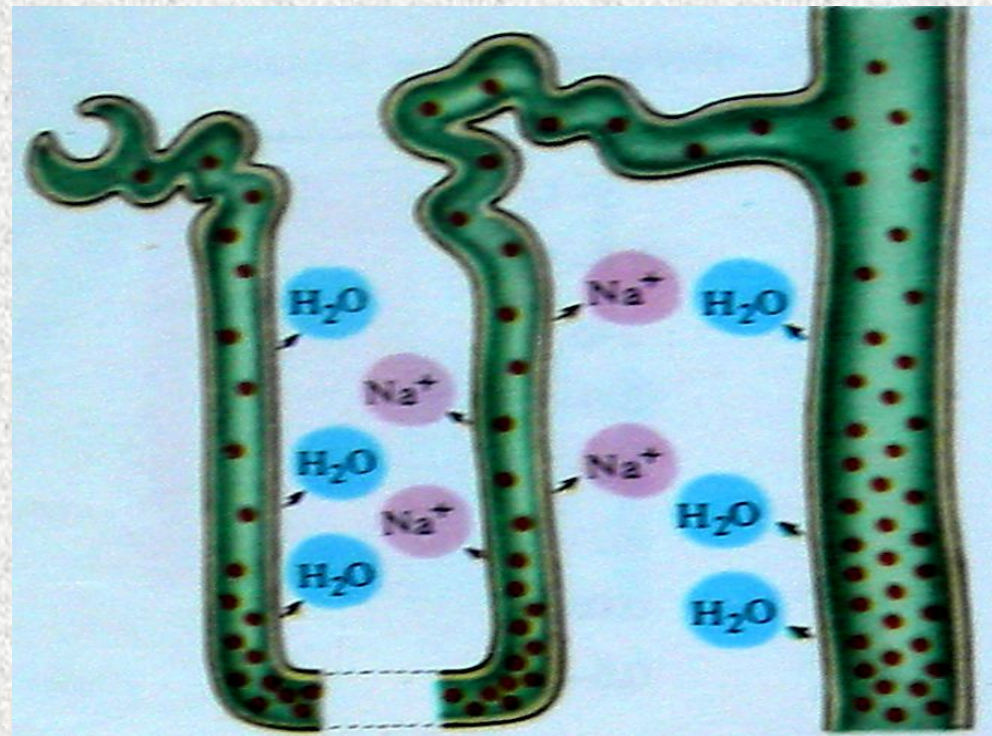
транспортируется вода



Деятельность противоточного механизма в почках (густота точек отражает концентрацию электролитов)



Реабсорбция Na^+

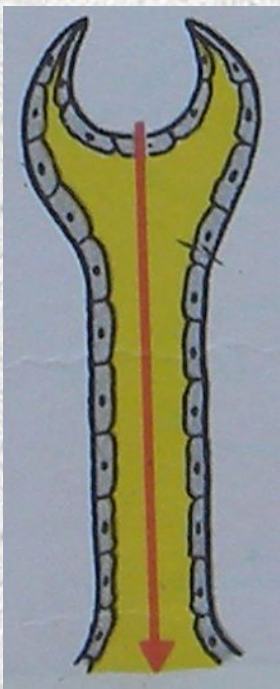


Реабсорбция H_2O вслед за Na^+



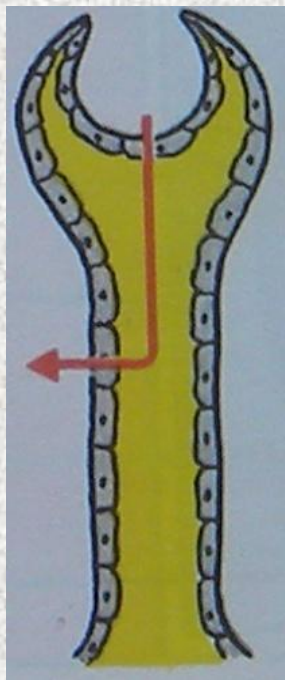
Процессы происходящие в канальцах при прохождении по ним компонентов мочи

фильтрация



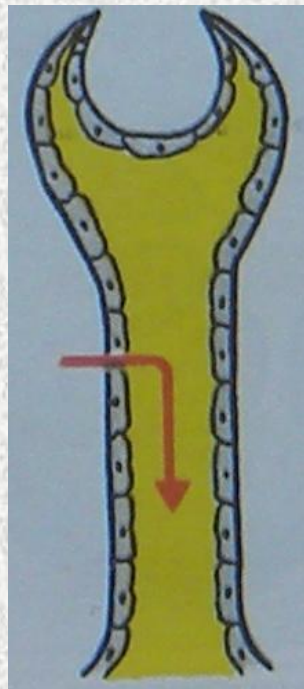
инулин

реабсорбция



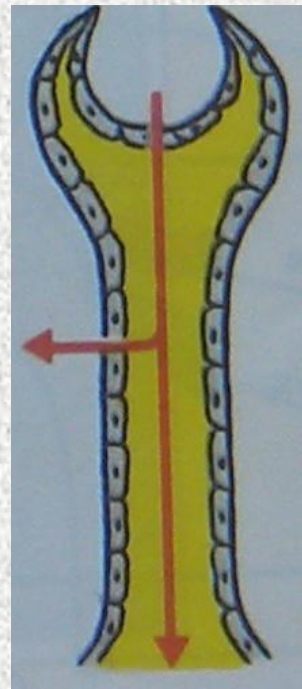
Глюкоза в
норме

секреция



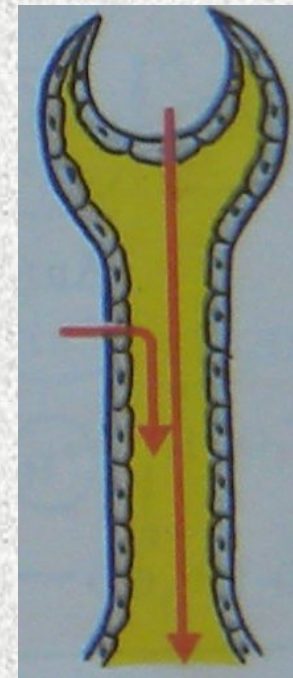
ионы K^+

фильтрация и
реабсорбция



мочевина

фильтрация и
секреция



диодрас
т

Регуляция мочеобразования

Мочеобразование регулируется **нервными и рефлекторными** механизмами. Почки иннервируются **симпатическими** и **парасимпатическими** волокнами, отходящими от **спинного** и **продолговатого мозга**.

Парасимпатическая система увеличивает фильтрацию и диурез; **симпатическая** – увеличивает реабсорбцию воды в канальцах.

Нервная система действует на почки двояко. Если раздражать **симпатические нервы**, иннервирующие почки, образование количества **мочи уменьшается** (суживаются приносящие сосуды и давление в них падает). Если же **суживаются выносящие сосуды** – то давление в приносящих сосудах клубочка **увеличивается** и **мочеобразование возрастает**.



Гормональная регуляция

Альдостерон – гормон коркового вещества надпочечников.

Если в организм поступает большое количество солей, то выработка альдостерона угнетается, и обратное всасывание Na^+ уменьшается при этом сохраняется постоянство осмотического давления.

Если же в организм поступает большое количество воды, то синтез этого гормона возрастает, что сопровождается увеличением обратного транспорта Na^+ в кровь, что также поддерживает осмотический гомеостаз.

Альдостерон усиливает секрецию K^+ , усиленное поступление K^+ в клетку из внеклеточной жидкости;

Инсулин уменьшает выделение K^+



Гормональная регуляция

Вазопрессин, или **антидиуретический гормон (АДГ)** – гормон гипоталамуса, который накапливается в задней доле гипофиза и оттуда секретируется в кровь.

Вазопрессин увеличивает реабсорбцию воды почкой, повышая концентрацию мочи и уменьшая объём мочи.

Ренин – фермент, который секретируется в юктагломерулярном аппарате. Ренин представляет собой протеазу, под действием которой от α_2 - глобулина крови отщепляется ангиотензин I, и под действием фермента крови (ангиотенгиназы) превращается в активную форму - ангиотензин II. Это самый мощный из всех сосудосуживающих веществ, вследствие чего существенно повышает артериальное давление.



Выведение мочи

Моча из собирательных трубок по выводным протокам поступает в чашечки – из них в лоханку, которая обладает автоматией : периодически сокращается и расслабляется, при этом порция мочи выдавливается в мочеточник. Мочеточники входят в мочевой пузырь в косом направлении, образуя клапанный аппарат, препятствуя обратному выходу мочи в мочеточники при наполненном мочевом пузыре и во время мочеиспускания, когда сокращается мускулатура.

Симпатическая иннервация мочеточников осуществляется из почечного, мочеточникового и нижнего подчревного сплетений, её активация ведёт к расслаблению мочеточников.

Парасимпатическая иннервация верхней части мочеточников осуществляется из блуждающего нерва, нижней части – из тазового нерва, возбуждение парасимпатических волокон- ведёт к усилению сокращений стенок мочеточников.



Выведение мочи

Афферентные нервные волокна от мочевого пузыря идут в составе симпатических нервов и поступают в спинной мозг через задние корешки нижних грудных и верхних поясничных сегментов, частично – в составе парасимпатических нервов – в крестцовые сегменты.

Эфферентные импульсы, контролирующие наполнение и опорожнение мочевого пузыря, идут от пирамидных клеток к различным структурам головного мозга и центрам мочеиспускания в спинном мозге.

Повышение активности **симпатической нервной системы** создаёт условия для наполнения мочевого пузыря, **парасимпатической** – для его освобождения.

Механизм произвольной регуляции мочеиспускания формируется в возрасте 1-2 лет.



Диурез

Диурезом – называют количество мочи, выделяемое человеком за определённое время. При обычном водном режиме за сутки выделяется 1 – 1,5 л мочи. Минимальное количество мочи за сутки - 400 мл.

После потребления большого количества воды и при функциональной пробе с водной нагрузкой, скорость мочеотделения достигает 15 – 20 мл/мин. В условиях высокой температуры окружающей среды и вследствие возрастания потоотделения – количество выделяемой мочи уменьшается.

Ночью во время сна диурез меньше, чем днём.



Виды диуреза

В зависимости от количества выделенных осмотически активных веществ и объёма мочи различают:

- **Осмотический диурез** (большой объём мочи с высокой концентрацией осмотически активных веществ) плотность её $\rho = 1,005 - 1,025$. Осмотическое давление в 2-3 раза больше осмотического давления плазмы крови (6,6 – 7,6 атмосфер)

В итоге выделяется большой объём жидкости с высоким содержанием осмотически активных веществ в ней.

Концентрация натрия в моче колеблется в пределах 50-70 ммоль/л

Осмотический диурез развивается при сахарном диабете, хронической почечной недостаточности, в ответ на применение осмотических диуретиков.





Виды диуреза

- **Водный диурез** — выделение гипоосмолярной мочи.

При водном диурезе блокировано выделение АДГ, дистальные канальцы и собирательные трубочки непроницаемы для воды, осмолярность интерстиция почки не велика (отсутствие АДГ в течение суток- выделение 15 л мочи)- **полиурия** (наблюдается у больных при истинном и почечном несахарном диабете, гипокалиемии, гиперкальциемии)

У здоровых лиц водный диурез развивается после потребления большого количества жидкости, при переходе от обычной двигательной активности к строгому постельному режиму.





Виды диуреза

- **Антидиурез** - уменьшение диуреза, концентрация осмотических веществ увеличивается. При уменьшении мочеотделения, вызванной секрецией АДГ нейрогипофизом при дефиците воды в организме, увеличивается проницаемость стенки конечных частей дистального сегмента и собирательных трубок для воды.

Из гипотонической жидкости, находящейся в связующем канальце, вода реабсорбируется по осмотическому градиенту. Минимальное количество выделяемой мочи – 400 мл.

Дальнейшее уменьшение количества мочи – **олигурия**, например при недостаточном поступлении воды, приводит к нарушению выделительной функции почек.



Количество и состав конечной мочи

Формирование состава конечной мочи заканчивается в собирательных трубках – **конечном звене**. Пройдя собирательные трубки, моча по выводным протокам попадает в лоханку, а затем в мочевой пузырь, где состав мочи уже не изменяется.

С помощью почек из организма выводятся практически все азотсодержащие продукты обмена белков, содержание которых в моче, как и некоторых других веществ, например глюкозы, свидетельствует о функциональном состоянии не только почек, но и других систем организма.

С мочой за сутки выделяется: 25 -35 г мочевины, 0,5-1г мочевой кислоты, 0,4 -1,2г азота, 0,5г аминокислот, 1,5 г креатинина, 1,5 – 3 г калия, 3 -6 г натрия. Всего за сутки с мочой выделяется около 20 г минеральных веществ и 60 г органических.



Количество и состав конечной мочи

Концентрация ряда веществ в моче во много раз больше, чем в плазме крови: калия в 7 раз больше, мочевой кислоты- в 12 раз, фосфатов – в 67 раз, **белков и глюкозы в моче в норме нет.**

В моче может появиться глюкоза, при содержании её в крови выше 10 ммоль/л, что возникает в условиях патологии.

Цвет мочи зависит от величины диуреза и уровня экскреции пигментов. Цвет меняется от светло жёлтого до оранжевого.

В моче содержатся пигменты, которые образуются из билирубина (который попадает сначала в кишечник, превращается в **уробилин** и **уроохром**, которые попадают в кровь и выделяются почками, что и определяет цвет мочи. В патологических случаях могут появиться белок, ацетон и желчные пигменты.



Оценка экскреторной функции почек

Клиренс (от англ. «clearance» -очищение) - коэффициент очищения.

Клиренс вещества $X(C_x)$ - параметр, показывающий какой объем плазмы очищается от вещества X за 1 минуту, выражается в мл/мин.

$$C_x = V \cdot U_x / P_x$$

V -объем экскретированной мочи; U_x - концентрация вещества X в моче; P_x - концентрация вещества X в плазме крови;



Спасибо за
внимание

