Глава 15

Физиология почек

Общие принципы работы почек

Что требуется от работы почек

Главная функция почек — выделительная. Помимо нее почки выполняют и другие функции:

— **метаболическую —** в почках протекают глюконеогенез и другие необходимые для организма в целом обменные процессы;

— **эндокринную —** почки выделяют стимулятор эритропоэза эритропоэтин, активную форму витамина D кальцитриол, ренин и некоторые простагландины.

Здесь мы рассмотрим только выделительную функцию почек, а остальные функции — только в той мере, в которой они относятся к выделению.

Почки — главный орган, отвечающий за выведение нелетучих растворенных в крови веществ (за выведение летучих веществ, в норме представленных исключительно CO_2, отвечают легкие). Все такие вещества можно (условно!) разделить на три группы.

- Полезные для организма вещества. Это глюкоза, аминокислоты и белки. Иными словами, к этой группе относятся **органические субстраты.**
- Вредные или бесполезные вещества:
  — эндогенные вещества. Это продукты распада, прежде всего мочевина (главный продукт распада белков), а также мочевая кислота (главный продукт распада нуклеиновых кислот), креатинин, сульфат, метаболиты гормонов и пр.;
  — экзогенные вещества. Это лекарственные средства, пищевые добавки и другие чужеродные организму соединения (ксенобиотики).

  Таким образом, к этой группе относятся **метаболиты и ксенобиотики.**
- Вещества, концентрация которых в крови должна поддерживаться на строго определенном уровне. К ним относятся:
  — вода, Na^+ и Cl^-. От соотношения этих веществ зависит водно-осмотическое равновесие (гл. 9);
  — H^+ и щелочные анионы, главный из которых — HCO_3^-. От соотношения этих веществ зависит кислотно-щелочное равновесие (гл. 9);
  — прочие электролиты, важнейшие из которых — K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} и PO_4^{2-}.

  Таким образом, к этой группе относятся **вода и электролиты.**

  Требования, предъявляемые к выведению этих веществ, следующие:
  — органические субстраты — полезные для организма вещества — не выводить;

— метаболиты и ксенобиотики — вредные или по крайней мере бесполезные для организма вещества — выводить максимально;
— воду и электролиты — постоянные компоненты внутренней среды — выводить в таком количестве, чтобы их содержание поддерживалось на постоянном уровне.

Выполняя эти требования, почки выполняют две основные функции (обе они относятся, разумеется, к главной — выделительной — функции почек).

- **Очищающая функция:** удаление из крови метаболитов и ксенобиотиков.
- **Гомеостатическая функция:** поддержание водно-осмотического равновесия, кислотно-щелочного равновесия, электролитного равновесия и, косвенно (путем регуляции водно-осмотического баланса), артериального давления.

Как почки выполняют эти требования

Нефрон

Структурно-функциональной единицей почки является нефрон. Его структура и основные отделы приведены на рис. 15.1[1].

Два этапа образования мочи: клубочковая фильтрация и канальцевый транспорт

Важнейшая задача почек — выведение метаболитов и ксенобиотиков. Некоторые из таких веществ выводятся в мочу (секретируются) с помощью специальных переносчиков, распознающих эти вещества. Однако невозможно предусмотреть переносчики для всех экзогенных веществ, подлежащих выведению из организма. В связи с этим природа пошла по пути **двухэтапной очистки крови:** *сначала в клубочках почек (рис. 15.1) отфильтровывается очень большой объем безбелковой части плазмы, а затем в канальцах почек распознаются и реабсорбируются (всасываются обратно в кровь) нужные для организма вещества.* Вредные и бесполезные вещества, то есть метаболиты и ксенобиотики, при этом остаются в моче. Таким образом, образование мочи происходит в два этапа.

1. **Клубочковая фильтрация.**
2. **Канальцевый транспорт.**

Хотя канальцевый транспорт представляет собой в основном **реабсорбцию,** то есть обратное всасывание отфильтрованных веществ в кровь, в небольшом объеме он идет и в противоположном направлении — из крови в мочу. Это **секреция,** необходимая для более полного выведения (и, соответственно, быстрого удаления из организма) ненужных веществ и для тонкой регуляции содержания в крови электролитов.

Обязательный и факультативный канальцевый транспорт

Обязательный канальцевый транспорт

В процессе клубочковой фильтрации образуется очень большой объем фильтрата — около 180 л/сут. Следовательно, сразу после фильтрации должна происходить реабсорбция большей части отфильтровавшейся жидкости. Эта жидкость должна быть близкой по pH, осмотическому давлению и концентрации основных электролитов к плазме (малейшие отклонения в составе реабсорбируемой жидкости, учитывая огромный объем реабсорбции, неминуемо привели бы к многократно бóльшим отклонениям в составе плазмы). Кроме того, долж-

[1] В современных схемах используют более тонкое подразделение нефрона, выделяя до 14 отделов канальца.

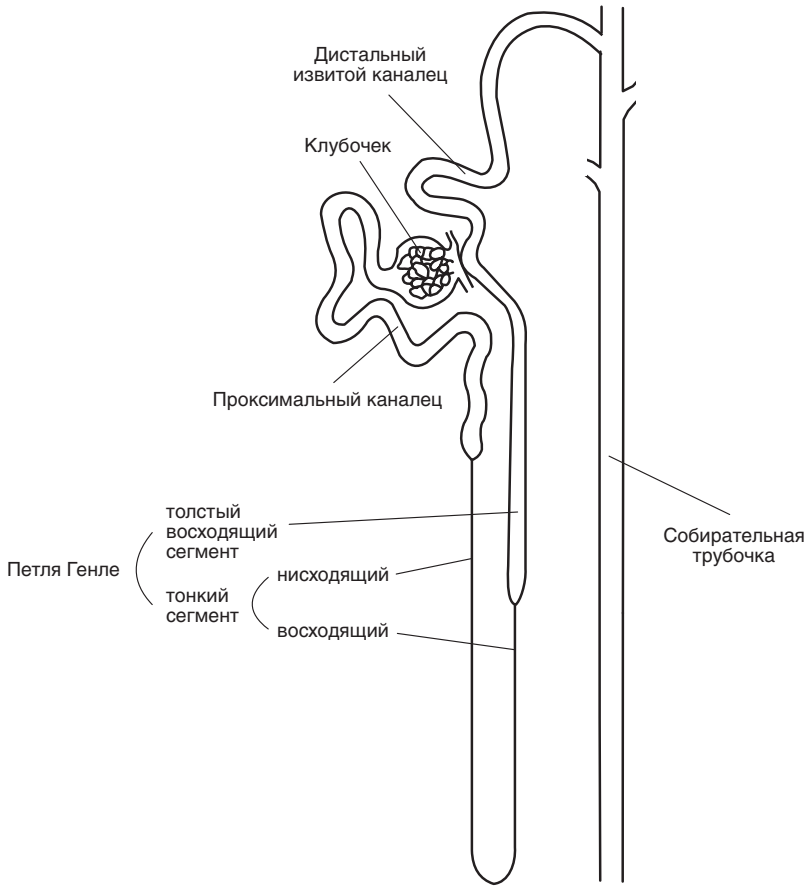

Рисунок 15.1. Нефрон (схема).

ны реабсорбироваться все полезные вещества (органические субстраты) и при возможности дополнительно секретироваться в мочу все ненужные вещества, то есть метаболиты и ксенобиотики. Все эти процессы должны происходить обязательно, независимо от состояния организма. Это **обязательный канальцевый транспорт.**

Обязательный канальцевый транспорт протекает в проксимальном канальце — отделе нефрона, непосредственно следующем за клубочком. В соответствии с предъявляемыми к обязательному канальцевому транспорту требованиями в этом отделе нефрона:

— реабсорбируются две трети отфильтровавшейся жидкости;
— реабсорбируемая жидкость обладает такими же осмотическим давлением, pH и концентрацией основных электролитов (Na^+, K^+, Cl^- и Ca^{2+}), как и плазма крови;
— полностью реабсорбируются органические субстраты — глюкоза, аминокислоты и прошедшие в фильтрат белки;
— дополнительно секретируются из крови в мочу те ксенобиотики, для которых существуют переносчики.

Благодаря фильтрации с последующим обязательным канальцевым транспортом выполняется очищающая функция почек — удаление из организма метаболитов и ксенобиотиков.

Факультативный канальцевый транспорт

Из отфильтровавшихся за сутки 180 л жидкости в проксимальных канальцах реабсорбируются две трети, то есть 120 л. Еще 40 л реабсорбируются в петле Генле. Значит, объем поступающей к дистальному извитому канальцу жидкости составляет 20 л/сут. В пределах этого сравнительно небольшого объема действуют процессы **факультативного канальцевого транспорта —** реабсорбция и секреция изменяются в соответствии с потребностями организма. Так, в зависимости от потребления жидкости суточный объем мочи (диурез) может колебаться от 0,5 до 20 л; в зависимости от кислотно-щелочного состояния может выделяться кислая или щелочная моча и т. д.

Факультативный канальцевый транспорт протекает в дистальном отделе нефрона, включающем дистальный извитой каналец и собирательную трубочку. Его основные особенности следующие:

— факультативный канальцевый транспорт и, соответственно, дистальный отдел нефрона служат основной точкой приложения гормонов, регулирующих реабсорбцию и секрецию в соответствии с потребностями организма;
— от факультативного канальцевого транспорта зависят объем, осмолярность, pH и электролитный состав окончательной мочи.

Благодаря факультативному канальцевому транспорту выполняется гомеостатическая функция почек — поддержание водно-осмотического, кислотно-щелочного равновесия, электролитного равновесия и артериального давления.

Функциональные отделы нефрона

Итак, в нефроне можно выделить следующие основные функциональные отделы:

— **клубочек** (точнее, почечное тельце, состоящее из клубочка и капсулы клубочка, см. ниже)**,** отвечающий за фильтрацию;
— **проксимальный каналец,** отвечающий за обязательные реабсорбцию и секрецию;
— **дистальный отдел** (дистальный извитой каналец + собирательная трубочка[1]), отвечающий за факультативные реабсорбцию и секрецию;
— **петлю Генле,** выполняющую двойственную функцию: с одной стороны, в ней продолжается обязательная реабсорбция; с другой стороны, она имеет ключевое значение для почечной регуляции водно-осмотического баланса, так как от ее функции зависит способность почек концентрировать мочу (см. ниже).

В клубочке и проксимальном канальце происходят обязательные процессы — фильтрация с последующей обязательной реабсорбцией и секрецией. В связи с этим их можно объединить в единый **проксимальный отдел нефрона.**

Далее мы рассмотрим сначала общие механизмы работы почек; затем — физиологию проксимального отдела, в котором протекают обязательные процессы; наконец, факультативные процессы — почечную регуляцию водно-осмотического баланса и артериального давления, кислотно-щелочного равновесия и электролитного состава крови.

[1] Гистологически и эмбриологически собирательную трубочку относят не к нефрону, а к собирательной системе почек. Однако с физиологической точки зрения она неразрывно связана с канальцами, в ней продолжаются процессы мочеобразования и на нее действуют те же гормоны, что на канальцы. В связи с этим в современной физиологической и клинической литературе собирательную трубочку считают последним отделом нефрона.