

## Лекция 5. Мочевыделительная система

План лекции:

1. Строение и функции почек
2. Гистофизиология нефрона
3. Кровоснабжение почки
4. Мочевыводящие пути

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

### 1. Функции почек:

- мочеобразование и мочевыделение, заключается в образовании мочи путем фильтрации плазмы крови и реабсорбции обратно в кровь полезных для организма продуктов обмена. С образующейся в почках мочой выделяются конечные продукты азотистого обмена и ксенобиотики: токсические, лекарственные вещества и другие;
- поддержание кислотно-щелочного гомеостаза;
- регуляция водно-солевого обмена;
- регуляция артериального давления;
- эндокринная функция и синтез биологически активных веществ — выработка ренина, эритропоэтина, эритрогенина, простагландинов, биогенных аминов, витамина D<sub>3</sub> (кальцитрола), калликреина, ряда интерлейкинов;
- участие в обмене веществ, в первую очередь, в обмене белков и углеводов;
- участие в работе свертывающей противосвертывающей системы заключающейся в выработке урокиназы (активатора плазминогена, фактора фибринолиза), фактора активации тромбоцитов.

*Развитие почек* начинается на первом месяце эмбриогенеза и продолжается после рождения. Источником развития является промежуточная мезодерма — нефротом. У зародыша человека нефротом сегментирован только в головном конце, а в каудальном нет. Эта несегментированная часть называется нефрогенной тканью. В развитии почек выделяют три стадии: пронефроса

(предпочки), мезонефроса (первичной почки) и метанефроса (дефинитивной почки).

Почка является паренхиматозным зональным органом. Снаружи она покрыта капсулой из плотной волокнистой соединительной ткани и серозной оболочкой. От капсулы отходят прослойки рыхлой волокнистой неоформленной соединительной ткани, по которым идут сосуды. Почка состоит из коркового и мозгового вещества. Граница между ними неровная: корковое вещество проникает в мозговое в виде *колонок Бертини*, а мозговое в корковое в виде *мозговых лучей Феррейна*.

*Корковое вещество* занимает наружную, поверхностную часть почки и мозговыми лучами Феррейна разделяется на отдельные участки. Участки коркового вещества своей нижней частью внедряются между основаниями мозговых пирамид в мозговое вещество в виде колонок Бертини, отделяя пирамиды друг от друга.

*Мозговое вещество* образовано мозговыми пирамидами. Их широкие основания повернуты в сторону коркового вещества, вершины пирамид называются сосочками. Они обращены к малым чашечкам, которые далее продолжают в большие чашечки и затем в почечную лоханку.

## 2. Гистофизиология нефрона

Структурно-функциональной единицей почки является *нефрон*. Он состоит из капсулы и переходящих друг в друга канальцев проксимальных извитого и прямого, дистальных извитого и прямого. В каждой почке около 2 млн нефронов.

*По локализации различают:*

суперфициальные или подкапсульные (около 1 %);

корковые (85 %);

юкстамедуллярные, или околomозговые (около 14 %).

*В нефроне выделяют:*

- капсулу (вместе с сосудистым клубочком формирует почечное тельце Мальпиги);
- проксимальный извитой отдел;
- проксимальный прямой отдел;

- тонкий отдел;
- дистальный извитой отдел;
- дистальный прямой отдел.

Протяженность всех канальцев одного нефрона составляет около 50 мм, а всех нефронов около 100 км. Дистальные извитые канальцы впадают в собирательные трубочки, которые берут начало в мозговых лучах в корковом веществе, продолжают в мозговое вещество и на вершине пирамид открываются в сосочковые каналы. Указанные выше отделы нефронов располагаются как в мозговом, так и в корковом веществе.

В состав коркового вещества *входят следующие структуры:*

- почечные тельца Мальпиги;
- проксимальные извитые канальцы;
- дистальные извитые канальцы.

В корковом веществе залегают также компоненты *юктагломерулярного аппарата*. В мозговом веществе находятся: проксимальные прямые канальцы, тонкие канальцы, дистальные прямые канальцы, а также в мозговом веществе находятся собирательные трубочки. У корковых нефронов в корковом веществе находятся почечное тельце, проксимальный и дистальный отделы, и только тонкий отдел и восходящая часть петли лежат в мозговом слое. Юктагломерулярные нефроны имеют очень длинный тонкий сегмент, который состоит из нисходящей и восходящей частей (*петля Генле*). Они глубоко спускаются в мозговое вещество, в котором лежат также прямые проксимальные и прямые дистальные канальцы. Остальные части нефронов лежат в корковом веществе.

*Капсула нефрона*, имеющая вид двустенной чаши, и входящие в нее капилляры первичной капиллярной сети образуют почечное тельце Мальпиги. В почечном тельце выделяют сосудистый полюс, находящийся в месте расположения приносящей и выносящей артериол, и мочевой полюс, прилежащий к начальному сегменту проксимального канальца.

Первичная капиллярная сеть лежит между приносящей и выносящей артериолами и содержит около 30 капиллярных петель. Между капиллярными петлями располагается мезангий — соединительная ткань клубочка с особыми мезангиальными клетками и межклеточным веществом. Эндотелий капилляров состоит из сильно уплощенных эндотелиоцитов с фенестрами размером 0,1

мкм. Число фенестр меняется в зависимости от функциональной нагрузки, при этом их площадь может составлять до 30 % от общей площади эндотелиоцитов. Эндотелий лежит на трехслойной базальной мембране, общей для эндотелиоцитов и подоцитов. Наружный и внутренний слои в мембране светлые, а средний — темный. В темном слое находятся микрофибриллы, которые образуют сеть с диаметром около 7 нм. Через эти ячейки в мочу могут попасть только очень мелкие белковые молекулы.

*Внутренний (париетальный) листок капсулы нефрона* со всех сторон окружает клубочковые капилляры. Этот листок состоит из одного слоя эпителиоцитов, которые называются подоцитами. От тела подоцитов во все стороны отходят крупные отростки цитотрабекулы, а от цитотрабекул — более мелкие отростки — цитоподии. Цитоподии прикрепляются к базальной мембране, между ними имеются фильтрационные щели, через которые натянута тонкая мембрана с поперечной исчерченностью щелевые диафрагмы.

*Функции подоцитов:*

- участие в работе фильтрационного барьера;
- фагоцитоз и расщепление макромолекул, фильтрующихся из крови;
- биосинтез компонентов базальной мембраны;
- биосинтез эритропоэтина.

Эндотелий капилляров, трехслойная мембрана и мембраны между цитоподиями подоцитов образуют фильтрационный (почечный) барьер, через который из плазмы крови фильтруется первичная моча. Этот фильтр пропускает воду, соли, глюкозу, низкомолекулярные белки.

*Наружный (париетальный) листок капсулы нефрона* представлен плоскими эпителиоцитами. В области сосудистого полюса он продолжается во внутренний листок. В этом месте наружный листок капсулы окружает сосудистый полюс в виде пояска. Между двумя листками капсулы находится полость капсулы, в которую поступает первичная моча. В области мочевого пояска наружный листок капсулы продолжается в эпителий проксимального отдела нефрона, а полость капсулы в полость проксимального канальца.

*В проксимальном отделе нефрона* выделяют извитую и прямую части. Проксимальный извитой отдел многократно извивается в корковом веществе. Проксимальный прямой каналец является толстым нисходящим коленом петли нефрона и находится в мозговых лучах и мозговом веществе. Каналец имеет

слабо выраженный просвет и образован эпителиальными клетками цилиндрической или кубической формы, лежащими на базальной мембране, а на апикальном полюсе имеют щеточную каемку. Щеточная каемка представлена многочисленными длинными микроворсинками, 30—40 раз увеличивающими всасывающую поверхность клеток.

*Проксимальный каналец выполняет следующие функции:*

- облигатное (обязательное) обратное всасывание из первичной мочи в кровь белков и глюкозы;
- факультативное всасывание воды и минеральных веществ;
- секреция некоторых органических кислот и оснований;
- экскреция некоторых экзогенных веществ;
- биосинтез кальцитриола.

*Тонкий отдел нефрона*

В корковых нефронах этот отдел имеет нисходящую часть и залегает в основном в мозговых лучах и наружных отделах мозгового вещества, тогда как в юкстагломерулярных нефронах в нем имеются нисходящая и восходящая части, которые спускаются глубоко в мозговое вещество. Тонкий отдел участвует в формировании петли Генле. Его стенка выстлана плоскими клетками, которые имеют глубокие складки цитолеммы.

*Функции:*

- пассивная реабсорбция воды из первичной мочи;
- в восходящей части тонкого отдела юкстагломерулярных нефронов, напротив, непроницаемая для воды, помимо этого происходит диффузия солей.

*Дистальный отдел* делится на дистальный прямой и дистальный извитой каналцы. Дистальный прямой каналец образует восходящее колено петли и входит в состав мозгового вещества и мозговых лучей. Дистальный извитой каналец, многократно извиваясь в корковом веществе, подходит к почечному тельцу, образуя плотное пятно, а затем впадает в собирательную трубку. Дистальный отдел имеет хорошо выраженный просвет, образован кубическими или цилиндрическими клетками.

*Функции:*

- в дистальном отделе происходит дополнительная реабсорбция электролитов из мочи. Эти процессы идут активно, то есть против градиента концентрации, с затратой энергии;
- в клетках дистального отдела синтезируется калликреин.

Собирательные трубки являются продолжением дистальных отделов нефрона, но к нефрону не относятся, представляя собой начало мочевыводящей системы. Они выстланы кубическим эпителием в корковом веществе и цилиндрическим в мозговом веществе. В составе эпителия выделяют светлые и темные клетки. Преобладают светлые. Светлые клетки осуществляют обратную реабсорбцию воды, и возможно, секретируют простагландины. В их цитолемме на апикальной, латеральной и базальной поверхностях находятся *аквапорины* — интегральный белки, образующие водные каналы. Деятельность аквапоринов регулируется антидиуретическим гормоном (вазопрессином). В присутствии вазопрессина водные каналы открываются, и эпителий собирательных трубок, до этого непроницаемый для воды, пропускает ее из просвета трубок в интерстиций и далее в кровь. При недостатке гормона большое количество воды уходит с мочой возникает несахарный диабет.

Таким образом, формирование мочи *основывается на двух процессах*: фильтрации и реабсорбции. За 1 сутки через почки проходит до 1000 л крови. Из нее в почечном тельце путем фильтрации образуется 100—180 л первичной мочи, которая поступает в проксимальный каналец. В нем происходит реабсорбция воды, электролитов, белков, сахаров, а также секреция некоторых органических кислот и оснований. В тонком отделе дополнительно реабсорбируется вода, а в дистальном каналце — электролиты. Далее вода всасывается также в собирательных трубках. В конечном итоге образуется около 2 л окончательной, *вторичной мочи*, содержащей шлаки и подлежащей выведению из организма.

### 3. Кровоснабжение почки

Сосуды почки имеют характерную архитектуру в связи с наличием *двух основных видов нефронов*: корковых и юкстамедуллярных (мозговых).

Кровь поступает в почку через почечную артерию, которая делится на междольковые ветви, достигающие границы коркового и мозгового вещества. Здесь междольковые артерии разделяются на несколько стволов, идущих параллельно указанной границе. Это дуговые артерии. От дуговых артерий отходят радиарные междольковые артерии, а от них приносящие артериолы,

которые вступают в капсулу нефрона и распадаются на *первичную капиллярную сеть*. Первичная капиллярная сеть собирается в выносящие артериолы, диаметр которых в корковых нефронах меньше, чем приносящих артериол. В результате в первичной капиллярной сети создается высокое фильтрационное давление — 70—90 мм рт. ст. И приносящая и выносящая артериолы имеют хорошо выраженную мышечную оболочку, что позволяет поддерживать его на необходимом уровне. Так как первичная артериальная сеть лежит между двумя артериолами, то она является "*чудесной*" капиллярной сетью. Выносящие артериолы распадаются на *вторичную, перитубулярную* капиллярную сеть, имеющую фенестрированный эндотелий и выполняющую *две основные функции*:

- обратную реабсорбцию веществ из первичной мочи;
- трофику паренхимы почки.

Вторичная капиллярная сеть собирается в звездчатые венулы или прямо в междольковые вены. Дальнейшая последовательность кровотока следующая: дуговые вены — междольковые вены — почечная вена.

### *Юкстагломерулярный аппарат*

Для обеспечения образования первичной мочи необходимо поддержание фильтрационного давления на уровне 70—90 мм рт. ст. если оно снижается, то нарушается фильтрация, что угрожает отравлением организма конечными продуктами азотистого обмена. Поэтому давление в почечных сосудах строго регулируется. Причем не только на местном, но и на организменном уровне, путем поддержания системного артериального давления. Механизмы регуляции — нейроэндокринные, и среди них наибольшее значение имеет деятельность юкстагломерулярного аппарата. 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 трубках. Это ведет к увеличению объема циркулирующей крови и в конечном итоге к повышению артериального давления. Описанная система регулирования артериального давления называется *ренин-ангиотензиальдостероновой системой*.

В составе юкстагломерулярного аппарата *выделяют следующие виды клеток*:

*юкстагломерулярные клетки* — это клетки средней оболочки приносящей и выносящей артериол, по происхождению мышечные, по функции секреторные. Они содержат белоксинтезирующий аппарат и гранулы ренина. Второй особенностью юкстагломерулярного аппарата является у них барорецептивных свойств: клетки способны регистрировать падение системного артериального давления ниже уровня, необходимого для поддержания фильтрационного давления, уловив это снижение, они секретируют в кровь ренин. Ренин отщепляет от белка крови ангиотензиногена полипептидную цепь и превращает его в ангиотензин I. Ангиотензин I с помощью специального конвертирующего фермента (в основном это происходит в легких) превращается в ангиотензин II, который вызывает сокращение гладких миоцитов артерий и повышает артериальное давление. Одновременно ангиотензин II стимулирует выработку альдостерона, а он в свою очередь задерживает натрий и воды, что также повышает системное давление;

*клетки плотного пятна* — это клетки в количестве 20—40 находятся в участке стенки дистального канальца, лежащего между приносящей и выносящей артериолами. Базальная мембрана в этом месте очень тонкая или полностью отсутствует. Клетки плотного пятна являются осморорецепторами: передают на юкстагломерулярный аппарат информацию о содержании в моче дистальных канальцев ионов натрия;

*юкставаскулярные клетки или клетки Гурмагтига*, лежат в треугольном пространстве между приносящей, выносящей артериолами и клетками плотного пятна, формируя так называемую подушку. Они содержат запас гранул ренина;

*мезангиальные клетки*, часть этих клеток может секретировать ренин при истощении юкстагломерулярных клеток.

Кроме гипертензивной системы в почках действует гипотензивная система. К ней относятся интерстициальные клетки мозгового вещества и светлые клетки собирательных трубок. Интерстициальные клетки имеют отростки, которые окружают капилляры вторичной сети и канальцы нефрона. Популяция интерстициальных клеток неоднородна. Часть из них вырабатывает брадикинин, обладающий мощным вазодилатирующим действием. Вторая часть интерстициальных клеток и светлые клетки собирательных трубок вырабатывают простагландины.

Кроме ренина и простагландинов почки синтезируют эритропоэтин, стимулирующий эритропоэз (вырабатывается юкстагломерулярными,

юкставаскулярными клетками, подоцитами), биогенные амины, регулирующие почечный кровоток.

4. К мочевыводящим путям относятся мочеточники, мочевого пузыря, мочеиспускательный канал. Эти органы являются органами слоистого типа и состоят из 4-х оболочек: слизистой, подслизистой, мышечной и серозной. Эпителиальный слой и собственная пластинка слизистой оболочки, тонкие в чашечках, достигают максимальной толщины в мочевом пузыре. Подслизистая оболочка в лоханке и чашечках отсутствует, но хорошо выражена в мочеточниках и мочевом пузыре. Мышечная оболочка в лоханке и чашечках тонкая и представлена в основном циркулярным слоем. В верхних двух третях мочеточника в мышечной оболочке два слоя, в нижней его трети и в мочевом пузыре появляется третий (наружный продольный).

**Сделать конспект лекции в тетради.**