

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). Развитие трех почек осуществляется в кранио-каудальном направлении

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 т.е. в шейном отделе. 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 мочеполовой системы. К концу 4 недели эмбриогенеза предпочка исчезает.

Первичная почка начинает образовываться на 4 неделе 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 начинает подвергаться обратному развитию с 8 недели эмбриогенеза. Однако в мужском организме часть канальцев ее используется для образования некоторых структур яичка.

Окончательная почка (тазовая) начинает образовываться в начале 2-ого месяца эмбриогенеза, но начнет функционировать тремя неделями позже. 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. Рыхлая волокнистая соединительная ткань коркового и мозгового вещества, лежащая между почечными нефронами, называется интерстициальной.

Гистофизиология нефрона

Нефрон – структурно-функциональная единица почки. В каждой почке содержится около 1 млн. нефронов.

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

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.

Капсула нефрона имеет вид двустенной чаши. Она охватывает сосудистый клубочек, образуя почечное тельце Мальпиги. Сосудистый клубочек или первичная капиллярная сеть образован 20-30 капиллярами фенестрированного типа, лежащими между приносящей и выносящей артериолами и поэтому является чудесной артериальной сетью.

Нефрон – структурная единица почки, принимающая участие в процессе образования мочи, который включает 3 стадии: 1) фильтрации; 2) реабсорбции и 3) секреции. Промежуточные корковые нефроны являются более активными в процессе мочеобразования особенно ее первой фазы

филтрации, потому что в них, диаметр выносящей артериолы в два раза меньше диаметра приносящей артериолы. В результате в первичной капиллярной сети создается высокое филтрационное давление – 70-90 мм рт. ст., за счет которого осуществляется первая фаза образования мочи путем филтрации жидкости и веществ из плазмы крови в полость капсулы нефрона. За сутки путем филтрации у человека в почках образуется 100-180 л первичной мочи. В норме она содержит все составные части плазмы крови, кроме крупномолекулярных белков и форменных элементов крови.

При гломерулонефрите, характеризующемся поражением почечных клубочков, в выделяемой моче присутствуют крупные белковые молекулы (протеинурия), а также эритроциты (гематурия).

Отсутствие крупных белковых молекул и эритроцитов в первичной моче при нормальной работе почек связано с наличием в составе почечных телец почечного филтра называемого филтрационным барьером. В состав филтрационного барьера входят:

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

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 филтрационные щели, покрытые ультратонкой диафрагмой.

Щелевые диафрагмы состоят из трансмембранного белка нефрина, который взаимодействует с актиновыми филаментами цитоплазмы цитоподий подоцитов. Белок нефрин регулирует размер, состояние и проницаемость филтрационных щелей. Мутации гена, отвечающего за

синтез белка нефрина, вызывают развитие нефротического синдрома, характеризующегося массивной протеинурией и отеками.

Кроме участия в образовании фильтрационного барьера, подоциты способны к фагоцитозу, а также синтезу компонентов гломерулярной базальной мембраны и эритропоэтина.

Гломерулярная базальная мембрана фильтрационного барьера является трехслойной. Наружный и внутренний ее слои – светлые, а средний слой – темный. В темном слое базальной мембраны находятся микрофибриллы (коллаген IV типа), 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 каналцы нефрона.

В проксимальных каналцах 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 каналцев многочисленных пиноцитозных пузырьков. Макромолекулы белков расщепляются до аминокислот ферментами лизосом, которые также содержатся в эпителиальных клетках проксимальных каналцев в большом количестве. Реабсорбция глюкозы осуществляется за счет высоко активной фосфатазы – фермента щеточной каемки нефроцитов проксимальных каналцев 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 каналцем тонкий каналец формирует петлю Генле. В нисходящей части тонкого каналца осуществляется пассивная реабсорбция воды, а в восходящей части – диффузия NaCl .

Дистальный отдел нефрона имеет прямую и извитую части. Стенка дистальных каналцев 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 каналцах 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, напоминая своей структурой париетальные клетки желудка (содержат внутриклеточные секреторные каналы и множество митохондрий). Они принимают участие в выработке HCl и HCO_3 , которые закисляют мочу, придают ей антисептические свойства. Кислая среда мочи препятствует образованию камней в почках. Светлые клетки собирательных трубочек бедны органеллами. Они завершают пассивную реабсорбцию воды, в результате ее количество снижается до 1,5-2 л в сутки.

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 канальцах нефрона особенно дистальном отделе стимулирует реабсорбцию ионов Na . Так же альдостерон отвечает за экскрецию K с мочой.

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 юстагломерулярных нефронах

примерно одинаковый, в результате в капиллярах превичной 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 идет в мозговое вещество и распадается на прямые артериолы, от которых отходят веточки перитубулярной капиллярной сети, оплетающие канальцы юкстамедуллярных нефронов. Прямые артериолы на различных уровнях мозгового вещества поворачивают обратно и переходят в прямые венулы и вены. Прямые артериолы и венулы являются частью противоточно-множительной системы.

Противоточно-множительная система

Благодаря притивоположно 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.

Юкстагломерулярные 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. Так же наряду с юкстагломерулярными клетками, подоцитами и мезангиальными клетками они вырабатывают гормон эритропоэтин, регулирующий процесс эритропоэза в красном костном мозге.

Часть мезангиальных клеток почечных телец – макрофаги. Полагают, что мезангиальные клетки регулируют кровоток в капиллярах сосудистого клубочка, а так же способны к синтезу компонентов гломерулярной базальной мембраны.

Простагландиновый аппарат относится к гипотензивной системе почек. В него 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 каналцы 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 выделения 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.

Уретра

Уретра – трубчатое образование, выносящее мочу из мочевого пузыря наружу. Однако у мужчин уретра так же выполняет роль семявыносящего органа. Мужская уретра значительно длиннее женской и включает 3 части:

1) простатическую; 2) перепончатую и; 3) пещеристую.

Простатическая часть – наиболее проксимальная часть мужской уретры, выходящая из мочевого пузыря и окруженная предстательной железой. Эта часть уретры выстлана переходным эпителием. Два семяизвергательных протока и протоки предстательной железы открываются в эту часть уретры.

Перепончатая часть мужской уретры – короткая часть, окруженная поперечнополосатой мышечной тканью наружного сфинктера уретры. Эпителий становится многорядным призматическим.

Пещеристая часть – терминальная часть мужской уретры, расположенная в пещеристом теле полового члена и выстланная также многорядным призматическим эпителием. В многорядном призматическом эпителии перепончатой и пещеристой частей уретры встречаются бокаловидные и эндокринные клетки. Последние относятся APUD системе.

Конечный отдел мужской уретры покрыт многослойным плоским эпителием.

Более короткая женская уретра покрыта многослойным плоским эпителием.