

## **Мочевыделительная система**

Мочевыделительная система состоит из почек – мочеобразующего органа – и мочевыводящих путей: почечных лоханок и чашечек, мочеточников, мочевого пузыря и мочеиспускательного канала.

### **Функции почек**

1. Мочеобразование и мочевыделение.
2. Поддержание кислотно-щелочного гомеостаза.
3. Регуляция водно-солевого обмена.
4. Регуляция артериального давления.
5. Эндокринная функция.
6. Участие в обмене веществ, в первую очередь в обмене белков и углеводов.
7. Участие в выработке свертывающей-противосвертывающей системы.

### **Развитие почек**

В эмбриональном периоде зародыша человека последовательно формируется и развивается три почки: предпочка (pronephros), первичная почка (mesonephros) и окончательная почка (metanephros).

Источником развития всех трех почек является мезодерма, а точнее нефротом (сегментная ножка). Сегментные ножки соединяют сегментированную часть мезодермы, представленную сомитами с несегментированной мезодермой – спланхнотомом. У зародыша человека нефротом сегментирован только в головном и туловищном отделе. В каудальном отделе он не разделен на сегменты и называется нефрогенной тканью.

Предпочка развивается в организме человека на 3-ей неделе внутриутробного развития на уровне первых 8-10 головных сомитов. Клетки нефротомы активно пролиферируют, в результате чего формируются трубочки протонефридии. Одним концом протонефридии открываются в целом, а другим в сторону сомитов, где соединяясь принимают участие в образовании мезонефрального (Вольфов) протока, который открывается в клоаку. Предпочка как орган мочеобразования у зародыша человека не функционирует. Она подвергается атрофии и постепенно рассасывается. Однако, образование предпочки является важным, так как ее протонефридии инициируют образование мезонефрального протока, из которого впоследствии образуются органы мочевыделительной системы.

Первичная почка образуется 2-м месяце эмбриогенеза на уровне 25 пар туловищных сомитов. Пролиферация клеток нефротомы приводит к образованию трубочек – мезонефридий. Мезонефридии одним концом впадают в мезонефральный проток, а другой их конец формирует капсулу, в которую врастают сосуды дорзальной аорты, в результате чего формируются почечные тельца. Первичная почка функционирует в течении 5-и месяцев беременности, а затем редуцируется, однако в мужском организме часть канальцев ее используется для образования некоторых структур яичка.

Окончательная почка (тазовая) начинает образовываться на 2-ом месяце эмбриогенеза и к 5-у месяцу начинает функционировать. Она образуется из нефрогенной ткани и мезонефрального протока, который у места впадения в клоаку образует утолщение – метанефрический дивертикул. Из нефрогенной ткани образуются все части нефрона, а из метанефрических дивертикулов – эпителий собирательных трубочек, сосочковых каналов, лоханок, чашечек, мочеточников.

### **Строение почек**

Почки – паренхиматозный орган. Снаружи покрыты капсулой из плотной волокнистой соединительной ткани и серозной оболочкой. От капсулы вглубь органа отходят соединительнотканые прослойки. Почка состоит из коркового вещества, расположенного снаружи и мозгового вещества, расположенного в центре. Корковое вещество проникает в

мозговое в виде колонок Бертини, а мозговое в корковое – в виде мозговых лучей Феррейна. На срезе мозговое вещество почки имеет более светлую окраску и образовано мозговыми пирамидами (их около 20). Широкие основания пирамид обращены в сторону коркового вещества, а верхушки, называемые сосочками, обращены в почечные чашечки.

### **Гистофизиология нефрона**

Нефрон – структурно-функциональная единица почки. В каждой почке содержится около 1 млн. нефронов. В зависимости от локализации выделяют 3 типа нефронов:

1. Подкапсулярные (1%) – целиком лежат в корковом веществе почки.
2. Промежуточные корковые (80%) – большая часть нефрона располагается в корковом веществе, лишь петли Генле спускаются в наружную зону мозгового вещества.
3. Околomозговые (юкстамедуллярные) (20%) – почечные тельца, проксимальные и дистальные отделы их лежат на границе между корковым и мозговым веществом, а петли Генле уходят глубоко в мозговое вещество.

В нефроне выделяют следующие части: капсулу, проксимальный извитой и прямой канальцы, тонкий каналец, дистальный прямой и извитой канальцы.

Капсула нефрона имеет вид двустенной чаши, в которую входят капилляры первичной капиллярной сети (сосудистый клубочек), образуя почечное тельце Мальпиги. Первичная капиллярная сеть лежит между приносящей и выносящей артериолами и поэтому является чудесной артериальной сетью. Диаметр выносящей артериолы в промежуточных корковых нефронах в два раза меньше диаметра приносящей артериолы. В результате в первичной капиллярной сети создается высокое фильтрационное давление – 70-90 мм рт. ст., за счет которого осуществляется первая фаза образования мочи путем фильтрации жидкости и веществ из плазмы крови в полость капсулы нефрона. За сутки путем фильтрации в почках образуется 100-180 л первичной мочи. Первичная моча содержит все составные части плазмы крови, кроме крупномолекулярных белков и форменных элементов крови. Отсутствие их в первичной моче связано с наличием в составе почечных телец почечного фильтра называемого фильтрационным барьером. В состав фильтрационного барьера входят:

1. Фенестрированные эндотелиальные клетки капилляров сосудистого клубочка;
2. Гломерулярная базальная мембрана;
3. Подоциты – клетки внутреннего листка капсулы нефрона.

Гломерулярная базальная мембрана является общей для эндотелия капилляров сосудистого клубочка и подоцитов. Подоциты прикрепляются к ней с помощью мелких отростков – цитоподий, которые отходят от более крупных отростков подоцитов – цитотрабекул. Между цитоподиями подоцитов находятся фильтрационные щели.

Гломерулярная базальная мембрана фильтрационного барьера является трехслойной. Наружный и внутренний ее слои – светлые, а средний слой – темный. В темном слое базальной мембраны находятся микрофибриллы, формирующие сеть с диаметром ячеек около 7 нм. Через эти ячейки могут проникать только мелкие белковые молекулы диаметр которых не превышает 7 нм. При патологии размер ячеек может увеличиваться, и в моче появляются крупные молекулы белка (протеинурия) и эритроциты (гематурия). Кроме низкомолекулярных белков почечный фильтр пропускает воду, соли, глюкозу.

Наружный листок капсулы нефрона представлен однослойным плоским эпителием, который переходит в эпителий проксимального отдела нефрона, а полость капсулы – в полость проксимального канальца. В проксимальном канальце выделяют извитую часть, которая затем переходит в прямую. Проксимальный каналец имеет слабо выраженный, мутный просвет, так как эпителий проксимального канальца однослойный призматический каемчатый. Щеточная каемка образована многочисленными микроворсинками, увеличивающими поверхность всасывания клеток в 30-40 раз. В базальной части эпителиальных клеток проксимальных канальцев нефрона находится

базальная исчерченность – инвагинации цитолеммы, в складках которой располагается большое количество митохондрий.

Функция канальцев нефрона заключается в обратном всасывании (реабсорбции) ряда веществ из первичной мочи. Реабсорбция – вторая фаза образования мочи. Осуществляется за счет низкого давления (10-12 мм рт. ст.) в капиллярах вторичной капиллярной сети, которая образуется из выносящей артериолы, распадающейся на многочисленные капилляры, густо оплетающие канальцы нефрона.

В проксимальных канальцах нефрона осуществляется: облигантное (обязательное) обратное всасывание из первичной мочи в кровь белков и глюкозы; факультативное всасывание воды и минеральных веществ; а также экскреция некоторых экзогенных веществ (например введенной краски). Белки реабсорбируются путем пиноцитоза с образованием в эпителиальных клетках проксимальных канальцев многочисленных пиноцитозных пузырьков. Макромолекулы белков расщепляются до аминокислот ферментами лизосом, которые также содержатся в эпителиальных клетках проксимальных канальцев в большом количестве. Реабсорбция глюкозы осуществляется за счет высоко активной фосфотазы – фермента щеточной каемки нефроцитов проксимальных канальцев нефрона. Цитолемма нефроцитов в области базальной складчатости отличается высокой активностью натриевого насоса, за счет которого осуществляется транспорт Na из мочи в интерстициальное пространство, что в свою очередь имеет значение для пассивного обратного всасывания части воды. Т.о. в результате реабсорбции в проксимальных отделах нефрона из первичной мочи полностью исчезают сахар и белок.

Тонкий каналец нефрона выстлан однослойным плоским эпителием. В промежуточных корковых нефронах тонкий каналец имеет только нисходящую часть, а в юкстамедуллярных нисходящую и восходящую. Совместно с прямым дистальным канальцем тонкий каналец формирует петлю Генле. В нисходящей части тонкого канальца осуществляется пассивная реабсорбция воды, а в восходящей части – диффузия NaCl.

Дистальный отдел нефрона имеет прямую и извитую части. Стенка дистальных канальцев образована однослойным кубическим эпителием, в клетках которого хорошо развита базальная складчатость с высокой активностью Na, K – АТФазы и СДГ(сукцинатдегидрогеназа – фермент митохондрий), благодаря чему в дистальных канальцах происходит реабсорбция электролитов из мочи в интерстиций, а затем в сосуды вторичной капиллярной сети. Для воды стенка дистальных канальцев не проницаема. А так как дистальные канальцы лежат рядом с тонкими канальцами, то повышение концентрации ионов в интерстициальной РВСТ ведет к пассивному выходу воды из тонких отделов в интерстиций, а затем кровь.

Из дистального отдела нефрона моча попадает в собирательные трубочки, которые начинают мочевыводящие пути. Собирательные трубочки выстланы однослойным кубическим эпителием в корковом веществе и цилиндрическим – в мозговом. Среди его клеток выделяют два типа – светлые и темные. Темные клетки принимают участие в выработке HCl, которая закисляет мочу, придает ей антисептические свойства. Светлые клетки завершают пассивную реабсорбцию воды, в результате ее количество снижается до 1,5-2 л. Проницаемость собирательных трубочек для воды усиливается под влиянием АДГ, который способствует задержке воды в организме и превращению мочи из изотонической в гипертоническую. Недостаточность АДГ приводит к усиленной потере воды (несахарный диабет). Альдостерон в собирательных трубочках и в дистальном отделе нефрона стимулирует реабсорбцию ионов Na.

### **Особенности кровоснабжения и функции юкстамедуллярных нефронов**

Юкстамедуллярные нефроны в отличие от промежуточных корковых не столь активно участвуют в образовании мочи, особенно в процессе ее фильтрации. Это связано с особенностями их кровоснабжения. Так, диаметр приносящей и выносящей артериол в

юкстагломерулярных нефронах примерно одинаковый, в результате в капиллярах преобладающей капиллярной сети не создается достаточно высокого давления, необходимого для первой фазы образования мочи. Поэтому юкстамедуллярные нефроны играют роль шунта при физической работе. Выносящая артериола не распадается сразу на вторичную капиллярную сеть, а идут в мозговое вещество и распадаются на прямые артериолы, от которых отходят веточки перитубулярной капиллярной сети, оплетающие канальцы юкстамедуллярных нефронов. Прямые артериолы на различных уровнях мозгового вещества поварачивают обратно и переходят в прямые венулы и вены. Прямые артериолы и венулы являются частью противоточно-множительной системы.

### **Противоточно-множительная система**

Благодаря противоположно направленному току жидкости в канальцах нефрона происходит умножение одиночного эффекта, приводящее к концентрированию мочи. Из восходящего колена петли Генле реабсорбируются в интерстиций ионы Na. Вследствие этого по законам осмоса из нисходящего отдела петли в интерстициальную ткань откачивается вода. Поэтому на верхушке петли Генле моча становится более гипертоничной, а в конце восходящего отдела петли Генле более гипотоничной по отношению к плазме крови. Т.о. в петле Генле происходит умножение «одиночного» эффекта – приводящее к концентрированию жидкости в одном колене, за счет разбавления в другом. Собирательная трубочка лежит рядом с прямым дистальным канальцем. Под влиянием гиперосмолярности интерстиция, за счет активного поступления в него ионов Na из прямых дистальных канальцев, в собирательных трубочках из мочи в интерстиций и далее в сосуды диффундирует вода.

Прямые артериолы и венулы, подобно канальцам петли нефрона, также образуют противоточную систему. При движении крови вниз по прямым артериолам она обогащается осмотически активными веществами и отдает тканям воду. При движении крови вверх по прямым венулам она отдает межклеточной жидкости осмотически активные вещества и захватывает воду. Т.о., противоточная система прямых сосудов представляет собой шунт для воды (забирает воду из мочи в интерстициальную РВСТ и затем кровь).

### **Эндокринная система почек**

К эндокринной системе почек относятся юкстагломерулярный аппарат и простагландиновый аппарат.

Юкстагломерулярный аппарат – сложное структурное образование, регулирующее кровяное давление посредством ренин-ангиотензиновой системы. Этот аппарат вырабатывает фермент с гормоноподобным действием – ренин, который необходим для образования ангиотензина – II – самого сильного сосудосуживающего вещества. Ренин также стимулирует продукцию в клубочковой зоне коры надпочечников альдостерона, который усиливает реабсорбцию натрия и воды в дистальных канальцах и собирательных трубочках. Это ведет к увеличению объема циркулирующей крови и в конечном счете – также к повышению АД. Юкстагломерулярный аппарат включает три элемента:

1. Плотное пятно
2. Юкстагломерулярные клетки
3. Юкставаскулярные клетки (Гурмактига)

Плотное пятно – участок дистального канальца, лежащий между приносящей и выносящей артериолами вблизи почечного тельца. Плотное пятно состоит из 20-40 специализированных высоких узких эпителиальных клеток плотно прижатых друг к другу. От клеток отходят отростки, которые проникают между юкставаскулярными и юкстагломерулярными клетками и контактируют с ними. Клетки плотного пятна являются осморорецепторами: передают на юкстагломерулярные и юкставаскулярные клетки информацию о содержании в моче дистальных канальцев ионов натрия.

Юкставаскулярные клетки – видоизмененные гладкомышечные клетки стенки приносящей и выносящей артериол. Они продуцируют ренин, содержащийся в многочисленных гранулах. При падении системного АД ниже уровня, необходимого для поддержания фильтрационного давления, юкставаскулярные клетки секретируют ренин в кровь. Ренин отщепляет от белка крови ангиотензиногена полипептидную цепь и превращает его в ангиотензин I. Ангиотензин I с помощью специального фермента легких превращается в ангиотензин II, который вызывает сокращение гладких миоцитов артерий и повышает АД. Одновременно ангиотензин II стимулирует выработку альдостерона.

Юкставаскулярные клетки лежат в треугольном пространстве между приносящей, выносящей артериолами и клетками плотного пятна и переходят в мезангий, представленный мезангиальными клетками, лежащими между петлями капилляров первичной капиллярной сети в почечном тельце. Считают, что юкставаскулярные и мезангиальные клетки способны вырабатывать ренин при истощении юкстагломерулярных клеток.

Простагландиновый аппарат относится к гипотензивной системе почек, Внего входят интерстициальные клетки и светлые клетки собирательных трубочек. Интерстициальные клетки лежат в мозговом веществе почек, имеют отростчатую форму. Отростки их охватывают капилляры вторичной капиллярной сети и канальцы нефрона. Интерстициальные клетки вырабатывают простагландины, регулирующие общий и почечный кровоток, и мощный вазодилататор – брадикинин. Светлые клетки собирательных трубочек также вырабатывают простагландины.

### **Мочевыводящие пути**

К мочевыводящим путям относятся почечные чашечки, лоханки, мочеточники, мочевой пузырь, мочеиспускательный канал. Эти органы имеют 4 оболочки: слизистую, подслизистую, мышечную и серозную (адвентициальную). В слизистой оболочке мочевыводящих путей 2 слоя – переходный эпителий и собственная пластинка слизистой, представленная РВСТ. Подслизистая основа – РВСТ – в лоханке и чашечках отсутствует, но хорошо выражена в мочеточниках и мочевом пузыре. Мышечная оболочка в органах мочевого выведения представлена гладкой мышечной тканью. В лоханках и чашечках мышечная оболочка тонкая и представлена в основном циркулярным слоем; в верхних двух третях мочеточников в мышечной оболочке два слоя – внутренний продольный и наружный циркулярный, а в нижней трети мочеточников и мочевом пузыре в мышечной оболочке появляется третий наружный продольный слой. Наружная оболочка мочеточников и мочевого пузыря – адвентициальная. Лишь на задней и боковой поверхностях мочевого пузыря покрыт серозой.