

ФИЗИОЛОГИЯ ВЫДЕЛЕНИЯ

1. Морфо-функциональная организация почек

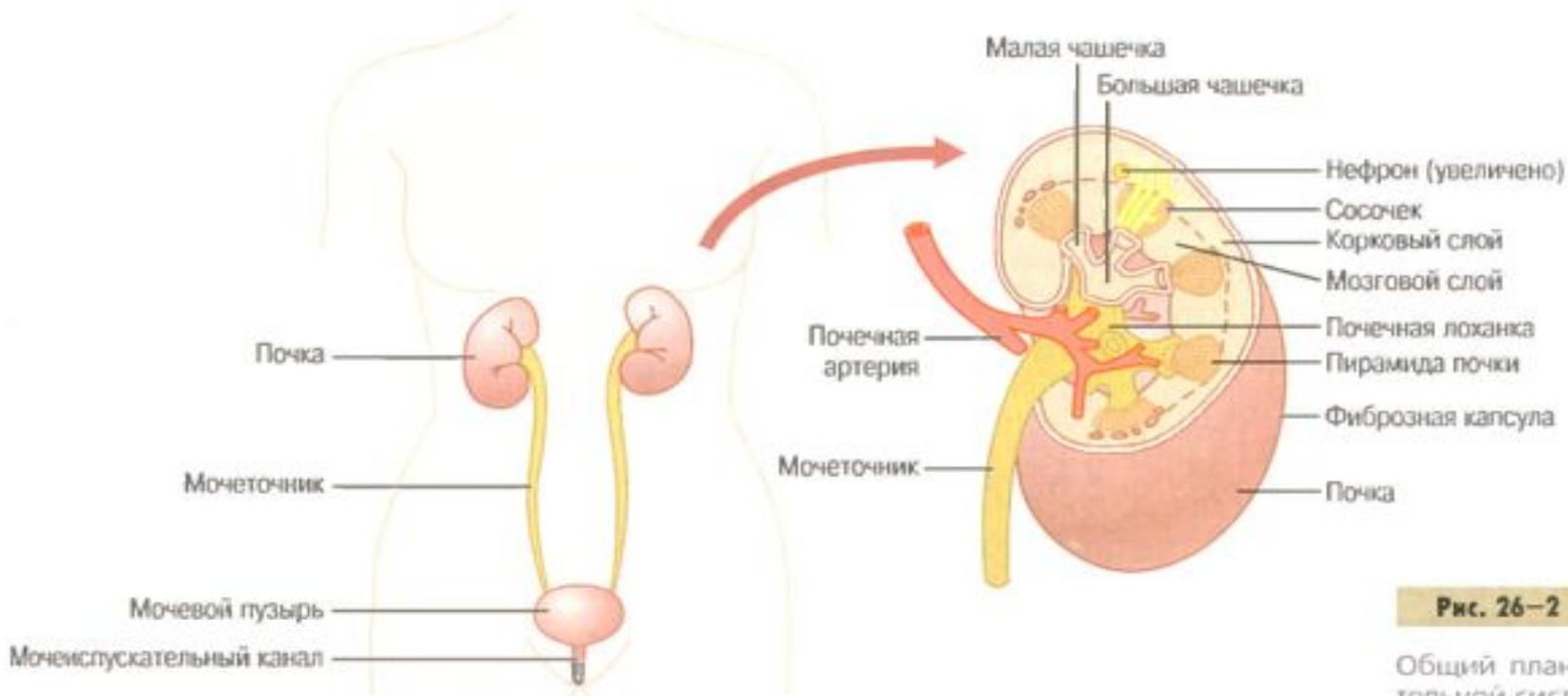


Рис. 26–2

Общий план строения выделительной системы

- Структурной единицей почки является **нефрон**.
- **Сосудистый компонент** – почечный клубочек, находящийся в капсуле Шумлянско-Боумена. К капиллярам клубочка подходит **приносящая артериола**, а от него отходит **выносящая**. Диаметр приносящей больше, чем выносящей.
- **Тубулярная система** – проксимальный извитой каналец → петля Генле (тонкое нисходящее колено, тонкое и толстое восходящее колено) → дистальный извитой каналец → собирательные трубочки.



Кровоснабжение почек

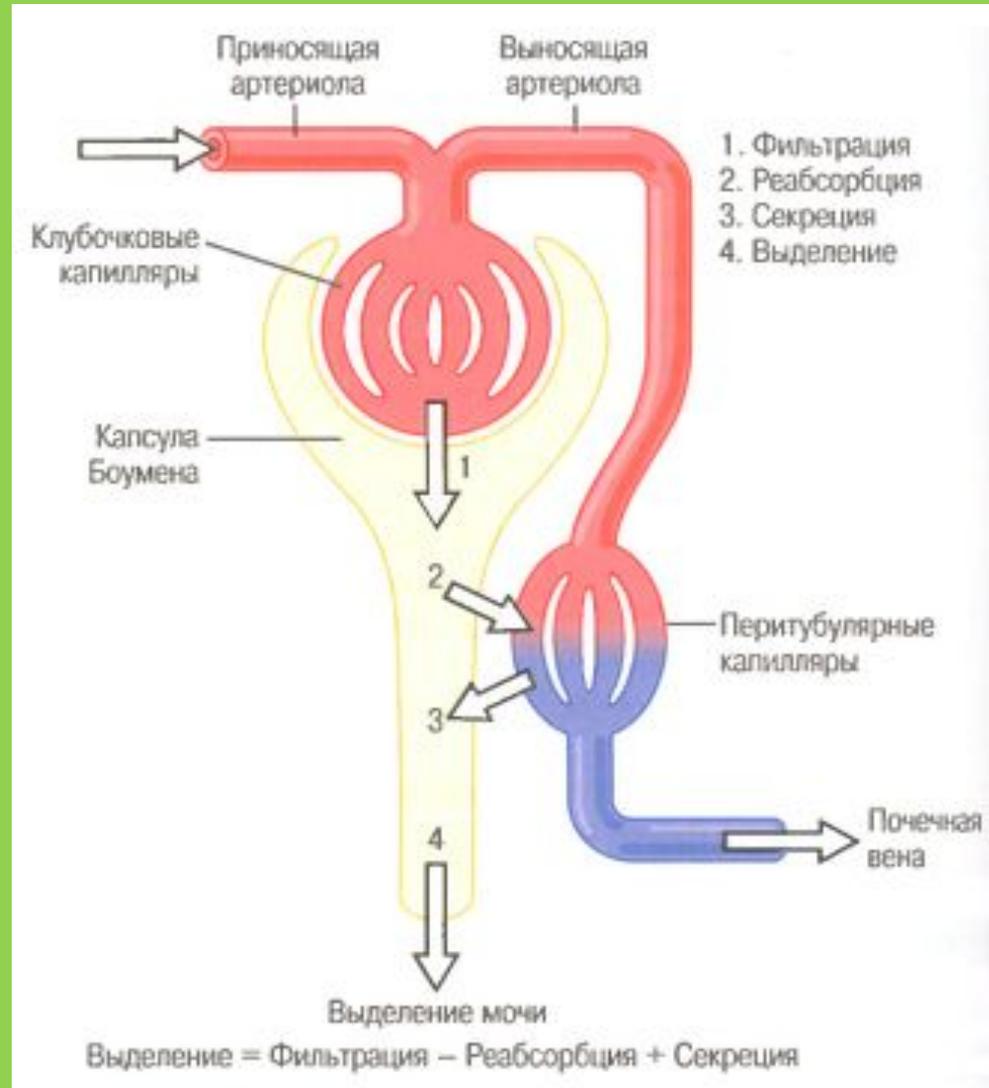
- Почечная артерия → сегментарные, междольковые и междольковые артерии → афферентная (приносящая) артериола → **клубочковые капилляры** → эфферентная (выносящая) артериола → **перитубулярные капилляры** → венулы → почечная вена.

- **Особенность** - двойная система артериол и капилляров



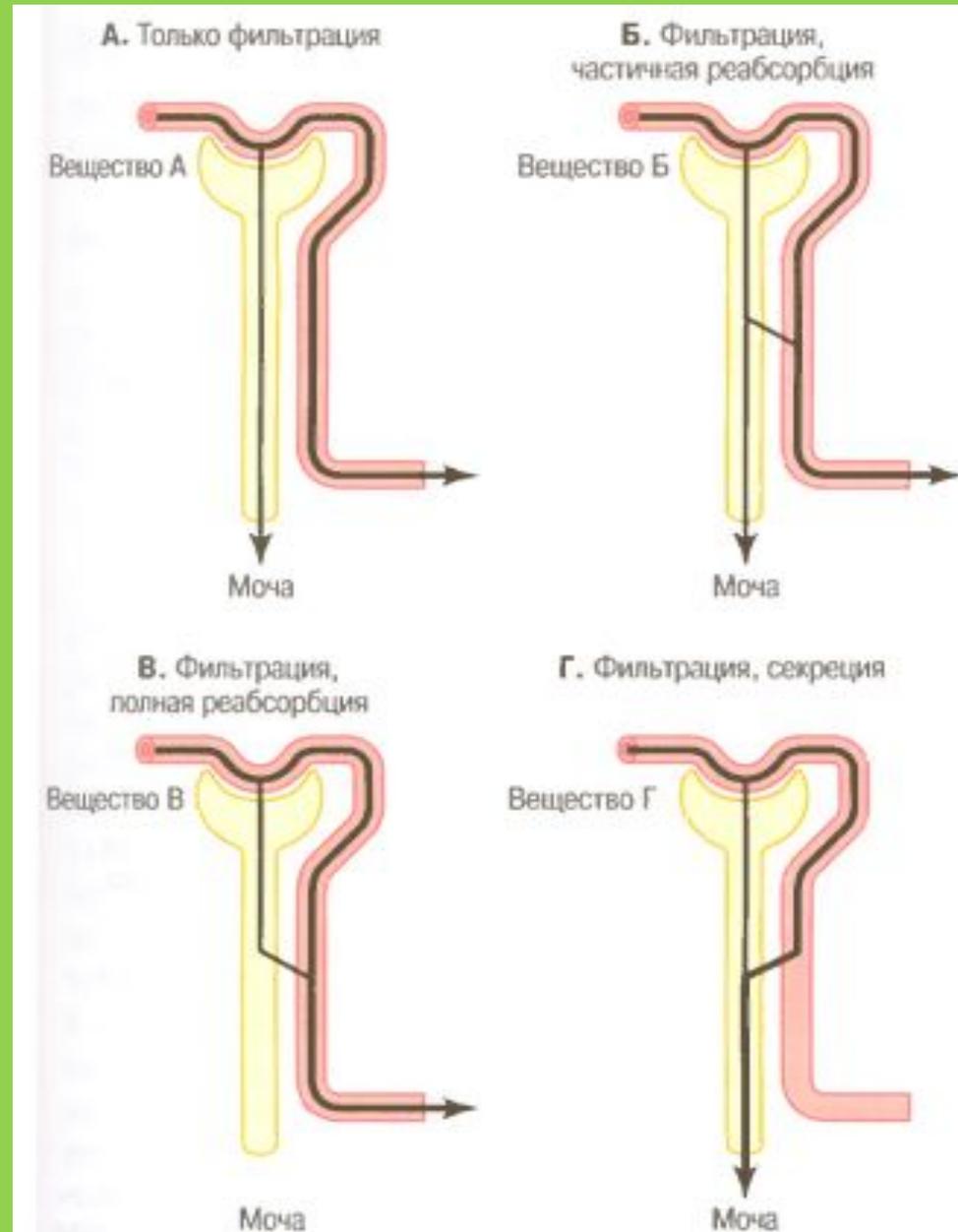
МОЧИ

- **Клубочковая (гломерулярная) ультрафильтрация** – перемещение воды с растворёнными веществами через гломерулярный фильтр из клубочковых капилляров в капсулу под влиянием гидростатического градиента давлений.
- **Канальцевая реабсорбция** – перемещение воды и растворённых веществ из тубулярной жидкости в перитубулярные капилляры.
- **Канальцевая секреция** – перемещение веществ из крови в тубулярную жидкость.
- **Экскреция** – выделение воды и веществ из почек в мочевой пузырь.
 - **Экскретируемое количество вещества = Профильтрованное количество вещества + Секреция – Реабсорбция.**



Варианты функциональной активности почек по отношению к различным веществам

- **Только фильтрация** – всё профильтрованное количество вещества выделяется (экскретируется) – вещества, которые должны быть удалены из организма (например, креатинин). Скорость выделения = скорости фильтрации.
- **Фильтрация + частичная реабсорбция** – выделение меньше фильтрации (например, электролиты)
- **Фильтрация + полная реабсорбция** – вещество не экскретируется (например, АК и глюкоза).
- **Фильтрация + секреция** - экскреция превышает фильтрацию (например, органические кислоты и основания).

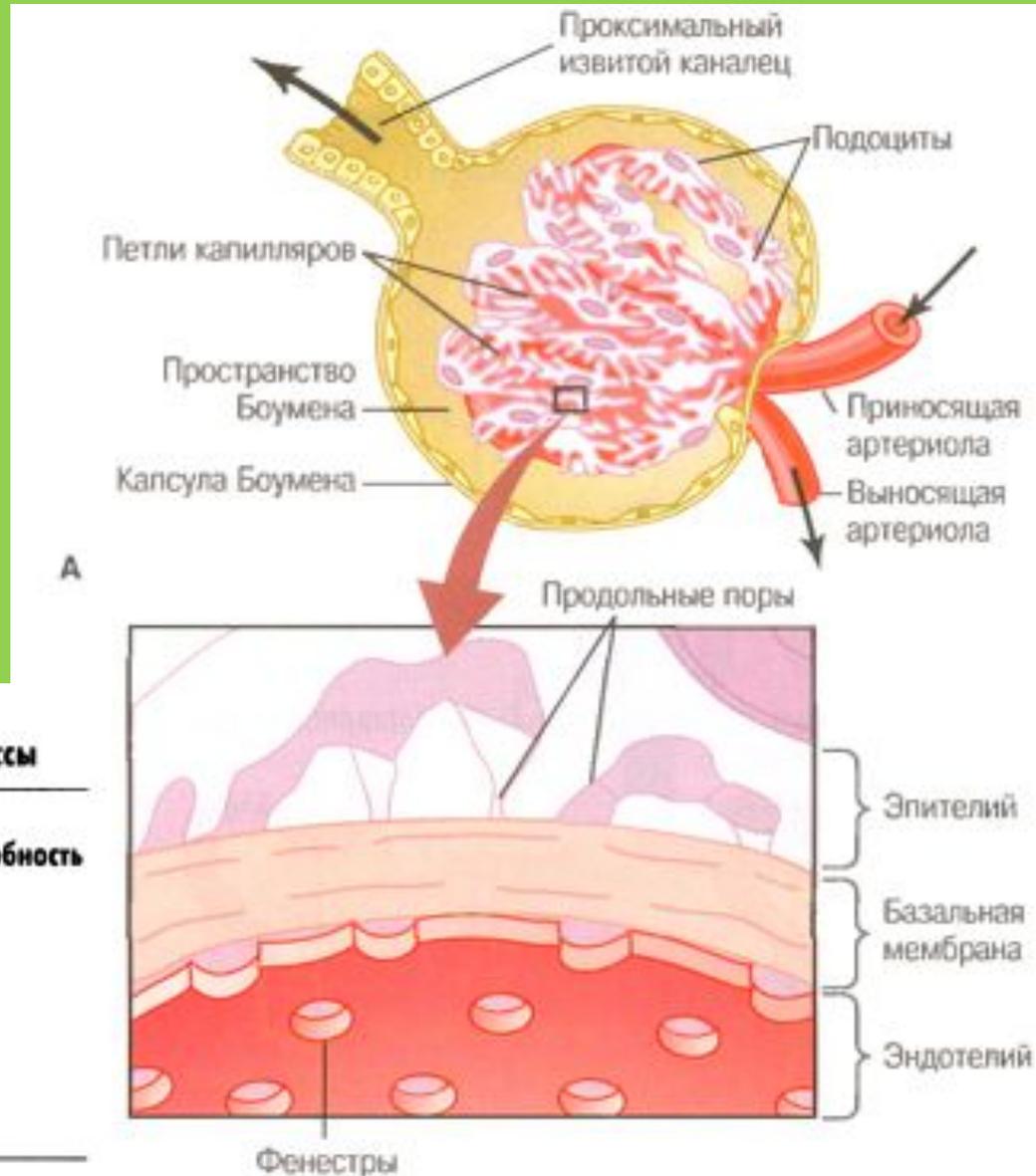


3. Клубочковая ультрафилтрация.

Фильтрация происходит через **гломерулярный фильтр**:

- слой капиллярного эндотелия,
- базальная мембрана - является главным фильтром (молекулярное сито).
- внутренний слой эпителия капсулы.

Размер пор и заряд фильтра влияет на фильтруемость веществ. Форменные элементы крови, крупные белки, жирорастворимые гормоны не проходят через фильтр.



Фильтрационная способность капилляров клубочка к различным веществам в зависимости от молекулярной массы

Вещество	Молекулярная масса	Фильтрационная способность
Вода	18	1,0
Натрий	23	1,0
Глюкоза	180	1,0
Инулин	5500	1,0
Миоглобин	17000	0,75
Альбумин	69000	0,005

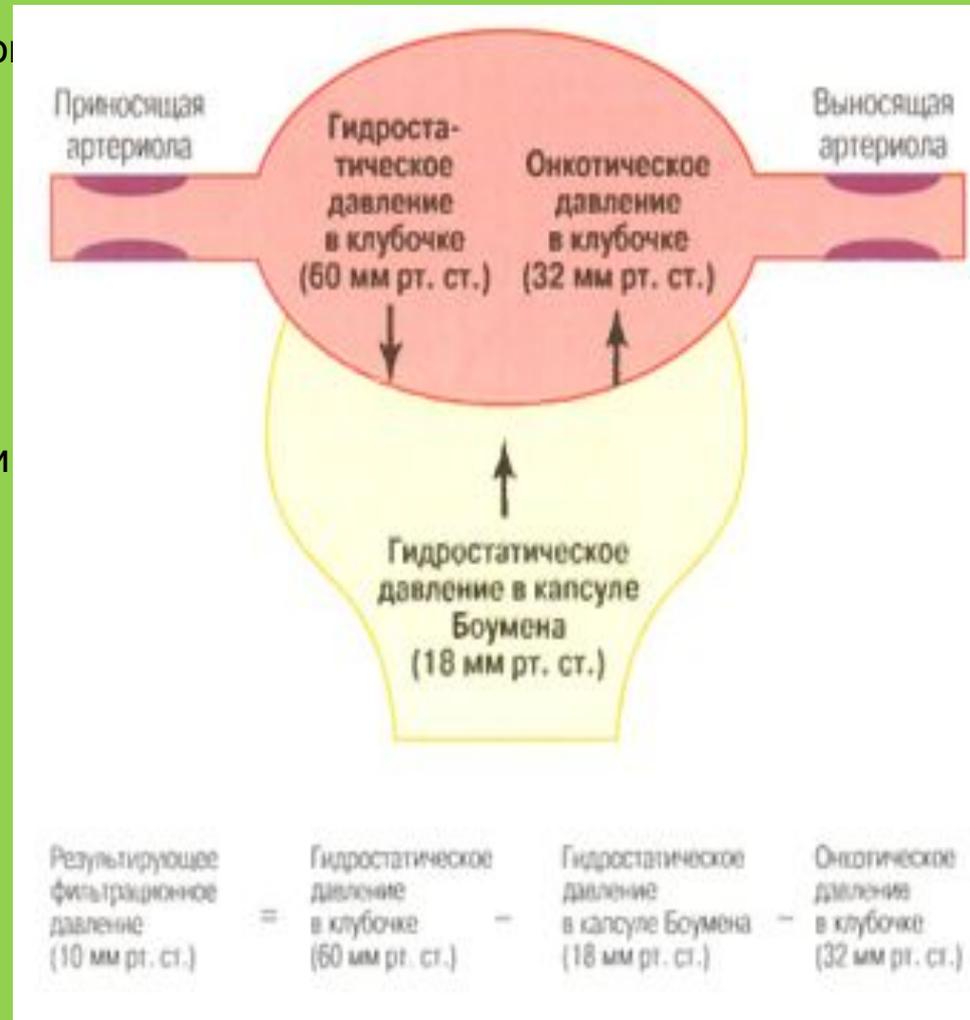
Механизм фильтрации

Старлинговские силы

- **Гидростатическое давление плазмы** – способствует фильтрации (выше, чем в других капиллярах из-за разницы в диаметре афферентной и эфферентной артериол).
- **Гидростатическое Р ультрафильтрата капсулы** – противодействует фильтрации.
- **Онкотическое Р белков плазмы** - удерживает воду в плазме, противодействует фильтрации.
- **Онкотическое Р белков ультрафильтрата капсулы** - способствует фильтрации; практически равно нулю – отсутствие влияния на фильтрацию

Скорость ультрафильтрации

- определяется **эффективным фильтрационным давлением**:
 $R_{эфф.} = P_{гидр.кл} - (P_{осм.клуб} + P_{гидр.капс}) = 60 - (32 + 18) = 10 \text{ мм.рт.ст.}$
- равна 110-120 мл/мин (около 180 л/сут фильтрата или первичной мочи).



Характеристика ультрафильтрата

- Отсутствие клеточных элементов.
- Практически отсутствуют белки.
- Изо-осмотичен плазме крови.
- Концентрация низкомолекулярных веществ сходна с плазмой.

4. Канальцевая реабсорбция

Механизмы реабсорбции (и секреции)

- Пассивная диффузия (жирорастворимые молекулы)
- Движение за растворителем
- Эндоцитоз
- Первично активный транспорт (например, натрий)
- Вторично активный транспорт (например, ионы водорода, АК, глюкоза)

Транспортный максимум

- Количество вещества, которое может быть максимально перенесено через стенку почечных канальцев в единицу времени (реабсорбция или секреция). Дальнейшее увеличение количества вещества не приведёт к увеличению реабсорбции (или секреции) и оно появляется во вторичной моче. Например, для глюкозы $T_m = 375$ мг/мин.
- Существует только для веществ, транспортируемых с помощью переносчиков.

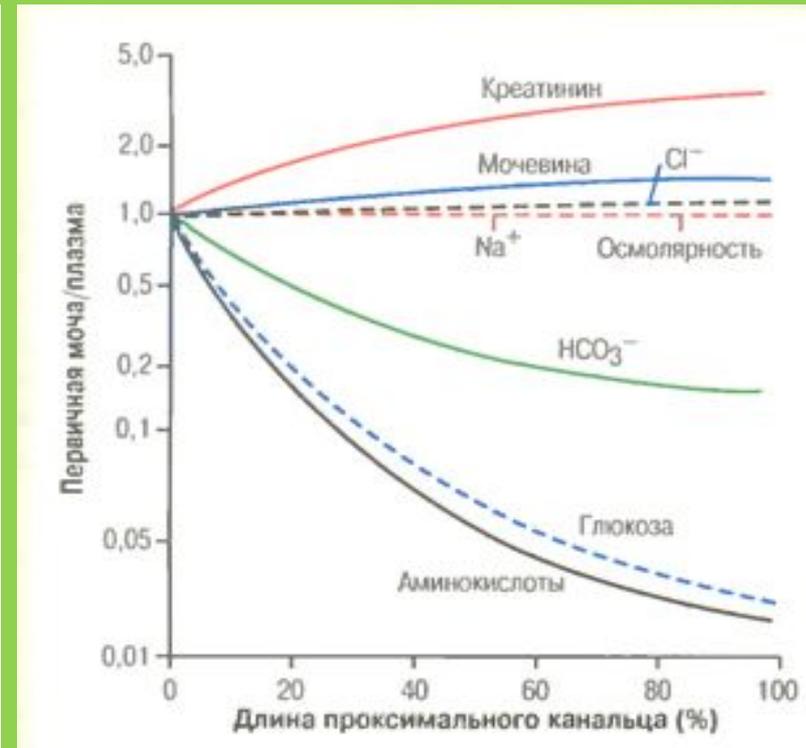
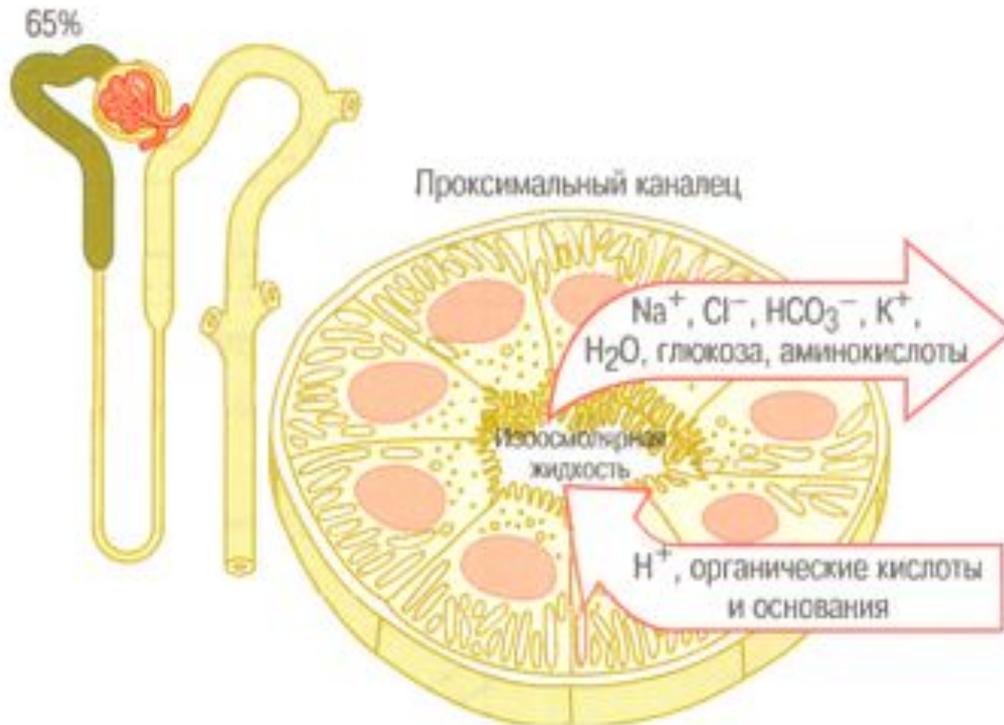
Порог выделения вещества

- Концентрация вещества в плазме при которой оно начинает появляться во вторичной моче (экскретируется)
- **Высокопороговые вещества**
 - Имеют высокий порог выделения
 - В норме реабсорбируются полностью (глюкоза, аминокислоты;)
- **Низкопороговые.**
 - Реабсорбируются частично (например мочевины).
- **Непороговые.**
 - Не реабсорбируются (например, креатинин, сульфаты).

Реабсорбция в различных отделах нефрона

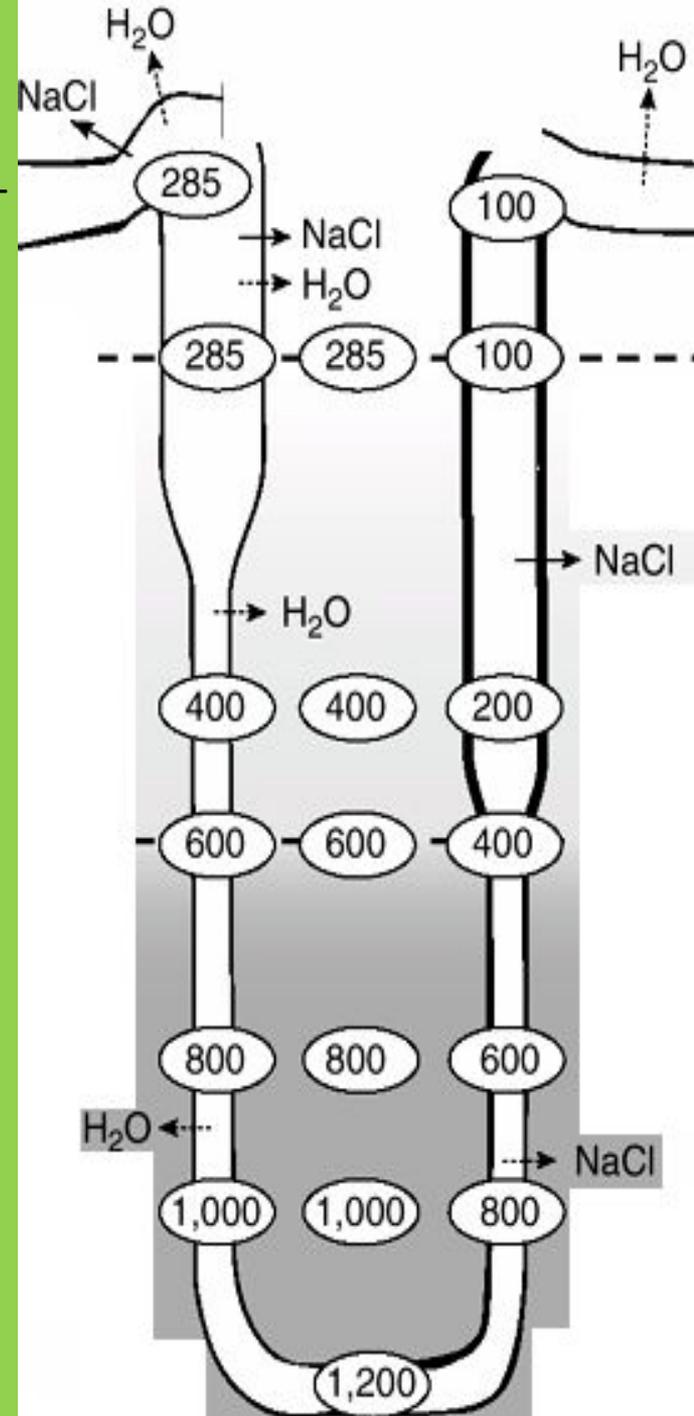
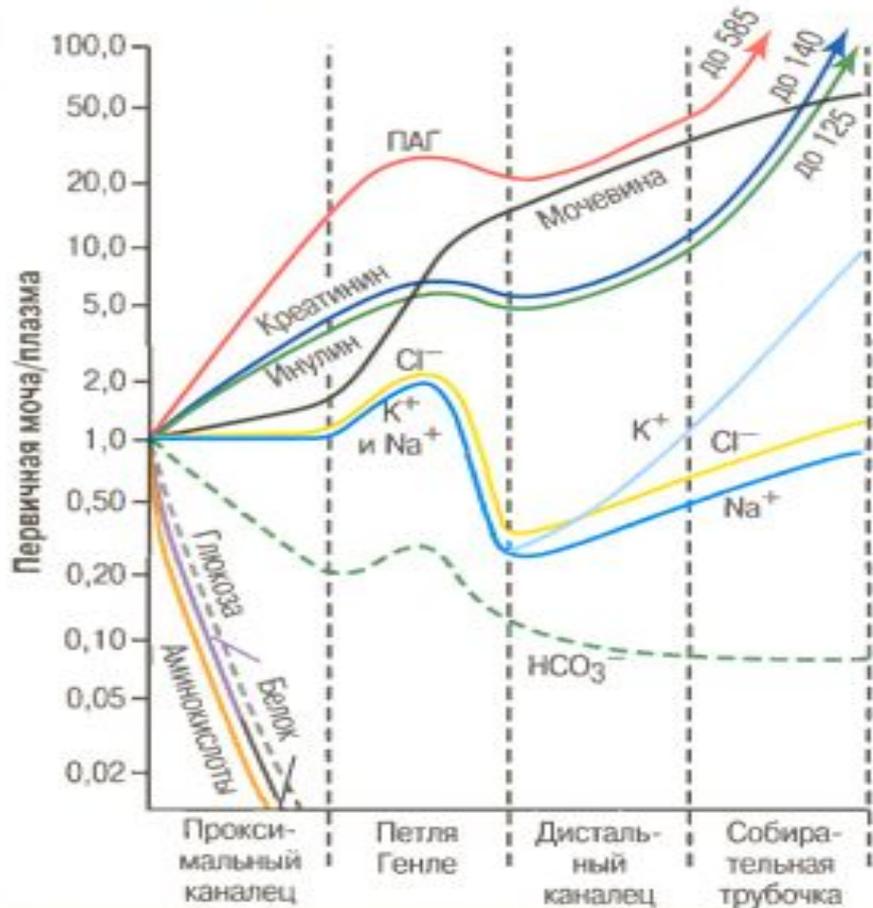
Проксимальный сегмент

- Реабсорбируется 60-70% профильтрованных веществ
- Облигатная реабсорбция воды и основных ионов без изменения осмолярности – моча остаётся изоосмолярной плазме крови.
- Реабсорбция основных пороговых веществ (глюкоза, АК, витамин С).



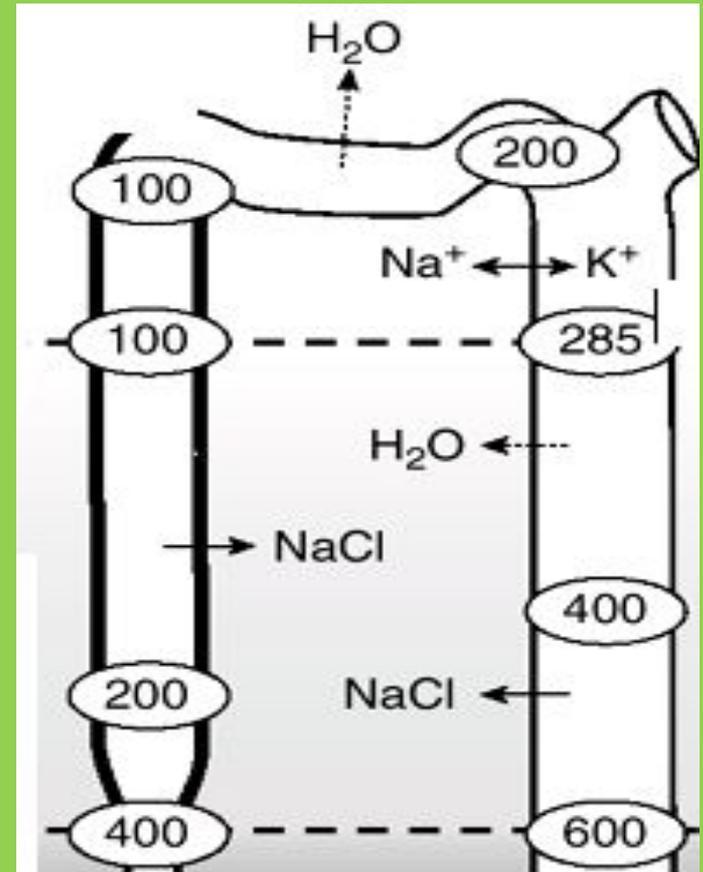
Петля Генле

- Реабсорбция 10-20% фильтрата.
- Нисходящее и восходящее колена имеют различную проницаемость для воды и электролитов (нисходящее – высокая проницаемость для воды; восходящее – для натрия).
- Тубулярная жидкость становится гипотоничной к плазме.
- Основная функция – участие в формировании концентрированной или разведённой мочи.



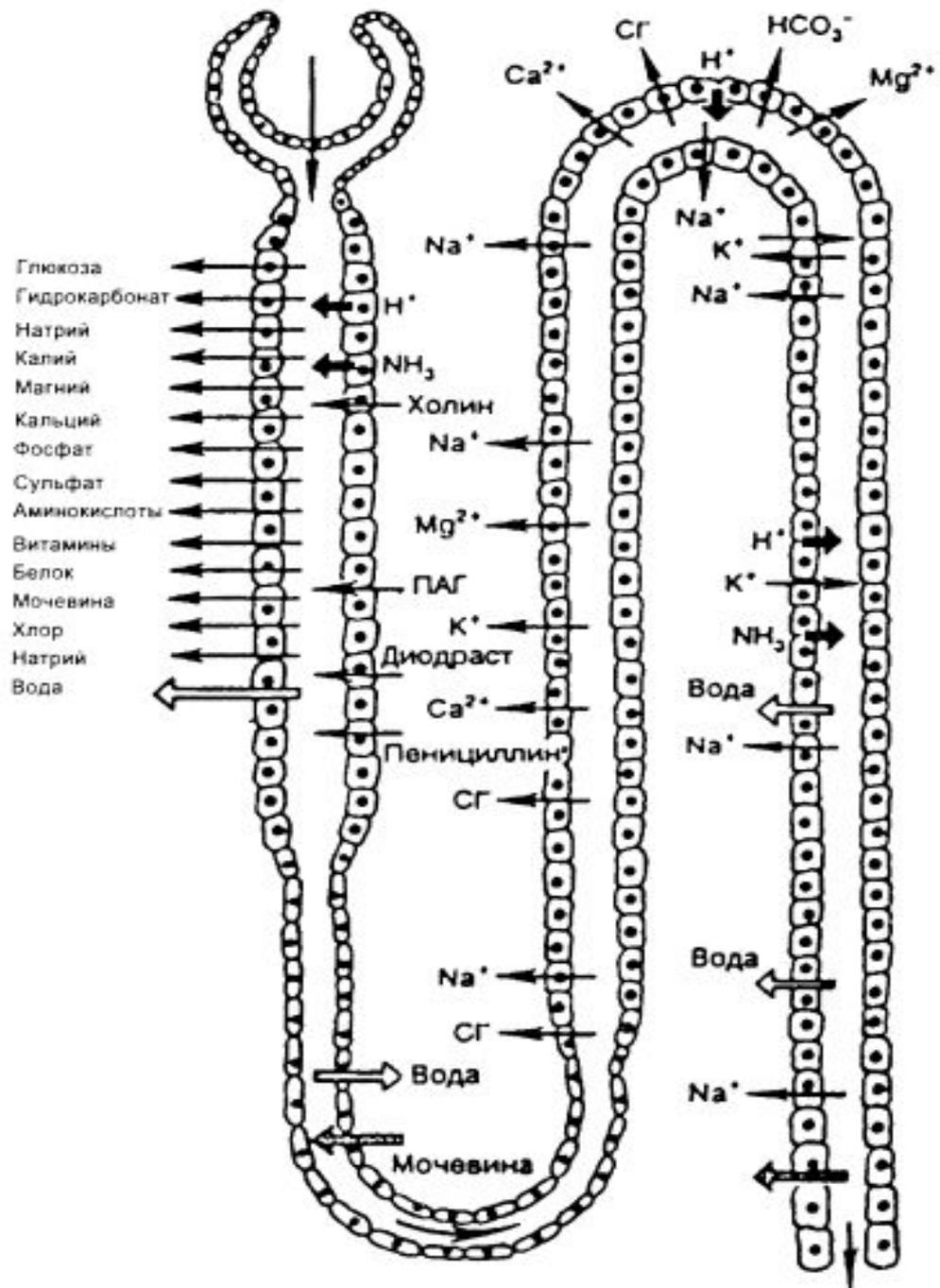
Дистальный каналец

- Реабсорбция воды и натрия не зависят и контролируются разными гормонами (АДГ и альдостероном).
- Реабсорбция натрия превышает реабсорбцию воды → моча становится гипотоничной.



Собирательные трубочки

- Минимально проницаемы для воды и натрия.
- Являются основным сегментом действия гуморальной регуляции
 - В присутствии АДГ увеличивается реабсорбция воды (концентрированная моча).
 - При действии альдостерона увеличивается реабсорбция натрия.



5. Канальцевая секреция и экскреция

- Секреция органических кислот и оснований - проксимальный сегмент нефрона, особенно его прямая часть
- Секреция калия преимущественно происходит в клетках дистального извитого канальца и собирательных трубочек.

Суточный диурез

- составляет 1,5-2 л.

Конечная моча

- слабокислая реакция с $\text{pH}=5,0-7,0$.
- Удельный вес не менее 1,018.
- Белка не более 0,033 г/л. Глюкоза, кетоновые тела, уробилин, билирубин отсутствуют.
- Эритроциты, лейкоциты, эпителий единичные клетки в поле зрения. Цилиндрический эпителий 1. Бактерий не более 50.000 в 1 мл.

6. Почечный клиренс

- **Клиренс вещества** – объём плазмы крови, который с помощью почек освобождается от данного вещества за единицу времени.
- **Значение** - позволяет количественно оценить функции почек.

$$C_B \times P_B = U_B \times V,$$

где C_B — клиренс вещества; P_B — концентрация вещества в плазме; U_B — концентрация вещества в моче; V — объём мочи.

$$C_B = \frac{U_B \times V}{P_B}.$$

7. Регуляция мочеобразования

- Механизмы **саморегуляции** почечного кровотока и фильтрации..
- **Нервная регуляция** – симпатическая НС иннервирует почечные артериолы.
 - Активация →
 - суживание выносящих артериол, ↑ гидростатическое P в клубочковых капиллярах → ↑ эффективного фильтрационного давления и клубочковой фильтрации ускоряется.
 - ↑ реабсорбция глюкозы, натрия и воды.

Гуморальная регуляция

- **Антидиуретический гормон (АДГ).**
 - Секретируется задней долей гипофиза при повышении осмотического давления крови и возбуждении осморецепторных нейронов гипоталамуса.
 - Взаимодействует с рецепторами эпителия собирательных трубочек, которые повышают содержание циклического аденозинмонофосфата в них. цАМФ активирует протеинкиназы, которые увеличивают проницаемость эпителия дистальных канальцев и собирательных трубочек для воды. В результате реабсорбция воды возрастает и она сохраняется в сосудистом русле.
- **Альдостерон.**
 - Стимулирует активность натрий-калиевой АТФазы поэтому увеличивает реабсорбцию натрия, но одновременно секрецию калия и протонов в канальцах → ↑ содержание калия и протонов в моче.
 - При недостатке организм теряет натрий и воду.

- **Натрийуретический гормон или атриопептид.**
 - Образуется в основном в левом предсердии при его растяжении, а также в передней доле гипофиза и хромоаффинных клетках надпочечников.
 - Усиливает фильтрацию, снижает реабсорбцию натрия. В результате возрастает выведение натрия и хлора почками, повышает суточный диурез.
- **Паратгормон и кальцитонин.**
 - Паратгормон усиливает реабсорбцию кальция, магния и снижает обратное всасывание фосфата.

- **Ренин-ангиотензин-альдостероновая система.**

- Ренин это протеаза, которая вырабатывается юкстагломерулярными клетками артериол почек. Под влиянием ренина от белка плазмы крови 2-глобулина-ангиотензина отщепляется ангиотензин I. Затем ангиотензин I превращается ренином в ангиотензин II. Это самое сильное сосудосуживающее вещество.
- Стимуляторы образования и выделения ренина
 - понижение АД;
 - снижение объема циркулирующей крови;
 - возбуждение симпатических нервов, иннервирующих сосуды почек.
- Эффекты
 - суживаются артериолы почек и уменьшается проницаемость стенки капилляров клубочка. В результате скорость фильтрации снижается.
 - ангиотензин II стимулирует выделение альдостерона надпочечниками. Альдостерон усиливает канальцевую реабсорбцию натрия и реабсорбцию воды. Происходит задержка воды и натрия в организме.
 - Действие ангиотензина сопровождается усилением синтеза антидиуретического гормона гипофиза.



Гормоны, регулирующие реабсорбцию в канальцевой системе нефрона

Гормон	Точка приложения	Действие
Альдостерон Ангиотензин II	Собирательные трубочки и протоки Проксимальные канальцы, толстый восходящий отдел петли Генле/дистальные канальцы, собирательные трубочки	↑ реабсорбцию NaCl, H ₂ O, ↑ секрецию K ⁺ ↑ реабсорбцию NaCl, H ₂ O, ↑ секрецию H ⁺
Антидиуретический гормон	Дистальные канальцы/собирательные трубочки и протоки	↑ реабсорбцию H ₂ O
Предсердный натрийуретический пептид	Дистальные канальцы/собирательные трубочки и протоки	↓ реабсорбцию NaCl
Паратиреоидный гормон	Проксимальные канальцы, толстый восходящий отдел петли Генле/дистальные канальцы	↓ реабсорбцию PO ₄ ³⁻ , ↑ реабсорбцию Ca ²⁺

8. Невыделительные функции почек

- **Регуляция постоянства ионного состава и объема межклеточной жидкости организма.**
 - Базисный механизм - изменение содержания натрия.
- **Участие в регуляции системного артериального давления.**
 - Поддержание постоянства объема циркулирующей крови; ренин-ангиотензиновая и калликреин-кининовая система.
- **Поддержание кислотно-щелочного равновесия.**
 - При сдвиге реакции крови в кислую сторону в канальцах выводятся анионы кислот и протоны, но одновременно реабсорбируются ионы натрия и гидрокарбонат анионы.
 - При алкалозе выводятся катионы щелочей и гидрокарбонат анионы.
- **Регуляция кроветворения – эритропоэтин почек.**
- **Секреция, переработка и выделение гормонов.**
- **Глюконеогенез.**