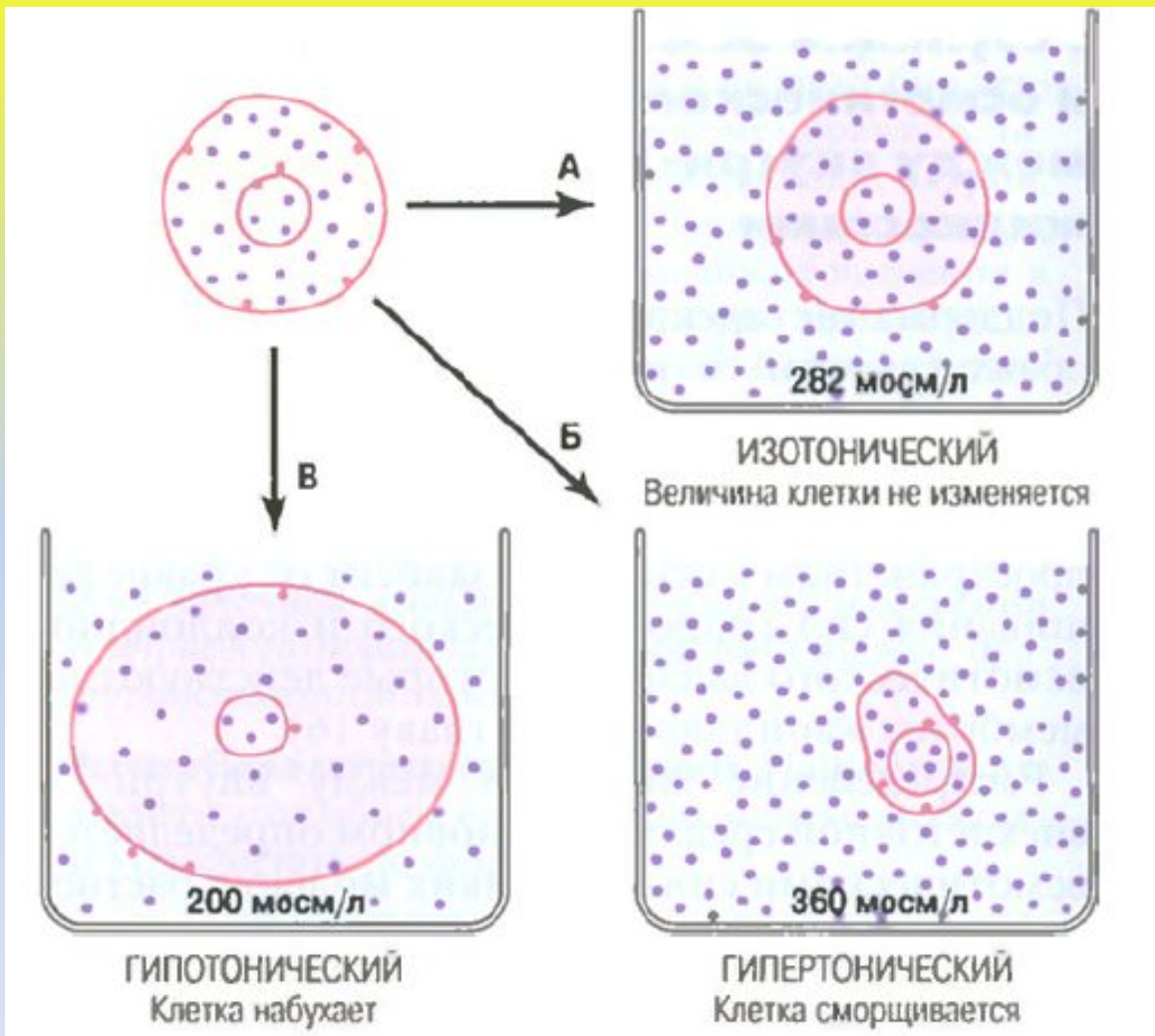


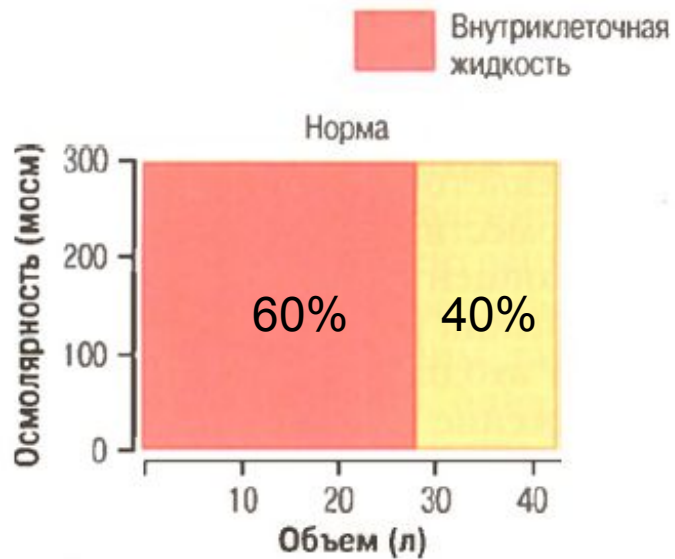
Водно-солевой баланс. Функции почек.



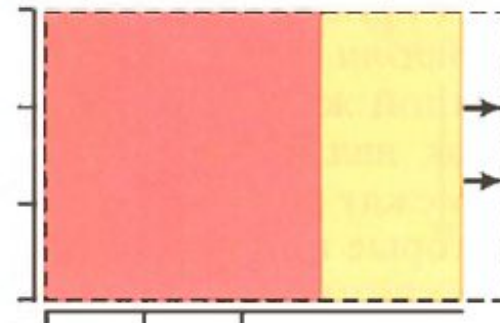


Влияние
изотонического
(А),
гипертонического
(Б),
гипотонического
(В) растворов на
объем клеток

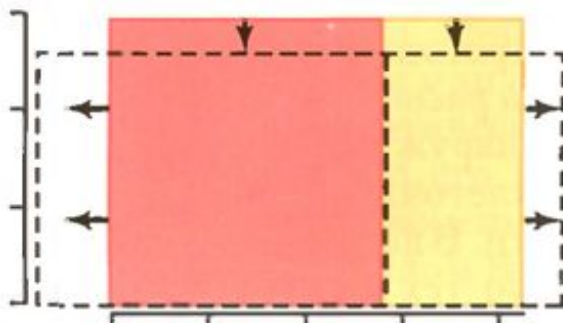
Результат введения изо-, гипер- и гипотонических растворов во внеклеточную жидкость



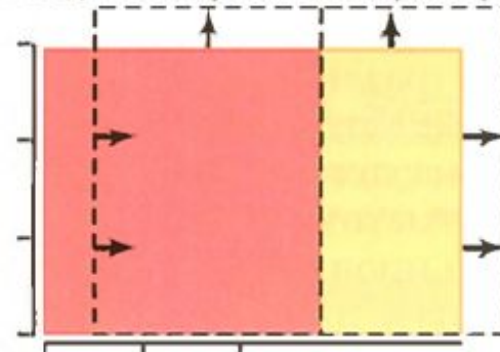
А. Введение изотонического раствора NaCl



В. Введение гипотонического раствора NaCl



Б. Введение гипертонического раствора NaCl



Функции почек

- **ЭКСКРЕТОРНАЯ**

- а) конечные продукты катаболизма (*мочевина, мочевая кислота, креатинин и др.*)
- б) избыток веществ, всосавшихся в кишечнике или образовавшихся в процессе катаболизма (*вода, органические кислоты, витамины, гормоны и др.*)
- в) ксенобиотики - чужеродные вещества (*лекарственные препараты, никотин*).

Функции почек

- **ГОМЕОСТАТИЧЕСКАЯ.**

- а) водный гомеостаз

- б) солевой гомеостаз

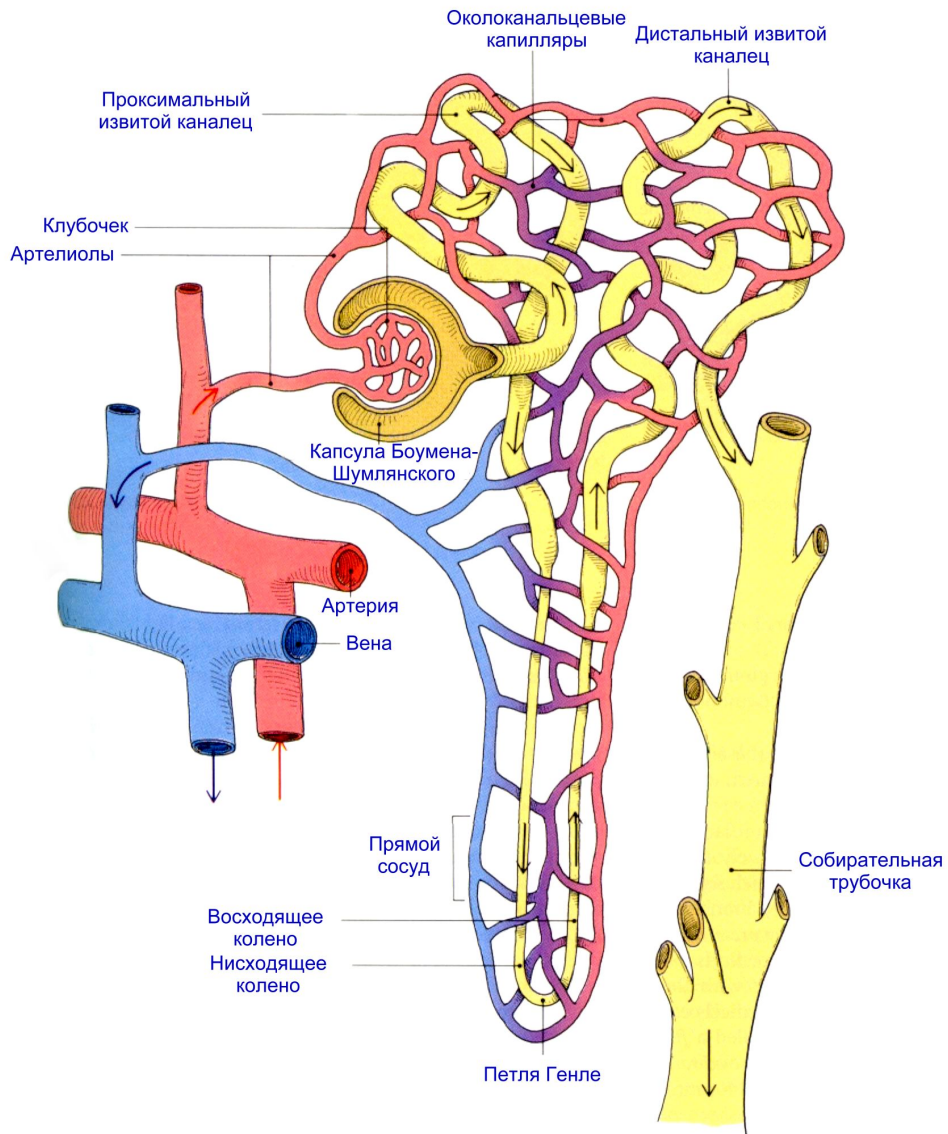
- в) кислотно-основное гомеостаз

- **МЕТАБОЛИЧЕСКАЯ.**

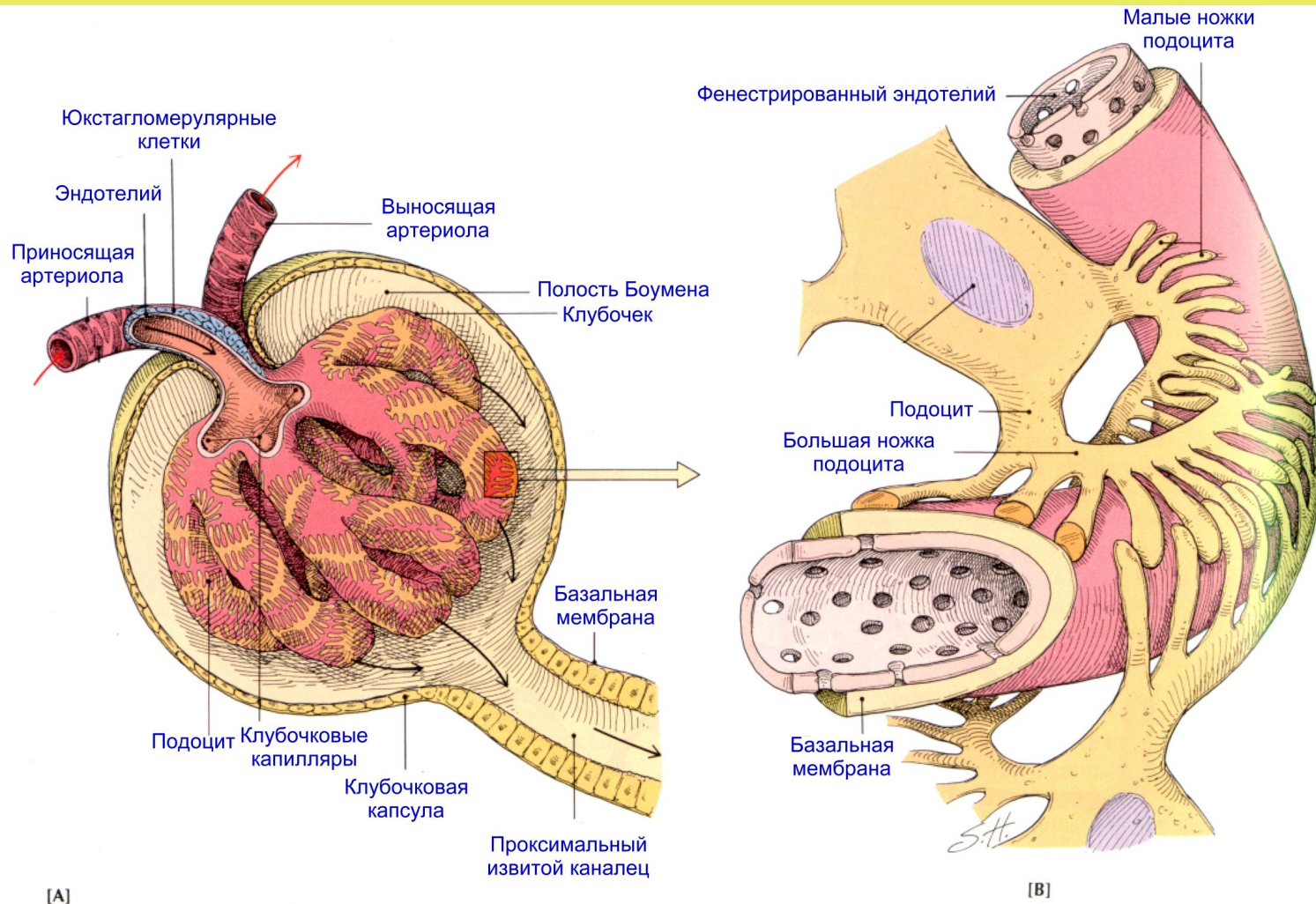
- а) участие в углеводном, белковом, жировом обменах

- б) синтез биологически активных веществ: ренина, активной формы витамина D3 , эритропоэтина, простагландинов, кининов.

Строение нефрона

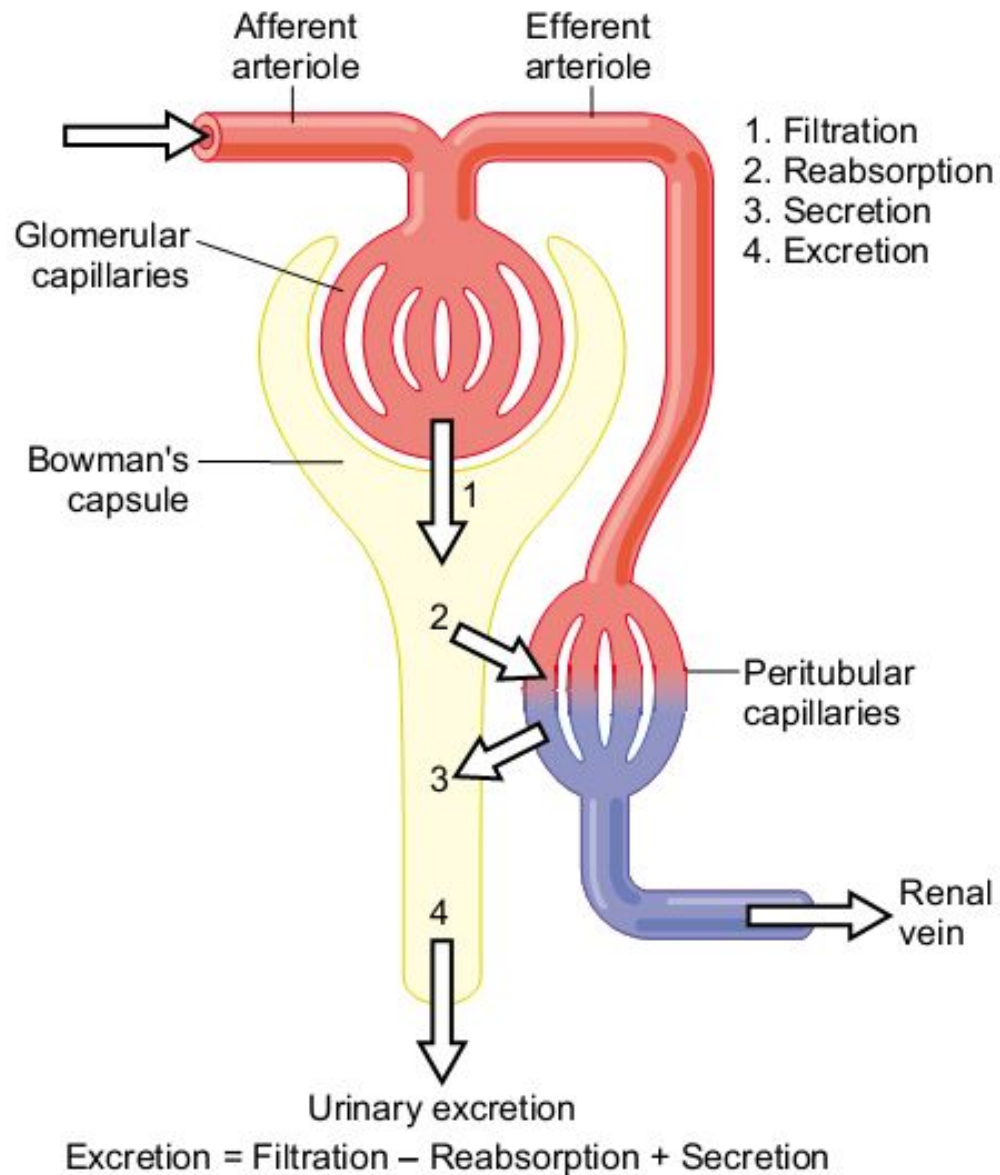


Капсула Шумлянско-Боумена



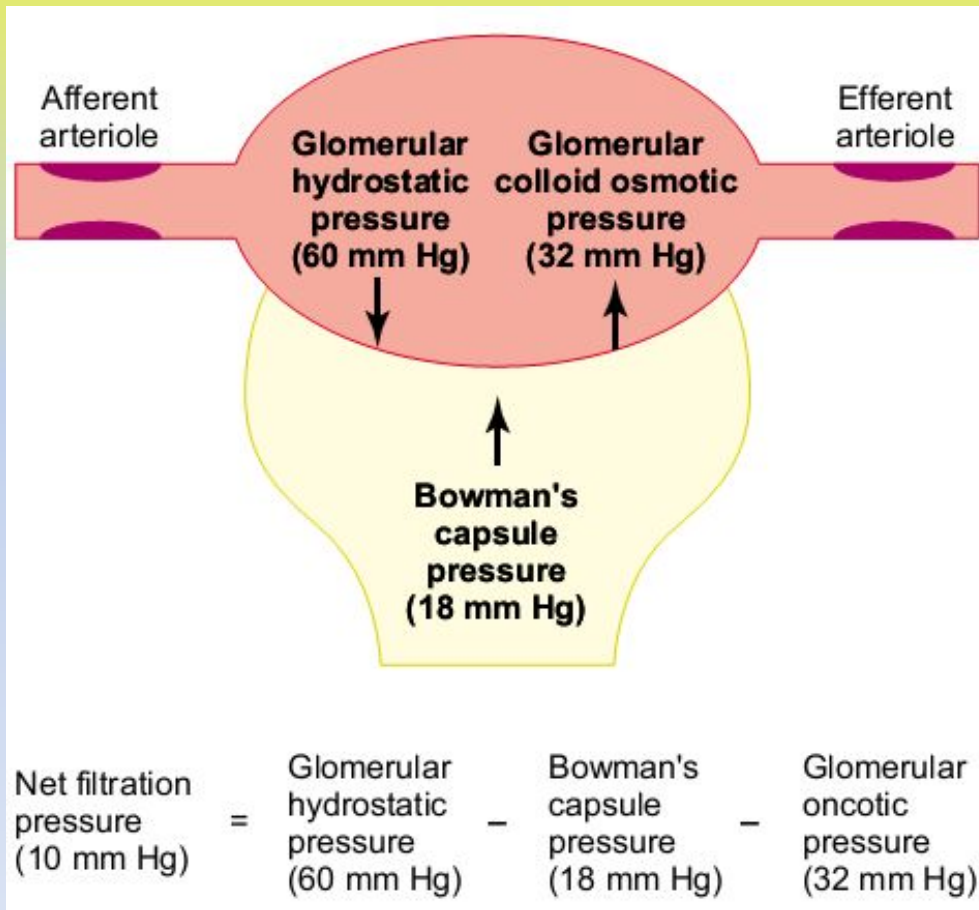
**Участие почек в
регуляции
гомеостатических
констант организма**

Основные процессы образования мочи



1. Фильтрация
2. Абсорбция
3. Секреция

Силы, обеспечивающие процесс фильтрации в гломерулярных капиллярах



Силы способствующие фильтрации (mm Hg)

- Гидростатическое давление крови **60**
- Онкотическое давление фильтрата **0**

Силы противодействующие фильтрации (mm Hg)

- Гидростатическое давление фильтрата **18**
- Онкотическое давление крови **32**

$$\text{ЭФД} = 60 - 18 - 32 = +10 \text{ mm Hg}$$

Расчет скорости клубочковой фильтрации (СКФ = GFR)

$$GFR = K_f \times (P_G - P_B - \pi_G + \pi_B)$$

1. Гидростатическое давление крови в капиллярах (**P_G**) способствует фильтрации;
2. Гидростатическое давление фильтрата в капсуле Боумана (**P_B**) противодействует фильтрации;
3. Онкотическое давление белков плазмы крови (**p_G**) противодействует фильтрации;
4. Онкотическое давление белков фильтрата в капсуле Боумана (**p_B**), способствует фильтрации.

Где **K_f** – коэффициент фильтрации

(В нормальном состоянии концентрация белков в гломерулярном фильтрате настолько незначительно, что онкотическое давление фильтрата = 0 mm Hg)

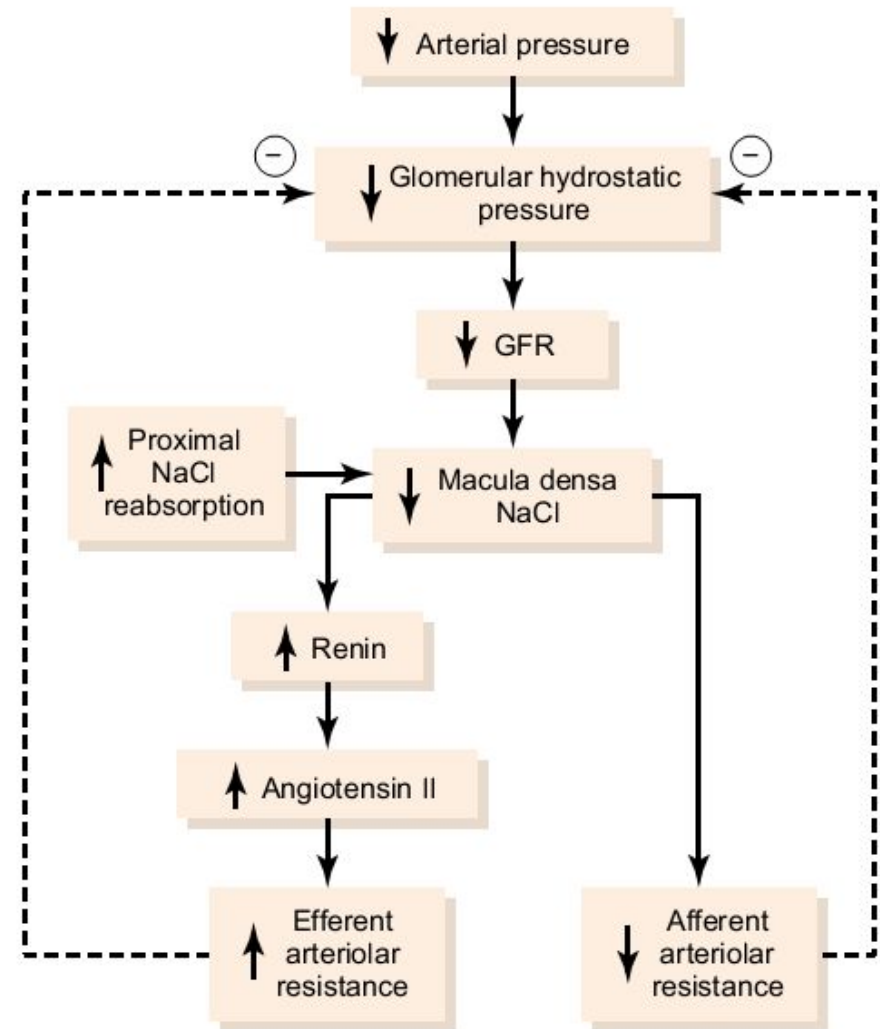
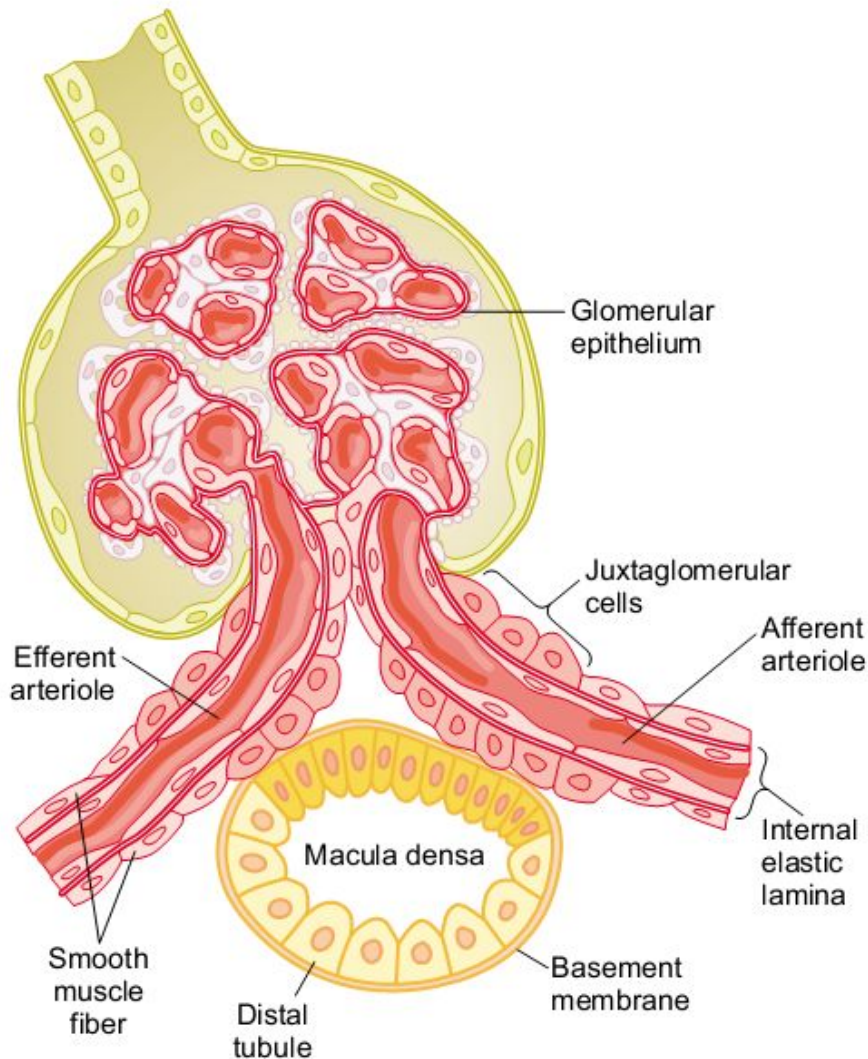
Саморегуляция СКФ и ренального кровотока

Тубулогломерулярный механизм обратной связи имеет два сопряженных механизма контроля СКФ

1. Механизм обратной связи афферентных артериол
2. Механизм обратной связи эфферентных артериол

(механизм эффективен при колебаниях давления от 75 до 160 мм Hg):

Роль тубулогломерулярной ратной связи в саморегуляц СКФ



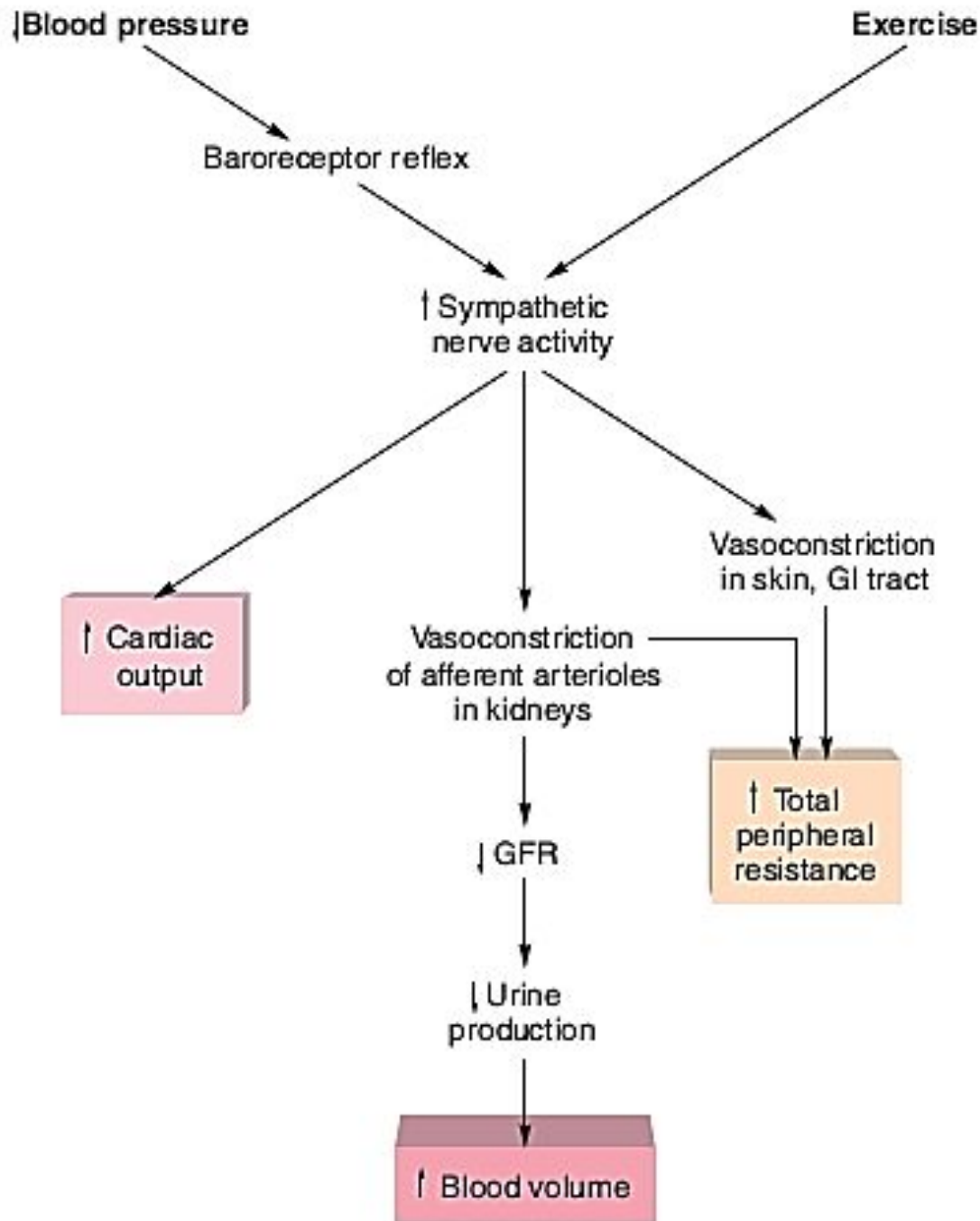
- Обычно клубочковая фильтрация составляет около **180 л/д**,
- а тубулярная реабсорбция около **178.5 л/д**,
- выделяется конечной мочи около **1.5 л/д**.
- При отсутствии саморегуляции, относительно небольшое увеличение артериального давления (**от 100 to 125 mm Hg**) увеличит СКФ на 25% (**около 180 - 225 л/д**). Если при этом реабсорбция останется прежней (178.5 л/д), это приведет к диурезу до 46.5 л/д.

Гуморальные механизмы контроля клубочковой фильтрации

- Гормоны, **норадреналин** и **адреналин** надпочечников, вызывающие вазоконстрикцию как приносящих так и выносящих артериол клубочкового аппарата приводят к **уменьшению кровотока в клубочках** и **снижению СКФ**.
- Вазоконстриктор **эндотелин**, полипептид, выделяющийся из эндотелиоцитов поврежденных сосудов – оказывает местные сосудодвигательные эффекты.
- Мощный вазоконстриктор **ангиотензин II** может оказывать как местные эффекты сужения сосудов, так и системные вазоконстрикторные эффекты.

- Гуморальным фактором местной регуляции кровотока в почках является **NO**. Он уменьшает сопротивление току крови в сосудах клубочкового аппарата, вызывая дилатацию приносящих артериол, что обеспечивает поддержание выделительной функции почек (H_2O , Na^+) на должном уровне.
- Другие гуморальные факторы регуляции кровотока в почках (дилататоры) :
- **Простагландины PG E₂ и PG I₂**
- **Брадикинин**

Рефлекторная регуляция СКФ



Измерение СКФ. Клиренс инулина

Свойства инулина:

- Не реабсорбируется
- Не секретируется
- Не токсичен
- Не участвует в метаболизме
- Не поглощается тканями

(инулин - полимер фруктозы, содержащийся в топинамбуре, артишоке, луке, чесноке)

$$P_{\text{inulin}} = 1 \text{ mg/ml}$$

Amount filtered = Amount excreted

$$\text{GFR} \times P_{\text{inulin}} = U_{\text{inulin}} \times V$$

$$\text{GFR} = \frac{U_{\text{inulin}} \times V}{P_{\text{inulin}}}$$

$$\text{GFR} = 125 \text{ ml/min}$$

$$U_{\text{inulin}} = 125 \text{ mg/ml}$$

$$V = 1 \text{ ml/min}$$

Клиренс

- Клиренс – объём плазмы крови, который полностью очищается от растворенного в ней вещества путем выделения с мочой за 1 минуту .
- Расчет клиренса осуществляется по формуле ра

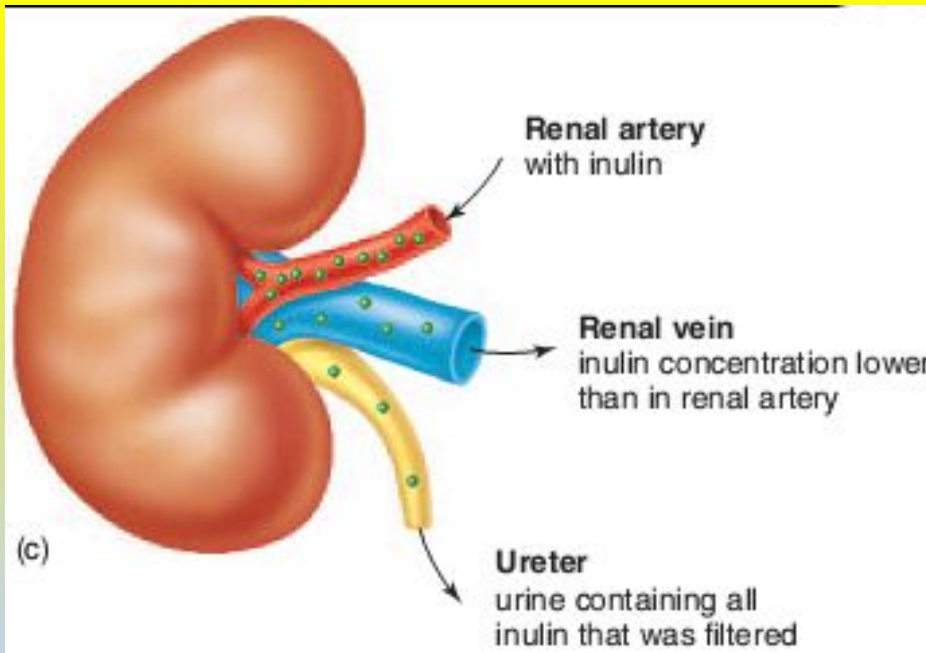
$$\frac{GFR}{\text{(amount filtered)}} \times P = \frac{V}{\text{(amount excreted)}} \times U$$

$$GFR_{\text{(ml/min)}} = \frac{V_{\text{(ml/min)}} \times U_{\text{(mg/ml)}}}{P_{\text{(mg/ml)}}}$$

где: P= концентрация инулина в плазме крови

V= диурез

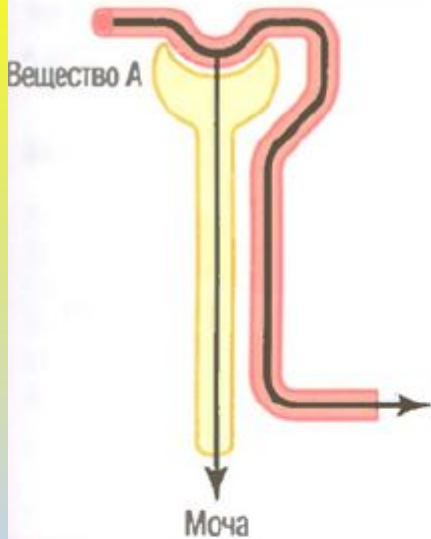
U= концентрация инулина в моче



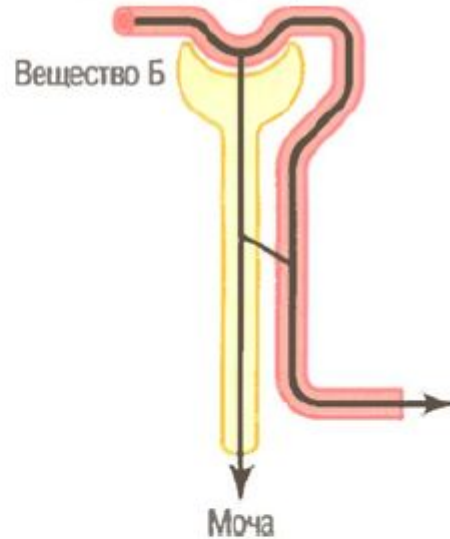
- Инулин, введенный в кровь фильтруется в клубочковом аппарате почек в том же объеме, что и был введен в кровь.

Количество инулина определяется в моче, собранной за период времени (1-2 часа) и рассчитывается в мг/мин.

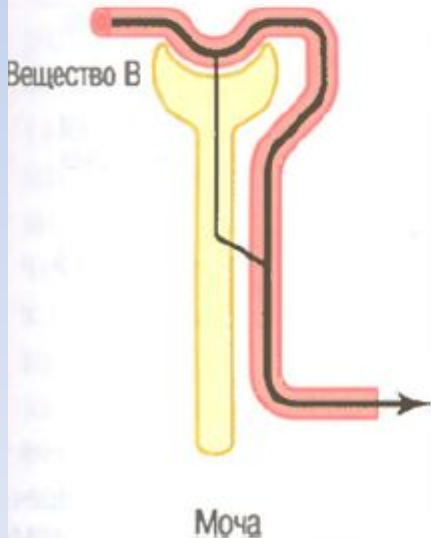
А. Только фильтрация



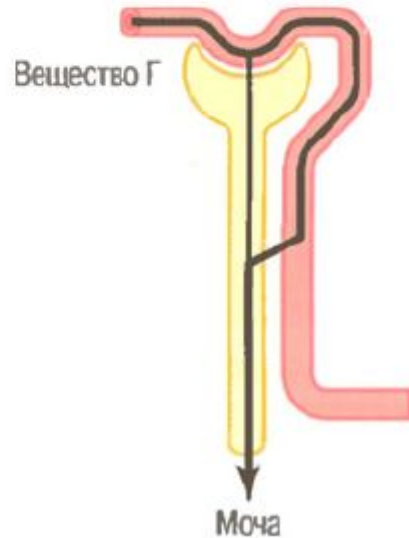
Б. Фильтрация, частичная реабсорбция



В. Фильтрация, полная реабсорбция



Г. Фильтрация, секреция



- Если $C_x = C_{in}$ – вещество фильтруется
- Если $C_x > C_{in}$ – вещество секретируется
- Если $C_x < C_{in}$ – вещество реабсорбируется

Реабсорбция

- Жидкость, прошедшая через почечный фильтр и канальцевую систему почки, на своем пути теряет вследствие реабсорбции в норме более 99% воды и большую часть растворенных в ней веществ.
- Жидкость и электролиты реабсорбируются из канальцев в межклеточное вещество почки, а оттуда — в перитубулярные капилляры. (В норме показатель реабсорбции 124

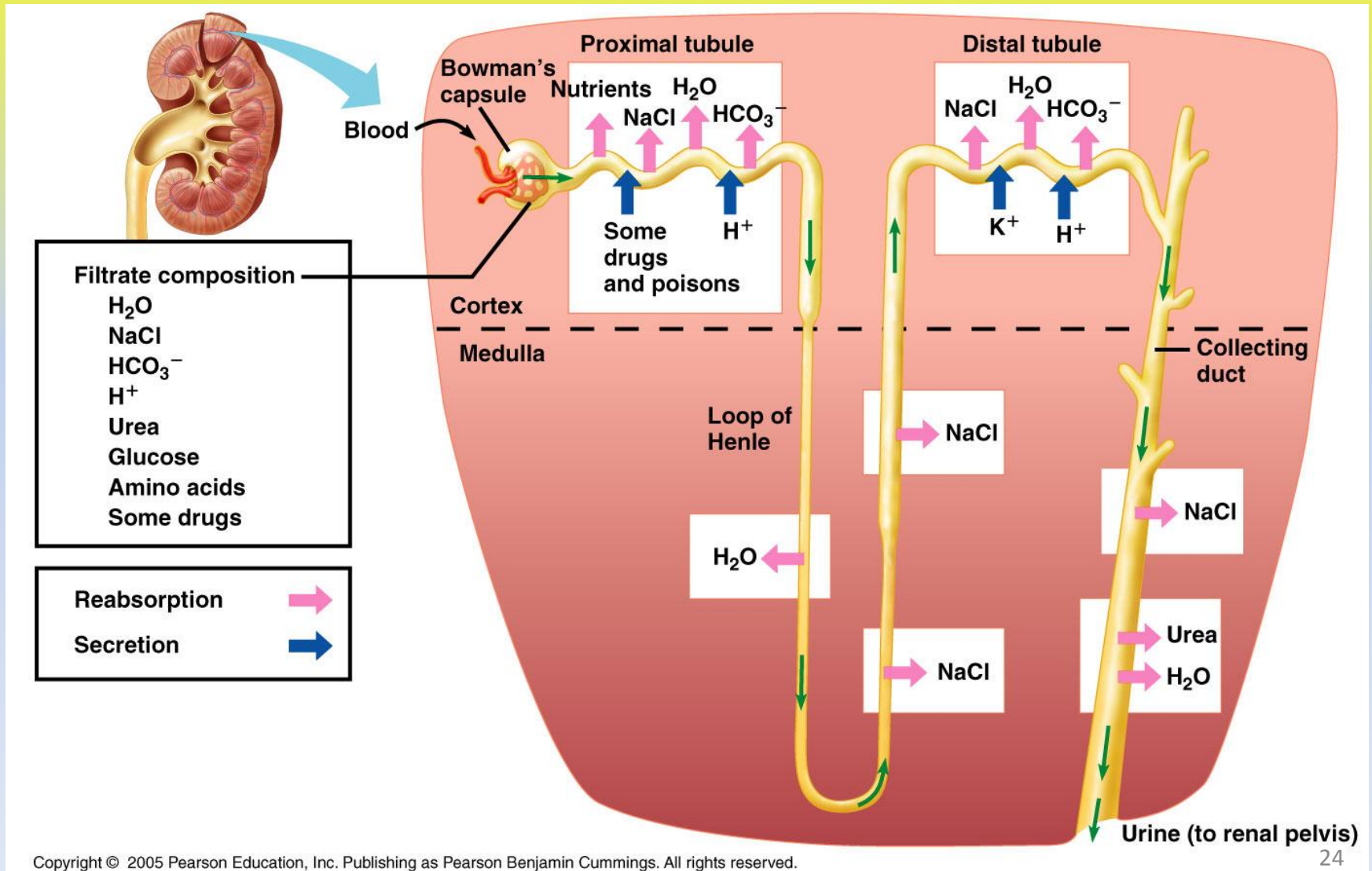
Механизмы реабсорбции

(активный и пассивный транспорт)

- **Проксимальный извитой каналец**
(преимущественно облигатная реабсорбция): K^+ , глюкоза, аминокислоты, H_2O , Ca^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , Mg^{2+} и др.
- **Петля Генле** (механизмы осмотического концентрирования и разбавления): H_2O , Na^+ , мочевины
- **Дистальный извитой каналец**
(преимущественно факультативная реабсорбция): K^+ , Cl^- ; Na^+ в обмен на K^+ , H^+ и NH_4^+ .

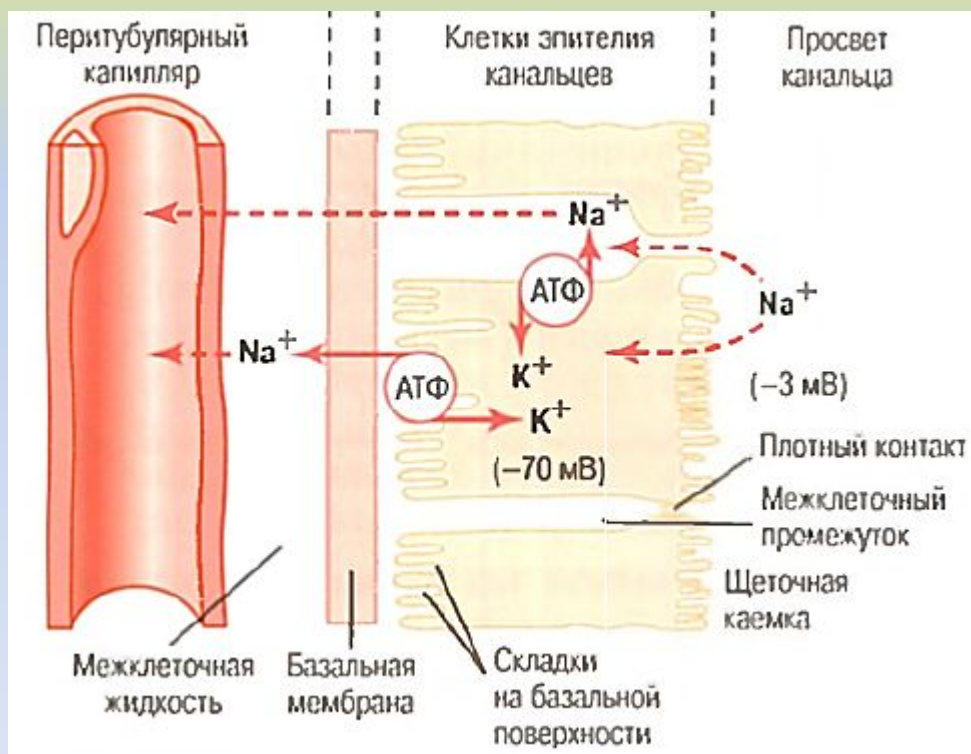
Собираательные трубочки: (преимущественно факультативная реабсорбция) H_2O , Na^+

Транспорт различных веществ в нефроне



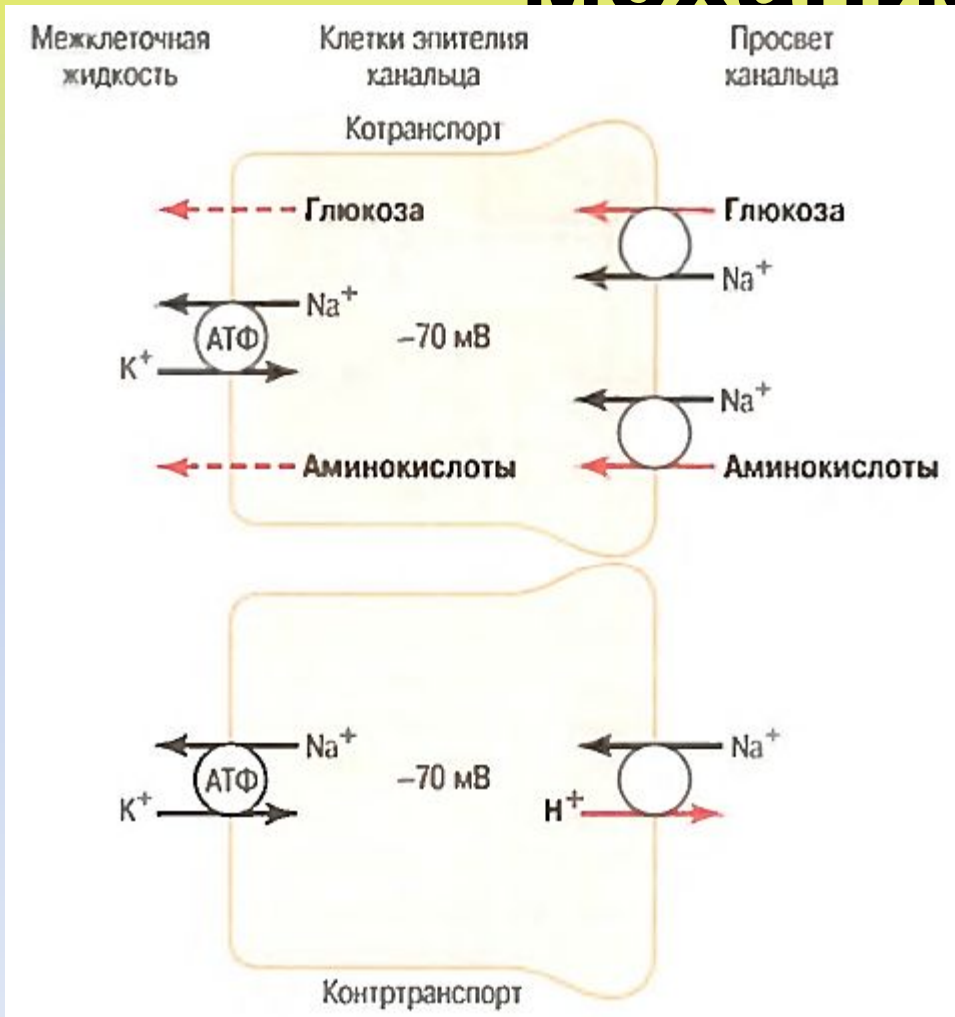
Реабсорбция активными транспортными механизмами

Первично активные системы переноса:



- *натрий-калиевый насос,*
- *водородный насос,*
- *водородно-калиевый насос,*
- *кальцевый насос*
- **пиноцитоз.**

Реабсорбция активными транспортными механизмами



При вторично активном транспорте с мембранным белком-переносчиком взаимодействуют два вещества или более, которые затем перемещаются в клетку.

Пороговые и безпороговые вещества

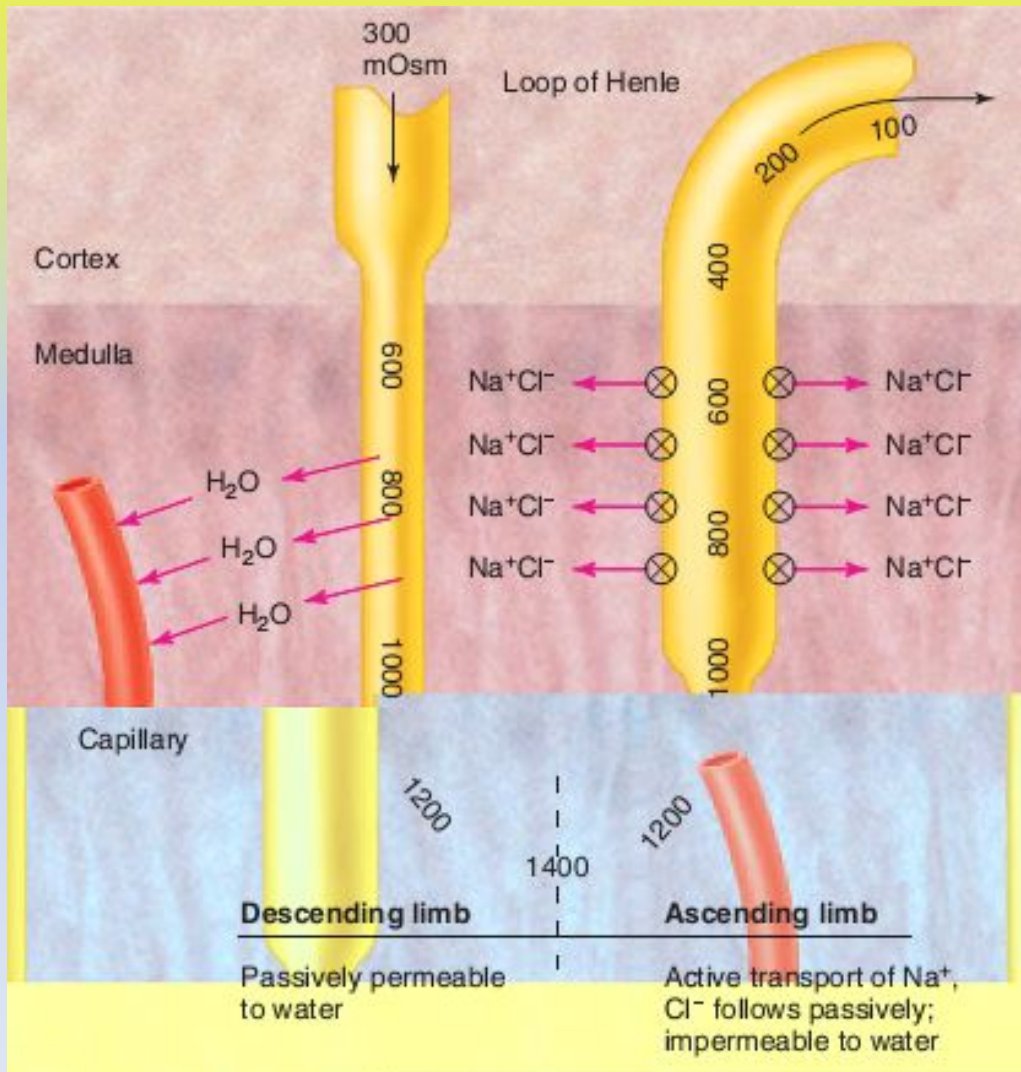
- **Пороговые вещества – обычно полностью реабсорбируются (глюкоза, аминокислоты) и выделяются с мочой только если их концентрация в плазме крови превышает пороговую величину (так называемый «порог выведения»).** Для глюкозы порог выведения 10 ммоль/л (при нормальной концентрации глюкозы в крови 4.4-6.6 ммоль/л).

Беспороговые вещества – всегда выводятся независимо от их концентрации в плазме крови. Они не реабсорбируются или реабсорбируются частично, например, мочевины и др. метаболиты.

Реабсорбция глюкозы и аминокислот

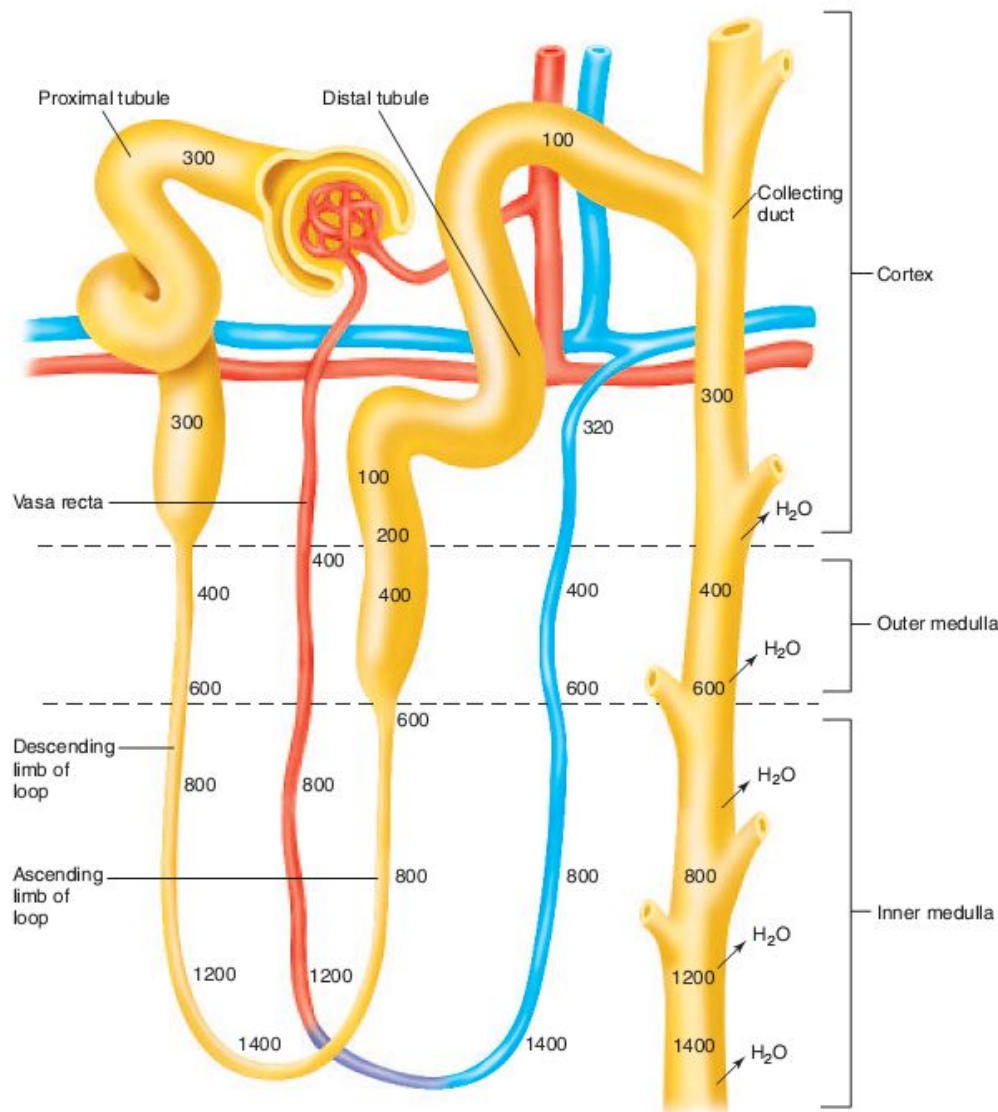
- Глюкоза и аминокислоты легко фильтруются.
- Эти вещества в норме отсутствуют в конечной моче, т.к. полностью реабсорбируются.
- Механизм переноса – вторично-активный транспорт в проксимальных канальцах. Транспорт осуществляется вместе с ионами Na^+ (котранспорт).
- Для веществ имеется транспортный максимум (T_m) – концентрация этих веществ, необходимая для полного насыщения переносчиков.

Противоточно-множительная система



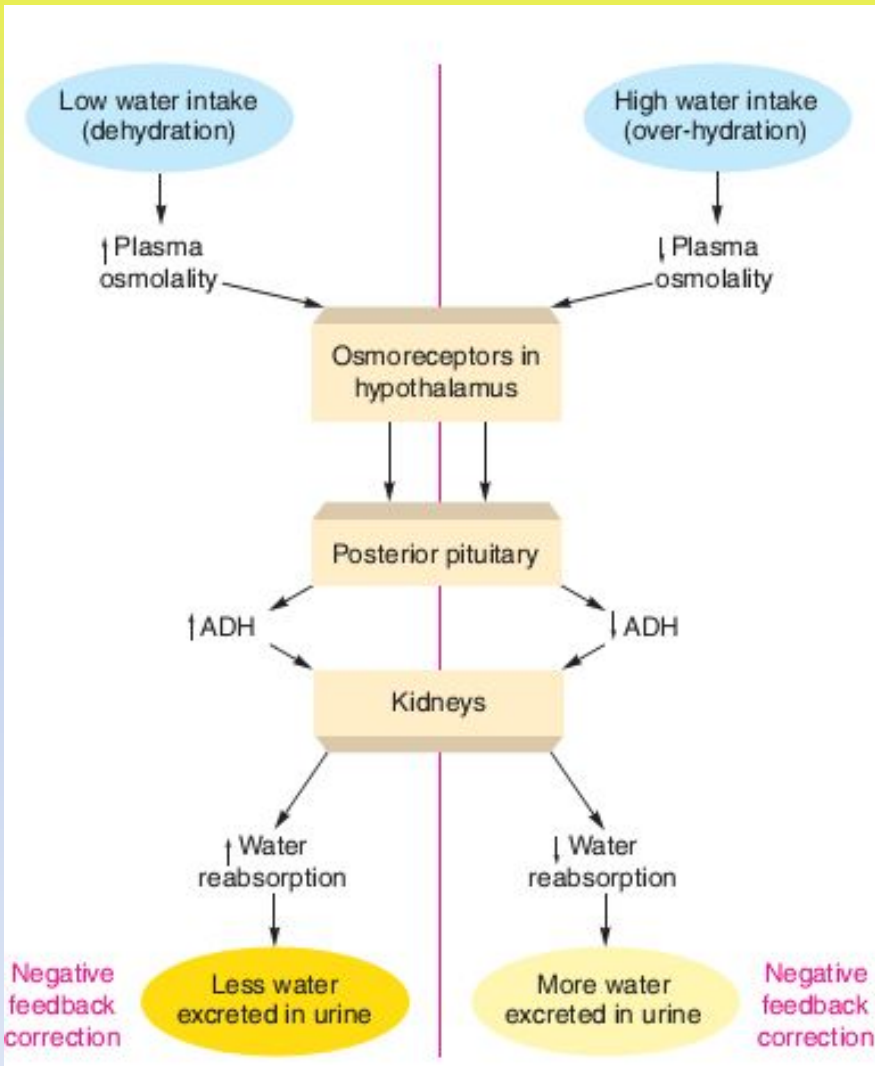
Активный транспорт NaCl в восходящей части петли Генле повышает концентрацию солей в паренхиме почки.

Пассивный выход воды через нисходящую часть петли усиливает



- Выделение АДГ приводит к повышению проницаемости собирательных трубочек для воды, увеличению реабсорбции воды (пассивно), уменьшению диуреза и увеличению осмолярности мочи.

Регуляция гомеостатических констант вазопрессином



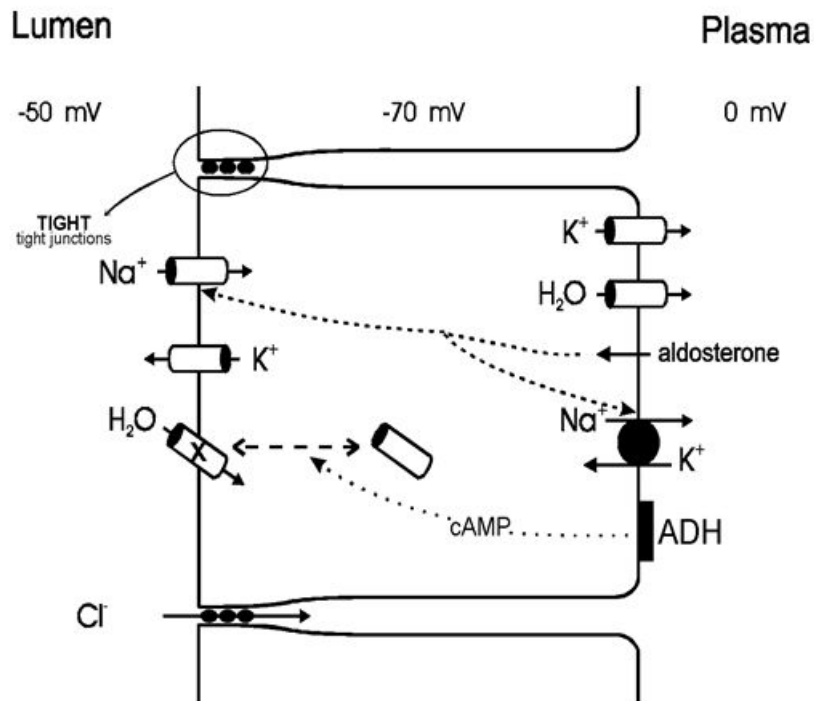
Потеря воды приводит к увеличению концентрации АДГ, что вызывает уменьшение диуреза. При гипер-гидротации концентрация АДГ снижается, что увеличивает диурез. Эти изменения обеспечивают механизм отрицательной обратной связи, который также влияет и на ОЦК и осмолярность крови.

Роль альдостерона в регуляции Na^+/K^+ баланса

Ангиотензин II является, пожалуй, самым мощным натрий-сохраняющим гормоном.

1. Ангиотензин II стимулирует секрецию альдостерона, что в свою очередь повышает реабсорбцию натрия.
2. Ангиотензин II сужает выносящие артериолы, который имеет два эффекта на динамику перитубулярных капилляров, которые повышают реабсорбцию натрия и воды.
3. Ангиотензин II непосредственно стимулирует реабсорбцию натрия в проксимальном отделе канальцев, петле Генле, дистальных канальцах и собирательных трубочках.

Principal Cell



- Механизм, посредством которого альдостерон увеличивает реабсорбцию натрия и одновременно увеличивая секрецию калия за счет стимулирования АТФ-азы натрий-калиевого насоса на базолатеральной стороне мембраны канальцев.
- Также альдостерон увеличивает проницаемость мембраны для натрия на стороне просвета нефрона.

Предсердный натрийуретический пептид

- Специфические клетки предсердий секретируют пептид, называемый **предсердный натрийуретический пептид**, при их чрезмерном растяжении в случае увеличения ОЦК.
- Повышенный уровень этого пептида в свою очередь, ингибируют реабсорбцию натрия и воды в почечных канальцах и особенно в собирательных трубочках. Снижение реабсорбции натрия и воды приводит к увеличению их экскреция с мочой, что помогает вернуть объем крови к норме.

Паратгормон (Паратиреоидный гормон)

- **Паратиреоидный гормон** является одним из самых важных кальций-регулирующих гормонов в организме.

Основные его эффекты в почках проявляются в **повышении канальцевой реабсорбции кальция**, особенно в дистальных отделах канальцев и, возможно, в петле Генле.

- Паратиреоидный гормон также вызывает **угнетение реабсорбции фосфатов** в проксимальных канальцах нефрона и стимулирует **реабсорбцию магния** в петле Генле.

Гормональный контроль реабсорбции

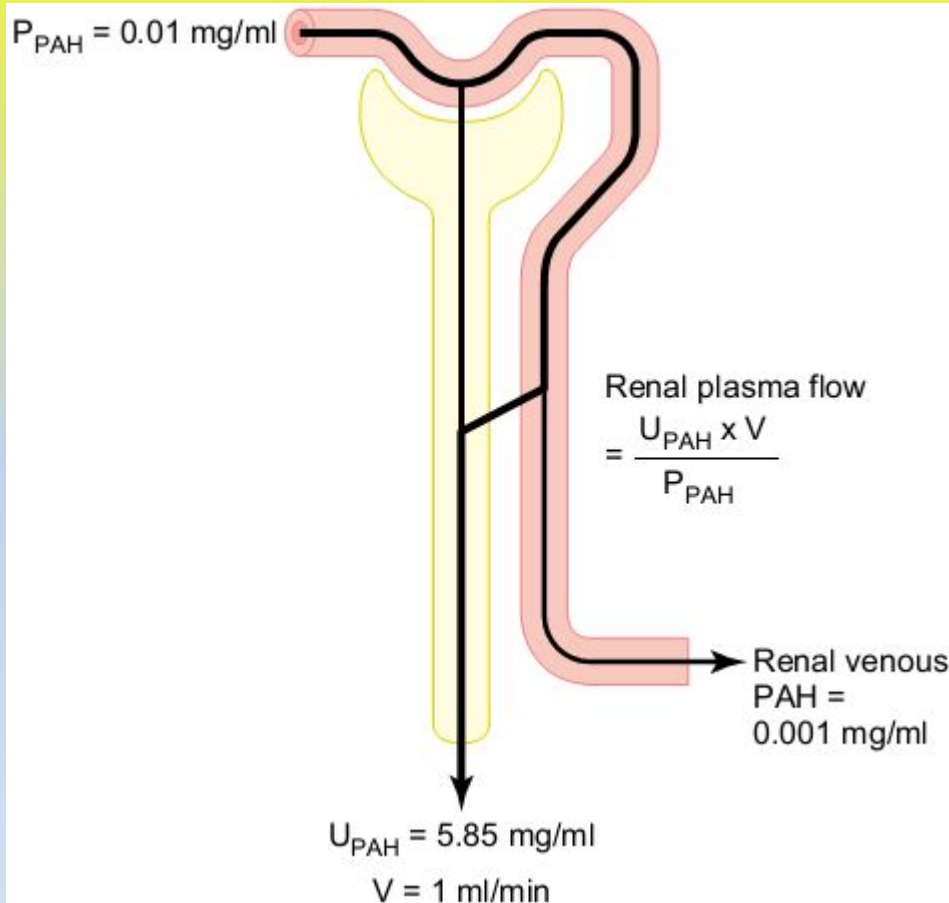
Hormones That Regulate Tubular Reabsorption

Hormone	Site of Action	Effects
Aldosterone	Collecting tubule and duct	↑ NaCl, H ₂ O reabsorption, ↑ K ⁺ secretion
Angiotensin II	Proximal tubule, thick ascending loop of Henle/distal tubule, collecting tubule	↑ NaCl, H ₂ O reabsorption, ↑ H ⁺ secretion
Antidiuretic hormone	Distal tubule/collecting tubule and duct	↑ H ₂ O reabsorption
Atrial natriuretic peptide	Distal tubule/collecting tubule and duct	↓ NaCl reabsorption
Parathyroid hormone	Proximal tubule, thick ascending loop of Henle/distal tubule	↓ PO ₄ ⁻⁻⁻ reabsorption, ↑ Ca ⁺⁺ reabsorption

Активация симпатического отдела ВНС

- Активация симпатической нервной системы может **уменьшить экскрецию натрия и воды** путем сужения почечных артериол, тем самым уменьшая СКФ.
- Симпатическая активация также **повышает реабсорбцию натрия** в проксимальных канальцах, в толстой восходящей ветви петли Генле и, возможно, в более дистальных отделах почечных канальцев.
- И, наконец, стимуляции симпатической нервной системы, **увеличивает высвобождение ренина и образование ангиотензина II**, который усиливает общий эффект **увеличения канальцевой реабсорбции и уменьшения почечной**

Оценка почечного кровотока по клиренсу парааминогиппуровой кислоты (ПАГ) (РАН)



РРАН - концентрация РАН в крови;

УРАН - концентрация РАН в моче;

V - диурез.

ПАГ свободно фильтруются в клубочках капилляров, а также выделяется из перитубулярных капилляров крови в просвет канальцев.

Количество ПАГ в плазме почечной артерии имеет примерно равное количество ПАГ в выделяемой моче. Поэтому величина почечного тока плазмы крови может быть вычислена по клиренсу ПАГ

Оценка функций почек по клиренсу веществ

Использование клиренса для количественной оценки функции почки

Термин	Уравнение	Единица измерения
Клиренс	$C_B = \frac{U_B \times V}{P_B}$	мл/мин
Скорость клубочковой фильтрации	$СКФ = \frac{U_{\text{инулина}} \times V}{P_{\text{инулина}}}$	
Относительный клиренс	$\text{Относительный клиренс} = \frac{C_B}{C_{\text{инулина}}}$	—
Эффективный почечный плазмоток	$ЭППТ = C_{\text{ПАГ}} = \frac{U_{\text{ПАГ}} \times V}{P_{\text{ПАГ}}}$	мл/мин
Почечный плазмоток	$\begin{aligned} ППТ &= \frac{C_{\text{ПАГ}}}{E_{\text{ПАГ}}} = \frac{(U_{\text{ПАГ}} \times V / P_{\text{ПАГ}})}{(P_{\text{ПАГ}} - V_{\text{ПАГ}} / P_{\text{ПАГ}})} \\ &= \frac{U_{\text{ПАГ}} \times V_{\text{ПАГ}}}{P_{\text{ПАГ}} - V_{\text{ПАГ}}} \end{aligned}$	мл/мин
Кровоток в почке	$\text{Кровоток в почке} = \frac{ППТ}{1 - \text{Гематокрит}}$	мл/мин
Интенсивность выделения	$\text{Интенсивность выделения} = (U_B \times V)$	мг/мин, ммоль/мин или мэкв/мин
Интенсивность реабсорбции	$\begin{aligned} \text{Интенсивность реабсорбции} &= \text{Фильтрация} - \\ &\quad - \text{Выделение} = (СКФ \times P_B) - (U_B \times V) \end{aligned}$	мг/мин, ммоль/мин или мэкв/мин
Интенсивность секреции	$\text{Интенсивность секреции} = \text{Интенсивность выделения} - \text{Фильтрация}$	мг/мин, ммоль/мин или мэкв/мин