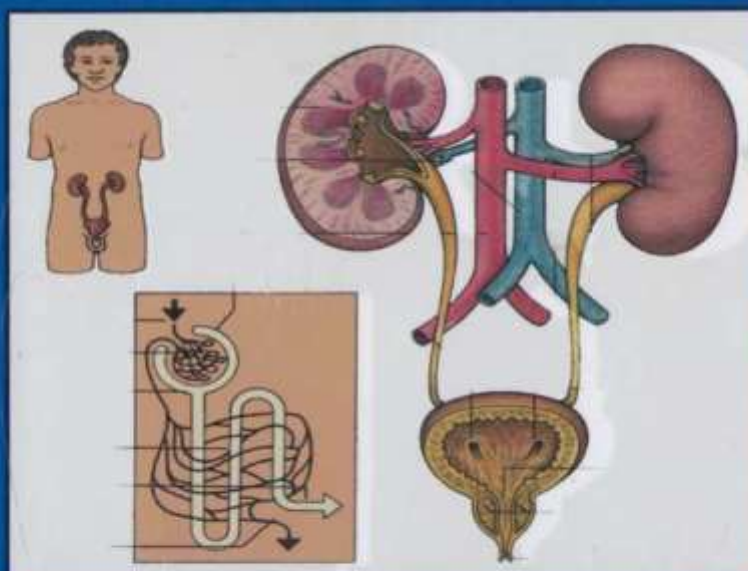


А.Г. ХУДОЯРОВА

# ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОСОБЕННОСТЬ МОЧЕВЫДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПУТЕЙ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ



АНДИЖАН - 2022

А.Г. ХУДОЯРОВА

# ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОСОБЕННОСТЬ МОЧЕВЫДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПУТЕЙ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

93 780 10 90



АНДИЖАН - 2022

**O'QUV ADABIYOTING  
NASHR RUXSATMOMASI**

O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim  
vazirligi, Andijon davlat tibbiyot institutining

2022 yil "1" Noyabr dagi "683-Sh" –sonli burug'iga asosan

**А.Г. Худоярова**

**60910200 лечебное дело** ning  
talabalari (o'quvchilari) uchun tavsiya etilgan.

**Функциональная особенность мочевыделительных  
путей** nomli  
Учебное пособие ga

O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi tomonidan  
litsenziya berilgan nashriyotlarda nashr etishga ruxsat berildi.

Rektor  M.M. Madazimov  
(imzo)



Ro'yxatga olish raqami:



**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ  
МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ  
УЗБЕКИСТАН  
АНДИЖАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ  
ИНСТИТУТ**

**ХУДОЯРОВА АЛЬБИНА ГУМАРОВНА**

**Область знания – 900 000 – Здоровоохранение и социальное обеспечение  
Область образования – 910 000 – Здоровоохранение**

**«ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОСОБЕННОСТЬ МОЧЕВЫДЕЛИТЕЛЬНЫХ  
ПУТЕЙ»**

**Учебное пособие**

**Направление образования - 609 10 200 - лечебное дело**

**609 10 300 - педиатрическое дело**

**АНДИЖАН – 2022**

**Автор:**  
Худоярова А.Г. – к.м.н, доцент, зав.кафедрой нормальной физиологии  
АГМИ

**Рецензенты:**  
Думаева З.Н. – к.б.н., доцент кафедры «Физиология человека и  
безопасности жизнедеятельности» А Г У

**Хамракулов Ш.Х.** – д.м.н., доцент, зав кафедрой патологической  
физиологии АГМИ

Данное учебное пособие подготовлено по образовательному направлению лечебное дело (60910200) и педиатрическое дело (60910300) согласно типовому учебному плану и типовой программе по предмету «Нормальная физиология» на тему «Функциональная особенность мочевыделительных путей»

В материалах пособия приведены примеры математического расчета показателей характеризующих функциональные особенности транспорта мочи, основанных на физических законах. Одним словом все отклонения от физических законов в уродинамике подтверждаются клиникой, что очень важно учитывать при формировании клинического мышления у студента.

Учебное пособие утверждено на Ученом совете АГМИ  
I 2022 год протокол №

Секретарь Ученого совета АГМИ,  
доцент

Н.А.Насирдинова



## А Н Н О Т А Ц И Я

В учебном пособии подробно рассматриваются физиологические и сугубо функциональные вопросы нормы и отклонения в деятельности системы выделения. Подробно раскрываются вопросы транспорта ультрафильтрата по канальцевой системе нефрона и мочевыводящим путям.

В материалах пособия приведены примеры математического расчета показателей характеризующих функциональные особенности транспорта мочи, основанных на физических законах. Одним словом все отклонения от физических законов в уродинамике подтверждаются клиникой, что очень важно учитывать при формировании клинического мышления у студента.

## ANNOTATSIYA

O'quv qo'llanmada ekskretor tizim faoliyatidagi norma va og'ishning fiziologik va funktsional masalalari batafsil ko'rib chiqiladi. Nefron va siydik yo'llarining quvurli tizimi orqali ultrafiltratlarni tashish masalalari batafsil yoritilgan. Qo'llanma materiallarida fizik qonunlar asosida siydik tashishning funktsional xususiyatlarini tavsiflovchi ko'rsatkichlarni matematik hisoblash misollari keltirilgan. Bir so'z bilan aytganda, urodinamikadagi jismoniy qonunlardan barcha og'ishlar klinika tomonidan tasdiqlanadi, bu talabaning klinik fikrlashini shakllantirishda e'tiborga olish juda muhimdir.

## ANNOTATION

The training manual discusses in detail the physiological and purely functional issues of the norm and deviation in the activity of the excretory system. The issues of ultrafiltrate transport through the tubular system of the nephron and the urinary tract are disclosed in detail.

The materials of the manual provide examples of mathematical calculation of indicators characterizing the functional features of urine transport, based on physical laws. In a word, all deviations from physical laws in urodynamics are confirmed by the clinic, which is very important to take into account when forming a student's clinical thinking.

## Введение

Здоровье населения это не только биологический фактор, но и экономический фактор. Как известно урологические заболевания снижают качество жизни. Среди заболеваний мочеполовой системы наиболее значимые, это МКБ, ИМП. Пациенты теряют трудоспособность, что наносит значительный ущерб не только самому пациенту, но и государству. Так согласно статистическим данным, проблемы мочевых путей являются причиной более 7 млн. обращений к врачам амбулаторной практики в США ежегодно. На долю этих нарушений приходится более 40% от всех назокомиальных инфекций, и в большинстве случаев они являются катетер-ассоциированными. Обструктивные уропатии, на фоне инструментальных (инвазивных) методов обследования и лечения, наличие инородных тел (дренажей) в мочевых путях и тяжелых сопутствующих заболеваний (сахарный диабет, нейтропения) способствуют нарушению экскреции мочи у пациентов.

По данным отечественных авторов среди обследованных больных в возрасте до 40 лет рак мочевого пузыря встречается в 7,3-13,4% случаев. По данным некоторых зарубежных авторов у больных блоком интенсивной терапии хирургических отделений, в 95-97% случаев возникали при наличии постоянного уретрального катетера, при этом у 31% больных в моче выявляли грибковую инфекцию.

Данные статистические показатели говорят о том, что необходимо еще более тщательно изучать не просто саму

проблему, но причину её вызывающую. В основе любого заболевания мочевыделительной системы лежит нарушение уродинамики, обоснованной инфекционным или травматическим процессом.

Физиологические и измененные параметры уродинамики, которые раскрыты в данном пособии, помогут студентам, магистрам и практикующим врачам еще более углубленно познакомиться и понять проблему нарушения функции мочевыделительной системы.

## **I. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ФИЗИОЛОГИИ**

### **МОЧЕВЫХ ПУТЕЙ**

Экстраренальные мочевые пути (чашечно-лоханочная система, мочеточник, мочевой пузырь, уретра) обладают мускулатурой и представляют собой систему последовательно расположенных полых органов с гладкомышечными стенками. Их деятельность определяется особенностями гладкой мускулатуры, ее вегетативной иннервацией и механизмами нервно-мышечной передачи.

### **МУСКУЛАТУРА МОЧЕВЫХ ПУТЕЙ**

Миофибриллы мышечных клеток мочевых путей не подразделены на диски и поэтому не имеют поперечной исчерченности. По сравнению с поперечно-полосатыми волокнами мускулатуры скелетных мышц гладкомышечные волокна обладают меньшей *возбудимостью* и меньшей скоростью процессов *возбуждения* и *сокращения*. Скрытый период сокращения при этом составляет несколько секунд. При повторных раздражениях гладкие мышцы легко образуют слитное *тоническое* сокращение или напряжение, которое может поддерживаться длительно при очень малых энергетических затратах. Благодаря сильно выраженной вязкости и незначительной упругости в типичных



в гладких мышцах отсутствует закономерная связь между длиной и напряжением, столь характерная для упругих поперечно-полосатых мышц. Это придает гладким мышцам выраженное свойство *пластичности*. Одним словом подобно пластичному воску, гладкие мышцы могут растягиваться без возникновения в них напряжения. По удалении растягивающей силы гладкая мышца укорачивается, постепенно до исходной длины.

#### Свойства и особенности ГМК

- Возбудимость – полимодальная
- Автоматия
- Проводимость – через нексусы
- Сократимость – при ОБЯЗАТЕЛЬНОМ участии внеклеточного  $Ca^{2+}$
- Пластичность

**Рис.1** Свойства и особенности ГМК

Для гладких мышц характерна высокая способность к *автоматизму*. Раздражителями, которые вызывают автоматические сокращения, могут являться некоторые метаболиты, образующиеся в самой мышце, а также гормоны (адреналин, производные холина). Способностью к ритмическому возбуждению обладают не только нервные клетки, имеющиеся в гладких мышцах, но и сами гладкомышечные волокна.

**Ультраструктурные особенности гладкой мускулатуры мочевых путей.** Исследования последних лет, с использованием электронной микроскопии, наглядно показали наличие большого количества контактов, соединений — *нексусов*, имеющих вид ограниченных площадок со связью мембран рядом расположенных гладкомышечных

клеток (рис. 2).



**Рис.2 Нексусы в гладких мышцах**

Подобные образования характерны для всей гладкой мускулатуры мочевых путей. Помимо чисто механического соединения между гладкомышечными клетками, подобные соединения обеспечивают быстрое проведение возбуждения непосредственно от одной гладкомышечной клетки к другой, способствуют сохранению этого возбуждения и реализуют его в виде координированного, целостного сокращения чашечки, лоханки, мочеточника и мочевого пузыря.

Существование таких межклеточных соединений позволяет рассматривать гладкую мускулатуру мочевых путей в функциональном отношении как единую для каждого органа сократительную единицу. Например, детрузор — система гладкомышечных волокон мочевого пузыря — обладает своими, присущими именно ему физическими, гидродинамическими и функциональными закономерностями и особенностями. Работами немецких ученых было обнаружено в 1982 году, при электронно-микроскопических исследованиях, наличие в почечной лоханке двух морфологически и гистохимически разных структур гладкомышечных

клеток. Первая — «типичная» напоминает все гладкомышечные образования организма человека. Миоциты объединены в компактные волокна, которые отграничены друг от друга нежными прослойками соединительной ткани. Миофиламенты в клетках ориентированы продольно. Коллагеновые волокна внутриклеточно встречаются чаще, чем эластиновые. Пучки этих гладкомышечных волокон часто ветвятся, идут в разных направлениях, но в целом сохраняют циркулярно-спиральную ориентацию.

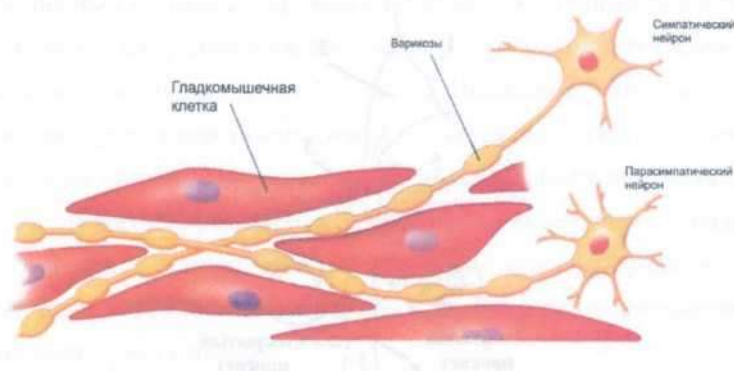


**Рис.3 Особенности строения гладкой мышцы**

Они находятся в непосредственной связи с другими пучками, подобно сплетению с множеством связей, т. е. составляют *синцитий гладкомышечных клеток*.

В отличие от описанной, эти авторы наблюдали и другую, «атипичную» структуру гладкомышечных элементов. Каждая «атипичная» гладкомышечная клетка отделена от другой, коллагеновыми и эластиновыми волокнами. Отдельные клетки неравномерны по длине и нередко образуют боковые выпячивания и ответвления. Их миофиламенты по своей структуре обычны, но расположены в каждой клетке неравномерно в отличие от «типичных» гладкомышечных клеток, где последние занимают большую часть клетки. Особенно многочисленны межклеточные связи — нексусы.

Гладкомышечные элементы с подобной структурой были обнаружены главным образом в области сводов чашечек, в местах их прикрепления к паренхиме почечного сосочка. Кроме того, слой таких элементов в виде отдельного листка, хотя и не везде, может быть обнаружен в стенке лоханки и даже в верхней трети мочеточника.



**Рис. 4** Спиральная ориентация гладкомышечных волокон

Представления о трехслойном строении гладкой мускулатуры мочевых путей пересмотрены. Спиральная система гладкомышечных волокон, которые переплетаются в строго определенных направлениях и плоскостях, объединенная с аналогичным спиральным эластическим каркасом каждого из органов, позволяет, с одной стороны, ориентировать движение потоков мочи, сохранять и путем сокращений гладкомышечных волокон осуществлять активную дилатацию своих полостей, с другой стороны — при активном сокращении и под влиянием «внешних» воздействий на фоне резкого снижения тонуса подобные структуры позволяют быстро, эффективно и с минимальными энергетическими затратами осуществлять свое опорожнение.

Спиральная ориентация гладкомышечных элементов

функционального синцития, которым является стенка мочевых путей, реализует еще одну закономерность транспорта мочи. Сочетание линейных перемещений с угловыми при сокращении подобных спирально ориентированных гладкомышечных структур позволяет транспортировать максимальные объемы мочи на фоне минимальных изменений геометрического строения и формы органа.



**Рис.5** Схема лоханочно-мочеточникового сегмента с наличием открытого и закрытого просвета.

В этом целесообразность функционирования экстраренальных мочевых путей: совершение максимальной транспортной деятельности с минимальными потерями энергии на деформацию активно функционирующего органа.

#### **Иннервация гладкой мускулатуры мочевых путей.**

Осуществляется волокнами, идущими по ходу кровеносных сосудов сквозь толщу мышечной стенки. Так называемым «атипичным» гладкомышечным волокнам сторонники существования пейсмекера верхних мочевых путей склонны отводить роль проводящих путей (по

аналогии с миокардом), хотя доказательств такая точка зрения до настоящего времени не получила. Более аргументирована сегодня точка зрения о том, что существует другая модель. Большинство гладкомышечных клеток экстраренальных мочевых путей иннервируются косвенно и не могут активизироваться прямо за счет передачи потенциалов действия. Гладкомышечные клетки связаны друг с другом нексусами. Эти взаимосвязи характеризуются зоной соединения (слияния) наружных пластинок клеточных оболочек. Эти контакты в силу своего низкого электрического сопротивления служат передаче потенциалов возбуждения. Некоторые мышечные клетки иннервируются через синаптические концевые структуры. С помощью нексусов они связаны с соседними гладкомышечными клетками так, что возникает связанная или мультиклеточная иннервация, позволяющая обеспечить те или иные стороны функциональной активности отдельных сегментов и всей системы экстраренальных мочевых путей в целом.

В стенке чашечно-лоханочной системы и в мочеточнике ганглионарных клеток не обнаружено. В виде кольца они располагаются в интрамуральном отделе мочеточника. Их длинные аксоны многократно ветвятся и оканчиваются синаптическими структурами на некоторых гладкомышечных клетках.

### **ФИЗИОЛОГИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ**

Деятельность мочевых путей как сложной функциональной системы находится в непосредственной зависимости от работы почки, определяемой прежде всего потребностями гомеостаза. Реализация этой деятельности включает многочисленные рефлекторные процессы, происходящие как на уровне внутриорганных рефлекторных дуг, так и в соответствующих сегментах спинного мозга и вышележащих нервных центрах. В ее основе лежат такие процессы, как раздражение,

возбуждение, торможение, лабильность и др.

**Раздражение и возбуждение.** *Раздражители* — это факторы внешней или внутренней среды, способные вызвать ответную реакцию живого образования, а *раздражение* — это процесс воздействия раздражителя на системы и органы или на организм в целом. Раздражители по своему происхождению и биологическому значению неоднородны. Их можно подразделить на химические, механические, лучистые, температурные, электрические и пр.; а по биологическому значению — на адекватные и неадекватные.

*Адекватные* раздражители — это такие раздражители, которые воздействуют в естественных условиях на строго определенные рецепторы и возбуждают их. Процессы возбуждения могут возникать в биологических системах в результате воздействия и несвойственных им раздражителей, в этих случаях они являются *неадекватными*. Так, например, растяжение стенки почечной лоханки или мочеоточника достаточно большой порцией мочи является адекватным раздражителем для реализации механизмов их скорейшего опорожнения. Механическое воздействие на лоханку или мочеоточник в ходе операции в виде касания или легкого защемления пинцетом также реализуется в виде их сокращения, но раздражитель в данном случае является неадекватным.

Под *возбудимостью* понимают свойство клеток и тканей отвечать на действие раздражителей специфической реакцией — возбуждением, которое характеризуется временной деполяризацией клеточных мембран, изменением обменных и других процессов. Наиболее отчетливо возбудимость и признаки проявления возбуждения выражены у нервной и мышечной ткани.

**Торможение.** *Торможение*, как и возбуждение, возникает в ответ на действие раздражителя, но при этом текущая функциональная активность снижается. Возбуждение и торможение, как

противоположные процессы одних и тех же структур, находятся в постоянном взаимодействии и в значительной мере определяют их функциональную подвижность.

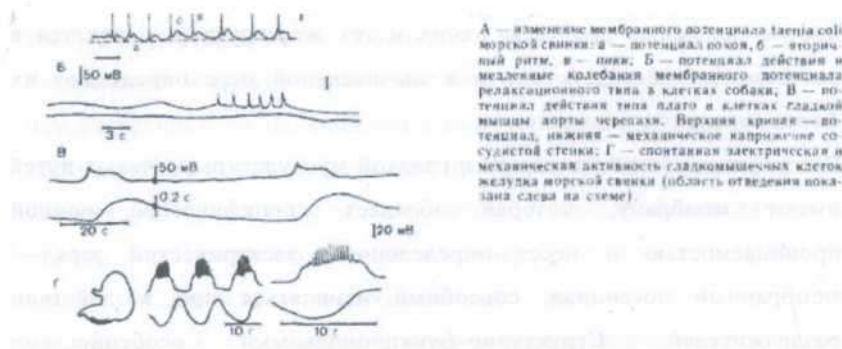
Все клетки нервного аппарата и гладкой мускулатуры мочевых путей имеют мембрану, которая обладает специфической ионной проницаемостью и несет определенный электрический заряд — мембранный потенциал, способный изменяться при воздействии раздражителей. Структурно-функциональными особенностями мембран определяются свойства этих образований.

*Мембранный потенциал* — это разность потенциалов, существующая вследствие асимметричного расположения ионов по обе стороны мембраны. Величина его различна, но цитоплазма по отношению к внеклеточной среде всегда заряжена отрицательно. Процесс возбуждения, как правило, сопровождается быстро нарастающей *деполяризацией*, а процесс торможения находит свое выражение в *гиперполяризации* клеточных мембран.

При нанесении слабых раздражений деполяризация мембраны фактически наблюдается только на фоне действия раздражителя. Это пассивная электротоническая деполяризация, или *электротонический потенциал*. При увеличении амплитуды раздражений развитие деполяризации происходит не прямолинейно. Деполяризация продолжает нарастать после прекращения раздражения, а затем сравнительно медленно исчезает. Этот процесс деполяризации получил название *локального ответа*.

При нанесении еще более сильных раздражений деполяризация мембраны достигает некоторого *критического (порогового) уровня*, при этом в реакции структуры начинают проявляться существенные качественные изменения. Критический уровень деполяризации мышечных и нервных клеток и волокон неодинаков. Он может колебаться от нескольких милливольт до 30 и даже 50 мВ.



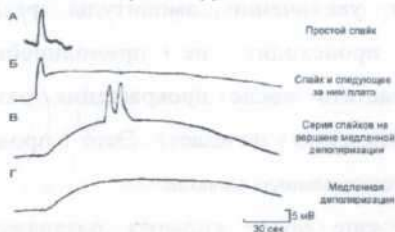


А — изменение мембранного потенциала *Isenia coli* морской свинки; а — потенциал покоя, б — вторичный ритм, в — пики; Б — потенциал действия и медленные колебания мембранного потенциала релаксационного типа в клетках собаки; В — потенциал действия типа плато и клеток гладкой мускулы артерии черепахи. Верхняя кривая — потенциал, нижняя — механическое напряжение сосудистой стенки; Г — спонтанная электрическая и механическая активность гладкомышечных клеток желудка морской свинки (область отведения показана слева на схеме).

**Рис. 6 Электрическая и механическая активность различных гладких мышц**

При сдвиге мембранного потенциала до критического уровня мембрана возбудимых структур резко изменяет свою ионную проницаемость, и возникают трансмембранные ионные потоки, под влиянием которых внутренняя поверхность мембраны не только теряет свой отрицательный потенциал, но и приобретает положительный заряд, достигающий величины + (30—50) мВ, т. е. происходит инверсия потенциала мембраны. Возникающий при этом биоэлектрический потенциал получил название *потенциала действия*.

#### Потенциалы действия ГМК



**Рис. 7 Потенциал действия гладких мышц**

Во время быстрой деполяризации и инверсии заряда мембраны возбуждаемые структуры не способны реагировать даже на действия сверхпороговых раздражителей, так как развивается *абсолютная*

рефрактерность.

### Возбудимость ГМК

- Возбудимость ГМК **полимодальная**: клетка отвечает сокращением на электрические, химические, механические сигналы. Например, мускулы можно стимулировать, трюбой лщдей, следяиыи электростимулятором.
- Это обусловлено наличием соответственно электро-чувствительных= потенциал-зависимых
- хемочувствительных = рецептор-управляемых,
- механо-чувствительных ионных каналов.

#### Рис.8 Особенность возбудимости гладкой мышцы

Период *реполяризации*, когда происходит восстановление возбудимости и структура приобретает способность реагировать на действия сильных (сверхпороговые) раздражителей, называется фазой *относительной рефрактерности*.

Потенциал действия. *Потенциал действия* — основа процесса распространяющегося возбуждения. Потенциал действия, возникший в одной или нескольких непосредственно иннервированных гладкомышечных клетках, приводит не только к реализации их собственной двигательной активности. Нексусы благодаря низкому электрическому сопротивлению позволяют потенциалу действия быстро распространяться на определенное, порой неограниченное число миоцитов для последующей реализации их функциональной активности.

После генерации потенциала действия обычно проходит сравнительно медленное восстановление мембранного потенциала до исходного уровня, при этом регистрируются так называемые *следовые реакции*. Они выражаются в следовой деполяризации клеточных мембран. При этом возбудимость повышена, так как уровень мембранного потенциала выше исходного, и необходима **ADITI** сила

**AXB-RESURS MARKAZI**

раздражителя, чтобы сместить мембранный потенциал до уровня пороговой критической деполяризации. При этом наблюдается *супернормальная возбудимость*. Следовая гиперполяризация уменьшает возбудимость гладкомышечных структур, она становится субнормальной. Это, в свою очередь, по-видимому, помогает обеспечивать большую длительность возбуждения гладкомышечных структур экстраренальных мочевых путей, поддерживать их необходимый тонус при условии минимальных по силе воздействий, приходящих на миоциты по элементам нервной ткани.

Раздражитель минимальной силы, способный вызвать возбуждение, называют *пороговым*. Его сила — один из критериев оценки возбудимости, так как чем ниже порог раздражения, тем выше возбудимость. Термин порог раздражения как критерий оценки возбудимости — понятие условное, он отражает только определенные функциональные сдвиги после того, как физико-химические процессы в возбудимых структурах достигают некоторого критического уровня. При увеличении силы раздражения выше пороговой величина ответной реакции возрастает вплоть до определенного для каждой структуры предела.

Различные структуры имеют неодинаковую функциональную подвижность, или *лабильность*. Лабильность неодинакова не только для разных тканей, но и для разных структурных единиц одной и той же ткани. Более того, даже у клетки лабильность непостоянна и определяется ее функциональным состоянием. Она может изменяться в процессе длительного воздействия раздражителей. Наиболее лабильны элементы нервной ткани и мускулатуры. Наименьшей лабильностью обладают нервно-мышечные синапсы.

#### **ПЕРЕДАЧА ВОЗБУЖДЕНИЯ В НЕРВНО-МЫШЕЧНЫХ СИНАПСАХ.**

Вегетативные нервные волокна мочевых путей являются отростками

клеток, расположенных в вегетативных центрах средних рогов спинного мозга (*преганглионарные волокна*), и клеток, расположенных в ганглиях вегетативной нервной системы (*постганглионарные волокна*). Аксоны преганглионарных нейронов заканчиваются в вегетативных ганглиях, где они образуют синаптические контакты с ганглионарными нейронами.

### Особенности иннервации ГМК

1. Иннервируются автономной нервной системой: симпатический (НА) и парасимпатический (АХ) отделы.
2. Классических синапсов нет.
3. Имеются варикозные расширения, через мембрану которых в интерстициальное пространство выходит медиатор.
4. Диффузионное расстояние для медиатора в тысячи раз больше по сравнению с синаптической щелью нервно-мышечного синапса.

Рис. 9 Особенности передачи импульса в гладкой мышце

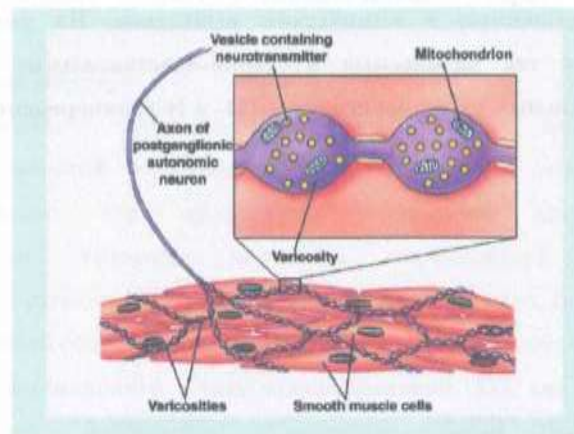


Рис. 10 контактные везикулы гладких мышц

В вегетативной иннервации мочевых путей эти контакты

являются холинергическими для парасимпатического и симпатического отделов. Симпатические ганглии расположены вне органов, парасимпатические — интраорганно. Аксоны ганглионарных нейронов парасимпатической системы оканчиваются холинергическими, а симпатической — адренергическими синапсами.

#### **Передача возбуждения в холинергических синапсах.**

Медиатор *ацетилхолин* (рис.9,10) синтезируется из холина в цитоплазме холинергических нейронов при участии ацетилкоэнзима-А (видимо, митохондриального происхождения) и цитоплазматического энзима холинацетилазы (холинацетилтрансфераза). Депонируется ацетилхолин в синаптических пузырьках — везикулах. В каждом из них находится несколько тысяч молекул ацетилхолина. Нервные импульсы вызывают освобождение ацетилхолина в интерстициальное пространство, после чего он взаимодействует с *холинорецепторами*.

Структура холинорецепторов окончательно не установлена. По имеющимся данным, холинорецептор нервно-мышечных синапсов представляет собой тетрамерный липопротеин.

Холинорецепторы разной локализации обладают неодинаковой чувствительностью к химическим веществам. На этом основано выделение так называемых мускарин-чувствительных и никотин-чувствительных холинорецепторов (М- и Н-холинорецепторы).



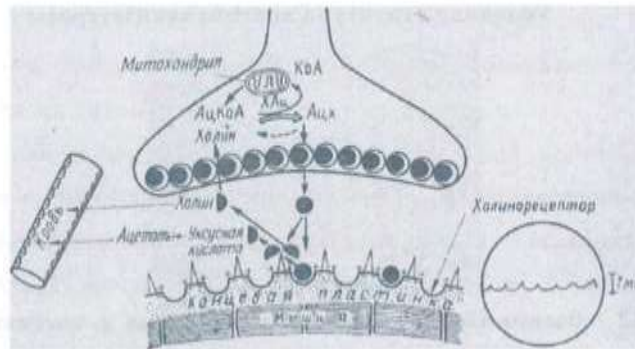
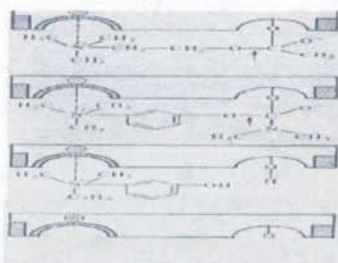


Рис. 11 Холинергическая передача в нервно-мышечном синапсе (по Д. А. Харкевичу): АцХ — ацетилхолин, АцКоА — ацетилкоэнзим-А, КоА — коэнзим-А, ХАд — холинацетилаза

М-холинорецепторы расположены в постсинаптической мембране гладкомышечных клеток мочевых путей у окончаний постганглионарных холинергических (парасимпатические) волокон, а также в центральной нервной системе (кора головного мозга, ретикулярная формация). Н-холинорецепторы находятся в постсинаптической мембране ганглионарных клеток у окончаний всех преганглионарных волокон в симпатических и парасимпатических ганглиях.

Взаимодействуя с холинорецепторами и изменяя их конфигурацию, ацетилхолин «повышает» проницаемость постсинаптической мембраны, что ведет к ее деполяризации. Первоначально это проявляется локальным синаптическим потенциалом, который, достигнув определенной величины, генерирует потенциал действия. Местное возбуждение, ограниченное синаптической областью, распространяется по всей мембране клетки. Действие ацетилхолина очень кратковременно, так как он быстро гидролизуется ферментом *ацетилхолинэстеразой* (рис.12) или диффундирует из синаптической щели (в вегетативных ганглиях).

### Условная структура ацетилхолинэстеразы



**Рис. 12** Взаимодействие ацетилхолинэстеразы с ацетилхолином в анионном и эстеразном центрах (по Д. А. Харкевичу): ДФФ — диизопропилфторфосфат.

Холин, образующийся при гидролизе ацетилхолина, в значительном количестве (50%) захватывается пресинаптическими окончаниями, транспортируется в цитоплазму, где вновь используется для биосинтеза ацетилхолина. Инактивация медиатора ацетилхолина осуществляется в основном ферментом ацетилхолинэстеразой. Последняя локализуется в значительных количествах у мест выделения ацетилхолина, в постсинаптической мембране у окончаний постганглионарных холинергических волокон, вегетативных ганглиях. Это способствует быстрому энзиматическому гидролизу ацетилхолина с превращением его в холин и уксусную кислоту (ацетаты).

Ацетилхолинэстераза взаимодействует с ацетилхолином в двух участках своей молекулы — анионном и эстеразном центрах. Очевидно, что холинергическая передача в значительной степени зависит от активности ацетилхолинэстеразы.

#### **Передача возбуждения в адренергических синапсах.**

В передаче импульсов с постганглионарных симпатических волокон на эффекторные клетки принимает участие *норадреналин*. Адренергические аксоны, подходя к эффектору, разветвляются на тонкую сеть волокон с варикозными утолщениями, имеющими функцию нервных окончаний. Последние участвуют в образовании

синаптических контактов с эффекторными клетками (рис. 9, 10). В варикозных утолщениях находятся везикулы, содержащие медиатор норадреналин в комплексе с АТФ.

Биосинтез норадреналина осуществляется в адренергических нейронах из тирозина с участием ряда энзимов. Образование ДОФА и дофамина происходит в цитоплазме нейронов, а норадреналина — в везикулах. Различают стабильное (резервное) и лабильное депо норадреналина в везикулах, а также свободное депо в цитоплазме нервного окончания.

В ответ на нервные импульсы происходит высвобождение норадреналина в синаптическую щель и последующее взаимодействие его с адренорецепторами постсинаптической мембраны. Существующие в организме адренорецепторы обладают неодинаковой чувствительностью к химическим соединениям. Исходя из этого принципа их принято подразделять на  $\alpha$ - и  $\beta$ -адренорецепторы.

В отношении  $\beta$ -адренорецепторов существуют данные, что они тесно функционально взаимосвязаны с ферментом аденилатциклазой, локализованной в мембране эффекторных клеток и обеспечивающей синтез циклического 3', 5'-аденозинмонофосфата. Количественное соотношение в тканях  $\alpha$ - и  $\beta$ -адренорецепторов различно.

Действие норадреналина на адренорецепторы кратковременно. Это объясняется главным образом быстрым захватом окончаниями адренергических волокон (так называемый нейрональный захват) до 75—80% медиатора, находящегося в синаптической щели, и последующим его депонированием.



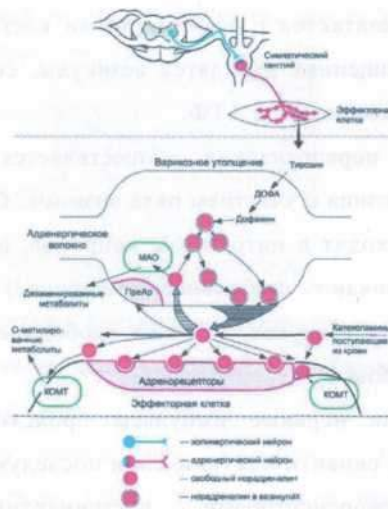


Рис. 13 Адренергический синапс (по Д. А. Харкевичу):

ДОФА — диоксифенилаланин, КОМТ — катехоло-метилтрансфераза, Лф — лабильный фонд, MAO — моноаминооксидаза

Катаболизм свободного норадреналина в адренергических окончаниях регулируется ферментом моноаминоксидазой (MAO), локализованной в основном в митохондриях и, очевидно, в мембранах везикул. Под влиянием MAO осуществляется окислительное дезаминирование норадреналина. Метаболизм выделившегося из нервных окончаний норадреналина, а также циркулирующих катехоламинов осуществляется в основном цитоплазматическим ферментом эффекторных клеток — катехоло-метилтрансферазой (КОМТ). Под влиянием этого фермента происходит метилирование катехоламинов. Небольшие количества медиатора подвергаются экстранейрональному захвату эффекторными клетками (гладкие мышцы и пр.). При экстранейрональном захвате норадреналин быстро разрушается при участии КОМТ и MAO. Баланс норадреналина зависит от его синтеза, депонирования, нейронального и

экстранейронального захвата, а также от энзиматических превращений.

### РЕГУЛЯЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МОЧЕВЫХ ПУТЕЙ

Постганглионарные холинергические структуры вегетативной иннервации экстраренальных мочевых путей распределены достаточно равномерно, и их возбуждение усиливает сократительную способность функционального синцития гладкомышечных клеток — мускулатуры мочевых путей, увеличивает частоту их деятельности и повышает тонус. Гистохимические исследования показали, что соотношение парасимпатической и симпатической иннервации мочевых путей примерно равное.

Однако эти методы позволяют идентифицировать холинергические структуры от адренергических, но не дают возможности отличить постганглионарные парасимпатические элементы от преганглионарных симпатических. Это обстоятельство, а также тот факт, что эмбриологически чашечно-лоханочная система и верхние  $2/3$  мочеточника происходят из вольфова протока, дали основание некоторым исследователям утверждать, что данные образования иннервируются только симпатическим отделом вегетативной нервной системы. В отличие от них нижняя треть мочеточника и мочевого пузыря (последний происходит из клоаки), якобы, иннервируются только парасимпатическим ее отделом. Однако в стенке верхних мочевых путей, за исключением интрамурального отдела мочеточника, ганглионарные клетки (которые могут относиться лишь к парасимпатической системе) не обнаружены, хотя соотношение холино- и адренорецепторных структур примерно равное. Это свидетельствует о том, что холинорецепторные структуры относятся к парасимпатическому, а адренорецепторные — к симпатическому отделам вегетативной иннервации верхних мочевых путей.

### **$\alpha$ - и $\beta$ -адренорецепторы верхних мочевых путей.**

$\alpha^1$ - и  $\beta^1$ - рецепторы локализуются в основном на постсинаптических мембранах и реагируют на действие норадреналина, выделяющегося из нервных окончаний постганглионарных нейронов симпатического отдела.

$\alpha^2$ - и  $\beta^2$ - рецепторы являются внесинаптическими, а также имеются на пресинаптической мембране тех же нейронов. На  $\alpha^2$ -рецепторы действуют как адреналин, так и норадреналин.  $\beta^2$ -рецепторы чувствительны в основном к адреналину. На  $\alpha^2$ -рецепторы пресинаптической мембраны норадреналин действует по принципу отрицательной обратной связи — ингибирует собственное выделение. При действии адреналина на  $\beta^2$ -адренорецепторы пресинаптической мембраны выделение норадреналина усиливается.

Кратко охарактеризовать значение рецепторов можно следующим образом:

$\alpha^1$  — локализуются в артериолах, стимуляция приводит к спазму артериол, повышению давления, снижению сосудистой проницаемости и уменьшению экссудативного воспаления.

$\alpha^2$  — главным образом пресинаптические рецепторы, являются «петлёй отрицательной обратной связи» для адренэргической системы, их стимуляция ведёт к снижению артериального давления.

$\beta^1$  — локализуются в сердце, стимуляция приводит к увеличению частоты (положительный хронотропный эффект) и силы сердечных сокращений, (положительный инотропный эффект) кроме того, приводит к повышению потребности миокарда в кислороде и повышению артериального давления. Также локализуются в почках, являясь рецепторами юктагломерулярного аппарата.

$\beta^2$  — локализуются в бронхиолах, стимуляция вызывает расширение бронхиол и снятие бронхоспазма. Эти же рецепторы находятся на клетках печени, воздействие на них гормона вызывает

гликогенолиз и выход глюкозы в кровь.

$\beta^3$  — находятся в жировой ткани. Стимуляция этих рецепторов усиливает липолиз и приводит к выделению энергии, а также к повышению теплопродукции.

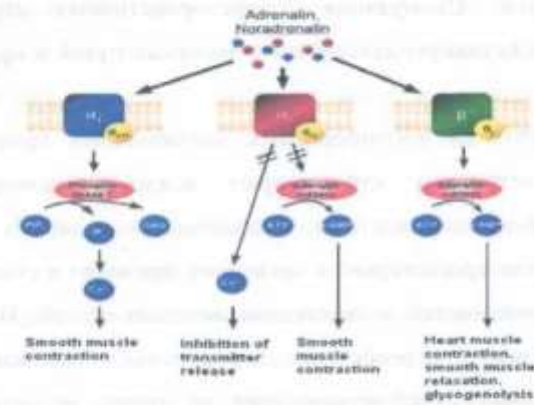


Рис.14 Механизм действия адренергических рецепторов.

Адреналин и норадреналин являются лигандами для адренергических рецепторов  $\alpha^1$ ,  $\alpha^2$  или  $\beta$ . С  $\alpha^1$ -адренергическим рецептором связывается  $\alpha$ -субъединица Gq, что приводит к повышению внутриклеточной концентрации ионов кальция и, например, к сокращению гладкой мускулатуры. С  $\alpha^2$ -адренергическим рецептором  $\alpha^2$  связывается  $\alpha$ -субъединица Gi, что приводит к снижению концентрации цАМФ или, например, к сокращению гладкой мускулатуры. С  $\beta$ -рецептором связывается  $\alpha$ -субъединица Gs, что приводит к повышению внутриклеточной концентрации цАМФ и, например, к сокращению сердечной мускулатуры, расслаблению гладкой мускулатуры и гликогенолизу.

Адренорецепторы были в середине 20-го века. Их распределение в стенках верхних мочевых путей, однако, до настоящего времени

окончательно не изучено. Вместе с тем установлено, что половые гормоны и, в частности, прогестерон и эстрогены влияют на деятельность верхних мочевых путей и ее регуляцию. Стимуляция  $\alpha$ -адренореактивных структур мочевых путей приводит к усилению их функциональной активности и кинетических возможностей, повышению тонуса. Стимуляция  $\beta$ -адренореактивных структур, наоборот, снижает активную деятельность мочевых путей и приводит к их дилатации.

В эксперименте на изолированных мочеточниках крыс было доказано, что эстрогены стимулируют  $\alpha$ -адренорецепторы, а прогестерон —  $\beta$ -адренорецепторы. Клинический материал также показал, что избыток прогестерона в организме приводит к снижению кинетических возможностей и дилатации мочевых путей. Избыток эстрогенов вначале способствует усилению динамической деятельности мочевых путей и повышает их тонус, но затем его действие становится обратным. Это было объяснено феноменом Гольца — Сеченова — феноменом «загнанной лошади». Суть подобной реакции заключается в том, что мощная стимуляция мочевых путей приводит к «утомлению» системы и возникновению охранительной защитной реакции торможения динамической активности, проявляющейся в данном конкретном случае в гипокинезии и дилатации мочевых путей. Комплексное воздействие эстрогенов и протестиннов в обычных для организма концентрациях уравнивает противоположную направленность их действия, но достаточно изменить равновесие в ту или в другую сторону, как гармоничное функционирование мочевых путей расстраивается.

**Тонус мочевых путей.** Экстраренальные мочевые пути — это система органов, непрерывно сменяющих фазы своей функциональной деятельности. Именно поэтому понятие «тонус» мочевых путей следует рассматривать исключительно в зависимости от фазы их

деятельности. Понятие тонуса включает напряженность гладкомышечной стенки мочевых путей. Под влиянием фермента катехолометилтрансферазы (КОМТ) происходит метилирование катехоламинов. Небольшие количества медиатора подвергаются экстранейрональному захвату эффекторными клетками (гладкие мышцы и пр.). При экстранейрональном захвате норадреналин быстро разрушается при участии КОМТ и MAO. Баланс норадреналина зависит от его синтеза, депонирования, нейронального и экстранейронального захвата, а также от энзиматических превращений.

В фазе наполнения любого из сегментов экстрауретеральных мочевых путей — чашечки, лоханки, мочеточника или мочевого пузыря — напряженность гладкомышечной стенки носит пластический характер, т. е. растяжение ее последовательно поступающими порциями мочи не приводит к существенному повышению давления в просвете органа. При этом состояние пластического тонуса может определять даже относительное снижение давления в просвете органа непосредственно перед поступлением в его просвет очередной порции мочи (как это наблюдается в просвете лоханки или мочевого пузыря).

Снижение давления по своей природе может быть *активным* — следствием активной дилатации гладкомышечных стенок органа непосредственно перед поступлением порции мочи. Вместе с тем оно может быть и *пассивным* в силу непосредственной передачи дыхательных колебаний давления на стенки мочевых путей. При этом на вдохе давление в мочевых путях повышается на 2—5 см вод. ст., а при выдохе — снижается на равную величину. Возникающий перепад давления в просвете мочевых путей, как показали исследования некоторых авторов, является силой, облегчающей транспорт мочи из вышележащих отделов мочевых путей в нижележащие. И активный, и пассивный механизм относительного снижения давления в мочевых путях — следствие пластического тонуса

гладкомышечных элементов их стенки. Эти механизмы обеспечивают *две стороны динамической деятельности мочевых путей*: накопление мочи в просвете каждого из сегментов мочевых путей и облегчение поступления мочи из вышележащего сегмента в нижележащий.

В *фазе опорожнения мочевых путей* тонус (состояние напряженности) их гладкомышечной стенки тоже может проявляться двойко. Возникающее при растяжении чашечки, лоханки, мочевого пузыря напряжение гладкомышечных клеток усиливает сокращение миоцитов. До определенного предела это усиление прямо пропорционально степени растяжения стенки (свойство, общее для всей гладкой мускулатуры организма человека). Таким образом, чем выше тонус, т. е. изначальное состояние напряженности гладкомышечной стенки, и чем выше (в физиологических пределах) степень ее растяжения, тем с большей силой и скоростью происходит сокращение гладкой мускулатуры. В тех случаях, когда физиологический предел растяжения гладкомышечных элементов пройден, очевидно, их сокращение не может осуществляться столь быстро и эффективно; выражаясь техническим термином, будет возникать остаточная деформация, которая на фоне дальнейшего снижения функциональной нагрузки может постепенно исчезнуть, а система прийти в исходное нормальное физиологическое состояние. Если же растяжение гладкомышечной стенки мочевых путей значительно превысило предел их сократительной способности, вместо возбуждения системы миоцитов последует их запредельное торможение, а сократительная способность гладкомышечной стенки в этом случае будет отсутствовать.

Тонус мочевых путей в фазе опорожнения зависит и от *«внешнего» давления* окружающих тканей на гладкомышечные стенки мочевых путей. Это и величина давления в почечном синусе на чашечки и лоханку, и забрюшинное давление, оказывающее непосредственное воздействие на лоханку, верхнюю и среднюю треть мочеточника, и давление в клетчатке таза, окружающей нижнюю треть мочеточника, и внутрибрюшное

давление, оказывающее прямое влияние на стенку мочевого пузыря. Для более эффективного воздействия этих величин «внешнего» давления гладкомышечная стенка мочевых путей должна вслед за некоторым напряжением, формирующим в своем просвете *порцию мочи* и придающим ей определенное направление для дальнейшего продвижения, резко снизить свой тонус, расслабиться для того, чтобы воздействие «внешнего» давления своей изгоняющей силой завершило ее опорожнение с предельной быстротой и наименьшими энергетическими затратами.

Ряд исследований свидетельствуют о том, что разным сегментам мочевых путей в той или иной степени присущи *оба механизма опорожнения*. Преобладание того или иного механизма находится в непосредственной зависимости от анатомических особенностей каждого из сегментов мочевых путей и от функциональной нагрузки, которую он испытывает в данных условиях. Так в условиях физиологического наполнения мочевого пузыря, что подтверждено данными функциональных исследований, его опорожнение происходит в основном за счет активного сокращения гладкомышечных элементов детрузора (*detrudere выталкивать*) — мышечная оболочка (*tunica muscularis*) органа, состоящая из трех взаимно переплетающихся слоев, образующих единую мышцу, изгоняющую мочу (*m. detrusor urinae*). Её сокращение приводит к мочеиспусканию). Степень участия внутрибрюшного давления при этом минимальна. При переполнении мочевого пузыря, наоборот, усилие детрузора затрачивается в основном, на открытие шейки и замыкательного аппарата. Затем тонус его резко падает (это особенно отчетливо регистрируется у женщин), и опорожнение пузыря осуществляется пассивно, за счет относительного произвольного повышения внутрибрюшного давлений - **функциональная саморегулирующаяся система экстраренальных мочевых путей**. С одной стороны, самое непосредственное влияние на их деятельность оказывают потребности гомеостаза — функция почки, с другой — состояние транспорта мочи в



нижележащих отделах мочевых путей. Обнаруженные при морфологических исследованиях рецепторные образования в стенке мочевых путей — *кустиковые разветвления* вегетативных нервных окончаний — играют, видимо, двоякую роль. Они осуществляют регуляцию деятельности всей системы на фоне увеличения объема транспортируемой мочи (при полиурии). Это так называемые *воломорекцепторы*. Возбуждение этих структур в рамках внутриорганной вегетативной регуляции обеспечивает снижение тонуса гладкомышечной стенки мочевых путей, увеличение емкости каждого из сегментов при сравнительно низком давлении, что безусловно, увеличивает эффект воздействия изгоняющей силы «внешнего» давления. Эффект, очевидно при этом максимален, ибо наибольшие по объему порции мочи будут транспортированы с наименьшими энергетическими затратами. Реализация процессов транспорта мочи в этих случаях, очевидно, будет происходить и с помощью вегетативно-соматического рефлекса, когда в пределах сегмента спинного мозга возбуждение вегетативных центров иннервации мочевых путей приведет к его передаче соматическим центрам, реализующим дыхание, тонус брюшной стенки и т. д. В тех случаях, когда степень полиурии достаточно велика, а мочевые пути не справляются с осуществлением транспорта мочи, включается система *барорецепторов*. Повышение тонуса мочевых путей, которое также реализуется внутриорганно рефлекторной дугой вегетативной иннервации усиливает динамическую активность мочевых путей и включает внутрпочечные механизмы, способные уменьшить продукцию мочи. При этом возбуждение сосудисто-тканевых рецепторов верхних мочевых путей вызывает спазм сосудов почечной коры (уменьшающий фильтрацию) и относительный венозный стаз в медуллярной зоне, способствующий усилению реабсорбции. Дальнейшее повышение давления в верхних мочевых путях приводит к расширению чашечек и включению достаточно мощного механизма факультативной реабсорбции.

В заключение необходимо подчеркнуть единство функциональной системы мочевых путей, принципов структуры, иннервации и регуляции деятельности. *Вегетативная нервная система мочевых путей определяет оптимальный вид их деятельности в зависимости от потребностей гомеостаза для обеспечения динамической активности с минимальными энергетическими затратами.*

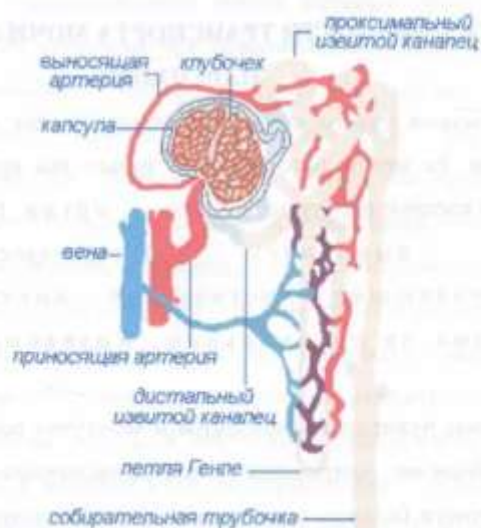
## II. ОСОБЕННОСТИ ТРАНСПОРТА МОЧИ В ПОЧЕЧНОЙ ПАРЕНХИМЕ

Почка весьма сложна как в анатомическом, так и в функциональном отношении. Ее нельзя рассматривать только как орган, выделяющий из организма вредные продукты. Почка — орган гомеостаза, который выполняет различные функции, обеспечивающие постоянство внутренней среды организма на оптимальном, жизненно необходимом уровне.

Выведение чужеродных продуктов и нелетучих веществ, образующихся при метаболизме, сохранение кислотно-щелочного равновесия, водно-электролитного баланса, поддержание осмотического давления в организме, мощная антиоксидантная функция, а также синтез некоторых продуктов и секреция веществ, влияющих на сосудистый тонус, эритропоэз, свертывающую систему крови — это обеспечение гомеостаза и неразрывно связанной с ним защитной функции почки. Общепризнано, что *мочеобразование является лишь следствием и суммарным итогом деятельности почки.*

Настоящая глава посвящена описанию процессов, происходящих в почечной паренхиме: *мочеобразованию* и неразрывно связанному с ним *транспорту мочи* по элементам нефрона. Как только за счет функции клубочка и капсулы Шумлянского — Боумена образуются первые капли

мочи в проксимальных извитых канальцах, она сразу начинает двигаться. В отличие от экстраренальных интратренальные мочевые пути (от капсулы Шумлянского—Боумена до вершины почечного сосочка) представляют собой элементы нефрона — миниатюрные микроскопические капилляры с нежной структурой, которые, однако, по своей поверхности также достаточно велики. Так, площадь канальцевого аппарата одной почки составляет 70—80 м<sup>2</sup>.



**Рис. 1. Строение нефрона**

Структура интратренальных мочевых путей напоминает крону огромного дерева: множество мелких разветвлений (проксимальные и дистальные извитые каналы, прямые каналы), сливающихся затем в более крупные общие стволы (каналы Беллини, открывающиеся порами на вершине каждого сосочка).

Движение мочи по нефрону до настоящего времени не нашло последовательных объяснений. Какие силы участвуют в транспорте на протяжении нефрона? Какие при этом возникают противодействия? Для любого движения (действия) существует равное по величине и про-

тивоположно направленное противодействие. Должно ли произойти уравнивание, преобладание одной из этих сил, или для активного транспорта мочи условия создаются всем комплексом?

## 2.1. ПРОЦЕССЫ, ПРОИСХОДЯЩИЕ В ПРОКСИМАЛЬНЫХ ОТДЕЛАХ НЕФРОНА

Вследствие *клубочковой фильтрации* из плазмы крови образуется *первичная*, или *привизорная*, моча — *ультрофильтрат*. Клубочковая фильтрация осуществляется за счет разности давления в капиллярах клубочков — гидростатического давления, с одной стороны, онкотическим давлением плазмы и капсулярным давлением, с другой. Для осуществления клубочковой ультрафильтрации необходимо, чтобы гидростатическое давление превышало онкотическое и капсулярное давление, вместе взятые. Разность давлений, обеспечивающая ультрафильтрацию, носит название *фильтрационного давления*.



**Рис.2. Соотношение видов давления при фильтрации**

*Гидростатическое* давление в капиллярах клубочков у человека колеблется в пределах 40—75 мм рт. ст. *Онкотическое* давление плазмы

крови приблизительно равно 28—32 мм рт. ст. и зависит от количества и качества белков плазмы и соотношения их фракций. Преобладание грубодисперсных белков ведет к снижению онкотического давления плазмы и наоборот. *Капсулярное* - онкотическое давление белков крови стремится удержать воду, оказывая противоположное действие гидростатическому давлению, которое, вытесняя воду, усиливает фильтрацию. Благодаря единоборству этих разнонаправленных сил с учетом капсулярного давления осуществляется ультрафильтрация.

Фильтрационное давление. Обычно равно 35—40 мм рт. ст. Объем ультрафильтрата зависит от величины фильтрационного давления: чем оно выше, тем быстрее и в больших количествах образуется первичная моча. В дистальных сосудистых петлях клубочка происходит уравнивание сил гидростатического, онкотического и капсулярного давлений; в силу этого процесс ультрафильтрации прекращается.

Через сосуды почки человека в минуту проходит 1200 мл крови, или около 600 мл плазмы. Одна пятая часть ее, т. е. 120 мл, фильтруется в минуту в просвет капсул Шумлянского — Боумена (7000 мл/ч, 150—200 л/сут), превращаясь таким образом в первичную мочу, которая является исходным продуктом для образования конечной мочи.

Процесс ультрафильтрации осуществляется при определенном фильтрационном давлении. Мнение о том, что при систолическом давлении 70 мм рт. ст. этот процесс прекращается, нельзя считать убедительным. Этот процесс зависит не только от величины артериального давления, но и от фильтрационного, т. е. от разности гидростатического, онкотического и капсулярного давлений. Если при снижении гидростатического давления будет снижено и онкотическое, процесс ультрафильтрации сохранится, ибо фильтрационное давление будет достаточным. В экспериментах, в которых массивно вводился в кровяное русло физиологический раствор, вызывающий резкое падение онкотического давления, наблюдалось выделение мочи, если артериальное давление было не ниже 18 мм рт. ст.

Своеобразное строение системы кровообращения почки, особенно ее клубочков, позволяет при низких значениях систолического системного артериального давления поддерживать высокий тонус приводящих артериол и гломерулярных капилляров, создавая тем самым необходимое гидростатическое давление и обеспечивая процесс фильтрации.



Рис. 3. Силы, влияющие на скорость фильтрации

*Анурия*, возникающая при низком артериальном давлении, еще не указывает на прекращение фильтрации, так как процесс мочеобразования при этом может сохраниться. В таких случаях наряду с фильтрацией в канальцевой системе и форникальном аппарате почки наблюдается резко выраженная реабсорбция. (Форникальный аппарат почечных чашек. Каждая почечная чашка охватывает конусообразный почечный сосочек, как двустенный бокал. Благодаря этому проксимальный отдел чашки, окружающий основание сосочка, возвышается над его верхушкой в виде свода, *fovea*. В стенке свода чашки заключены неисчерченные мышечные волокна, *m. sphincter fornicis*, которые вместе с заложенной здесь соединительной тканью и прилегающими нервами и сосудами (кровеносными и лимфатическими) составляют форникальный аппарат,

играющий большую роль в процессе выведения мочи из паренхимы почки в почечные чашки и препятствующий обратному току мочи из чашек в мочевые каналы. Вследствие близкого прилегания сосудов к стенке свода здесь легче, чем в других местах, возникают кровотечения и моча затекает в кровь (пиеловенозный рефлюкс), что способствует проникновению инфекции. В стенке почечной чашки различают четыре мышцы, расположенные выше свода (*m. levator fornicis*), вокруг него (*m. sphincter fornicis*), вдоль чашки (*m. longitudinalis calycis*) и вокруг чашки (*m. spiralis calycis*). *M. levator fornicis* и *m. longitudinalis calycis* расширяют полость чашки, способствуя накоплению мочи - диастола, а *m. sphincter fornicis* и *m. spiralis calycis* суживают чашку, опорожняя ее - систола. Работа чашки связана с аналогичной деятельностью почечной лоханки.

Прекращение фильтрации происходит лишь в тех случаях, когда противодействующие силы в клубочках уравновешены. Наряду с процессом фильтрации в клубочках может иметь место и диффузия, зависящая не только от гидростатического давления, но и от свойств молекул.

**Степень проницаемости капилляров клубочка.** Их стенка является отнюдь не простым фильтром, а представляет собой сложную протоплазматическую мембрану, проницаемость которой зависит как от процессов, происходящих в эндотелиальных клетках, и состояния самих клеток эндотелия, так и от физико-химических реакций в окружающей их среде: это и степень обеспечения тканей кислородом, и концентрация водородных ионов, и реологические свойства крови, и многое другое.

При активном состоянии эндотелиальных клеток проницаемость мембраны увеличивается; когда клетки находятся в состоянии покоя, проницаемость значительно снижается. *Эндотелий капилляров клубочка* более проницаем для воды, нежели другие клеточные мембраны, следовательно, процесс ультрафильтрации зависит не только от величины фильтрационного давления, но и от степени проницаемости эндотелия

клубочка.

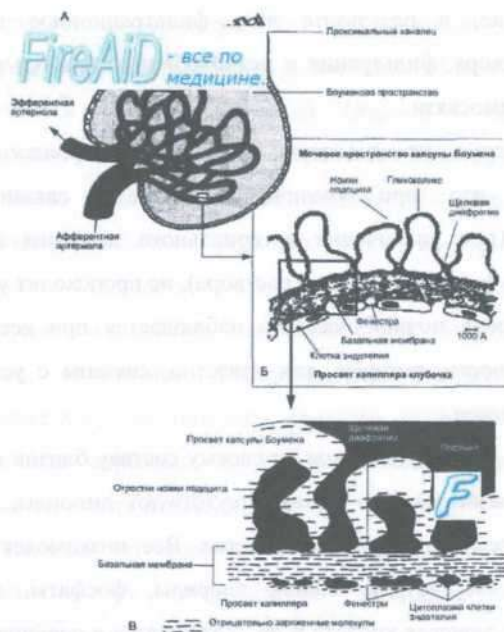


Рис. 4. Гломерулярный фильтр. Схема строения клубочка.

А — схематическое изображение клубочка в целом,

Б — фрагмент трехслойного фильтрационного барьера,

В — увеличенный участок фильтрационного барьера.

Отчетливо выявляются три слоя барьера: эндотелий капилляра клубочка, базальная мембрана и клетки висцерального листка капсулы Боумена—Шумлянского (подоциты). Фильтрация воды с растворенными в ней веществами происходит из плазмы крови капилляра клубочка через фенестры эндотелия, поры базальной мембраны и щелевые диафрагмы между ножками подоцитов. Все эти структуры фильтрационного барьера имеют отрицательный заряд.

**Капсулярное давление.** Степень клубочковой фильтрации зависит и от капсулярного давления, которое, в свою очередь, находится в прямой зависимости от реабсорбции воды в канальцах. При повышенной реабсорб-



ции давление в канальцах падает, а соответственно с этим снижается и капсулярное давление, в результате чего фильтрационное давление возрастает. Иначе говоря, фильтрация и реабсорбция находятся в тесной функциональной взаимосвязи.

*Ультрафильтрация* не является секреторным процессом. Это доказывается тем, что при увеличении диуреза, связанного с ультрафильтрацией (при увеличении артериального давления или при введении в ток крови физиологического раствора), не происходит усиления расходования кислорода почкой, как это наблюдается при всех видах секреторной деятельности, которые, как известно, связаны с усилением окислительных процессов.

Образующийся *ультрафильтрат* по своему составу близок к плазме крови с той лишь разницей, что в нем отсутствуют липиды, а белки находятся в очень незначительном количестве. Все низкомолекулярные соединения, такие, как натрий, калий, хлориды, фосфаты, глюкоза, креатинин, мочевины, мочевая кислота и др., содержатся в первичной моче в тех же количествах, что и в плазме крови; рН, электропроводность провизорной мочи и плазмы одинаковы, часть положительных ионов при этом удерживается от диффузии белками плазмы.

В процессе клубочковой фильтрации в капсулярное пространство могут проникать некоторые белки. Процесс фильтрации белков зависит от их молекулярной массы, размеров, структуры молекул, их заряда и состояния гидрофильности. Через клубочковую мембрану в норме могут проникать соединения с молекулярной массой ниже 70 000. Значения молекулярной массы гемоглобина, белкового тела Бенс-Джонса, альбуминов близки к этой величине, поэтому гемоглобин, например, появляется в моче при гемолизе. В то же время глобулины, имеющие молекулярную массу 165 000 и выше, не проникают через клубочковый фильтр.

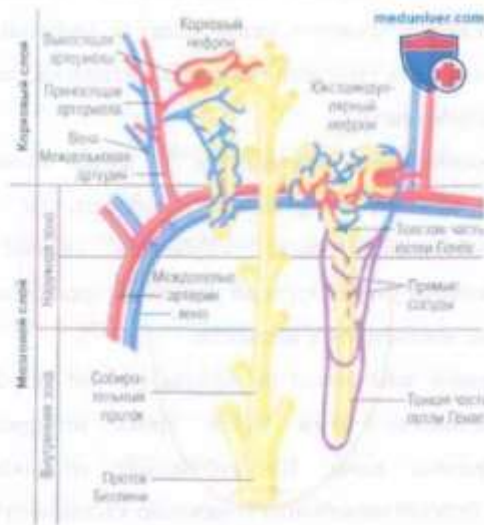
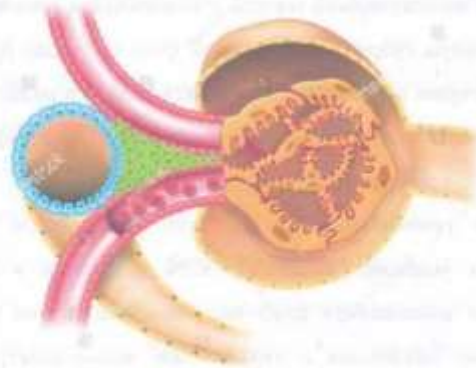
Высокомолекулярные белки могут распадаться в растворе на

соединения с меньшей молекулярной массой и становятся проницаемыми для клубочкового фильтра. Через клубочковый фильтр также проникают чужеродные белки, которые в дальнейшем не подвергаются реабсорбции и выделяются с конечной мочой. Обычно в 100 мл ультрафильтрата содержится 30 мг белка, а в течение суток фильтруется около 50 г.

**Роль почечной гемодинамики.** Из всех имеющихся в почке клубочков в обычных условиях лишь 50—85% находятся в активном состоянии. Количество «активных» клубочков изменяется под влиянием процессов в организме, связанных с нарушением водно-электролитного баланса, изменением рН, введением вазопрессорных веществ. Так, вдыхание  $\text{CO}_2$ , раздражение чревного нерва ведет к снижению числа «активных» клубочков до 5%. Введение кофеина, напротив, заставляет функционировать все клубочки.

Наличие *артериовенозных анастомозов* в почке позволяет в зависимости от потребностей организма включать в систему мочеобразования необходимое число клубочков. Кроме этого, артериовенозные анастомозы участвуют в регуляции распределения крови, что обеспечивает баланс внеклеточной жидкости.

В юкстамедуллярной зоне почки располагаются вне-клубочковые артериовенозные анастомозы. Этим путем кровь непосредственно поступает в дугообразные вены. Внеклубочковые артериовенозные анастомозы благодаря богатой иннервации и наличию клапанного аппарата в междольковых артериях могут брать на себя при определенных условиях роль регулятора процессов мочеобразования и транспорта мочи в почечной паренхиме. В нормальных условиях 85—90% поступающей в почку крови циркулирует через клубочки и лишь 10—15% — через артериовенозные анастомозы.



**Рис.5. Строение юкстагломерулярного нефрона**

**Обеспечение клубочковой фильтрации.** Клубочковая фильтрация — результат взаимодействия комплекса сил. Прежде всего, это гидростатическое давление, которое зависит от артериального давления, тонуса афферентных и эфферентных артериол, количества «активных» клубочков, функционирующих артериовенозных анастомозов, состояния сосудистой стенки и изменения просвета внутриорганных артериол и вен.

Ему противодействует онкотическое давление плазмы крови, зависящее от количества и качества общего белка в крови и соотношения белковых фракций, а также внутрикапсулярное давление, на величину которого большое влияние оказывает внутриканальцевое давление, зависящее, в свою очередь, от проходимости почечных канальцев и верхних мочевых путей, степени реабсорбции воды в канальцах и форникальном аппарате почки, состояния эластичности почечной паренхимы, а также от лимфо- и кровообращения в почке и давления со стороны собственной фиброзной капсулы.

Большое значение имеет *проницаемость клубочковой мембраны*, которая зависит от оксигенации тканей, рН крови, тканевой жидкости и активности клеток эндотелия, а также от величины фильтрующей поверхности. Последняя связана с количеством функционирующих клубочков, числом открытых в них капиллярных петель и степенью расширения капилляров, а также от коллатерального кровообращения по артериовенозным анастомозам.

**Диффузия.** В образовании первичной мочи большую роль играет *диффузия* — процесс значительно интенсивнее фильтрации, зависящий не только от гидростатического давления, но и от состава плазмы. Как показали исследования, интенсивность диффузии превышает фильтрацию в 3,3 раза. К сожалению, этот процесс до настоящего времени изучен недостаточно.

**Изменение состава первичной мочи.** Ультрафильтрат, образующийся из плазмы крови, в последующем претерпевает значительные изменения как в количественном, так и в качественном составе, при этом осуществляется его транспорт по элементам нефрона от капсулы Шумлянскогo —Боумена до собирательных трубочек, почечного сосочка и мочевых путей. Процессы этого транспорта и формирования *конечной (дефинитивной) мочи* неразрывны, поэтому они будут рассмотрены в связи с функцией

канальцевого аппарата почки.

Процесс образования конечной мочи складывается из активной канальцевой реабсорбции, простой диффузии, канальцевой экскреции и канальцевой секреции. Все активные процессы в канальцах регулируются нейрогуморальным путем и в зависимости от потребностей организма могут во многом изменяться, следствием чего является изменение состава конечной мочи.

**Проксимальная реабсорбция воды.** Водовыделительная функция почки, как ни парадоксально, сводится не столько к выделению воды, сколько к ее сбережению в организме в необходимых для него количествах. Эта функция почки обеспечивает постоянство водного баланса организма, соотношение вне- и внутриклеточной жидкости, стабильность ее осмотического давления, за счет регулирования объема выделяемой мочи и содержания растворенных в ней веществ. Поэтому, наверное, эту сторону функциональной активности почки более точно можно назвать *водораспределительной*. Она складывается из клубочковой фильтрации, проксимальной (обязательной) реабсорбции, дистальной (факультативной) реабсорбции, осмотического концентрирования мочи и форникальной реабсорбции. В процессе концентрирования почка создает мочу с более высоким осмотическим давлением, чем осмотическое давление плазмы крови. Это связано с тем, что вода реабсорбируется в больших количествах, нежели натрий, хлориды и другие осмотически активные вещества. Иначе говоря, в клубочковом фильтрате содержатся осмотически активные вещества, которые вообще не реабсорбируются или реабсорбируются только частично. Они то и определяют величину осмотического давления в канальцах и противодействуют всасыванию воды. На процесс концентрирования провизорной мочи воздействуют две противоположно направленные силы. Одна усиливает реабсорбцию, другая — оказывает обратное действие. От разности этих осмотических сил и зависит реабсорбция воды. У человека реабсорбция воды возможна при

сопротивлении, оказываемом осмотическим давлением не выше 250 кПа (25 атм).

В проксимальном отделе канальцевого аппарата большая часть воды ультрафильтрата всасывается обратно в кровь. Этот процесс носит название *проксимальной (обязательной)* реабсорбции, так как вода обязательно следует за активно реабсорбируемыми веществами: натрием, глюкозой, фосфатами, хлоридами, бикарбонатами и пр. Натрий — основной катион ультрафильтрата — на 90% определяет осмотическое давление в проксимальном отделе нефрона (10% за счет мочевины). Активно реабсорбируясь клетками эпителия канальцев, создавая определенный уровень осмотического давления, натрий тем самым определяет степень всасывания воды в проксимальном отделе канальцев. Иначе говоря, вода пассивно диффундирует за активно реабсорбируемыми веществами, в частности за натрием, выравнивая осмотическую неравномерность между первичной мочой и кровью.

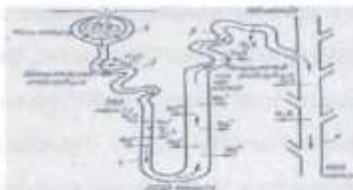
Гидростатическое давление между просветом канальца и интерстициальной тканью почки «низкое, поэтому в процессах реабсорбции оно играет небольшую роль. Значительно большую роль играет фактор *непрерывности* тока мочи в просвете канальцевой системы. В силу неразрывности потока уход определенной части первичной мочи (вода, устремившаяся вслед за активно реабсорбированным натрием) неизбежно «тянет» в просвет канальца из вышележащих его отделов все новые и новые количества первичной мочи, способствуя сохранению давления, являющегося остаточной силой фильтрационного, нивелируя тем самым потери гидродинамического давления непрерывно текущего ультрафильтрата на трение и преодоление гидростатических препятствий, возникающих за счет направления извитого канальца. Именно этот своеобразный «*осмотический насос*» является одним из механизмов транспорта мочи по элементам нефрона. Он неразрывно связан с процессами дальнейшего превращения первичной мочи.

Величина онкотического давления в постклубочковых капиллярах непосредственно связана с интенсивностью фильтрации. Чем интенсивнее фильтрация, тем больше концентрация плазмы в постклубочковых капиллярах и тем выше ее онкотическое давление. В соответствии с возникающим градиентом усиливается реабсорбция и тем самым за счет воды эта концентрация выравнивается, снижается онкотическое давление в околклубочковых капиллярах. Таким образом, чем выше уровень фильтрации, тем интенсивнее реабсорбция.

В процессе обязательной реабсорбции диффундирует  $\frac{2}{3}$  воды ультрафильтрата и лишь  $\frac{1}{3}$  ее часть поступает в следующие отделы нефрона. У человека при величине фильтрации 120 мл/мин только 17—20 мл/мин проходит в расположенные дистальные отделы канальцевого аппарата, в петлю Генле. Ее форма по закону сообщающихся сосудов позволяет сохранить гидростатическое давление на выходе таким же, как и на входе, что немаловажно для дальнейшего транспорта мочи.

## 2.2. ТРАНСПОРТ МОЧИ В ПЕТЛЕ ГЕНЛЕ

Петля Генле — это не пассивная часть нефрона, а один из активно функционирующих его отделов, определяющих концентрационную способность почки (рис.6).



**Рис. 6. Транспорт мочи по интраклубочковым мочевым путям:**

*а* — клубочек, *б* — капсула Шумлянского — Боумена, *в* — проксимальный извитой каналец, *г* — петля Генле, *д* — дистальный извитой каналец, *е* — собирательный каналец

Еще в 1909 г. Peleg обратил внимание на то, что чем длиннее петля Генле у животного, тем более концентрированную мочу может продуцировать почка.

#### **Поворотно-противоточная множительная система петли Генле.**

В 1951 была выдвинута теория, которая рассматривает петлю Генле как *поворотно-противоточную множительную систему*. Принцип этой системы заключается в том, что движение двух потоков в противоположном направлении осуществляет двусторонний обмен через интерстициальную ткань. Нисходящее узкое колено петли Генле проходимо и для воды, и для натрия, восходящее — непроницаема для воды, но проницаема для натрия. По мере проникновения натрия из восходящего отдела петли Генле в интерстиции растет осмотическое давление, а в восходящем колене падает концентрация мочи, так как оно непроницаемо для воды.

В нисходящей части петли Генле по мере роста осмотического давления в интерстиции происходит обмен натрия и воды. Вода проникает в межтубулярную ткань, а натрий из нее переходит в просвет нисходящей части петли. Благодаря этому устанавливается осмотическое равновесие между интерстицией и нисходящим коленом петли Генле. В то же время возникает градиент, равный 200 мосм/л, между нисходящей и восходящей частями петли Генле в одной плоскости. Он и является движущей силой концентрирующего механизма нефрона.

Концентрирующий механизм в петле Генле создается не за счет гидростатической силы возврата, а за счет функции эпителия восходящей части петли, активно реабсорбирующей натрий. В то же время в нисходящем колене петли Генле натрий проникает в ее просвет, а вода благодаря диффузии переходит в интерстиций пассивно за счет разности осмотического давления. Этим уравновешивается осмотическое давление между нисходящим отделом петли Генле и интерстицией. Таким образом, активно функционирующим отделом петли Генле



является ее восходящее колено. За счет потери натрия осмотическое давление в верхнем отделе восходящего колена петли Генле падает до 100 мосм/л, а затем в кортикальном слое уравнивается с давлением интерстиции (до 300 мосмоль/л).

Функционируя по принципу поворотно-противоточного множителя, петля Генле создает весьма высокое осмотическое давление в интерстиции мозгового слоя, где оно у человека достигает 2200 мосм/л. *Интегрированный градиент* по вертикали между корковым и мозговым слоями почки может превышать 2000 мосм/л, в то время как в одном из поперечных сечений он близок к 200 мосм/л.

#### **Взаимосвязь функции петли Генле и терминального отдела нефрона.**

Известно, что терминальный отдел нефрона и, в частности, прямые и выводные каналцы наряду с петлей Генле и интерстициальной тканью определяют *концентрационную способность почки*.

Под влиянием *антидиуретического гормона (АДГ)*, гиалуронидазы и гиалуроновой кислоты открываются межклеточные пространства, вода из каналца в большом количестве устремляется в интерстиций, что уравнивает разность осмотических концентраций в просвете терминального отдела нефрона и в интерстиции. Концентрация мочи в терминальном отделе нефрона резко возрастает, значительно повышается осмотическое давление в просвете прямых и выводных каналцев. При этом моча, содержащаяся в широком восходящем отделе петли Генле, непроницаемом для воды, с низким осмотическим давлением около (100 мосм/л) устремляется по системе дистальных извитых каналцев в терминальный отдел нефрона — в зону с высоким осмотическим давлением. Таким образом, своеобразный *«осмотический насос»* реализует транспорт мочи из восходящего отдела петли Генле в дистальный отдел нефрона.

Поскольку в тонком нисходящем и толстом восходящем отделах

петли Генле существует значительная разница концентраций ионов  $\text{Na}^+$ , а следовательно, и разница осмотического давления (в восходящем отделе оно значительно ниже), может показаться, что моча из зоны низкого осмотического давления должна была бы поступать в зону с высоким осмотическим давлением, т. е. обратно — в нисходящее колено петли Генле. Однако этого не происходит. Ретроградному току мочи препятствуют остаточное фильтрационное давление, создавая своеобразный гидродинамический подпор в системе канальцев, а также силы сообщающихся сосудов. Уровень жидкости в сообщающихся сосудах обратно пропорционален плотностям жидкости. Содержание менее концентрированной мочи (с меньшей плотностью) в восходящем отделе петли Генле создает дополнительное небольшое усилие для дальнейшего продвижения мочи в дистальные извитые канальцы. Восходящая часть петли Генле постоянно наполняется первичной мочой, возникает некоторое избыточное давление мочи на стенку восходящего отдела. Оно, по 3-му закону Ньютона, уравнивается гидростатическим давлением в интерстициальной ткани почки, на которую передаются *внутрипочечные сосудистые пульсации*. Их воздействие обеспечивает дополнительное усилие для продвижения мочи в зону меньшего гидродинамического сопротивления, т. е. из узкого нисходящего отдела в широкий, восходящий.

*Таким образом, транспорт мочи в петле Генле определяют остаточное внутриканальцевое давление, реабсорбция воды, силы сообщающихся сосудов, различная удельная плотность мочи и сосудистые внутрипочечные пульсации.*

### 2.3. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ТЕРМИНАЛЬНОГО ОТДЕЛА НЕФРОНА

В дистальном отделе нефрона натрий и вода реабсорбируются отдельно. Если в проксимальном отделе канальцев вода пассивно диффундирует за активно реабсорбируемым натрием, то в дистальном

отделе она не связана с другими веществами и реабсорбируется отдельно под влиянием антидиуретического гормона. Вода, не связанная с другими веществами, носит название *осмотически свободной*, а процесс ее реабсорбции называется *гидрурезом*.

**Факультативная реабсорбция воды.** Данный вид реабсорбции воды находится в зависимости от продукции АДГ (вазопрессин) и обусловлен так называемым *антидиуретическим рефлексом*. Секрция АДГ прямо связана с осмотическим давлением внеклеточной жидкости, крови. Увеличение осмотического давления хотя бы на 1%, или 3 мосм/л (нормальное осмотическое давление внеклеточного сектора составляет 300 мосм/л), вызывает усиление секрции АДГ и олигурию. Уменьшение осмотического давления ведет к полиурии за счет снижения продукции АДГ. Такая чувствительная реакция гипоталамуса и гипофиза на изменение осмотического давления объясняется наличием не только в гипоталамусе, но и во всех тканях организма *осморцепторов*, которые сигнализируют об изменении осмотического давления и соответственно с этим влияют на уровень продукции АДГ.

На антидиуретический рефлекс влияют положение тела, внутригрудное давление. В горизонтальном положении и при снижении внутригрудного давления возникает угнетение антидиуретического рефлекса, что ведет к полиурии. В антидиуретическом рефлексе участвуют *воломорцепторы*, реагирующие на изменение объема циркулирующей крови. Они расположены в полости черепа, артериях, венах и предсердиях (особенно в левом). Увеличение диастолического объема левого предсердия вызывает раздражение воломорцепторов, идущее по афферентным волокнам блуждающего нерва в гипоталамус, а оттуда в гипофиз. При этом возникает торможение антидиуретического рефлекса: снижается секрция АДГ, уменьшается реабсорбция воды в дистальном отделе канальцев, возникает полиурия. Этим, вероятно, можно объяснить *никтурию* у лиц старческого возраста и страдающих сердечно-сосудистыми

заболеваниями.

Действие АДГ на факультативную реабсорбцию воды осуществляется через ферментативную систему *гиалуронидаза* — *гиалуроновая кислота*. В почечной ткани синтез гиалуронидазы находится в прямой зависимости от секреции АДГ. Гиалуронидаза, в свою очередь, действует на гиалуроновую кислоту, находящуюся в межклеточных пространствах. В результате в них образуются щели, через которые, следуя осмотическому градиенту, свободно проникает вода.

Такой процесс происходит не только в дистальных извитых канальцах, но и в системе собирательных трубочек. Он является следующим звеном «*осмотического насоса*», осуществляющего транспорт мочи по нефрону. Поскольку осмотическое давление плазмы тесно связано с содержанием в ней натрия, то оно ведет к изменению осмотического давления и, соответственно, вызывает изменение функции задней доли гипофиза, продукцию АДГ и реализацию антидиуретического рефлекса.

Антидиуретический рефлекс служит регулятором функционального состояния каждого нефрона. Постоянное воздействие АДГ на систему гиалуронидаза — гиалуроновая кислота в конечном итоге приводит к ее истощению, которое проявляется в снижении реабсорбции воды в дистальных отделах нефрона, падении концентрации мочи и вызывает относительную полиурию. Скорость тока мочи в системе данного нефрона при этом возрастает, что влечет за собой резкое усиление фильтрации, а затем — смыкание отростков подоцитов капсулы Шумлянского — Боумена по типу *лепесткового клапана* и прекращение фильтрации. Клубочек и нефрон при этом переходят в состояние покоя, продукция и транспорт мочи временно прекращаются.

С накоплением и активацией гиалуронидазы процесс фильтрации и транспорта возобновляется. В этом одна из причин непостоянной и асинхронной деятельности каждого

нефрона и неодновременного наполнения и опорожнения почечных чашечек.

**Роль извитых канальцев.** Почечные канальцы различны по своей структуре. Одна часть представляет собой *прямые* трубочки, вторая — *извитые*. Те зоны нефрона, которым в большей степени свойственны обменные процессы, имеют большую протяженность и объем. За ограниченный промежуток времени транспорта мочи на достаточно большой поверхности канальцев могут быть осуществлены необходимые процессы. В то же время, эти важные структуры нефрона должны быть расположены максимально компактно. Именно это требование реализуется канальцевым аппаратом почки в виде извитых спиралевидных, дугообразных и других структур, которые, имея наибольшую внутреннюю поверхность, занимают минимальный объем.

Если в проксимальном отделе нефрона извитые канальцы определяют обязательную реабсорбцию, то в терминальном отделе нефрона, часть которого также представлена извитыми канальцами, происходит поддержание водно-солевого баланса, постоянства реакции среды и, в частности, щелочного резерва крови, создание стойких буферных систем, *ацидо-* и *амминогенез* и пр.

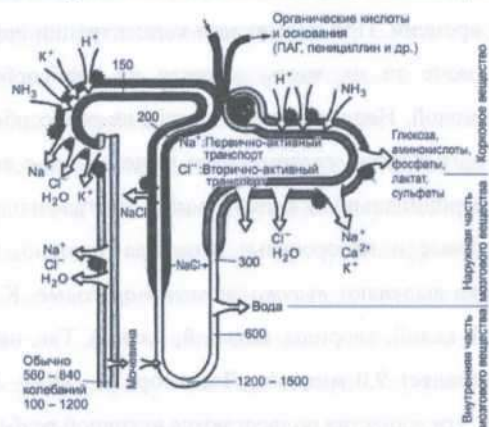
Однако существует и другая сторона функциональной деятельности почечных канальцев. Эти достаточно обширные и протяженные сегменты интратенальных мочевых путей являются своеобразным *гидравлическим буфером*, уравнивающим возможные срывы перемещения мочи под влиянием различных по величине сил. Если бы интратенальные мочевые пути не содержали извитых сегментов на своем протяжении, безусловно, их гидродинамическое сопротивление было бы значительно меньше, и регуляция процессов метаболизма и транспорта происходила бы значительно сложнее (например, просвет нефрона за счет насыщения водой интерстициальной ткани изменялся бы в меньшей степени, что привело бы к значительным потерям воды).

**Канальцевая реабсорбция.** Вещества, находящиеся в первичной моче, принято условно делить на *пороговые* и *непороговые*. Пороговые вещества реабсорбируются в канальцах только в определенных постоянных количествах в единицу времени. При повышении концентрации пороговых веществ в первичной моче та их часть, которая не реабсорбируется, выделяется с конечной мочой. Непороговые вещества не реабсорбируются и не диффундируют в канальцевой системе. Они выделяются с конечной мочой и удаляются пропорционально их содержанию в ультрафильтрате.

Деление на пороговые и непороговые вещества условно, поэтому среди пороговых веществ выделяют *высоко-* и *низкопороговые*. К первым относят глюкозу, натрий, калий, хлориды, кальций, магний. Так, например, для глюкозы порог составляет 9,0 ммоль/л. Для хлора — 340—390, для натрия — 30 мг% и т. д. Эти вещества подвергаются активной реабсорбции, в процессе которой клетки эпителия канальцев расходуют энергию. Низкопороговые вещества (мочевина, мочевая кислота, эндогенные фосфаты, сульфаты и пр.) всасываются путем обратной диффузии, при этом клетки канальцевого эпителия энергию не расходуют. К *непороговым* веществам относят такие, которые совершенно не реабсорбируются и не диффундируют в канальцевой системе, например инулин.

Канальцевая реабсорбция — одно из средств, обеспечивающих сохранение электролитов в необходимых для организма количествах. Наибольшей реабсорбции подвергается натрий. При клубочковой фильтрации в просвет нефронов ежедневно поступает около 600 г натрия. Основная масса его реабсорбируется и только несколько граммов выделяется с конечной мочой. Кроме натрия, калий почти полностью реабсорбируется из первичной мочи в проксимальных канальцах, а затем вновь появляется в моче в дистальном отделе нефрона за счет активной экскреции клетками эпителия. Реабсорбция и экскреция калия тесно связаны и зависят друг от друга. При низкой концентрации калия в моче угнетается реабсорбция, при высокой — экскреция. Экскреция калия,

кроме того, тесно связана с реабсорбцией натрия в дистальном отделе нефрона, где может происходить взаимное замещение этих катионов, особенно при изменении кислотно-щелочного равновесия.



**Рис.7. Локализация реабсорбируемых веществ в нефроне**

*Альдостерон*, усиливая реабсорбцию натрия, одновременно тормозит реабсорбцию калия. Введение в организм повышенного количества натрия тормозит реабсорбцию калия и наоборот.

Процесс реабсорбции воды и электролитов, неразрывно связанный с транспортом мочи по элементам нефрона, зависит не только от их количества, поступающего в организм при нормальной деятельности почечного эпителия, но и от *нейрогуморальной регуляции*. Так, раздражение блуждающего нерва вызывает полиурию, малого чревного нерва — усиливает выделение электролитов, большого чревного нерва — усиливает выделение аммиака и фосфорной кислоты.

В отличие от других веществ *реабсорбция мочевины* происходит пассивно, когда ее концентрация в просвете канальцев достигает определенной величины. Этот процесс не требует затрат энергии клетками почечного эпителия, он протекает за счет простой диффузии, связан с изменением осмотического давления и зависит от реабсорбции воды. При уменьшении реабсорбции воды снижается осмотическое давление в

канальцах, что ведет к уменьшению реабсорбции мочевины. Однако выделение мочевины с конечной мочой связано не только с изменением осмотического давления и реабсорбцией воды. Так, может наблюдаться повышенная реабсорбция мочевины без изменения уровня реабсорбции воды. Установлено, что реабсорбция мочевины в канальцах может протекать независимо от содержания ее в плазме.

Мочевина легко проникает через плотные мембраны, однако она не реабсорбируется в больших количествах в нефронах, так как клеточные мембраны канальцев в отличие от других клеток для нее мало проницаемы.

**Канальцевая секреция.** Наряду с реабсорбцией существует тесная связь между процессами образования и транспорта мочи, с одной стороны, и функцией почки, направленной на обеспечение кислотно-щелочного равновесия в организме, с другой. Поддержание и регуляция *кислотно-щелочного равновесия* в организме осуществляется благодаря буферным системам и нормальной деятельности органов дыхания, регулирующих выделение  $\text{CO}_2$ , а также почек, способных по мере необходимости выводить из организма кислоты и щелочи. Реакция мочи устанавливается в дистальном отделе нефрона. Реакция ультрафильтрата и мочи в проксимальных канальцах слабощелочная ( $\text{pH} = 7,4$ ); однако **pH** конечной мочи в зависимости от потребностей организма может колебаться в пределах 4,4—8,0. В процессе метаболизма клетки почечного эпителия в нормальных условиях выделяют много кислых продуктов, чем и объясняется тот факт, что конечная моча у человека имеет кислую реакцию.

Регуляция кислотно-щелочного равновесия почками обеспечивается за счет интенсивности реабсорбции бикарбонатов в дистальном отделе нефрона. В сутки с мочой выделяется около 2 мэкв бикарбонатов, в то время как в 200 л ультрафильтрата их содержание равно 5000 мэкв. При нарастании кислотности внутренней среды организма количество бикарбонатов в моче может снизиться до нуля, при этом увеличивается выделение хлоридов. Увеличение щелочности плазмы, наоборот, резко



усиливает выделение бикарбонатов с мочой.

Роль почек в регуляции кислотно-щелочного равновесия заключается в сохранении бикарбонатов путем их реабсорбции как в проксимальных, так и в дистальных отделах нефрона и образовании их из угольной кислоты и солей нелетучих кислот. Большая часть бикарбонатов реабсорбируется в проксимальных отделах нефрона и имеет порог, равный 2,8 мэкв на 100 мл ультрафильтрата. В дистальных отделах нефрона реабсорбция бикарбонатов происходит путем ионного обмена.

Большую роль в обеспечении кислотно-щелочного равновесия играют катионы металлов и, в частности, натрий. Поэтому важен процесс сбережения катионов металлов, который осуществляется почками за счет обмена этих катионов на ион водорода, выделяемый эпителием дистального отдела нефрона. При изменении кислотно-щелочного состояния в сторону *ацидоза* наступает накопление кислых продуктов (фосфатные, серные, хлорные анионы, органические кислоты и пр.), которые в плазме нейтрализуются катионами металлов (Na, K, Ca, Mg). При этом ведущая роль принадлежит натрию. В просвете канальцев водородные ионы вытесняют щелочные элементы — катионы металлов, которые реабсорбируются клетками эпителия почечных канальцев и затем выделяются в кровь. Одновременно в кровь поступает равное количество  $\text{HCO}_3^-$  с образованием бикарбоната, чем и обеспечивается *буферная система плазмы*.

Замещение натрия водородными ионами ведет к образованию свободных кислот, кислых солей, которые выделяются с мочой. Вследствие замещения катионов металлов водородом происходит изменение щелочной реакции мочи в кислую. Было доказано, что реабсорбция натрия и секреция ионов водорода (*ацидогенез*) взаимосвязаны. Реабсорбция натрия контролируется и зависит от функции надпочечников, влияя тем самым на секрецию водородных ионов. Процесс ацидогенеза имеет свои пределы, и следующим важным процессом, направленным на сохранение кислотно-

щелочного равновесия, является синтез аммиака — *аммиоогенез*.

Синтез аммиака осуществляется дистальным отделом нефрона и происходит с участием ферментативных систем. За сутки почки синтезируют 0,6 г аммиака, что достаточно для нейтрализации 30—50 мэкв кислот. В основном аммиак в почке образуется в результате дезаминирования  $\alpha$ -аминокислот и отщепления аммиака от глутамина. Эти процессы происходят с участием активных аминотерминаз и глутаминил-трансаминаз. Аммиак диффундирует в просвет канальцев и соединяется с ионом водорода, образуя ион аммония  $\text{NH}_4^+$ . Этот процесс и является собственно аммиоогенезом, предупреждающим чрезмерное накопление ионов водорода.

После образования аммония происходит замещение им натрия с выделением аммонийных солей. Освободившийся натрий поступает в клетки канальцев, соединяется с  $\text{HCO}_3^-$  и в таком виде реабсорбируется в кровь. Таким образом, в дистальном отделе нефрона ион водорода, образующийся в процессе ацидогенеза, используется на образование слабых кислот (угольная, молочная, лимонная), кислых однозамещенных фосфатов и аммонийных катионов. Оба процесса (ацидо- и аммиоогенез) сопряжены с транспортом натрия в дистальных канальцах, т. е. влияют на осмотическую концентрацию мочи в просвете нефрона, а следовательно, играют определенную роль в транспорте мочи по канальцам. С функцией канальцевого аппарата почки непосредственно связано ее участие в метаболизме белков, жиров и углеводов. *Эндокринный аппарат почки*, регулирующий паренхиматозное почечное кровообращение, обеспечивая оптимальный приток артериальной крови, микроциркуляторные механизмы, а также интерстициальный лимфатический и венозный транспорт, опосредованно определяет транспорт мочи по нефрону.

**Энергетика транспорта мочи.** Для обеспечения функции обе почки нуждаются в значительном количестве *энергии*, чем объясняется большой почечный кровоток (до 1500 л/сут). Частично энергетические затраты ком-

пенсируются окислением продуктов распада углеводов, аэробного фосфорилирования аденозиндифосфата, а также в процессе  $\beta$ -окисления жирных кислот. Протекающие в почках энергетические процессы теснейшим образом связаны с функцией митохондрий клеток. Так, при гистохимических исследованиях было доказано, что и в собирательных канальцах почки происходят активные процессы реабсорбции и экскреции.

#### 2.4. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СИЛЫ ТРАНСПОРТА МОЧИ

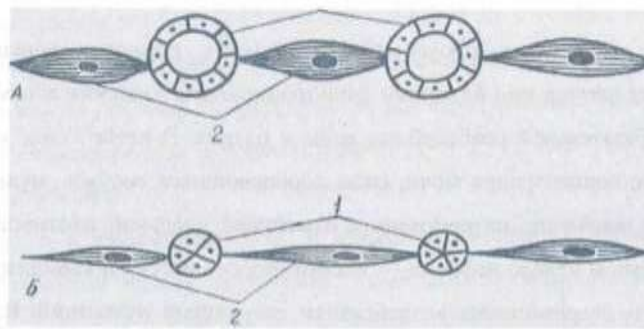
Помимо фильтрации, реабсорбции, концентрации в процессе транспорта мочи по элементам нефрона важная роль принадлежит гемодинамическим факторам и взаимодействию терминального отдела нефрона с почечной чашечкой.

**Роль сосудистых пульсаций.** Почка представляет собой сосудистый орган, кровеносное русло и скорость кровотока которого достаточно велики. При этом почка испытывает постоянные *пульсовые колебания*, присущие, в основном, артериям (в некоторой степени и венозному транспорту). Этот пульс передается на структуры, находящиеся в непосредственной близости от сосудов. Особенность строения почечных сосудов известна — роль их адвентиции выполняет *интерстициальная ткань* почки. Поэтому пульсация всех внутрпочечных сосудов передается интерстициальной ткани и всем элементам нефрона, в первую очередь системе канальцев. Создаваемая в канальцах *пульсовая волна* способствует движению мочи по элементам нефрона в сторону наименьшего сопротивления, т. е. из более узких сегментов интраренальных мочевых путей в более широкие: из нисходящего отдела петли Генле в восходящий, из дистальных канальцев в собирательные трубочки, а из них в каналцы Беллини и почечные чашечки.

**Капиллярные силы и реабсорбция.** Слияние канальцев в собирательные трубочки и протоки Беллини в силу капиллярных

закономерностей уменьшает их *гидродинамическое сопротивление*, что является одной из дополнительных движущих сил транспорта мочи по нефрону. Нельзя не учитывать изменения электролитного состава и pH мочи на различных участках нефрона, которые создают не только осмотический градиент, способствующий продвижению мочи, но и за счет *хемотрецепции* определяют реабсорбционные, экскреторные и секреторные механизмы, поддерживающие транспорт на определенном уровне.

**Взаимодействие дистального отдела нефрона с почечной чашечкой.** В самом терминальном отделе нефрона, где на вершине почечного сосочка открываются выводные трубочки, собирающие



**Рис.8.** Деятельность гладкомышечных клеток между выводными канальцами.

*A* — сокращение (просвет канальцев открыт);

*B* — расслабление (просвет сомкнут);

*1* — выводной каналец, *2* — гладкомышечная клетка

мочу от каждого нефрона, дальнейшую силу транспорта обеспечивает почечная чашечка.

Вокруг выводных канальцев расположены пучки гладкомышечных волокон, описанные в 1888 г. Костюриным. Можно предположить, что этим волокнам отведена совершенно особая роль. Сокращаясь, они не замыкают просвет выводных канальцев, а наоборот, широко *раскрывают* его. Эти гладкомышечные волокна расположены между соседними выводными

канальцами так, что при сокращении одного волокна раскрываются просветы двух прилежащих канальцев (рис. 16). Как только сила, с которой чашечка аспирирует мочу, начинает превышать сократительную способность этих гладкомышечных волокон, происходит их расслабление. Воздействием сдавливающих внешних сил просвет выводного канальца пассивно закрывается. Иными словами, г л а д к о м ы- ш е ч н ы е волокна при своем сокращении открывают просвет выводного канальца, а при расслаблении — способствуют его закрытию. Вместе с отсасывающим действием почечной чашечки они формируют подобие лепесткового клапана.

Таким образом, в проксимальных отделах нефрона транспорт мочи осуществляется под влиянием фильтрационного давления и осмотических сил, обязательной реабсорбции воды и натрия. В петле Генле принимают участие концентрация мочи, силы сообщающихся сосудов, пульсирующее противодействие, интерстиция и изменение удельной плотности мочи. В дистальном отделе нефрона — «осмотический насос» и капиллярные силы, также подвергающиеся воздействиям сосудистых пульсаций. В выводных канальцах транспорт мочи непосредственно связан с деятельностью чашечки, синхронной с работой гладкомышечных волокон, которые раскрывают просвет выводных канальцев.

Функциональная активность каждого нефрона зависит не только от потребностей гомеостаза и деятельности чашечек, но и от активности гиалуронидазы в дистальном отделе нефрона. Мочеобразование и транспорт мочи при этом неразрывны.

## III. ТРАНСПОРТ МОЧИ И ЕГО ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ

### 3.1. СВОЙСТВА ЖИДКОСТИ

*Транспорт мочи* — это перемещение жидкости в организме и из организма во внешнюю среду. Физиология транспорта мочи основана не только на морфологических особенностях строения мочевой системы и общих структурно-функциональных принципах, присущих системам организма, но и на физических свойствах и закономерностях.

**Физические свойства жидкостей.** *Жидкости*, или жидкие тела, обладают рядом особых свойств, выделяющих их в особое состояние вещества. К таким свойствам относят *порядок внутренних напряжений, специфическую реакцию на приложенное давление, взаимное перемещение частиц, существование внутренних течений* и т. п. Все эти свойства присущи и моче.

Как и в любой жидкости, в моче происходит несколько видов взаимодействия между частицами: химическое, гидромеханическое, силовое, электрохимическое и т. д. Моча представляет собой в 10 раз перенасыщенный раствор солей, удерживаемый в стабильном состоянии специальными *защитными коллоидами*, вырабатываемыми, по-видимому, и почкой, и слизистой мочевых путей. Моча — мощный *электролит*, проводник второго рода, в котором достаточно эффективно может распространяться электрический ток. Перемещение порций такого электролита с учетом его скорости и направления, видимо, способно создавать *электродвижущие силы*, которые могут приобретать определенное значение в транспорте мочи.

Ранее было проведено достаточное количество исследований по изучению химических и электрохимических свойств мочи. Гораздо

меньше внимания уделяли изучению таких физических свойств мочи, как *вязкость, поверхностное натяжение, упругие свойства* и т. п., а их значение необходимо для правильной оценки процессов транспорта мочи в организме. Основными физическими свойствами мочи, имеющими значение в уродинамике, являются удельная плотность, поверхностное натяжение, сжимаемость и внутренняя вязкость.

**Удельная плотность.** Представляет собой отношение массы порции мочи к занимаемому ею объему и является достаточно стабильной характеристикой мочи. В нормальных условиях у здорового человека она составляет 1,018—1,025 г/см<sup>3</sup>. Этот показатель характеризует способность почки концентрировать мочу в норме и достаточно точно отражает ее функциональную способность. Удельная плотность мочи может снижаться до 1,003— 1,005 г/см<sup>3</sup> в условиях повышенного потребления и выделения жидкости при полиурии, а также при утрате почкой водосберегательной функции в условиях почечной недостаточности.

**Таблица №1**  
**Возрастные показатели относительной плотности мочи**

Возраст	Относительная плотность
Дети до 10 дней	1008 - 1018
2 - 3 года	1010 - 1017
4 - 9 лет	1012 - 1020
10 - 12 лет	1011 - 1025
Дети > 12 лет, взрослые	1010 - 1022

Таблица №2

Общие свойства мочи

Общие свойства мочи

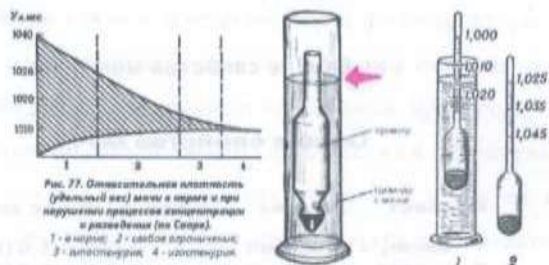
Возраст	диурез	удельный вес мочи
• 1 месяц -	320 мл	1,008 – 1,016
• 2 года -	450 мл	1,010 – 1,018
• 3 – 5 лет -	520 мл	1,012 – 1,020
• 6 - 8 лет -	680 мл	
• 9 – 11 лет -	850 мл	1,011 – 1,025
• 12 – 17 лет -	1000 – 1100мл	
• взрослые -	1200 – 2500мл	1,010 – 1,025

Прибор АМП позволяет быстро и точно определить удельный вес мочи в условиях амбулаторного приема и диагностировать нарушение концентрационной функции почек. Прибор позволяет контролировать эффективность лечения заболеваний почек и нарушения обмена веществ в организме во время каждого посещения врача. Кроме того он позволяет быстро и точно определить удельный вес мочи в условиях амбулаторного приема и диагностировать нарушение концентрационной функции почек. Прибор позволяет контролировать эффективность лечения заболеваний почек и нарушения обмена веществ в организме во время каждого посещения врача.



Рис.1. Автоматизированный способ определения относительной плотности мочи





**Рис.2. Рутинный метод определения относительной плотности мочи**

### Физические свойства мочи

**Цвет мочи:** норма соломенно-желтый. Зависит от содержания урохромов и др. веществ. Изменение у здорового: в зависимости от количества выделившейся мочи, употребление в пищу красящих продуктов, некоторых медикаментов. Изменение цвета мочи при патологии: острый гломерулонефрит - цвет «мясных помоев» (примесь крови и белка) желтуха - цвет пива (желчные пигменты) внутривисочечный гемолиз - черный (гемоглобинурия) пиурия, липурия - молочно-белый.

**Прозрачность** - в норме полная. При стоянии мочи в сосуде в ней образуется легкая мутность (облачко). Причины помутнения мочи: высокое содержание солей (исчезновение помутнения при нагревании свидетельствует о наличии уратов, увеличение — фосфатов, исчезновение при добавлении соляной кислоты — оксалатов, щелочи — кристаллов мочевой кислоты), наличие большого количества клеток - лейкоциты, бактерии.

**Запах мочи** в норме не резкий специфический (зависит от минимальных количеств летучих жирных кислот). При бактериальном разложении на воздухе или внутри мочевого пузыря (цистит, рак мочевого пузыря) моча приобретает аммиачный запах (аналогично при стоянии нормальной мочи). В результате гниения мочи, содержащей белок, кровь или гной, при раке мочевого пузыря моча приобретает запах тухлого

мяса. При тяжелом сахарном диабете моча имеет фруктовый запах, обусловленный присутствием кетоновых тел. pH мочи в норме при смешанной пище 4,5-8,4, в среднем 6. Методы определения: ориентировочно лакмусовой бумажкой (при стоянии меняется) pH-метрии. Изменение реакции мочи: В норме в зависимости от пищевого рациона: (при овощной диете преимущественно щелочная, при мясной диете – кислая).

В патологии кислая, при лихорадочных состояниях, сахарном диабете, почечной недостаточности. Щелочная реакция при хронических инфекциях мочевыводящих путей, после неукротимой рвоты и поносов.

**Относительная плотность мочи (удельный вес)** определяет концентрационную функцию почек и зависит от диуреза, концентрации растворенных в ней веществ: мочевины, мочевой кислоты, креатина, солей, электролитов.

**Определение:** Осмоляльность мочи методом криоскопии (по точке замерзания) – сложно для КЛД относительная плотность мочи (напрямую связана с осмоляльностью) В норме колебания относительной плотности 1,005-1,028. Утренняя порция мочи 1,020—1,024.

Таблица №3

**Причины, влияющие на изменение показателей относительной плотности мочи**

Факторы, влияющие на относительную плотность мочи	Норма	Изменение величины фактора	Изменение величины относительной плотности мочи
Температура	+15°C - +22,5°C	+3°C	+0,001
Глюкоза	Нет	+1г%	+0,004
Белок	Нет	+4г%	+0,001

Повышение удельной плотности мочи наиболее часто наблюдается

при наличии в ней растворенных веществ с высокой молекулярной массой, например, йодорганических соединений, выделяющихся с мочой при экстреторной урографии, или глюкозы на фоне избыточной сахарной нагрузки или при сахарном диабете. При этом 1% растворенного в моче сахара соответствует удельной плотности  $0,004 \text{ г/см}^3$ .

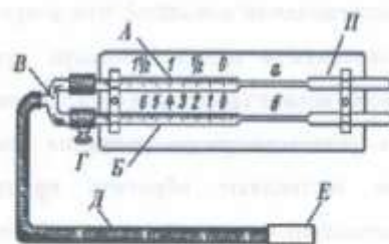
**Сжимаемость.** Сжимаемость мочи близка к  $4,5 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Такой порядок изменения объема при сжатии позволяет считать мочу практически сжимаемой.

Величина, обратная коэффициенту сжимаемости, называется *модулем упругости*. Для воды и ее растворов и, в частности, мочи (при комнатной температуре) эта величина составляет  $1,98 \text{ кг/см}^2$ . Несмотря на то, что в моче растворены органические соединения, которые могли бы оказать влияние на ее сжимаемость, упругие свойства мочи отличаются от подобных свойств воды крайне незначительно.

Моча по аналогии с водой должна быть причислена к каплевым жидкостям, характерной особенностью которых является способность оказывать значительное сопротивление сжимающим усилиям при крайне незначительном сопротивлении на разрыв. Так, для того чтобы разорвать поток мочи, достаточно удельного усилия порядка  $0,00036 \text{ кг/м}^2$ , однако в импульсе каплевые жидкости могут оказывать существенно большие сопротивления.

Изменение объема жидкости при изменении температуры характеризуется *коэффициентом объемного расширения*. Для воды и ее растворов он составляет  $0,0000141 \text{ л/}^\circ\text{C}$ .

**Вязкость.** Определяет энергетические затраты на *внутреннее трение* при транспорте мочи.



**Рис.3. Вискозиметр Гесса**

На панели П два одинаковых капилляра, а и б, соединены с проградуированными трубками А и Б, концы которых соединены тройником В, от которого идёт резиновая трубка Д со стеклянным наконечником Е. Трубка Б имеет кран Г.



**Рис.4. Ротационный вискозиметр Стокса**

Этот показатель зависит от множества факторов. К ним относятся наличие органических примесей, изменение химического состава и температуры. Известно, что концентрация мочи в зависимости от потребностей гомеостаза и деятельности почки может изменяться в достаточно больших пределах, равно как и наличие, и характер ее органических компонентов. Проведенные экспери-

ментальные исследования показали, что в процессе транспорта мочи из почечной лоханки в мочевой пузырь при различных условиях температура мочи может снижаться на 1°C, что, безусловно, не может не оказывать существенного влияния на ее вязкость. Эти обстоятельства заставляют обратить пристальное внимание на изучение показателей вязкости мочи в различных условиях и на различных этапах её транспорта. Не следует при этом забывать о целом ряде трудностей (в частности, исследования вязкости должны носить сравнительный характер и проводиться в строго идентичных температурных условиях).

**Поверхностное натяжение.** Наиболее тесно связано с явлением *смачивания*. Простейший физический пример влияния смачиваемости на транспорт жидкости — различный ее уровень в смачиваемом и несмачиваемом капилляре. Так, в смачиваемом жидкостью капилляре при прочих равных условиях уровень жидкости будет выше, чем в несмачиваемом. Подобное взаимодействие сил поверхностного натяжения жидкости со стенками капилляра создает дополнительное усилие, своеобразный подпор, капиллярную силу, которая поднимает жидкость на определенную высоту, зависящую от диаметра капилляра и свойств жидкости. Поскольку по сути интратенальные мочевые пути являются капиллярами, необходимо учитывать эти силы при анализе физиологических процессов транспорта мочи.

Под действием сил поверхностного натяжения моча, как и любая другая капельная жидкость, оказывается как бы покрытой равномерно натянутой пленкой, усилие от натяжения которой направлено на то, чтобы придать ей форму тела, обладающего минимальной поверхностью. Наиболее известное проявление этого свойства — принятие жидкостью шаровых и капельных форм. Усилие, создаваемое поверхностным натяжением, его также называют *коэффициентом поверхностного натяжения*, составляет для воды

при комнатной температуре  $7,5 \text{ Дж/м}^2$  (Н/см). Это усилие зависит от температуры, а также от количества и вида растворенных в воде веществ. Поверхностное натяжение может быть измерено только на поверхности жидкости.

#### **Движение жидкости в смачиваемом и несмачиваемом капилляре.**

В смачиваемый капилляр жидкость, в данном случае моча, втягивается, а из несмачиваемого, наоборот, выталкивается. Как показали экспериментальные исследования, моча достаточно хорошо смачивает стенки мочеточника, как, впрочем, и всех других отделов мочевых путей: величина угла капли на поверхности уретелия составляет не более  $7\text{--}15^\circ$ . Полностью сомкнутый просвет мочеточника (когда он не содержит ни одной транспортируемой порции мочи) представляется в виде капилляра (или системы капилляров), учитывая его звездчатый сомкнутый просвет длиной 30 см. Пользуясь несложными математическими расчетами, можно показать, что моча из мочевого пузыря в силу смачиваемости стенок мочеточника (воздействием капиллярных сил) способна подняться даже в вертикальном положении тела на высоту 35—40 см, т. е. пройти расстояние большее, чем длина мочеточника. Это отнюдь не означает, что в организме непрерывно имеет место пассивный пузырно-лоханочный рефлюкс. Количества мочи, которые в данных ситуациях могут поступать обратно в лоханку, достаточно ничтожны. Но они, безусловно, имеют значение для передачи давления из мочевого пузыря в просвет чашечно-лоханочной системы. Подобная «гидравлическая» обратная связь не может не иметь значения в процессах взаимной регуляции деятельности чашечно-лоханочной системы, мочеточника и мочевого пузыря.

**Критерии Бонда, Вебера и Фруда** используются для оценки

передачи давления по капилляру (сомкнутому мочеточнику).

*Критерий Бонда* представляет собой отношение сил тяготения и капиллярных сил, приложенных к мочеточнику. С физической точки зрения, чем меньше величина критерия Бонда, тем выше может подниматься моча по мочеточнику.

*Критерий Вебера* характеризует способность инерционных сил осуществлять транспорт мочи по мочеточнику. Такими инерционными силами для мочеточника могут быть вибрация, кашель, резкие изменения скорости тела и т.п. Силы инерции, приложенные к мочевыводящей системе, могут совпадать с направлением силы тяжести, тогда они препятствуют капиллярному продвижению мочи вверх по сомкнутому мочеточнику, или действовать в противоположном направлении и, следовательно, способствовать такому продвижению. Предельными случаями воздействия таких сил на столбик мочи в просвете капилляра-мочеточника является нарушение его непрерывности.

*Критерий Фруда* представляет собой отношение инерционных сил к гравитационным силам, приложенным к порции мочи.

Таким образом, сомкнутый просвет мочеточника с помощью капиллярных сил может являться элементом, по которому давление из просвета мочевого пузыря передается непосредственно в просвет чашечно-лоханочной системы и наоборот. Для того чтобы наиболее полно оценить подобное взаимовлияние верхних и нижних мочевых путей, необходимо знать полосу частот давлений, которые могут быть переданы по сомкнутому мочеточнику.

С физической точки зрения, мочевые пути представляют собой систему гибких спадающихся трубопроводов и полостей с эластичными стенками. Для объяснения их деятельности необходим анализ статических нагрузок, обусловленных гравитационными и инерционными силами, возникающими в процессе транспорта мочи.

### 3.2. ГИДРОСТАТИКА

**Передача давления в жидкости.** Моча относится к несжимаемым жидкостям, поэтому давление в каждой её точке передается по всем направлениям без изменений (*закон Паскаля*). Давление в просвете мочевых путей может быть создано как за счет внешних воздействий (тонус и сократительная активность гладкомышечных стенок и «внешнее» давления окружающих органов и тканей), так и внутренних сил — гравитационных и инерционных воздействий транспортируемых порций мочи.

В гидростатике рассматривают только воздействие гравитационных и инерционных сил, в связи с чем вводят понятие тяжелой жидкости. Столб жидкости, находящийся в однородном поле тяготения, создает давление, обусловленное весом этого столба. Величина этого давления не зависит от формы столба, а определяется только его высотой.

В сообщающихся сосудах высоты столбов жидкостей обратно пропорциональны плотностям жидкости. Данное положение достаточно важно для процесса транспорта мочи в элементах нефрона и, в частности, в петле Генле, имеющей форму сообщающихся сосудов и содержащей разную по концентрации (следовательно, и по плотности) мочу в просвете тонкого нисходящего и толстого восходящего отделов.

**Второй закон Ньютона.** При резких изменениях положения тела (в соответствии со вторым законом Ньютона) к каждой из транспортируемых порций мочи будет приложена инерционная сила:  $P=ma$ , где  $a$  — ускорение тела,  $m$  — масса транспортируемой порции мочи. Инерционные силы способствуют транспорту мочи при совпадении направлений транспорта и тормозят транспорт при разнонаправленности.



**Третий закон Ньютона.** Взаимодействие стенок мочевых путей с порцией мочи происходит по 3-му закону Ньютона. В соответствии с этим взаимодействием возникает не только давление стенок мочевых путей на порцию мочи, но и противоположно направленное и равное по величине давление.

Организм в покое, в том числе и мочевые пути, осуществляющие транспорт мочи, приближенно можно представить как замкнутую систему. *Замкнутая система* предполагает взаимодействие входящих в нее тел. Частным случаем рассмотренного взаимодействия в замкнутой системе является *неизменность количества движения*. Влияние «внешнего» давления на порцию транспортируемой мочи следует рассматривать с двух различных сторон. Прежде всего, это собственная упругая и сократительная деятельность стенок мочевых путей. Так, например, давление, которое оказывают эластические стенки мочеточника на находящуюся в его просвете мочу, в соответствии с законом Лапласа прямо пропорционально напряжениям, способным возникнуть в этих стенках, и обратно пропорционально радиусу мочеточника. Гладкая мускулатура в определенных физиологических пределах способна даже без существенных изменений тонуса (т. е. изначальной величины напряженности в стенке) значительно увеличивать силу своих сокращений при увеличении растяжения. Поэтому увеличение радиуса просвета мочевых путей до определенной степени не препятствует, а, наоборот, способствует активному транспорту.

Вторая сторона влияния «внешнего» давления тоже связана с радиусом просвета мочевых путей. Давление — величина, которая измеряется силой, действующей перпендикулярно к поверхности на единицу площади. Поэтому силы «внешнего» давления на стенки мочевых путей со стороны окружающих органов и тканей, безусловно, зависят от площади, т. е. наружной поверхности мочевых путей,

на которую они оказывают свое действие. Таким образом, с увеличением радиуса просвета мочевых путей (т. е. с увеличением их дилатации) изгоняющий эффект «внешнего» давления возрастает прямо пропорционально площади поверхности, на которую это давление воздействует.

В физиологических условиях давление, создаваемое в просвете мочевых путей, за счет свойств их стенки, и «внешнее» давление находятся в определенных соотношениях. Так, для мочевого пузыря в норме соотношение давления, создаваемого детрузором, и внутрибрюшного давления, являющегося «внешним» по отношению к пузырю, составляет 3 : 1, с увеличением растяжения пузыря это соотношение уменьшается — 2:1, 1:1 и т.д. (Ю. М. Захматов, 1979).

Изложенные факты показывают, как различные по характеру процессы рационально объединены в организме и как удивительно взаимодействуют с максимальной отдачей и минимальными энергетическими затратами.

### 3.3. ГИДРОДИНАМИКА

Важным этапом физической оценки транспорта мочи является анализ значений и распределений потоков мочи в мочевых путях. Транспорт мочи по мочевым путям описывается временными изменениями давлений и линейных скоростей в определенных точках системы мочевых путей. Транспорт мочи по мочевым путям не имеет аналогий в технике, поэтому при описании процессов, лежащих в его основе, уравнения и формулы, применяемые в гидродинамике, могут быть использованы лишь с определенным приближением. Главное в анализе гидродинамических процессов, происходящих в мочевых путях, — оценка результатов экспериментальных исследований, поставленных на основе знаний необходимых закономерностей «классической» гидродинамики с последующим их теоретическим осмыслением, математическим моделированием и последующей

проверкой полученных данных на практике.

**Движение жидкости.** Одним из основных приемов, которые используют в гидродинамике при описании движения жидкости, является рассмотрение потока в виде совокупности *элементарных струек*, а также разделение процесса на динамику жидкости (моча) и ее взаимодействие со стенками мочевых путей. Задачей гидродинамики при этом является отыскание уравнения, связывающего давление, скорость и координаты потока мочи с учетом энергетических затрат.

Гидродинамика движущейся жидкости определяется распределением скоростей, давлений и траекторий движения ее частиц. Движение называется *неустановившимся*, если эти гидродинамические показатели изменяются во времени, и *стационарным*, если они постоянны. Для описания движения потока мочи может быть использован известный пример, заключающийся в замене потока совокупностью струек, для каждой из которых справедлива неизменность ее конфигурации во времени, и то, что жидкость за пределы струйки не вытекает (не происходит перемешивания). При установившемся (стационарном) течении жидкости через любое поперечное сечение трубы проходят равные объемы жидкости. Закон Бернулли устанавливает зависимость между скоростью стационарного потока жидкости и её давлением. Согласно этому закону, если вдоль линии тока давление жидкости повышается, то скорость течения убывает, и наоборот. В законе Бернулли динамическое и весовое давление, соответственно, рассчитываются по своим формулам:  $V = 1/2\rho v^2$  (давление динамическое), здесь  $\rho$  обозначает плотность жидкости,  $v$  — это скорость потока;  $Z = \rho g z$  (давление весовое), здесь  $\rho$  — плотность,  $g$  — ускорение свободного падения,  $z$  обозначает высоту.

Уравнение Бернулли может быть использовано для расчетов

простейших гидравлических систем, например участка трубопровода постоянного сечения.

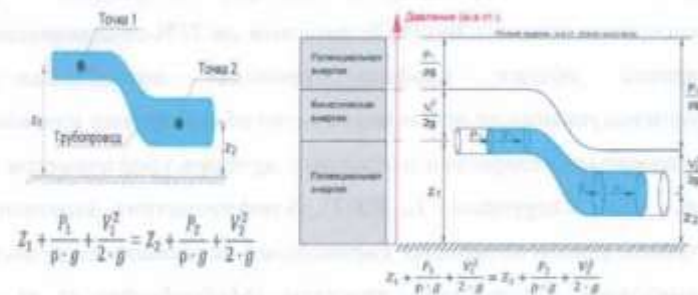


Рис.3. Графическое выражение уравнения Бернулли

**Движение вязкой (реальной) жидкости.** Различные слои жидкости (в том числе и мочи) скользят друг относительно друга, затрачивая при этом энергию на преодоление трения вязкости. Реальная вязкость жидкости учитывается путем введения в уравнение Бернулли коэффициента внутреннего трения. Кроме описанных уравнений в гидродинамике для оценки параметров потока жидкости используют следующие определения и критерии.

Гидравлический радиус (R). Отношение площади сечения потока (S) жидкости к его периметру (P):  $R = S/P$

Объемный расход (C). Сумма произведений линейной скорости потока в элементарных струйках ( $V^*$ ) на их сечение (Sсеч.).

Кроме рассмотренных характеристик потока жидкости следует непременно учитывать взаимодействия потока со стенками трубопровода. Основной характеристикой этого взаимодействия являются предполагаемые нулевые скорости потока непосредственно на стенке трубопровода и квазилинейный характер роста скорости по мере удаления от стенки.

Из анализа конфигурации системы мочевых путей следует, что

силы инерции много больше сил внутреннего трения. Величины числа Рейнольдса в данном случае помогают лишь уточнить характер течения мочи и тем самым подойти к выбору формулы для определения потерь энергии (напора) на протяжении различных сегментов мочевых путей. За рубежом до 73% специалистов и до 46% врачей общего профиля проводят определение скорости мочеиспускания во время первичного обследования или консультации с помощью недорогого и простого прибора урофлоуметра (Duggan et al., *Int. Urogynecol. J.*, 2003). Урофлоуметрия включена в число тестов, рекомендованных Европейской ассоциацией урологов с целью выявления гиперплазии простаты (Madersbacher et al., *Eur.Urol.*, 2004), а также является полезным диагностическим методом при урогинекологических заболеваниях. При испытании клинической диагностической ценности урофлоуметрии было показано, что метод обладает 50-100% чувствительностью и более чем 70% специфичностью (Costantini et al., *Neurourol. Urodyn.*, 2003).

Урофлоуграмма оценивается по следующим показателям:

- время мочеиспускания,
- максимальная объемная скорость,
- средняя скорость мочеиспускания,
- время достижения максимальной скорости,
- суммарный объем мочеиспускания,
- время ожидания начала мочеиспускания.

Данные показатели регистрируются автоматически и отражаются на дисплее прибора.

Максимальная объемная скорость потока мочи ( $Q_{max}$ ) - максимальный объем мочи, выделенный через наружное отверстие уретры в единицу времени. Данный показатель определяется на кривой как ее максимальное значение (пик). Отклонение показателя от нормативных данных в сторону уменьшения не всегда говорит об

обструкции уретры или пузырно-уретрального сегмента. Необходимо учитывать объем выделенной мочи (при объемах менее 100 мл результат не достоверен), возраст, пол, а также возможность нарушения детрузорной функции (снижение тонуса). Увеличение цифр максимальной объемной скорости может наблюдаться при гиперфункции детрузора и нормальном состоянии пузырно-уретрального сегмента мочеиспускательного канала или нормальном функциональном состоянии детрузора и сниженном сопротивлении уретры, а также при снижении тонуса внутреннего сфинктера. Нормальная величина  $Q_{max}$  15-30 мл/сек, верхнего предела нормы не существует. Максимальная скорость оттока мочи падает с возрастом. Из всех показателей урофлоуграммы  $Q_{max}$  является наиболее надежным параметром для количественной оценки симптомов при гиперплазии простаты (Portu et al., Prost.Cancer Prost.Dis., 2005).

Средняя скорость мочеиспускания ( $Q_{mid}$ ) - отношение выделенного объема мочи в миллилитрах ко времени мочеиспускания в секундах. Данный показатель необходим для более детальной оценки урофлоуграммы, позволяет врачу получить информацию по каждой точке кривой и упрощает интерпретацию данных обследования при прерывистом мочеиспускании. Чаще всего применяется как показатель всей урофлоуграммы. Средняя скорость отражает мочеиспускание в целом и составляет в норме 10-20 мл / сек.

Время достижения максимальной скорости ( $TQ_{max}$ ) - промежуток времени от начала мочеиспускания до достижения максимальной объемной скорости. В норме при мочеиспускании кривая урофлоуграммы стремительно повышается и  $TQ$  не превышает 1/3 длины урофлоуграммы. При слабости детрузора, нарушении проходимости уретры или пузырно-уретрального сегмента отмечается медленное повышение урофлоуграммы и увеличение промежутка  $TQ$ .

Данный показатель во многом зависит от максимальной скорости потока и выделенного объема мочи и в норме составляет 4-9 сек.

Суммарный объем мочеиспускания ( $V$ ). Результаты обследования более достоверны при выделяемых объемах мочи от 200 до 600 мл. Некоторые типы приборов не допускают исследование малых объемов. Наиболее объективные и достоверные результаты максимальной и средней скоростей потока мочи принято оценивать при объемах более 100 мл.

Время ожидания начала мочеиспускания или время задержки ( $T_w$ ) - это время от момента императивного позыва помочиться до момента начала мочевыделения. Время задержки может быть увеличенным при развитии психологического торможения и при ряде заболеваний, особенно в случаях поражения детрузора. При инфравезикальной обструкции (например, при доброкачественной гиперплазии предстательной железы)  $T_w$  увеличивается до нескольких минут. В норме время ожидания не превышает 10 сек. Чтобы повысить диагностическую эффективность урофлоуметрии, греческие специалисты разработали новый параметр для выявления обструкции мочевого пузыря — индекс сопротивления потока мочи (QRF), отражающий отношение объема выделенной мочи к уретральной сопротивляемости, и оценили его клиническую применимость в сравнении со стандартным параметром  $Q_{max}$ .

В основу формулы QRF были положены предположение о том, что объемная скорость потока мочи меняется в процессе мочеиспускания, концепция «двухфазного» характера потока мочи (ускорение/замедление) и формула уретрального сопротивления. В результате для расчетов были использованы пять параметров урофлоуметрии: выделенный объем мочи ( $V$ ), время оттока мочи ( $T_{ft}$ ), максимальная скорость потока ( $Q_{max}$ ), средняя скорость потока ( $Q_{ave}$ ) и время, необходимое для достижения максимальной скорости

потока ( $T_{pf}$ ). Формула QRF:

$$QRF = \frac{1}{Q_{ave}} \sqrt{\frac{Q_{max} (t_{ft} - 2t_{pf}) V}{2t_{pf}(t_{ft} - t_{pf})}}$$

Анализ урофлоуграммы осуществляют следующим образом. По кривой определяют значение максимальной объемной скорости мочи (ее максимальную амплитуду) и сопоставляют ее со значением максимальной объемной скорости потока мочи в норме для данного объема выделенной мочи. Следует отметить, что результаты урофлоуметрии при объеме выделенной мочи менее 100 мл недостоверны, поэтому исследование может считаться информативным лишь в том случае, если объем выделенной мочи равен или превышает 100 мл. Аналогичным образом по урофлоуграмме определяют время мочеиспускания (длительность кривой) и сопоставляют с его значением в норме для равного объема выделенной мочи. В случае, если значения максимальной объемной скорости потока мочи и времени мочеиспускания существенно отличаются от значений в норме, делают вывод о том, что мочеиспускание нарушено.

Нормативные показатели урофлоуметрии колеблются в зависимости от возраста и пола пациента и времени суток. В норме максимальная объемная скорость потока мочи составляет около 20 мл/с при объеме выпущенной мочи до 200 мл и около 30 мл/с при объеме более 200 мл. Средняя объемная скорость у здоровых мужчин составляет 10 - 15 мл/с, а время мочеиспускания в среднем 20 сек. У женщин в возрасте до 50 лет максимальная объемная скорость потока мочи, как правило, составляет более 25 мл/сек., а после 50 лет - более 18 мл/сек.



В целом, урофлуометрия отражает суммарную функцию различных уровней мочевыводящей системы, что дает простор для интерпретации.

Однако физические свойства жидкостей, закономерности гидростатики и гидродинамики позволяют вплотную подойти к более полной и всесторонней оценке динамической деятельности мочевых путей. Они дают возможность связать в единое целое и осмыслить выявляемые в процессе изучения функции величины линейной и объемной скорости потока мочи, давления, временные параметры и таким образом расшифровать отдельные стороны функционирования мочевых путей.

#### IV. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Функциональные исследования мочевых путей пограничны между физиологией как теоретической, фундаментальной наукой о функции органов и систем человеческого организма и клиническими дисциплинами, занимающимися консервативной и оперативной коррекцией нарушений мочевых путей (урология, педиатрия, хирургия, неврология, гинекология и пр.).

Без знания физиологии и патофизиологии мочевых путей осуществление их лечения в современных условиях невозможно. Именно поэтому клиницисты вместе с представителями технических дисциплин углубленно разрабатывают проблему исследований физических параметров уродинамики, используя новейшие научно-технические достижения.

Полученная многообразная информация о физических параметрах патологически измененных мочевых путей заставила по-иному взглянуть на понятия «нормы», границы физиологических, преморбидных и патологических состояний.

#### 4.1. УРОФЛОУМЕТРИЯ

Урофлоуметрия — метод прямой графической регистрации во времени динамики объемной скорости (в физическом понятии расхода) свободно падающей струи мочи. Он позволяет выразить количественно функцию опорожнения мочевого пузыря, которая зависит от состояния его стенки (сократительная способность детрузора), влияния внутрибрюшного давления и, следовательно, величины давления в его просвете; от степени открытия шейки мочевого пузыря и замыкательного аппарата, наличия препятствий к оттоку мочи в области шейки пузыря и в мочеиспускательном канале. Иными словами, урофлоуметрия — это суммарная объективная оценка эвакуаторной функции мочевого пузыря и мочеиспускательного канала.

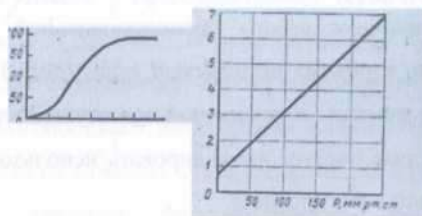
Конструкции урофлоуметров. Простейшей возможностью определения объемной скорости является графическая регистрация прироста массы мочи (или объема, принимая удельную плотность мочи в норме равной 1,018—1,025 ) в виде кривой зависимости ее объема от времени (рис.) с помощью датчика давления. Последующее дифференцирование этой кривой позволяет получить урофлоуграмму — кривую зависимости объемной скорости потока мочи от времени. Именно она, как оказалось, наиболее информативна для анализа нарушений мочеиспускания. Главное требование к подобной конструкции — линейность характеристики датчика, регистрирующего давление в цилиндре. При этом электрическая характеристика датчика должна быть в статике и динамике строго пропорциональной приросту давления, а следовательно, и объема выделяемой мочи (рис. 1). Кроме того, мешают динамические помехи («бульканья») при осуществлении мочеиспускания в цилиндр, которые следует ликвидировать использованием демпфирующих приспособлений в его просвете.

Значительно шире распространены урофлоуметры, использующие в качестве преобразователя информации (об изменениях расхода мочи)

электромеханический тормоз. Принцип работы этого урофлоуметра состоит в следующем. Свободно падающая струя мочи поступает в пластмассовую чашку, укрепленную вертикально на валу микродвигателя постоянного тока, вращающемся с постоянной скоростью (например, 1200 об/мин), и тормозит ее вращение. Система электронной регуляций построена так, что двигатель стремится сохранить первоначальный режим работы путем увеличения потребляемой электроэнергии. По приросту потребляемой энергии и судят косвенно об объемной скорости потока мочи.

Основным техническим требованием к конструкции датчика подобного типа является стабильность электрических параметров двигателя, строго постоянное в определенном электрическом режиме число оборотов и наличие линейной механической характеристики, т. е. обратно пропорциональной зависимости числа оборотов от механической нагрузки на вал.

Важное преимущество этого урофлоуметра — быстроедействие его процесса преобразования. Так, при скорости диска 1200 об/мин датчик с одинаковой точностью фиксирует и отдельные поступившие в него капли, и предельные по своей величине (0—50 мл/с) величины объемной скорости потока мочи. В указанном режиме работы микродвигателя полоса частот преобразования подобного прибора приближается к 20 Гц, что в некоторой степени превышает потребности урофлоуметрического исследования. Существенная сложность конструкции — необходимость прецизионной точности двигателя.



**Рис.1. Зависимость выделенного при мочеиспускании объема мочи от времени. Градуировочная кривая датчика давления.**

Существуют и другие конструкции урофлоуметров. Действие некоторых из них основано на «карусельном» принципе: при этом процесс мочеиспускания разлагают на отдельные, равные по времени сегменты. Мочу с заданной частотой собирают в отдельные измерительные цилиндры, которые один за другим по кругу или по спирали смонтированы на вращающемся диске, образующем своеобразную карусель. По скорости ее вращения определяют время прохождения, следовательно, время сбора мочи. Зная время мочеиспускания, общий объем выделенной мочи, можно рассчитать объемную скорость потока в динамике и перенести ее на диаграмму.

Недостаток конструкции — относительно малая точность, ограниченная числом мерных цилиндров, скоростью вращения, а также необходимость дискретного анализа полученных данных.

В основе работы электромагнитных урофлоуметров лежат законы электромагнитной индукции, которые, как известно, заключаются в следующем: если электрический проводник (в данном случае свободно падающая струя мочи) приводится в движение в магнитном поле, возникает электрическое поле. Напряжение тока, индуцированного в электрическом поле (эдс Холла), пропорционально напряженности электромагнитного поля и скорости приведенного в движение проводника. Так как в растворах электролита влияние скорости существенно больше, чем влияние его концентрации, то индивидуально меняющейся концентрацией электролитов мочи в измерениях объемной скорости потока по индукционному принципу можно пренебречь.

Эти датчики малогабаритны. Они легко могут быть смонтированы непосредственно в унитазе. Отсутствие каких-либо движущихся частей делает несложным их техническое обслуживание. Перпендикулярно направлению магнитного поля и потоку мочи устанавливают два противоположных электрода. С них и снимается эдс, пропорциональная средней скорости потока мочи. Полезный сигнал датчика невелик, помехи

относительно высоки. Тем не менее, индукционные преобразователи обладают высокой стабильностью нуля, нечувствительностью к гальваническим помехам и степени чистоты электродов, линейной зависимостью выходного сигнала от изменяемой объемной скорости. Кроме того, ни температура, ни вязкость мочи не влияют на полученные результаты. Показания прибора не зависят от режима течения (ламинарное, турбулентное), они безразличны к ориентации оси прибора в пространстве и к наличию инородных макрочастиц в измеряемом потоке.

Емкостные урофлоуметры работают по принципу емкостного датчика уровня. Концентрический трубчатый конденсатор в измерительном сосуде цилиндрической формы изменяет свою емкость линейно по отношению к уровню мочи. В этом конденсаторе емкость непостоянна, а накапливаемый электрический заряд создает в итоге напряжение, пропорциональное объему. Производная объема во времени и является результатом измерений. Для получения урофлоурограммы кривая должна быть подвергнута дифференцированию.

Определенный вклад в разработку конструкции урофлоуметров внесли спектрофотометрические исследования. Капельный спектрограф измеряет объемную скорость потока прерыванием светового луча каждой каплей протекающей мочи. Узкая полоса из ряда отдельных световодов, соединенных с усилителем фототока, осуществляет точное временное и пространственное восприятие отдельных проходящих капель, составляющих в итоге свободно падающую струю мочи. Прибор позволяет точно измерить размер, число капель и расстояние между ними. Если на пути разбитого на дискретные «капли» потока поместить два параллельных световых луча, то из расстояния между ними и времени прохождения каждой каплей этого расстояния возможно определить линейную и объемную скорости потока мочи. Информацию о мочеиспускании этот урофлоуметр выдает в виде гистограмм скоростей движения капель, что, безусловно, обеспечивает наиболее точный анализ нарушений

мочеиспускания. Обработка полученной информации методами математического моделирования позволяет оценивать гидродинамические особенности нарушений мочеиспускания.

Поиски способов регистрации динамики расхода свободно падающей струи мочи далеки от завершения. Разрешение этой проблемы, видимо, позволит создать простой, точный, дешевый, а следовательно, доступный и физиологам, и врачам урофлоуметр.

#### **4.2. МЕТОДЫ, ОСНОВАННЫЕ НА ИЗМЕРЕНИИ И РЕГИСТРАЦИИ ДАВЛЕНИЯ В МОЧЕВЫХ ПУТЯХ**

С позиций гидродинамики мочевые пути представляют собой систему гибких спадающихся трубопроводов и резервуаров, стенки которых состоят из гладкомышечной ткани, поэтому регистрация давления в них занимает особое место.

Именно измерение давления в статических и в динамических условиях позволяет правильно подойти к оценке динамической активности мочевых путей.

**Технические средства измерения давления.** Возможности введения миниатюрных, специально сконструированных для этого трубочек — катетеров — в любой из органов мочевой системы (за исключением собирательных канальцев) определяет реальность измерения давления в каждом органе мочевых путей: мочеиспускательном канале, мочевом пузыре, мочеточнике, лоханке, почечной чашечке.

Это измерение может быть осуществлено с помощью манометра любой конструкции при условии его адаптации к просвету катетера и наличию неразрывного изолированного столба жидкости между объектом, в котором измеряется давление, и воспринимающей частью манометра. Идеальный пример — аппарат Вальдмана. Колебания водного столба в нем точно иллюстрируют большинство наиболее существенных изменений

давления в мочевых путях. К сожалению, водяные, ртутные и механические манометры не отвечают потребностям непрерывной графической документации изучаемого процесса.

Эти обстоятельства заставили использовать для измерений давления в мочевых путях электронные манометры, в которых каждый датчик давления преобразует информацию о давлении в электрический сигнал. Манометры представляют собой герметичную камеру, соединенную с объектом, одна из стенок камеры образована мембраной. Мембрана под влиянием изменений давления деформируется (прогибается в ту или иную сторону) и, будучи соединенной с чувствительным элементом, обеспечивает передачу давления для его преобразования в электрический сигнал. Преобразователь давления может быть индукционным, емкостным, пьезоэлектрическим и тензорезистивным.

В индукционном преобразователе колебания давления вызывают изменение реактивного сопротивления магнитной цепи, образованной магнитопроводом и мембраной, прогибающейся под действием измеряемого давления. Магнитный поток в преобразователе создает катушка, индуктивность которой изменяется от взаимного положения связанных с мембраной деталей. Последние достижения электротехники, в частности использование магнитопроводов из редкоземельных металлов, сделали этот тип преобразователей информации перспективным элементом датчиков давления. Применение схем преобразования по переменному току позволяет получать высокие уровни чувствительности и выходных сигналов, а также сравнительно низкий температурный дрейф. Вместе с тем сложный набор конструкционных материалов, необходимость в высшей степени точной взаимной установки деталей преобразователя пока еще не позволяют получать требуемую стабильность нуля. К тому же показания такого датчика меняются от температуры в нем, что усложняет исследование, требуя систематической калибровки.

Емкостные преобразователи имеют ресурс десятки лет, в течение

которых их чувствительность не изменяется. В отличие от индукционных, где мембрана должна обладать магнитными свойствами, в емкостных преобразователях этого не требуется. Первые конструкции датчиков давления с емкостными преобразователями изготавливали с металлическими мембранами. Впоследствии в качестве конструкционного материала для мембран стал применяться кварц.

Современный емкостный преобразователь образован двумя кварцевыми дисками, в одном из которых вытравлена цилиндрическая выемка глубиной 5—10 мкм, толщина дна при этом составляет 1,0—1,2 мм. Второй диск плоский и имеет толщину 3—4 мм. Внутренние стороны обоих дисков содержат металлизированное покрытие. Внутренняя полость такого конденсатора сообщается с атмосферой (или в ней поддерживается требуемое опорное давление). Преобразование информации осуществляется по изменению емкости, которое происходит под влиянием перемещения металлизированных поверхностей утонченного диска и основания. Кварцевые емкостные преобразователи давления имеют наиболее высокие эксплуатационные качества, минимальный дрейф нуля, прочность и надежность. Стабильность их показаний составляет 0,2 мм рт. ст., а точность — не менее 1 мм рт. ст. Образцовые эксплуатационные характеристики этого преобразователя информации обеспечиваются стабильностью геометрии кварцевых дисков, малой глубиной выемок, прочностью соединения дисков, преимуществом схем преобразования на переменном токе. Его недостаток — значительные габариты, что обусловлено ограниченными возможностями электронных устройств, измеряющих малые емкости. В связи с этим диаметр мембраны каждого из дисков составляет 20—25 мм. Это обстоятельство снижает полосу частот преобразования до 15 Гц и менее. Нельзя обойти и технические сложности производства емкостных преобразователей, в частности создание зазоров в несколько микрометров.

Достижения технологии в химической и механической обработке



кремния и в производстве радиоэлектронных элементов позволили создать датчики давления работающие на тензорезистивном эффекте. Преобразователи информации этого типа выполняются по двум конструктивным схемам, имеющим свои преимущества и недостатки. Одна из схем преобразования основывается на применении единичных тензорезисторов, вторая — на модулях, сформированных до определенной топологии из мезоструктур на кремнии. Как правило, такие модули имеют формы пластин (балки) и дисков, а топология мезоструктур на указанных элементах образует тензочувствительный полный мост или полумост.

Преобразование информации о давлении осуществляется в кремниевых тензорезисторах, наклеенных на стеклянную или металлическую балку. Одним концом она закреплена в корпусе датчика, другим — сопряжена через пилот с мембраной, воспринимающей давление. На балку наклеивают несколько единичных тензорезисторов, образуя полный мост или полумост. Причем вдоль наклеивают тензочувствительные тензорезисторы, а поперек — термокомпенсационные. С помощью дополнительных постоянных резисторов полумост преобразуется в полный мост, разбаланс которого определяется прогибом мембраны, т. е. измеряемым давлением. Тензорезисторные преобразователи менее стабильны, чем емкостные, однако их чувствительность выше. Недолговечность этих датчиков обусловлена ограниченным ресурсом клеевых соединений и узлов сопряжения балки с пилотом и мембраной.

В последних конструкциях применяют балки из кремния на сапфире со сформированным полным тензочувствительным мостом. Тензочувствительные мосты и полумосты, сформированные на кремниевых дисках, более перспективны. Они органичнее сочетаются с корпусом и камерой датчика, конструкция которого максимально упрощена. На внутренней (по отношению к подаваемому давлению) стороне кремниевго диска сформирован полный тензочувствительный термокомпенсированный

мост. В его топологии радиальные участки мезы являются тензочувствительными резисторами моста, а дуговые — термокомпенсирующими. На топологии предусмотрены контактные площадки, к которым привариваются измерительные и питающие проводники. Кремниевая мембрана приклеивается к шайбе из сапфира или стекла, которая является силовым элементом преобразователя. Сформированный таким образом преобразователь может быть вмонтирован в корпус датчика, а измеряемое давление при этом должно подводиться к камере, расположенной на его наружной стороне. Этот тип преобразователя обладает высокой чувствительностью и стабильностью показаний, его температурный дрейф составляет 0,3 — 0,5 мм рт. ст., а полоса частот преобразования составляет — 150 Гц.

**Цистометрия.** Клинико-физиологический метод качественного и количественного анализа функциональной активности мочевого пузыря: при наполнении мочевого пузыря осуществляют регистрацию внутрипузырного давления в зависимости от объема наполнения, а при опорожнении — давления мочеиспускания. Цистометрия дает основную объективную информацию об эластических свойствах гладкомышечных волокон детрузора, об его пластическом тоне, сократительной способности, нарушениях иннервации и, косвенно, о сопротивлении зоны шейки и замыкательного аппарата мочевого пузыря при опорожнении.

Принцип исследования — определение внутрипузырного давления во время непрерывного или ступенчатого наполнения мочевого пузыря определенным объемом жидкости или газа. Принято выделять определенные требования к методу цистометрии, обеспечивающие возможность сравнения полученных результатов.

**Газовая цистометрия** — простой, быстрый и надежный способ исследования функциональной активности мочевого пузыря в фазе наполнения. Во избежание воздушной эмболии вместо воздуха применяют диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ). Он, попадая в ток крови, растворяется. Газовые

цистометры в качестве источника углекислого газа содержат сменный патрон или повторно наполняемый баллон с жидким  $\text{CO}_2$ . Если сменный патрон дает только 5 л газообразного  $\text{CO}_2$ , которых достаточно максимум для пяти исследований, то баллон позволяет получить около 100 л газа, и его хватает на 100 исследований.

Преимущества газовой цистометрии в практических условиях очевидны. Это возможность быстрого наполнения мочевого пузыря и независимость нулевой точки отсчета давления. Калибровка нулевой точки не требуется, так как удельная плотность  $\text{CO}_2$  близка к удельной плотности воздуха. Кроме того, наполнять мочевой пузырь можно, пренебрегая градиентами давления, вдоль проводящей системы со скоростью до 200 мл/мин даже по однопросветным катетерам небольшого диаметра, поскольку их сопротивление потоку газа относительно мало.

Хорошо зарекомендовало себя наполнение мочевого пузыря со скоростью 100—150 мл/мин. Поэтому при нормальной емкости мочевого пузыря (400—600 мл) газовая цистометрия занимает не более 10 мин. Вся исследовательская процедура сводится к введению катетера по уретре в мочевой пузырь, опорожнению мочевого пузыря, присоединению катетера к системе, подводящей газ, наполнению мочевого пузыря  $\text{CO}_2$  с одновременной непрерывной регистрацией его давления вплоть до максимальной емкости мочевого пузыря, остановке наполнения, выпуску газа, удалению катетера.

В ходе исследования испытуемый сам сигнализирует о возникающих ощущениях (появление первого и максимального позыва к мочеиспусканию) нажатием специальной сигнальной кнопки, находящейся у него в руках. При этом регистратор на кривой внутрипузырного давления делает специальные отметки. Во время наполнения мочевого пузыря этим сенсорным реакциям испытуемого уделяют особое внимание. Их непременно сопоставляют с моторными реакциями, индикатором которых является внутрипузырное давление.

Один из недостатков газовой цистометрии заключается в том, что произвольные сокращения системы гладкомышечных волокон детрузора регистрируются так же, как и произвольно индуцированный подъем внутрипузырного давления (например, кашлем, натуживанием). Провокационные тесты (кашель, перемена положения и пр.) трудно интерпретировать. Внезапные повышения давления газа в мочевом пузыре воспроизводятся графически сильно затухающими и искаженными из-за сжимаемости газа. Этим обусловлена инерционность показаний газовых манометров. Не следует также забывать, что газовая среда не свойственна мочевому пузырю и мочевым путям вообще, поэтому интерпретация результатов газовой цистометрии должна быть достаточно корректной.

По сравнению с жидкостной газовая цистометрия проста в осуществлении, а также обслуживании приборов. Отсутствуют ошибки, связанные с гидростатическими и гидродинамическими особенностями жидкости, сравнительно невысока стоимость приборов. Ограниченность метода состоит в условности провокационных тестов повышения внутрипузырного давления и невозможности точной оценки давления мочеиспускания.

Жидкостная цистометрия, независимо от жидкой среды, которой проводится наполнение (дистиллированная вода, физиологический раствор, изотонический раствор глюкозы, рентгенконтрастное вещество), требует соблюдения следующих правил.

1. Разность гидростатического давления между датчиком манометра и мочевым, пузырем должна быть компенсирована за счет калибровки нулевой точки.

2. Перфузионное давление не должно превышать измеряемого внутрипузырного давления.

3. В системе соединительных шлангов во избежание появления эффектов затухания должны отсутствовать пузырьки воздуха.

Для измерения давления жидкости в просвете мочевого пузыря

необходимо компенсировать разность гидростатического давления между датчиком манометра и мочевым пузырем за счет калибровки нулевой точки. За гидростатическую нулевую точку независимо от положения тела (лежа, сидя, стоя) принимают верхний край симфиза, так как точное определение истинной гидростатической нулевой точки мочевого пузыря затруднительно в силу анатомических и геометрических причин.

Переноса инфузионного давления вытекающей жидкости на измеряемое внутрипузырное давление можно избежать путем отделения системы перфузии от системы измерения и регистрации с помощью двух однопросветных или одного двухпросветного катетера. Применение однопросветных измерительных катетеров предполагает соответствие скорости наполнения просвету катетера: она должна быть такой, чтобы сопротивление потока втекающей жидкости существенно не изменяло давления в системе. Например, при использовании катетеров диаметром 4 мм скорость наполнения не должна превышать 20 мл/мин. Кроме того, соединение перфузионной и измерительной систем лучше всего осуществлять непосредственно на катетере.

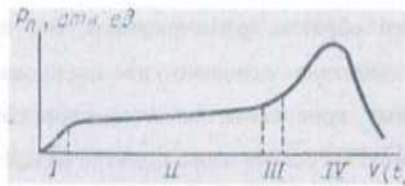
Качество жидкостной цистометрии зависит от конструкции датчика давления и манометра. Манометры с механическими датчиками предполагают относительно большие перемещения жидкости для регистрации давления. Поэтому внезапные колебания давления (тесты на провокацию) с помощью этих измерительных систем можно зафиксировать только в тех случаях, когда диаметр всей системы измерительных шлангов от конца катетера до мембраны датчика давления будет относительно большим по сравнению с необходимым перемещением жидкости. Только за счет этого эффекты затухания, вызванные сопротивлением потока в шланговой соединительной системе, можно сохранить на ничтожно малом уровне.

Более чувствительны электроманометры, которые способны преобразовывать давление изоволюметрическим путем в электрические

сигналы и, таким образом, регистрировать его самые незначительные колебания. Их действие основано на пьезоэлектрических свойствах полупроводниковых кристаллов, электрическое сопротивление которых зависит от давления. На основе изоволюметрической индикации давления с помощью электроманометров можно улавливать и регистрировать самые незначительные колебания давления через измерительные шланги небольшого просвета. Именно поэтому для исследований функциональной активности мочевых путей и для цистометрии, в частности, вполне пригодны измерительные катетеры диаметром 1—1,3 мм.

Если информативность жидкостной цистометрии с использованием механических датчиков едва ли превышает информативность газовой, то, применяя электроманометры, можно получить значительно более тонкую и точную информацию. Особенно это касается сокращений гладкомышечных волокон детрузора в ответ на провокацию.

Практически жидкостная цистометрия требует значительно больших затрат времени и сил, чем газовая. Она включает в себя введение измерительного катетера, опорожнение мочевого пузыря, присоединение шлангов для наполнения мочевого пузыря и измерение давления, проверку шланговой системы на отсутствие в ней воздуха, калибровку нулевой точки датчика давления по верхнему краю симфиза, наполнение мочевого пузыря (используют однопросветные катетеры диаметром 4 мм со скоростью менее 20 мл/мин), измерение давления мочеиспускания и удаление катетера



**Рис. 2. Фазы наполнения мочевого пузыря при цистометрии:**

*I* — начальное повышение давления, *II* — мышечное расширение, *III* — коллагеновое расширение, *IV* — сокращение;  $P_d$  — пузырное давление

**Надлобково-чрескожный** подход применяют для изучения проходимости функционально активных зон нижних мочевых путей. Пункцию мочевого пузыря осуществляют в надлобковой области с помощью специального троакара. В мочевой пузырь устанавливают одно- или двухпросветный измерительный катетер диаметром от 1 до 4 мм. Этот подход позволяет исследовать внутрипузырное давление, используя урофлоуметрию в фазе опорожнения мочевого пузыря. Сравнение данных цистометрии и урофлоуметрии помогает составить объективное представление о механизмах осуществления мочеиспускания.

У детей надлобково-чрескожный подход имеет преимущество по сравнению с трансуретральным, так как введение катетера по уретре у ребенка без применения обезболивающих и нейролептических средств, которые изменяют уродинамику, как правило, невозможно.

Здоровый человек, если мочевой пузырь наполнен, может вызвать мочеиспускание в течение нескольких секунд и произвольно прервать его. Он опорожняет мочевой пузырь полностью без остатка в среднем за 20—30 секунд. При незначительном наполнении мочевого пузыря начало мочеиспускания может задерживаться. Мужчины опорожняют мочевой пузырь сильной струей, дальность которой составляет около 1 м. В конце

мочевыпускания моча поступает по уретре толчкообразно за счет сокращения бульбокавернозных мышц. Женщины также опорожняют мочевой пузырь непрерывно, но струя может деформироваться за счет половых губ. Для объективной количественной оценки акта мочеиспускания визуальное наблюдение следует сочетать с урофлоуметрией.

После спонтанного мочеиспускания по уретре в мочевой пузырь вводят катетер, определяют наличие и количество остаточной мочи. После этого для проверки экстероцептивной иннервации мочевого пузыря в его просвет вводят по 100 мл холодной, а затем теплой жидкости и отмечают правильность ощущений испытуемого, свидетельствующих о сохранности чувствительной иннервации мочевого пузыря. Соединительными шлангами адаптируют катетер, датчик манометра и перфузионную систему. До начала измерения на регистрационную бумагу наносят калибровочные метки, из шлангов удаляют пузырьки воздуха, осуществляют гидростатическую балансировку нуля по верхнему краю симфиза. Контроль переноса давления проводят при покашливании испытуемого.

По мере наполнения мочевого пузыря непрерывно регистрируют внутрипузырное давление, отмечают на диаграммной бумаге отдельные объемы (100—200—300 мл), фиксируют ощущения испытуемого.

Для удобства последующего анализа и сравнения кривых внутрипузырного давления необходимо стандартное по количеству введение жидкости в мочевой пузырь в единицу времени. Введение раствора с помощью обычной инфузионной капельной системы этому требованию полностью не удовлетворяет, так как величина исходного гидростатического давления изменяется в среднем на 10—15 см вод. ст. на каждые 400 мл раствора, а повышение внутрипузырного давления тормозит дальнейшее поступление жидкости, создавая неравномерную объемную градуировку цистометрической кривой.

Для осуществления инфузии жидкости с постоянной объемной



скоростью используют специальные шланговые насосы, перемещающие заданный объем жидкости из резервуара в просвет мочевого пузыря по катетеру. Однако применение этих насосов приводит к толчкообразному перемещению жидкости в мочевом пузыре. В условиях использования высокочувствительных тензодатчиков и электроманометров это создает высокочастотные помехи на кривой внутрипузырного давления. Подобные трудности могут быть преодолены с помощью весовых датчиков жидкостной цистометрии, постоянно сигнализирующих на специальный градуировочный канал цистографа об убыли массы раствора, поступившего через перфузионную систему в мочевой пузырь.

При наполнении пузыря фиксируют момент первого позыва (соответствует физиологической емкости), а также максимального позыва к мочеиспусканию — это такие же важные критерии, как и непроизвольно возникающие сокращения детрузора и способность испытуемого произвольно вызывать или прерывать мочеиспускание.

В зависимости от задач исследования цистометрия может быть дополнена тестами на провокацию (кашель, напряжение мышц брюшного пресса, натуживание, изменение положения тела и пр.), наблюдением за рефлексам и фармакологическими пробами при подозрении на нейрогенные нарушения функции мочевого пузыря.

При наполнении мочевого пузыря давление в его просвете обычно повышается нелинейно. Принято различать четыре фазы наполнения.

1. Фаза начального повышения давления на 5—20 см вод. ст. при введении первых 20—50 мл жидкости.

2. Фаза мышечного расширения — на фоне наполнения внутрипузырное давление почти не изменяется; для взрослых повышение на каждые 100 мл введенной жидкости не превышает 5 см вод. ст. Коэффициент растяжения детрузора в эту фазу в норме составляет 20 мл/см вод. ст.

3. Фаза коллагенового расширения — своеобразное выражение

эластического расширения стенок мочевого пузыря с отчетливым повышением давления в его просвете (более 10 см вод. ст. на 100 мл раствора).

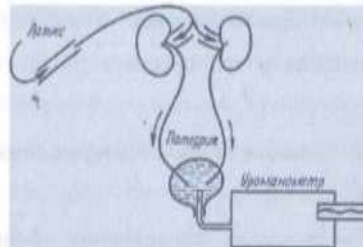
#### 4. Фаза мышечного сокращения — осуществление мочеиспускания

В фазе мышечного расширения непроизвольные сокращения детрузора в норме не возникают. Их появление — признак нарушения динамической активности мочевого пузыря.

Ощущения, такие, как возрастающее наполнение мочевого пузыря, начиная от объема 150—200 мл, появление первого позыва к мочеиспусканию при 250—300 мл и повелительный, болезненный позыв при достижении максимальной емкости мочевого пузыря, а также способность вызывать и прерывать произвольное повышение внутрипузырного давления — это доказательные критерии здоровой иннервации мочевого пузыря.

Если проприоцептивные ощущения «наполнение пузыря», «позыв к мочеиспусканию», а также экстероцептивные ощущения «тепло» и «холодно» при ненарушенной чувствительной иннервации должны восприниматься обязательно, то цистометрическая оценка моторной иннервации детрузора может доставлять определенные трудности.

Только положительное подтверждение ненарушенной моторики является доказательным, так как некоторые испытуемые в лабораторных условиях вследствие выраженного психогенного торможения не могут вызвать рефлекс мочеиспускания. Во время цистометрического исследования эта фаза часто не достигается. Из-за возникшего императивного позыва дальнейшее наполнение пузыря становится невозможным. При этом решающую роль играет скорость инфузии и температуры вводимой жидкости.



**Рис.3. Схема проведения цистометрии на фоне предварительного введения лазикса**

#### **4.3. ЭЛЕКТРОМИОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Электромиография — метод регистрации электрических явлений, происходящих в мышце (в широком плане это один из разделов электрофизиологии). В урологии этот метод позволяет осуществить качественную и количественную оценку функции мышц, обеспечивающих динамическую активность мочевых путей и, в частности, их нижнего отдела — замыкательного аппарата мочевого пузыря, уrogenитальной диафрагмы, передней брюшной стенки. Особое место занимают электромиографические исследования детрузора. Для них разработана своя методика.

С помощью электромиографии осуществляют запись отводимых от мышц изменений биопотенциалов. Запись фиксирует состояние периферии двигательного аппарата — мышечной части, определенных сторон работы спинальных мотонейронов, а также опосредованно (через спинальные мотонейроны) изменение нейросегментарных структур. Исследуется качественная и количественная характеристика колебаний потенциала, генерируемого отдельными мышечными волокнами, мионевральными окончаниями, двигательными единицами. Эта характеристика включает оценку продолжительности отдельных электрических колебаний, величин типичных амплитуд, их частоту и интервал между колебаниями, а также установление преобладающей формы импульсов.



**Рис.1. служба уродинамических исследований и функциональной урологии**

В электромиографических исследованиях используют различные электроды. Накожные электроды в виде дисков фиксируют биопотенциалы отдельных мышц и мышечных групп. В уродинамических исследованиях они применяются для регистрации электромиограмм передней брюшной стенки. Электроды в виде пробки или катушки регистрируют биопотенциалы анального сфинктера, который, как известно, обладая общностью иннервации, до определенной степени отражает активность замыкательного аппарата мочевого пузыря. Подобные электроды могут иметь специальный канал для проведения катетера и одновременного осуществления измерений внутрибрюшного давления.

Аналогичный принцип использован в катетерном электроде. Будучи проведен по уретре в мочевой пузырь для регистрации внутрипузырного давления, электрод своими кольцевидными контактами располагается в зоне замыкательного аппарата и поперечно-полосатого сфинктера и позволяет в ходе цистометрии регистрировать их изоэлектрическую активность.

Концентрические игольчатые электроды могут быть помещены в

исследуемую мышцу: анальный сфинктер, диафрагму таза и непосредственно в детрузор — при эндоскопическом исследовании и наличии концентрического игольчатого электрода на конце мочеточникового катетера. В процессе электромиографического исследования важно качество экранирования соединительных кабелей, раздельное заземление испытуемого и электромиографа. Электромиографический усилитель должен обеспечить низкий уровень шума при достаточно высоком коэффициенте усиления и большой полосе пропускания (от 4 до 10 000 Гц). Современные электромиографы снабжены быстродействующими регистраторами, телемониторами, системами для электростимуляции, а также вычислительными средствами для анализа получаемой информации.

**Анализ электромиограмм.** Качественную оценку принято сводить к четырем типам электромиограмм.

Тип I отражает высокочастотные асинхронные колебания потенциала с изменчивыми амплитудами. Их величина зависит от функционального состояния мышцы при той или иной двигательной реакции. В норме он составляет: 5—10 мкВ в покое, 20—30 мкВ при тонических реакциях и 500—1500 мкВ при максимальном сокращении.

Тип II характеризуется низкочастотными осцилляциями с четким ритмом колебаний. Частота их варьирует от 6 до 50 Гц, а амплитуды зависят от тяжести нарушения функции.

Тип III включает усиление частых колебаний потенциала в покое с искажением нормальной структуры электромиограммы залпами частых осцилляций, возникающих в связи с ритмическими и неритмическими некоординированными сокращениями.

Тип IV отражает полное биоэлектрическое «молчание» при любых видах функциональных нагрузок, свидетельствующее об отсутствии биоэлектрической активности атоничных мышц. Для количественной обработки данных электромиографии основными показателями служат

амплитуда и частота колебаний биоэлектрических потенциалов.

**Электромиография сфинктера.** Для ориентировочной оценки функциональной активности замыкательного аппарата нижних мочевых путей применяют электромиографические исследования анального сфинктера. Катушечный датчик помещают в область ануса так, чтобы сфинктер плотно охватывал зону, где расположены оба кольцевидных электромиографических электрода. Обязательным условием адекватной регистрации электромиограммы является точное соприкосновение этой зоны с электродами.

В некоторых случаях вместо катушечного датчика (под контролем пальца, введенного в прямую кишку) в толщу волокон сфинктера вводят концентрический игольчатый электрод. Далее при наполнении и опорожнении мочевого пузыря осуществляют запись биоэлектрической активности сфинктера. К концу наполнения она, как правило, умеренно усиливается, что соответствует повышению тонуса замыкательного аппарата нижних мочевых путей в ответ на наполнение мочевого пузыря. При мочеиспускании биоэлектрическая активность, наоборот, резко падает, наблюдается так называемый период «молчания», соответствующий открытию замыкательного аппарата, который затем сменяется новым повышением биоэлектрической активности.

Практика показывает, что тонус анального сфинктера не всегда (особенно при мочеиспускании) сохраняет уровень, достаточный для обеспечения тесного контакта с электромиографическими электродами. Запись электромиограммы при этом бывает искаженной. Использование концентрических игольчатых электродов, с одной стороны, способно существенно изменить данные цистометрии, поскольку раздражение анального сфинктера вызывает рефлекс торможения детрузора, с другой стороны, введенный под контролем пальца электрод может сместиться даже при незначительной перемене позы испытуемого. Это, в свою очередь, ведет к искажению электромиограммы.



**Рис.2. Регистрация электрограммы, давления в мочевом пузыре**

Направляется вывод, что значительные затраты сил и технических средств на электромиографическое исследование анального сфинктера явно не соответствуют небольшому объему получаемой информации и высокому проценту ошибочных результатов. Эти обстоятельства заставляют в большей степени ориентироваться не на прямую информацию электромиограммы, а на косвенные показатели функционирования замыкательного аппарата нижних мочевых путей.

**Электромиография тазового дна.** С целью получения информации о функции поперечно-полосатой периуретральной мускулатуры и в первую очередь сфинктера уретры была разработана методика электромиографии мышц тазового дна (урогенитальная диафрагма). В сочетании с цистометрией оно позволяет получить ценную информацию о взаимодействии разнонаправленных механизмов изгнания и удержания. Поскольку изолированное отведение биоэлектрических потенциалов непосредственно от поперечно-полосатой мускулатуры произвольного сфинктера путем чрескожной пункции технически неосуществимо, довольствуются суммарным отведением потенциала от урогенитальной диафрагмы.

При выполнении исследования испытуемый находится в кресле, как для эндоскопического исследования. Концентрические игольчатые электроды вводят у женщин под контролем пальца, введенного во

влагалище, на 3—5 см латеральнее наружного отверстия уретры, а у мужчин под контролем пальца, введенного в прямую кишку в средней части промежности. Электроды продвигают до тех пор, пока через блок электромиографического усилителя под телевизионным или слуховым контролем не появятся салютобразные потенциалы, свидетельствующие о контакте конца электрода с поперечно-полосатой мышцей. У женщин, как правило, это бывает на глубине нескольких миллиметров, у мужчин — только в зоне мембранозного отдела уретры. Контроль за правильным положением электродов осуществляют путем наблюдения за возникающими потенциалами при произвольном сокращении и расслаблении мускулатуры тазового дна. Введение электродов довольно болезненно, поэтому исследование можно начинать только тогда, когда равномерные потенциалы покоя указывают на полную адаптацию испытуемого к условиям исследования.

Если иннервация мочевого пузыря и таза не нарушена, двигательная активность мускулатуры тазового дна возрастает соответственно наполнению мочевого пузыря и достигает своей максимальной интенсивности на верхней границе емкости мочевого пузыря. С началом мочеиспускания, как только испытуемый попытается вызвать рефлекторное сокращение мускулатуры пузыря, биоэлектрическая активность исследуемой зоны резко снижается. Даже если испытуемый по каким-либо причинам, но при сохранной иннервации детрузора не в состоянии вызвать его сокращение, попытка опорожнения мочевого пузыря будет вызывать появление нулевой биоэлектрической активности, регистрируемой с урогенитальной диафрагмы. В конце опорожнения мочевого пузыря одновременно с сокращением мышц дна таза, как правило, регистрируется максимальная вспышка активности. Отсутствие увеличения биоэлектрической активности мышц в конце наполнения и после мочеиспускания заставляет думать о возможности рефлекторной недостаточности. Напротив, отсутствие снижения активности в момент



сокращения детрузора в фазе опорожнения является объективным подтверждением детрузор-сфинктерной диссинергии.

Целенаправленное использование метода электромиографии в изучении функции удержания мочи и мочеиспускания во многом расширяет возможности функциональных исследований нижних мочевых путей.



**Рис.3. Наконец- то меня понимают**

## Глоссарий

**Антидиуретический гормон (АДГ)** – нейросекрет, вырабатывающийся в супраоптических ядрах гипоталамуса и депонирующийся в задних долях гипофиза. Усиливает обратное всасывание мочи и уменьшает диурез. В основе физиологического действия лежит повышение проницаемости стенок собирательных трубок.

**Анурия** – рефлекторная задержка мочеобразования, вызванная болевыми раздражениями, стимулирующими выработку антидиуретического гормона.

**Беспороговые вещества** – химические вещества, циркулирующие в крови и способные появляться в конечной моче, поскольку она не всасывается обратно в кровь из канальцев. К группе беспороговых веществ относят сульфаты, креатинин и др.

**Боумена – Шумлянского капсула** – структурное образование, входящее в состав нефрона, имеющее форму двустенной чаши, внутри которой находится клубочек капилляров (мальпигиев клубочек).

**Выделение** – комплекс физиологических процессов, направленных на удаление из организма конечных продуктов обмена веществ, не используемых далее организмом.

**Выделительные органы** – органы, при участии которых происходит удаление из организма конечных продуктов обмена веществ. Это почки, легкие, кожа (потовые железы) и желудочно-кишечный тракт.

**Выделительные процессы** – комплекс процессов, обеспечивающих удаление из организма конечных продуктов обмена веществ, которые уже не могут быть использованы для энергетических и пластических целей.

**Гемодиализ** – диализ крови через полупроницаемую мембрану. Используется в искусственной почке для диализа различных веществ из циркулирующей крови.

**Гиалуронидаза** – фермент, играющий важную роль в выделительных процессах. Образуется эпителием собирательных трубок под влиянием АДГ, что приводит к усилению всасывания и уменьшению диуреза.

**Гликозурия** – выделение глюкозы с мочой вследствие нарушения обратного всасывания глюкозы почками.

**Диодраст** – вещество, вводимое внутривенно для определения величины канальцевой секреции.

**Диурез** – отделение мочи

**Диурез разведения** – усиление мочеобразования при избыточном поступлении в организм воды и при развитии гидремии.

**Диурез канальцевый** – увеличение количества выделяемой мочи, вследствие того что в канальцах удерживается некоторое количество воды в присутствии беспороговых веществ (сульфаты, креатинин и др.).

**Искусственная почка** – прибор, используемый в клинической практике для временного замещения функций почек при нарушении их деятельности, для выделения из организма азотистых шлаков, накопление которых приводит к отравлению организма.

**Канальцевая реабсорбция** – обратное всасывание воды и ряда веществ, которые в ней растворены, в почечных канальцах.

**Канальцы почечные** – система тонких длинных трубочек, общей длиной 70-100 км, выстланных эпителием, участвуют в процессах реабсорбции и образования конечной (дефинитивной) мочи.

**Клубочковый фильтрат** – или первичная (привизорная) моча – фильтрат плазмы крови (без белков). Как правило за сутки образуется 180л клубочкового фильтрата.

**Конечная (дефинитивная) моча** – 1,5-2,0 литра мочи, образовавшейся за сутки в результате реабсорбции воды и ряда веществ из первичной мочи. Удельный вес – 1,012- 1,020.

**Мальпигиев клубочек** – система капилляров в виде клубочков, заключенная в капсулу Боумена-Шумлянского, играет важную роль в образовании первичной мочи.

**Моча** – продукт деятельности почек, содержащий вещества, образующиеся в результате обмена веществ и требующие удаления из организма.

**Мочевая кислота** – один из продуктов обмена белков, выделяемый из организма с мочой и потом.

**Мочевина** – один из продуктов обмена белков, не обладает токсичностью, образуется в печени, выводится из организма почками.

**Моченспускание** – сложный рефлекторный акт, заключающийся в одновременном сокращении мускулатуры мочевого пузыря и расслаблении сфинктеров, благодаря чему происходит изгнание мочи из пузыря. Стенки мочевого пузыря, раздражающиеся 200-250 мл мочи. Центр моченспускания расположен в спинном мозге во 2,3,4 сакральных сегментах. Симпатические нервы расслабляют мускулатура мочевого пузыря, а сфинктеры сжимают. Парасимпатические нервы сокращают мускулатуру пузыря, а сфинктеры расслабляет.

**Мочевой пузырь** – полый мышечный орган, служащий резервуаром для накопления мочи, мочевой пузырь способен увеличивать свой объем без заметного увеличения тонуса стенок благодаря свойству гладкой мускулатуры, названному пластическим тонусом.

**Мочеточники** – трубочки соединяющие почки с мочевым пузырем, обладающие способностью к перистальтическим сокращениям, происходящим 1-5 раз в минуту со скоростью 2-3 см в 1 секунду. Иннервируются симпатическими и парасимпатическими нервами.

**Нефрон** – функционально-структурная единица почки, способная осуществлять всю совокупность процессов, результатом которых является образование мочи

**Обратное всасывание (реабсорбция)** – процесс, совершающийся в канальцах и заключающийся в обратном всасывании воды и некоторых других веществ, растворенных в ней. В результате этого образуется 1,5-2,0 литра конечной мочи. Механизм реабсорбции различных веществ неодинаковый. Всасывание натрия, глюкозы, аминокислот и некоторых

других веществ – активный физиологический процесс. Всасывание воды, хлоридов осуществляется по законам диффузии и осмоса.

**Петля Генле, ее функции** – осуществление процессов реабсорбции воды в нисходящем колене и ионов в восходящем колене в условиях изотоничности мочи.

**Пигменты мочи** – уробилин и урохром, образуются из билирубина желчи в кишечнике. Пигменты мочи образуются также в почках в результате окисления продуктов распада гемоглобина.

**Поворотно-противоточная система** – особый функциональный механизм, свойственный петле Генле. В связи с установлением разницы осмотического давления мочи петля работает как концентрационный механизм, приводящий к реабсорбции большого количества воды и ионов натрия.

**Полиурия** – чрезмерно обильное выделение мочи

**Порог выведения** – та концентрация вещества в крови, при которой оно уже не может быть полностью реабсорбировано в канальцах и попадает в конечную мочу.

**Реабсорбция факультативная** – важный регуляторный механизм, поддерживающий постоянство концентрации ионов натрия и калия в крови.

**Ренин** – вещество, образующееся в почках, способное при действии на один из глобулинов плазмы – гипертензиноген – превращать его в активное сосудосуживающее вещество – ангиотензин II.

**Секреция канальцевая** – активный физиологический процесс, происходящий в клетках эпителия канальцев, приводящий к синтезу некоторых веществ, не содержащихся в крови (аммиак, гипурвая кислота и др.)

**Юкстагломерулярный комплекс** – утолщение в стенке приводящей артериолы у места ее вхождения в мальпигиев клубочек, образованное мезангиальными клетками и обладающее внутрисекреторной функцией, вырабатывая особый гормон ренин, который выделяется в кровь при уменьшении притока крови, что регулирует уровень артериального давления. Кроме этого этот комплекс поддерживает нормальный баланс электролитов.

**Юкстамедуллярные нефроны** – особый вид нефронов, расположенных почти целиком в мозговом слое почек. Их приносящая артерия меньшим диаметром по сравнению с диаметром уносящей артерии. В них не образуется вторичной чудесной капиллярной сети и кровь сразу попадает в венозное русло.

### ТЕСТЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. В норме твердые вещества составляют от сыворотки приблизительно:
  1. 3%.
  2. 7%.
  3. 12%.
  4. 15%.
  5. 30%.
2. Общий гематокрит в сравнении с венозным гематокритом:
  1. Одинаковые.
  2. Меньше.
  3. Больше.
  4. Не связаны.
  5. Нет взаимосвязи.
3. Ежедневная потребность в содержании жидкости у новорожденного:
  1. 10 мл/кг.
  2. 25мл/кг.
  3. 50 мл/кг.
  4. 100 мл/кг.
  5. Никакое из этих не подходит.
4. После 10-15 дней голодания происходит:
  1. Максимальная осмолярность мочи.
  2. Олигурия.
  3. Уменьшение солевой экскреции.
  4. Значительная потеря магния.
  5. Значительная потеря кальция.
5. Во время начальной фазы голодания происходит самый калорийный расход:
  1. Гликогена.
  2. Белка.
  3. Жира.
  4. Глюкозы.
  5. Всего из приведенного выше.
6. При определении калорийного расхода жирового окисления при голодании нужно знать:
  1. Дыхательный показатель.
  2. Общий расход тепла.
  3. Азотистую экскрецию.
  4. Все из приведенного выше.
  5. Не определяется.
7. Какое из следующих веществ обычно имеет низкую концентрацию при падении концентрации в сыворотке?
  1. Na.
  2. K.
  3. Ca.

4. Mg.
5. Все.
8. Охлаждение клетки вызывает:
  1. Движение Na наружу.
  2. Движение K внутрь.
  3. Набухание клетки.
  4. Не изменяется транспорт хлорида.
  5. Увеличивается разность межмембранного потенциала.
9. Какое из следующих веществ поступает в мозговую ткань наиболее быстро?
  1. Диоксид углерода-CO<sub>2</sub>.
  2. Бикарбонат.
  3. Креатинин.
  4. Мочевина.
  5. Калий.
10. Все кроме одного из приведенного ниже должно быть постоянным при изменении циркуляции крови почки:
  1. Концентрация плазмы в тестируемом материале.
  2. Процентное содержание экскреции.
  3. Циркуляция плазмы.
  4. Ток мочи.
  5. pH плазмы.
11. Механизм саморегуляции почечной циркуляции:
  1. Зависит от внешней иннервации.
  2. Зависит от гормонов крови.
  3. Находится целиком внутри почки.
  4. Локализована почти полностью в приносящих артериолах.
  5. Зависит от иннервации и гормонов крови.
12. В стрессовой ситуации циркуляция крови в почке:
  1. Уменьшается больше чем частота клубочковой фильтрации.
  2. Уменьшается до такой же степени что и частота клубочковой фильтрации.
  3. Уменьшается менее чем частота клубочковой фильтрации.
13. Распределение кровотока внутри почки может быть определено:
  1. Парциальным усвоением радиоактивного K тканями.
  2. Парциальным усвоением радиоактивного рубидия тканями.
  3. Кривой разведения индикатором синька Эванса.
  4. Радиоактивным криптоном.
  5. Инулином.
14. У 90-летнего мужчины без заболевания почки, скорость клубочковой фильтрации и кровотока в почке:
  1. Нормальные.
  2. 90% от нормы.
  3. 75% от нормы.

4. 50% от нормы.
5. 25% от нормы.
15. Факторы, влияющие на уменьшение почечного кровотока:
  1. Прямое положение.
  2. Холод.
  3. Движение.
  4. Боль.
  5. Высокая сердечная недостаточность.
16. Фильтрационно-реабсорбционная теория формирования мочи была впервые предложена:
  1. Беллини.
  2. Боумен.
  3. Людвиг.
  4. Мальпиги.
  5. Гейденхэин.
17. Моча вырабатывается:
  1. Ультрафильтрацией клубков, реабсорбцией трубочек, секрецией.
  2. Ультрафильтрацией клубков.
  3. Секрецией трубочек.
  4. Ультрафильтрацией клубков и реабсорбции трубочек.
  5. Ультрафильтрацией клубков и секрецией трубочек.
18. В 1 год у младенца:
  1. Повышенное содержание клубочков.
  2. Повышенное содержание трубочек.
  3. Повышенный бикарбонатный порог.
  4. Максимальная реабсорбция глюкозы.
  5. Максимальная реабсорбция фосфата трубочками.
19. Площадь поверхности клубочков капилляров у человека:
  1. 0,5 кв.м.
  2. 1 кв.м.
  3. 1,5 кв.м.
  4. 3,0 кв.м.
  5. 4,5 кв.м.
20. Уровень фильтрации клубочками в норме:
  1. Постоянен день ото дня.
  2. Изменяется день ото дня.
  3. Изменяется каждую неделю.
  4. Изменяется каждый месяц.
  5. Изменяется с изменением диеты.
21. У человека наиболее точная мера оценки уровня фильтрации клубочков это:
  1. Очищение эндогенного креатинина.
  2. Очищение экзогенного креатинина.
  3. Очищение инулина.

4. Очищение мочевины.
5. Совместное очищение инулина и креатина.
22. Потенциал в клеточной мембране и трансмембранный потенциал это:
  1. Потенциал диффузии Na.
  2. Потенциал диффузии Cl.
  3. Потенциал диффузии мочевины.
  4. Потенциал диффузии Na и Cl.
  5. Потенциал диффузии K и Cl.
23. Какой элемент или ион пассивно секретируется почечными трубочками?
  1. Пенициллин.
  2. K.
  3. Водород.
  4. Na.
  5. Cl.
24. Какой элемент или ион активно секретируется проксимальными трубочками, показывающий абсолютный предел транспортных возможностей?
  1. Пенициллин.
  2. K.
  3. Водород.
  4. Na.
  5. Cl.
25. Аминокислоты:
  1. Исключительно выделяются трубочками, но не реабсорбируются ими.
  2. Реабсорбируются в проксимальных трубочках и секретируются в дистальных.
  3. Реабсорбируются в проксимальных трубочках.
  4. Секретируются по всей длине нефрона.
  5. Секретируются в дистальном нефроне.
26. У кого самое низкое процентное содержание воды тела по отношению к весу:
  1. Толстый человек.
  2. Худой человек.
  3. Высокий человек.
  4. Младенец.
  5. Мускулистый человек.
27. Вода, фильтруемая ежедневно почкой, концентрируется примерно в:
  1. 100 раз.
  2. 160 раз.
  3. 300 раз.
  4. 1000 раз.
  5. 1200 раз.
28. Чувствительный индикатор задержки воды при низкой скорости мочевыделения?



1. Скорость мочевыделения.
  2. Отношение креатинина мочи к креатинину плазмы.
  3. Концентрация креатинина в моче.
  4. Креатинин сыворотки.
  5. Концентрация мочевины в моче.
29. Сколько воды необходимо организму за сутки?
1. 1000 мл.
  2. 2200 мл.
  3. 3000 мл.
  4. 3800 мл.
  5. 12000 мл.
30. Количество воды, экскретируемое легкими ежедневно:
1. 150 мл.
  2. 300 мл.
  3. 700 мл.
  4. 1000 мл.
  5. Ничто не подходит.
31. У нормального человека 1 л чистой воды, принятой orally, выделяется через 2-3 часа, тогда как 1 л изотонического солевого раствора выделяется через:
1. 3-4 часа.
  2. 4-6 часов.
  3. 6-12 часов.
  4. 12-24 часа.
  5. 24-48 часов.
32. Какого катиона больше всего в клетке?
1. Магния.
  2. Натрия.
  3. Калия.
  4. Кальция.
  5. Водорода.
33. Транспорт натрия в дистальных трубках:
1. Ингибируется ангиотензином 2.
  2. Стимулируется ангиотензином 2.
  3. Ингибируется падением артериального давления.
  4. Стимулируется увеличением артериального давления.
  5. Ингибируется минералокортикоидами.
34. Хлорид-ион активно транспортируется в:
1. Проксимальный каналец.
  2. Нисходящую часть петли Генле.
  3. Восходящую часть петли Генле.
  4. Дистальный каналец.
  5. Собирательную трубочку.
35. Если концентрация натрия в сыворотке увеличится на 25%, что

происходит?

1. Общая вода тела снижается на 25%.
  2. Общая вода тела снижается на 0%.
  3. Внеклеточная вода уменьшается на 25%.
  4. Внеклеточная вода уменьшается на 50%.
  5. Ничего из указанного.
36. Наибольшее количество натрия в организме локализовано в:
1. Плазме.
  2. Интерстициальной жидкости.
  3. Внутриклеточной жидкости.
  4. Кости.
  5. Мышцах.
37. Усиленный транспорт натрия под действием альдостерона характеризуется всем, кроме одного:
1. Немедленное прямое действие.
  2. Замедленное действие.
  3. Индуцирование синтеза белка.
  4. Блокирование актиномицина D.
  5. Блокирование пурамицина.
38. Какое из следующих веществ имеет скорость экскреции, определяемую только концентрацией его в плазме?
1. Натрий.
  2. Кальций.
  3. Фосфат.
  4. Креатинин.
  5. Мочевая кислота.
39. АДГ действует на все кроме одного, которое происходит в почечном канальце:
1. Увеличение кровотока в мозговом веществе.
  2. Уменьшение кровотока в мозговом веществе.
  3. Увеличение проницаемости дистального канальца.
  4. Уменьшение проницаемости собирательной трубочки.
  5. Стимулирование накачивания Na петлей Генле.
40. Какая из формулировок АДГ верна?
1. Уменьшает проницаемость собирательной трубочки для мочевины.
  2. Ингибирует транспорт Na.
  3. Стимулирует транспорт Na.
  4. Активирует пассивный транспорт Na.
  5. Активирует активный водный транспорт.
41. Секреция АДГ сдерживается:
1. Вливанием гипертонического соляного раствора.
  2. Истощением объема плазмы.
  3. Отказом от воды.
  4. Алкоголем.

5. Вливанием гипотонического соляного раствора.
42. Какое из следующих изменений наиболее подходит при синдроме недостаточности АДГ:
1. Повышенное содержание мочевины в плазме.
  2. Пониженный эффективный объем плазмы.
  3. Пониженная мочевая Na секреция.
  4. Пониженная проксимальная трубчатая Na реабсорбция.
  5. Ненормальная адренолитическая функция.
43. При дегидратации вливание гипертонического солевого раствора вызывает:
1. Понижение выделения мочи.
  2. Повышение осмоса мочи.
  3. Понижение концентрации выделения элементов мочи.
  4. Понижение осмоса сыворотки.
  5. Не изменяются мочевой и сывороточный осмос.
44. Внутриклеточное содержание K:
1. 95%.
  2. 66%.
  3. 50%.
  4. 33%.
  5. 75%.
45. Наиболее важные области для регуляции выделения K?
1. Проксимально извитая трубочка.
  2. Нисходящая часть петли Генле.
  3. Дистально извитая трубочка.
  4. Собирательная трубочка.
  5. Все.
46. Причина дефицита K :
1. Понижение реабсорбции Na проксимальными трубочками.
  2. Натриурезис.
  3. Повышение Na в теле.
  4. Повышение уровня альдостерона.
  5. Понижение почечного уровня.
47. Мышечная возбудимость повышается:
1. Понижением внутриклеточной концентрации K.
  2. Повышением внутриклеточной концентрации K.
  3. Повышением внеклеточной концентрации K.
  4. Гипомагниемия.
  5. Гиперкальцемия.
48. Какая из формулировок экскреции калия не верна?
1. Клиренс калия не может превосходить клиренс инулина.
  2. Экскреция калия мочой относительно не зависит от фильтрации калия.
  3. Реабсорбция калия в проксимальном канальце существенным образом полная.

4. Кальций секретируется в мочу в дистальном изогнутом канальце.
5. Восстановление натрия в дистальном канальце приводит к ретенции фосфата?
49. Какие из следующих растворов могут вызвать уменьшение экскреции фосфата?
  1. Глюкоза.
  2. Кальций.
  3. Аминокислоты.
  4. Ацетоацетат.
  5. Пара-аминогиппурат.
50. В каких структурах паратиреоидный гормон увеличивает реабсорбцию кальция?
  1. Проксимальные канальцы.
  2. Дистальные канальцы.
  3. Восходящая часть петли Генле.
  4. Нисходящая часть петли Генле.
  5. Собирательные трубочки.
51. Как паратгормон вызывает гиперкальциемию?
  1. Блокируя реабсорбцию кальция.
  2. Увеличивая секрецию кальция.
  3. Мобилизуя кальций из кости.
  4. Увеличивая скорость клубочковой фильтрации.
  5. Уменьшая скорость клубочковой фильтрации.
52. Гиперкальциурия происходит при:
  1. Метаболическом ацидозе.
  2. Метаболическом алкалозе.
  3. Дыхательном ацидозе.
  4. Аддисоновой болезни.
  5. Микседеме.
53. Глюкокортикоиды могут вызвать:
  1. Увеличение мочевой экскреции кальция.
  2. Уменьшение кишечной абсорбции кальция.
  3. Увеличение реабсорбции натрия.
  4. Увеличение мочевой экскреции фосфата.
  5. Все.
54. В каких структурах кальций осаждается, не вызывая гиперкальциемию?
  1. Базальные ганглии.
  2. Селезенка.
  3. Зубчатое ядро мозжечка.
  4. Почка.
  5. Хвостатое ядро.
55. Секреция ионов водорода происходит в:
  1. Проксимальном канальце.
  2. Дистальном канальце.
  3. Петле Генле.

4. Внутри нефрона.
  5. Проксимальном и дистальном канальцах.
56. Секретция аммиака происходит:
1. Только в проксимальном канальце.
  2. Только в дистальном канальце.
  3. В петле Генле.
  4. Только в собирательной трубчатке.
  5. Внутри нефрона.
57. При ацидозе:
1. Экскреция аммиака уменьшается.
  2. Экскреция мочевины увеличивается.
  3. Экскреция аммиака увеличивается.
  4. Аммиак в моче образуется из мочевины.
  5. Экскреция мочевины не изменяется.
58. Продукция какого вещества увеличивается в почке при ацидозе?
1. Лактат.
  2. Пальмитат.
  3. Олеат.
  4. Глутамин.
  5. Цитрат.
59. Что из приведенного ниже не происходит во время первой недели голодания?
1. Увеличение pH мочи.
  2. Увеличение титруемой кислотности.
  3. Уменьшение продукции аммония.
  4. Уменьшение бикарбоната сыворотки.
  5. Падение pH крови.
60. У человека азот выделяется в мочу в качестве:
1. Мочевой кислоты.
  2. Креатинина.
  3. Мочевины.
  4. Аминокислоты.
  5. Все подходит.
61. Мочевина образуется из:
1. Орнитина.
  2. Аргинина.
  3. Цитрулина.
  4. Сукциновой кислоты.
  5. Фумаровой кислоты.
62. Рассматривая экскрецию мочевины, какие положения неправильные?
1. Это главным образом активный процесс.
  2. Во время водного диуреза экскретируется 70% фильтруемой мочевины.
  3. Во время гидрopenии 10-20% фильтруемой мочевины экскретируется.
  4. Проницаемость больше в кортикальном сегменте собирательной

трубочки.

5. Обратная диффузия мочевины происходит через почечные сосочки.
63. Большие дозы салицилатов у человека вызывают:
  1. Только подавление секреции.
  2. Только подавление реабсорбции.
  3. Подавление секреции и реабсорбции.
  4. Увеличение реабсорбции и подавление секреции.
  5. Подавление реабсорбции и увеличение секреции.
64. Вещество, имеющее высокое сродство с переносчиком при транспорте:
  1. Фосфаты.
  2. Сульфаты.
  3. Аминокислоты.
  4. Мочевая кислота.
  5. Глюкоза.
65. Значение ультраструктуры клубочка, какое предложение верно?
  1. Отверстия в эпителиальном крае базальной мембраны покрыты мембраной.
  2. Эндотелиальные клетки покрыты слоем полисахаридного гликокаликса.
  3. Внутренняя пластинка - наиболее плотная часть базальной мембраны.
  4. Верхние части эпителиальных отростков погружены в базальную мембрану.
  5. Эндотелиальная щель важная часть механизма белковой фильтрации.
66. У взрослого человека в сутки образуется 1,5 литра вторичной мочи?
  1. да
  2. нет
67. У взрослого человека в сутки образуется 5 литров вторичной мочи?
  1. да
  2. нет
68. Конечные продукты обмена выделяются только легкими, кожей, кишечником и почками?
  1. да
  2. нет
69. Конечные продукты обмена выделяются только легкими, кожей, кишечником?
  1. да
  2. нет
70. Правая почка обычно лежит на 2-3 см ниже левой?
  1. да
  2. нет
71. Правая почка обычно лежит на 2-3 см выше левой?
  1. да
  2. нет
72. На разрезе у почки виден темный наружный слой - корковый и светлый

- внутренний слой - мозговой?
1. да
  2. нет
73. На разрезе у почки виден светлый наружный слой - мозговой и темный внутренний слой - корковый?
1. да
  2. нет
74. После фильтрации в капсуле образуется первичная моча?
1. да
  2. нет
75. После фильтрации в капсуле образуется вторичная моча?
1. да
  2. нет
76. Кожа выполняет выделительную функцию с помощью сальных желез?
1. да
  2. нет
77. Кожа выполняет выделительную функцию с помощью потовых желез?
1. да
  2. нет
78. Вазопрессин обладает антидиуретическим действием?
1. да
  2. нет
79. Вазопрессин обладает диуретическим действием?
1. да
  2. нет
80. Аппарат <искусственная почка> заменяет деятельность не целых нефронов, а только их клубочков?
1. да
  2. нет
81. Аппарат <искусственная почка> заменяет деятельность целых нефронов?
1. да
  2. нет
82. У детей произвольное мочеиспускание формируется к 2-3 годам?
1. да
  2. нет
83. У детей произвольное мочеиспускание формируется к 5-6 годам?
1. да
  2. нет
84. Почка образует мочу за счет 3-х основных процессов: фильтрации, реабсорбции, секреции?
1. да
  2. нет
85. Почка образует мочу за счет 3-х основных процессов: рефракции,

реабсорбции, секреции?

1. да
2. нет

86. Первичная моча идентична плазме крови?

1. да
2. нет

87. Вторичная моча идентична плазме крови?

1. да
2. нет

88. Моча, прошедшая через проксимальные извитые каналы получила название вторичной мочи?

1. да
2. нет

89. Моча, прошедшая через проксимальные извитые каналы получила название первичной мочи?

1. да
2. нет

90. Позывы к мочеиспусканию возникают при наполнении мочевого пузыря до 150-200 мл?

1. да
2. нет

91. Позывы к мочеиспусканию возникают при наполнении мочевого пузыря до 50-100 мл?

1. да
2. нет

92. Основная функция собирательных трубок:

1. образование ренина
2. реабсорбция глюкозы
3. фильтрация
4. секреция ионов натрия
5. концентрация мочи

93. Ренин образуется в:

1. печени
2. собирательных трубочках почек
3. юкстагломерулярном аппарате нефрона
4. петле Генле
5. мочеточниках

94. Для определения величины основного обмена необходимо измерять:

1. поглощение кислорода
2. калорийность потребляемой пищи
3. усвояемость потребляемой пищи
4. теплоту сгорания белков, жиров и углеводов
5. нет правильного ответа

95. Фильтрация в нефроне является процессом:



1. активным
  2. пассивным
  3. связанным с затратой энергии
  4. гормонозависимым
  5. зависимым только от массы крови
96. При снижении онкотического давления плазмы фильтрация в почках:
1. уменьшится
  2. не изменится
  3. увеличится
  4. уменьшится пропорционально реабсорбции
  5. увеличится пропорционально реабсорбции
97. Уменьшает величину клубочковой фильтрации:
1. снижение системного АД ниже 90 мм.рт.ст.
  2. снижение онкотического давления крови
  3. нагрузка большим объемом жидкости
  4. уменьшение содержания солей в плазме крови
  5. спазм отводящих артериол клубочка
98. Вторая (по ходу крови) сеть капилляров в почках расположена:
1. в почечном тельце, имеет высокое давление крови
  2. в почечном тельце, имеет низкое давление крови
  3. вдоль канальцев, имеет низкое давление крови
  4. вдоль канальцев, имеет высокое давление крови
  5. на границе коркового и мозгового слоев
99. От разницы диаметров приносящей и выносящей артериол почечного клубочка непосредственно зависит величина:
1. онкотического давления
  2. секреции
  3. реабсорбции
  4. фильтрации
  5. объема конечной мочи
100. Обязательная реабсорбция воды, глюкозы, аминокислот, мочевины является функцией:
1. капилляров клубочка почечного тельца
  2. собирательных трубок нефрона
  3. дистального отдела канальцев
  4. проксимального отдела канальцев
  5. петли Генле
101. Реабсорбция глюкозы практически полностью происходит в:
1. петле Генле
  2. дистальном извитом канальце
  3. собирательной трубке
  4. проксимальном извитом канальце

5. колена петли Генле
102. Обязательная реабсорбция воды в почках осуществляется в:
1. капиллярах клубочка
  2. собирательных трубках
  3. дистальных канальцах
  4. проксимальных канальцах и нисходящем отделе петли Генле
  5. Мочеточниках
103. Факультативная реабсорбция воды в основном происходит в:
1. проксимальном извитом канальце
  2. петле Генле
  3. собирательных трубочках
  4. мочеточниках
  5. капсуле нефрона
104. Глюкоза реабсорбируется практически полностью в:
1. петлях Генле
  2. дистальных канальцах
  3. проксимальных канальцах
  4. мочеточниках
  5. собирательных трубках
105. К пороговому относится вещество:
1. глюкоза
  2. сульфаты
  3. вода
  4. инулин
  5. белки
106. Процесс секреции заключается в:
1. транспорте веществ из канальцевой мочи в кровь
  2. фильтрации в просвет канальцев плазмы крови
  3. активном выведении веществ из крови в мочу
  4. кругообороте мочевины
  5. выведении мочи
107. Отметьте последовательность действия механизмов образования конечной мочи:
1. активного транспорта
  2. фильтрации
  3. реабсорбции
  4. канальцевой секреции
  5. активного выведения веществ из крови в мочу
  6. выведения мочи из собирательных трубок в лоханку почки
108. Основная функция собирательных трубок:
1. образование ренина
  2. реабсорбция глюкозы
  3. фильтрация

- 4. секреция ионов натрия
  - 5. концентрация мочи
109. Суточный диурез в норме равен:
- 1. 2,5-5 л
  - 2. 150-180 л
  - 3. 1,5-2 л
  - 4. 0,5-0,8 л
  - 5. 15-20 л
110. Антидиуретический гормон увеличивает в собирательных  
трубочках почек реабсорбцию:
- 1. натрия
  - 2. калия
  - 3. воды
  - 4. белков
  - 5. витамина D3
111. Реабсорбцию натрия и секрецию калия  
в почках регулирует гормон:
- 1. тироксин
  - 2. адреналин
  - 3. антидиуретический гормон
  - 4. альдостерон
  - 5. кортизон
112. Антидиуретический гормон увеличивает реабсорбцию воды в:
- 1. проксимальном канальце
  - 2. петле Генле
  - 3. собирательной трубке
  - 4. мочеточнике
  - 5. капсуле нефрона
113. Активация антидиуретического механизма происходит при:
- 1. водной нагрузке
  - 2. приеме кислой пищи
  - 3. приеме сладкой пищи
  - 4. приеме соленой пищи, потере жидкости
  - 5. эмоциональном напряжении
114. Введение в организм белково-пептидного экстракта задней  
доли гипофиза приведет:
- 1. к уменьшению осмотического давления мочи
  - 2. к увеличению диуреза
  - 3. к уменьшению диуреза
  - 4. к увеличению осмотического давления мочи
115. Стабилизацию кислотно-основного состояния крови  
обеспечивает секреция клетками почечного эпителия  
ионов:
- 1. натрия, калия

2. кальция, магния
  3. калия, кальция
  4. водорода, аммония
  5. хлора, водорода
116. Ангиотензин-II вызывает:
1. торможение выработки альдостерона
  2. уменьшение тонуса сосудов
  3. активацию реабсорбции в почках белков
  4. синтез активатора плазминогена - урокиназы
  5. активацию выработки альдостерона
  6. сужение сосудов
  7. ингибирование активности антидиуретического гормона
117. Ренин образуется в:
1. печени
  2. собирательных трубочках почек
  3. юкстагломерулярном аппарате нефрона
  4. петле Генле
  5. мочеточниках
118. Особенностью сосудистого русла нефрона почек является:
1. большой диаметр выносящих артериол
  2. короткие капилляры
  3. двойная сеть капилляров
  4. отсутствие венул
  5. резкое снижение АД в приносящих артериолах
119. Гомеостатической функцией почки не является поддержание:
1. ионного состава крови
  2. осмотического давления крови
  3. онкотического давления плазмы крови
  4. артериального давления крови
  5. кислотно-основного состояния
120. Фильтрация в нефроне является процессом:
1. активным
  2. пассивным
  3. связанным с затратой энергии
  4. гормонозависимым
  5. зависимым только от массы крови
121. Образование первичной мочи из плазмы крови является функцией:
1. проксимальных канальцев нефрона
  2. дистальных канальцев
  3. собирательных трубочек
  4. капилляров клубочков почечного тельца
  5. колена петли Генле
122. Процесс образования первичной мочи в

капсуле нефрона называется:

1. канальцевой экскрецией
  2. канальцевой реабсорбцией
  3. канальцевой секрецией
  4. клубочковой фильтрацией
  5. Мочевыделением
123. В нефронах здорового человека происходит фильтрация:
1. аминокислот
  2. гемоглобина
  3. эритроцитов
  4. глобулинов
  5. лейкоцитов
124. Глюкозурия у здорового человека может наблюдаться после:
1. сна
  2. болезни
  3. экзаменов
  4. физической работы
  5. приема большого количества углеводов
125. На величину фильтрационного давления в почках влияют:
1. изменения АД в диапазоне 90 - 170 мм.рт.ст.
  2. гидродинамическое давление
  3. онкотическое давление крови в капиллярах клубочка
  4. гидростатическое давление ультрафильтрата в капсуле
  5. осмотическое давление крови
  6. состояние подоцитов
  7. онкотическое давление фильтрата
126. Основной путь выведения жидкости из организма:
1. через почки
  2. через желудочно-кишечный тракт
  3. испарение с поверхности кожи
  4. испарение при разговоре
  5. испарение при дыхании
127. Какое из определений мочеточника ошибочно?
1. Выстлан чешуйчатым эпителием.
  2. Его стенки содержат гладкие мышцы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абдусаматов У.А. Беременность и патология почек (Клинико-эхографическое исследование): Авто-реф. канд. мед. наук. -Т., 1998. - 18с.
2. Аполихин О.И., Сивков А.В., Бешлиев Д.А., Солнцева Т.В., Комарова В.А. Анализ уронефрологической заболеваемости в Российской Федерации по данным официальной статистики // Экспериментальная и клиническая урология 2010 № 1 С 4-11
3. Арустамов Д.Л., Нуруллаев Р.Б. Распространенность наиболее значимых урологических заболеваний среди сельских жителей Узбекистана // Урология 2004 № 6 С 3-6
4. Арустамов Д.Л., Нуруллаев Р.Б., Тарасенко Б.В. Распространенность и медикаментозное лечение доброкачественной гиперплазии простаты в зоне Приаралья Узбекистана // Журн. теорет. и клин. медицины. 2003. № 3. С. 119-122.
5. Арустамов Д.Л., Нуруллаев Р.Б., Тарасенко Б.В., Худайбергенов У.А. Эпидемиология кристаллурии и профилактика первичного камнеобразования в регионе экологического неблагополучия Узбекистана // Бюлл. Ассоц. врачей Узбекистана. 2003. № 3. С. 36-38.
6. Белобородов В.Б., Синякова Л.А. Нозокомиальная кандидурия: алгоритм диагностики и лечения. Consilium medicum Том 05/N 7/2003
7. Кадырова Г. Распространенность хронического пиелонефрита среди женщин фертильного возраста: Автореф. канд. мед. наук. -Т., 2000. - 17с.
8. Ким С.В. Здоровье населения и экономический фактор // Пробл. соц. гиг., здра-воохр. и истории мед. 2001. № 5. С. 6-8.
9. Кожабеков Б.С. Комплексное изучение эпидемиологических и этиологических аспектов, ранней диагностики, оценки лечебных пособий и метафилактики мочекаменной болезни: Автореф. дисс. докт. мед. наук Алматы 1998

10. Лебедева Т.Н. Иммуитет при кандидозе (обзор). Проблемы медицинской микологии. – 2004. – Т.6, №4 – С.8–16.
11. Нуруллаев Р.Б. Эпидемиологические аспекты, лечение и профилактика наиболее значимых урологических заболеваний. Автореф. дисс.д.м.н., 2005. 37 с.
12. Рустамова Х. Е., Бободжонов Н.К., Стожарова К. У, Эшбоева К. У Ретроспективный анализ заболеваемости населения Узбекистана // Вестник ТМА, 2011, № 3, С. 97-99.
13. Рахманов Д.К. Эпидемиология и первичная профилактика уролитиаза в Самаркандском регионе: Автореф. дис. ...канд. мед. наук. Ташкент, 1999. 20 с.
14. Тарасенко Б.В. Патогенетическое обоснование дифференцированного лечения больных нефролитиазом и метафилактики рецидивов камнеобразования: Автореф. дисс. докт. мед. наук. М. 1991. 41 с.
15. Тарасенко Б.В., Клепов Ю.Ю., Максудов С.А., Шабилалов Д.А. Эпидемиология доброкачественной гиперплазии простаты и ее социально-экономическая значимость // Бюлл. Ассос. врачей Узбекистана. 2002. № 2. С. 82-95.
16. Томилина Н.А. Эпидемиология хронической почечной недостаточности и новые подходы классификации //Терапевтический архив – 2005, №6, стр.87-90
17. Шарафитдинов Ш.М., Мамасолиев Н.С. Эпидемиологические и хронобиотические аспекты распространения гломерулонефрита среди женской популяции Ферганской долины. //Бюллетень ассоциации врачей Узбекистана. –Ташкент, 2003. -№4. -С.67-68.
18. Юлдашов Ф. Заболеваемость мочекаменной болезнью в Узбекистане и пути ее снижения: Автореф. ... дисс. докт. мед. наук. Ташкент, 1998. 37 с.
19. Atkins R.S. The epidemiology of chronic kidney disease. //Kidney Int. – 2005.

– N 67; suppl. 94. – P. 14–18.

20. Baumann J.M., Affolter B., Caprez U., Henze U. Calcium oxalate aggregation in whole urine, new aspects of calcium stone formation and metaphylaxis // *Eur.Urol.* 2003. Vol. 4. P. 421-425.

21. Berthous F., Jones E., Gellert R. et al. Epidemiological data of treated end-stage renal failure in the European Union (EU) during the year 1995; report of the European Renal Association Registry and the National Registries. // *Nephrol. Dial. Transplant.* – 1999. – N14(10). – P. 2332 – 2342.7.

22. Coresh J., Astor B.S., Greene T. Prevalence of chronic kidney disease and decreased kidney function in the adult US population: Third National Health and Nutrition Examination Survey. // *Am. Kidney Dis.* – 2003. – N 41(1). – P. 1 – 12.

23. Eggimann P, Garbino J, Pittet D Management of *Candida* species infections in critically ill patients. *Lancet Infect Dis.* 2003 Dec;3(12):772–85

24. Elliot J.S., Rabinowitz I.N. International symposium on urolithiasis // 6th Proceedings. New York. 1989. P. 257-260.

25. Fong I.W. The value of a single amphotericin B bladder washout in candiduria. *J. Antimicrob. Chemother.* 1995; 36: 1067–71.

26. George A., Sachidev K., Vatsaala R. et al. International symposium on urolithiasis // 6th Proceedings. New York. 1989. P. 33-34.

27. Krcmery S, Dubrava M, Krcmery V Jr. Fungal urinary tract infections in patients at risk. *Int J Antimicrob Agents.* 1999 May;11(3-4):289–91

28. Miller D.C., Saigal C.S., Litwin M.S. The demographic burden of urologic diseases in America // *Urol. Clin. North Am.* 2009. Vol. 36. № 1. P. 11-27

29. Ostrosky-Zeichner L, Pappas PG. Invasive candidiasis in the intensive care unit. *Crit Care Med.* 2006 Mar;34(3):857–63



30. Peter G. Pappas, John H. Rex, Jack D. Sobel, Scott G. Filler, William E. Dismukes, Thomas J. Walsh, John E. Edwards. *Clinical Infection Diseases – 2004 –Vol. 38–P. 161–189.*

31. Richardson MD, Kokki M. *Therapeutic guidelines in systemic fungal infections.* London: Current Medical Literature Ltd, 1998.

32. Sachideu K., Sindhu S., Vathsala R. et al. *International symposium on urolithiasis // 6th Proceedings.* New York, 1989. P. 35-36.

33. Silva J.A.M., Guerra P.G., Raggi P. et al. *Stone recurrence rate and metaphylaxis in patients underwent extracorporeal shock wave lithotripsy // 10th Eur. Symp. on Urolithiasis (Istanbul, 2002, 11-14 June).* P. 279-281.

34. Tiselius H.G. *Stone incidence and prevention // Braz J Urol.* 2000. Vol. 26. P. 452-462.

35. Tiselius H.G. *Possibilities for preventing recurrent calcium stone formation: principles for the metabolic evaluation of patients with calcium stone disease // BJU Intern.* 2001. Vol. 88. P. 158-168.

36. *Источник: <https://meduniver.com/Medical/Physiology/215.html> MedUniver*

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

---

**ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ  
ОСОБЕННОСТЬ  
МОЧЕВЫДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПУТЕЙ**

А.Г. ХУДОЯРОВА



**АДТИ КИТОБ ДЎКОНИ**  
Телеграм: @kitoblarkerakmi  
Тел: +99890 060 10 58

АНДИЖАН - 2022