

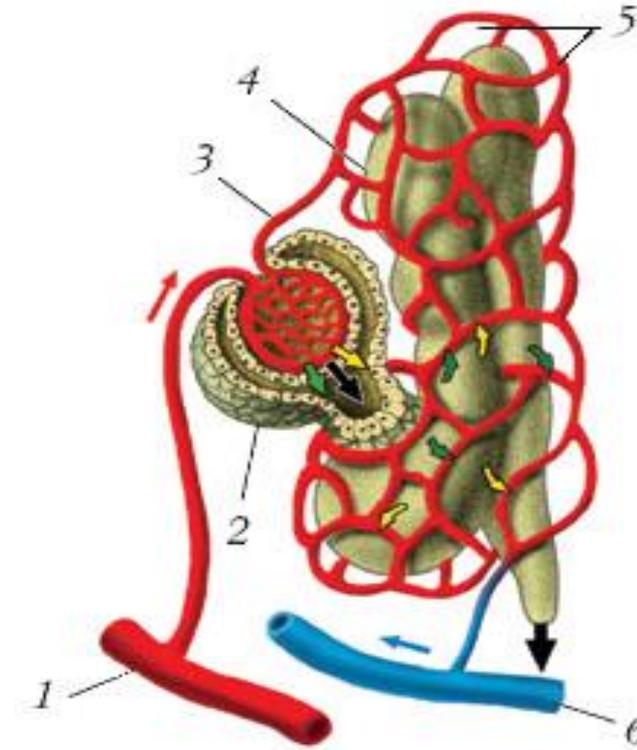
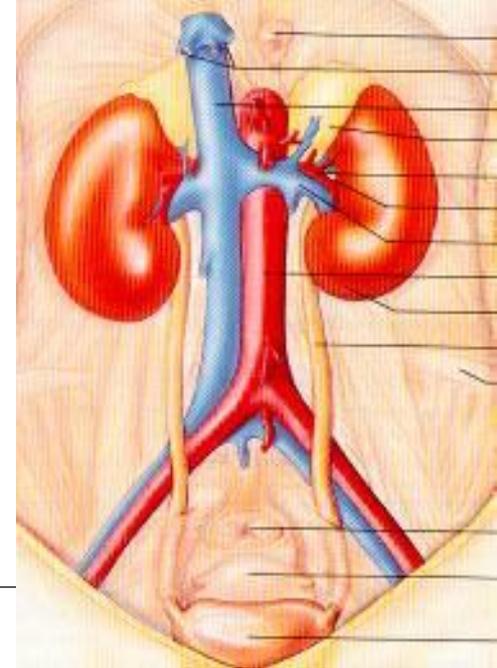
# Гомельский государственный медицинский университет

Кафедра нормальной и  
патологической физиологии

## Физиология выделения.

Лекция для студентов 2 курса

*Ст. преподаватель Медведева Г.А.*



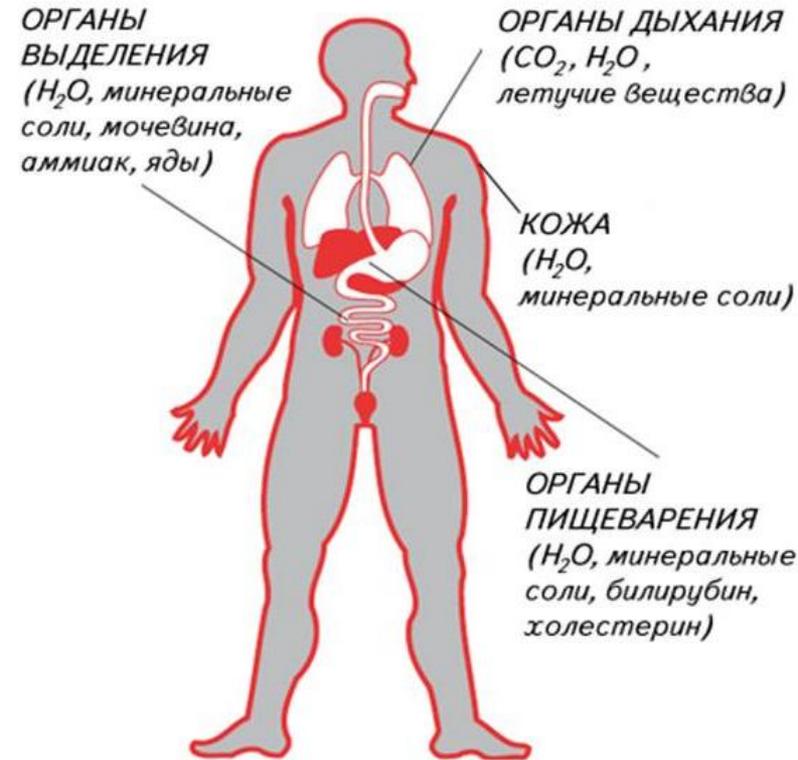
## План лекции:



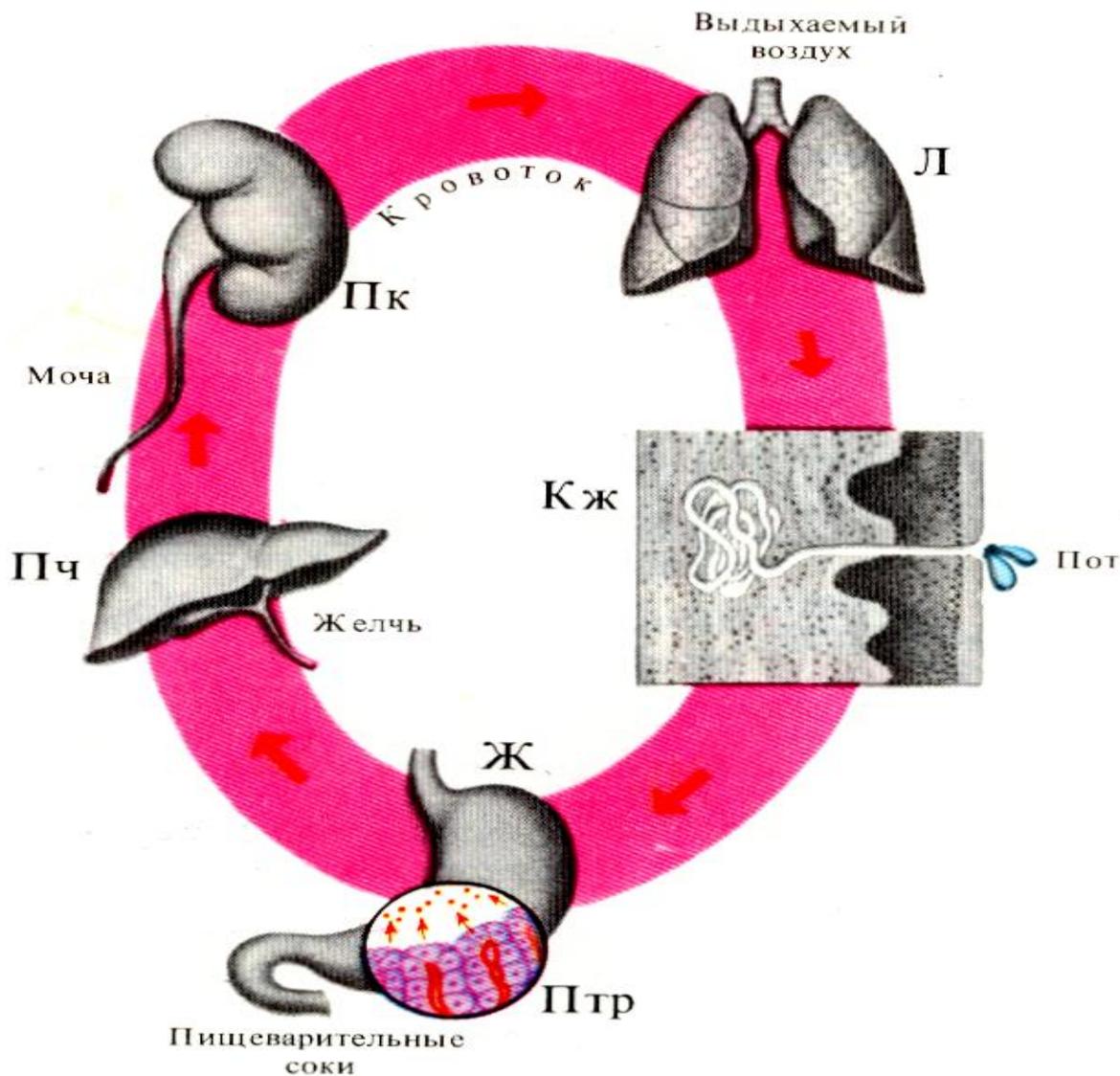
1. Органы выделения, их участие в поддержании гомеостаза.
2. Нефрон, как морфофункциональная единица почки. Особенности кровообращения в почках.
3. Фильтрационно-реабсорбционная теория образования мочи.
4. Механизмы клубочковой фильтрации.
5. Механизмы реабсорбции. Поворотно-противоточная система.
6. Секреторные процессы в канальцах.
7. Гомеостатические функции почек.
8. Регуляция деятельности почек.
9. Состав и свойства конечной мочи. Мочеиспускание и его регуляция.

**Выделение** – процесс, обеспечивающий удаление из организма:

- конечных продуктов обмена,
- чужеродных и токсических веществ,
- избытка воды, солей и органических соединений.



# Органы принимающие участие в выделительных процессах



## Органы выделения:

**Почки** (основной орган выделения)

**Легкие:**  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , летучие вещества (пары эфира, хлороформа, алкоголя, ацетон)

**ЖКТ:** вода, соли, тяжелые металлы, лекарственные вещества, чужеродные органические соединения

**Печень:** гормоны, продукты обмена гемоглобина, азотистого метаболизма, тяжелые металлы, лекарственные препараты.

**Железы кожи:**

- **потовые** (вода, соли, при патологии почек и печени – остаточный азот, желчные кислоты)
- **сальные и молочные железы**

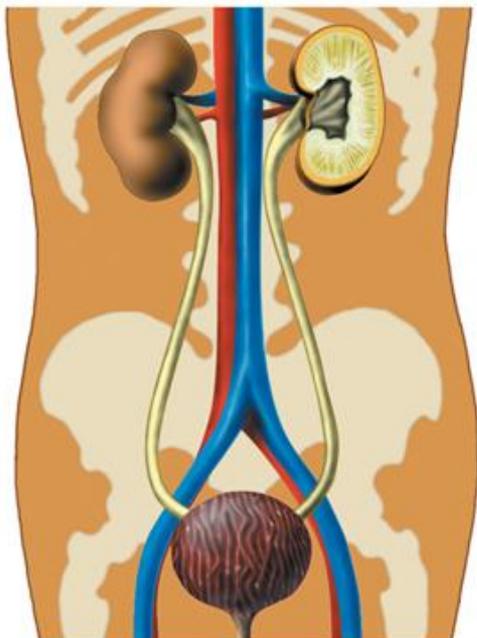


# Мочевыделительная система



Мочеобразующие органы

Почки



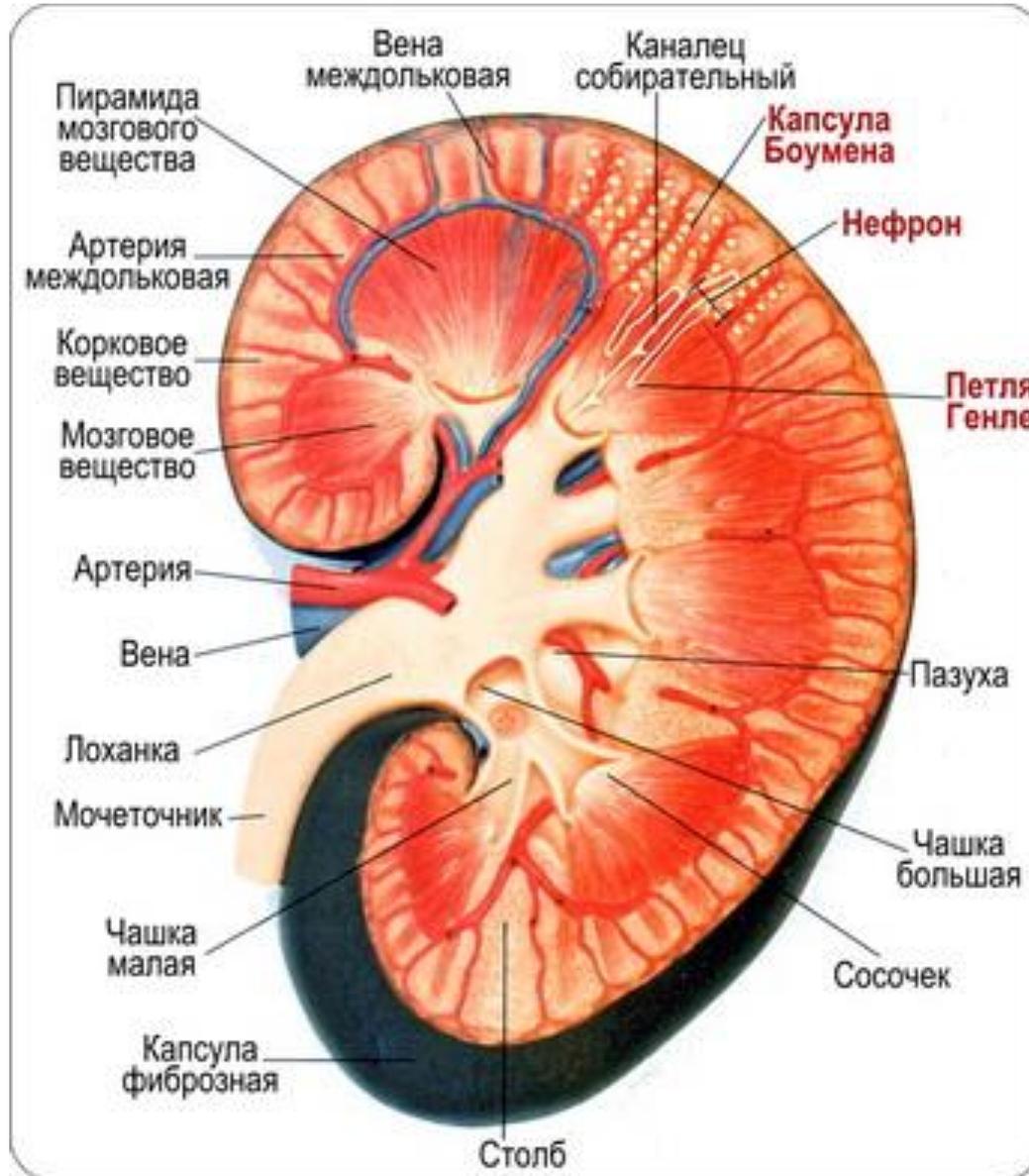
Мочевыводящие органы

Мочеточники

Мочевой пузырь

Мочеиспускательный канал

# Строение почки



**Нефрон** - структурная и функциональная единица почки.



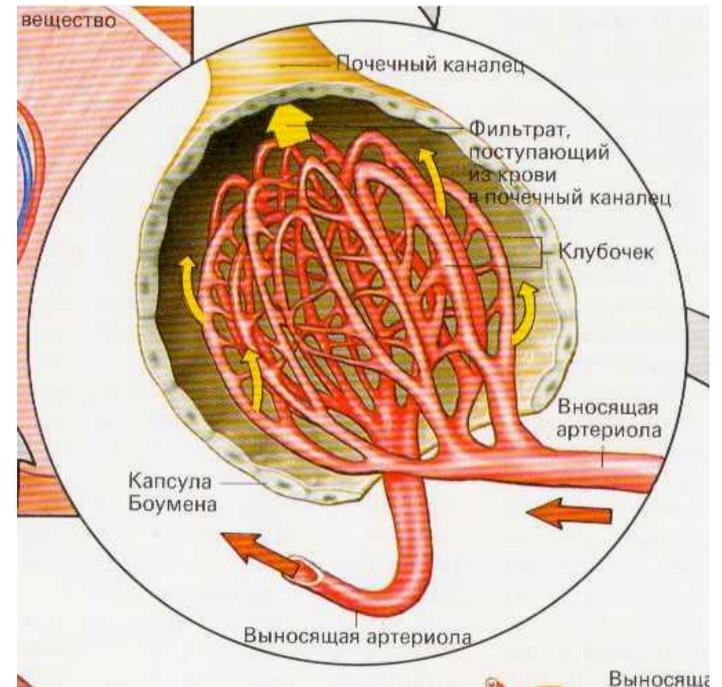
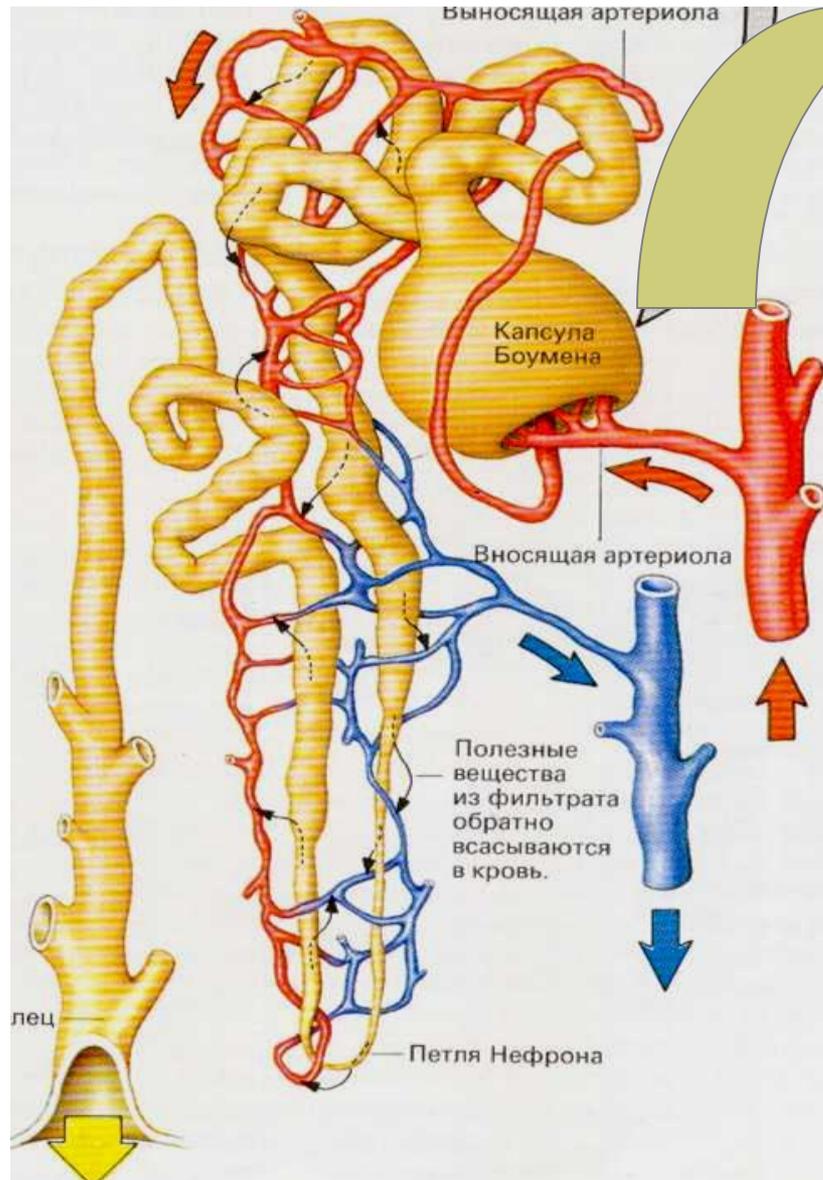
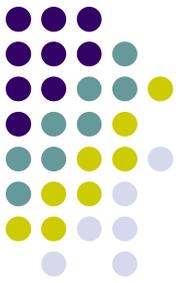
### Строение нефрона:

- двустенная капсула (**капсула Шумлянского - Боумена**), внутри - клубочек капилляров,
- **проксимальный каналец** (извитой и прямой),
- **петля Генле** (нисходящая часть, колено, восходящая тонкая и толстая часть),
- **дистальный извитой каналец**,
- **собирательная трубочка.**

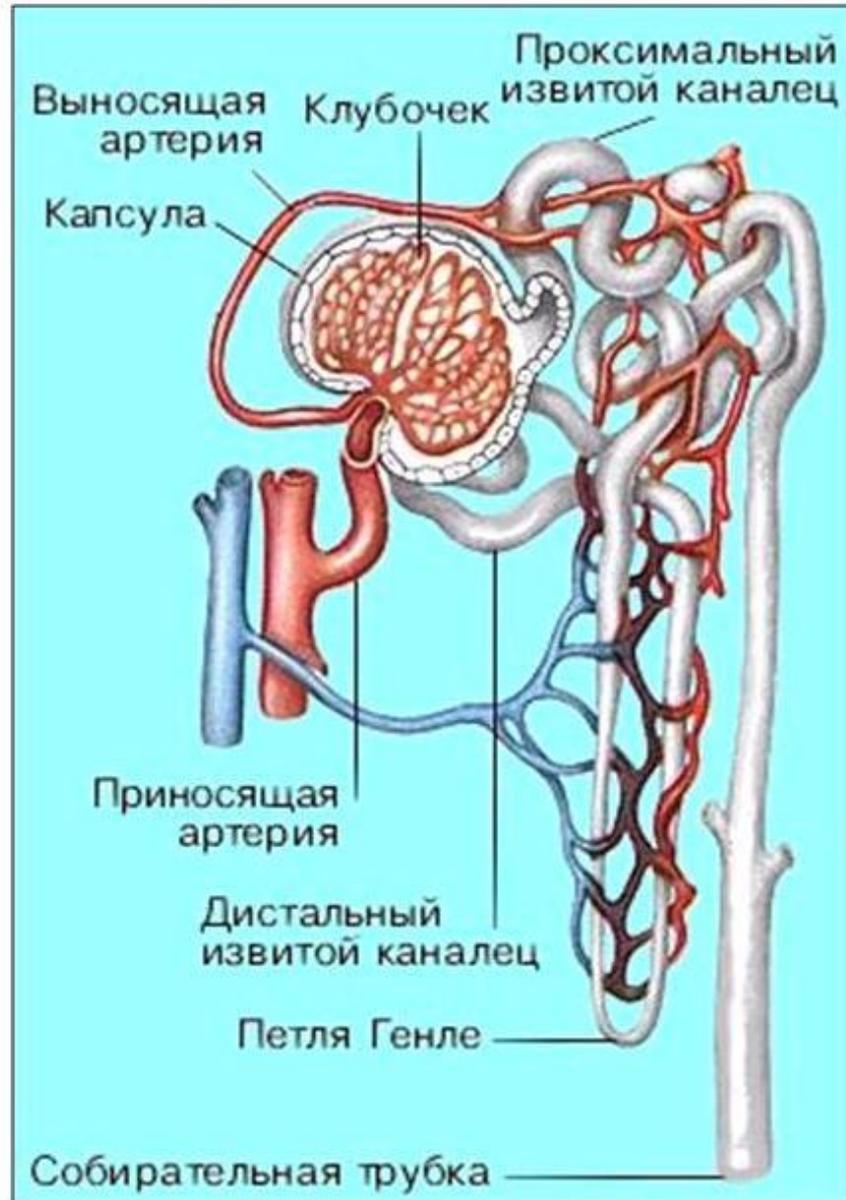
### Юкстагломерулярный комплекс –

область контакта дистального извитого канальца с клубочком между приносящей и выносящей артериолами (секреция в кровь ренина).

# Строение нефрона



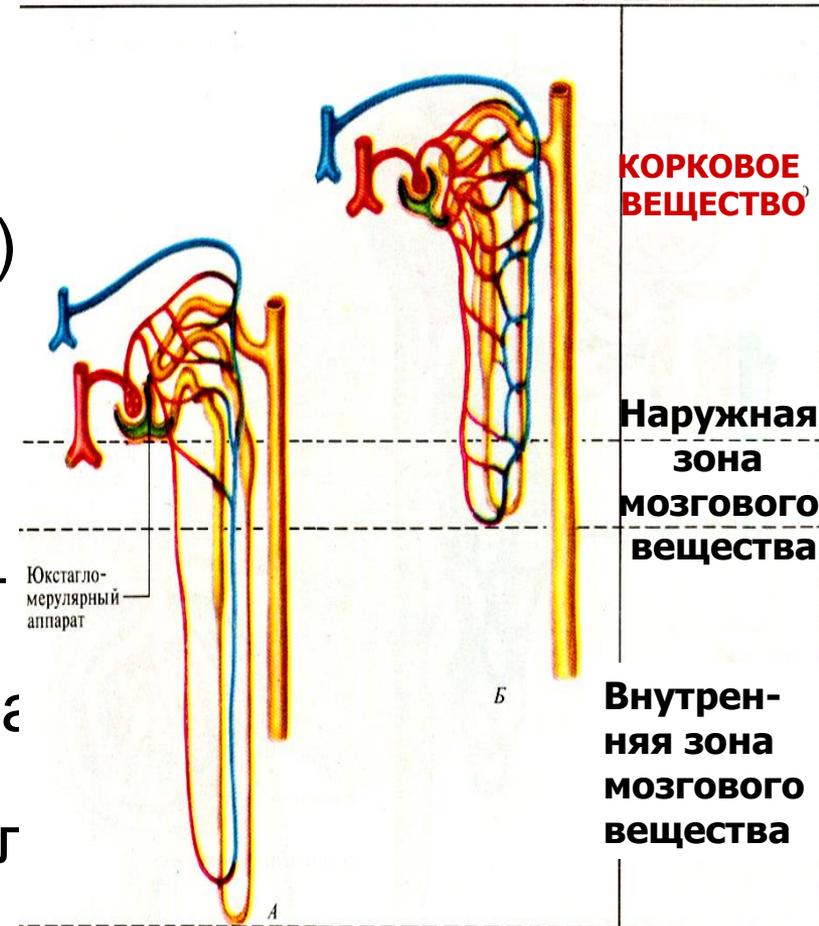
# Строение нефрона



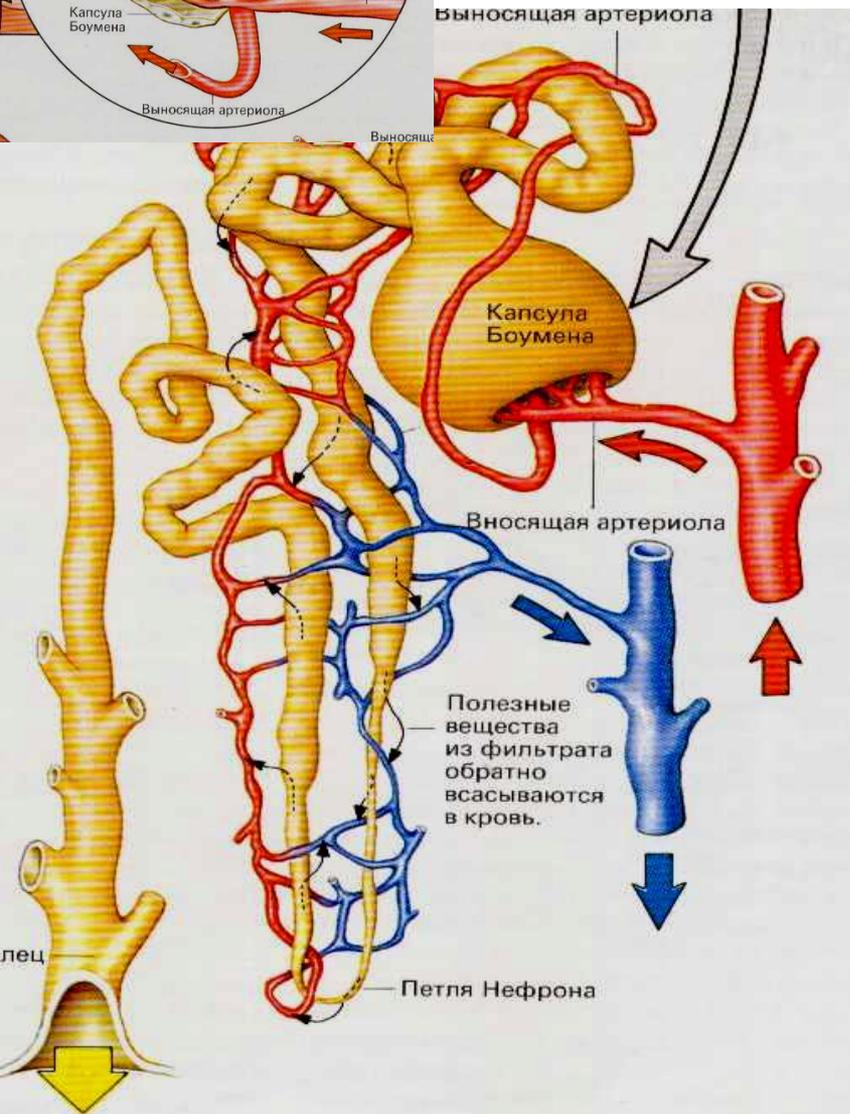
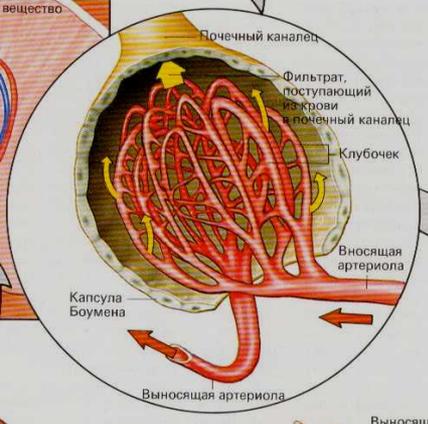
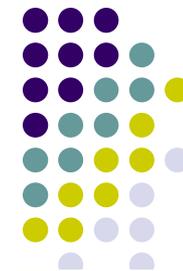
# Типы нефронов:

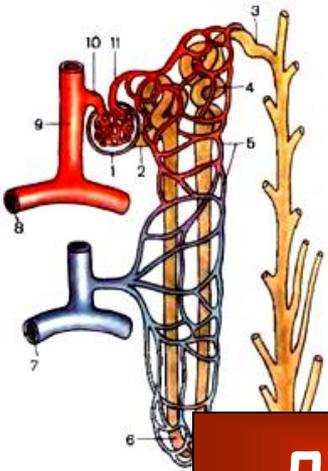


- **суперфициальные** (20-30%) — поверхностные, обладают короткой петлей Генле;
- **интракортикальные** (60-70%) — внутри коркового слоя, могут иметь как короткую, так и длинную петлю Генле;
- **юкстамедулярные** (10-15%) — клубочки лежат у границы коркового и мозгового вещества; петли Генле длинные и проникают во внутренний отдел мозгового вещества.



# Особенности кровоснабжения нефрона





аорта

почечная артерия

дуговые аа

междолевые аа

приносящие  
артериолы

капилляры почечных  
клубочков

70 мм  
рт. ст.

перитубулярные  
капилляры

выносящие  
артериолы

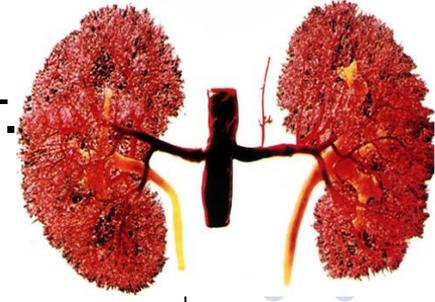
20  
мм  
рт. ст

прямые сосуды

венулы

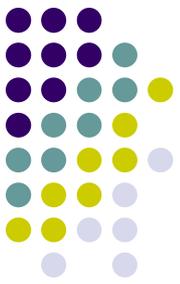
## Особенности кровоснабжения почки:

- 1) **Высокий объемный кровоток** - 1800 л/сут.  
Скорость кровотока в минуту - 1,2 л/мин.
- 2) **Двойная (чудесная) сеть капилляров.**
- 3) **Высокое давление в капиллярах клубочка** - 70 мм Нг. Обусловлено тем, что:
  - почечные артерии отходят непосредственно от аорты, их длина невелика;
  - диаметр приносящей артериолы в 2 раза больше, чем выносящей.
- 4) **Различия капиллярных сосудов мозгового вещества у корковых и юкстамедуллярных нефронов**  
(прямые длинные петли).
- 5) **Наличие механизмов саморегуляции коркового кровообращения.**



При изменении системного артериального давления (от 90 до 190 мм.рт.ст) кровоток почки остается постоянным (**феномен Остроумова – Бейлиса**).





В почках различают 2 круга кровообращения:

- большой корковый - **85-90%** крови,
- малый юкстамедулярный - **10-15%** крови.

### **Отличие кровоснабжения юкстамедулярного нефрона:**

- 1) диаметр приносящей артериолы примерно равен диаметру выносящей артериолы,
- 2) эфферентная артериола образует прямые сосуды, которые спускаются в мозговое вещество.

Юкстамедулярный путь - "шунт" (большая часть крови поступает в мозговое вещество).

# Фильтрационно-реабсорбционная теория



Образование мочи происходит в 3 фазы:

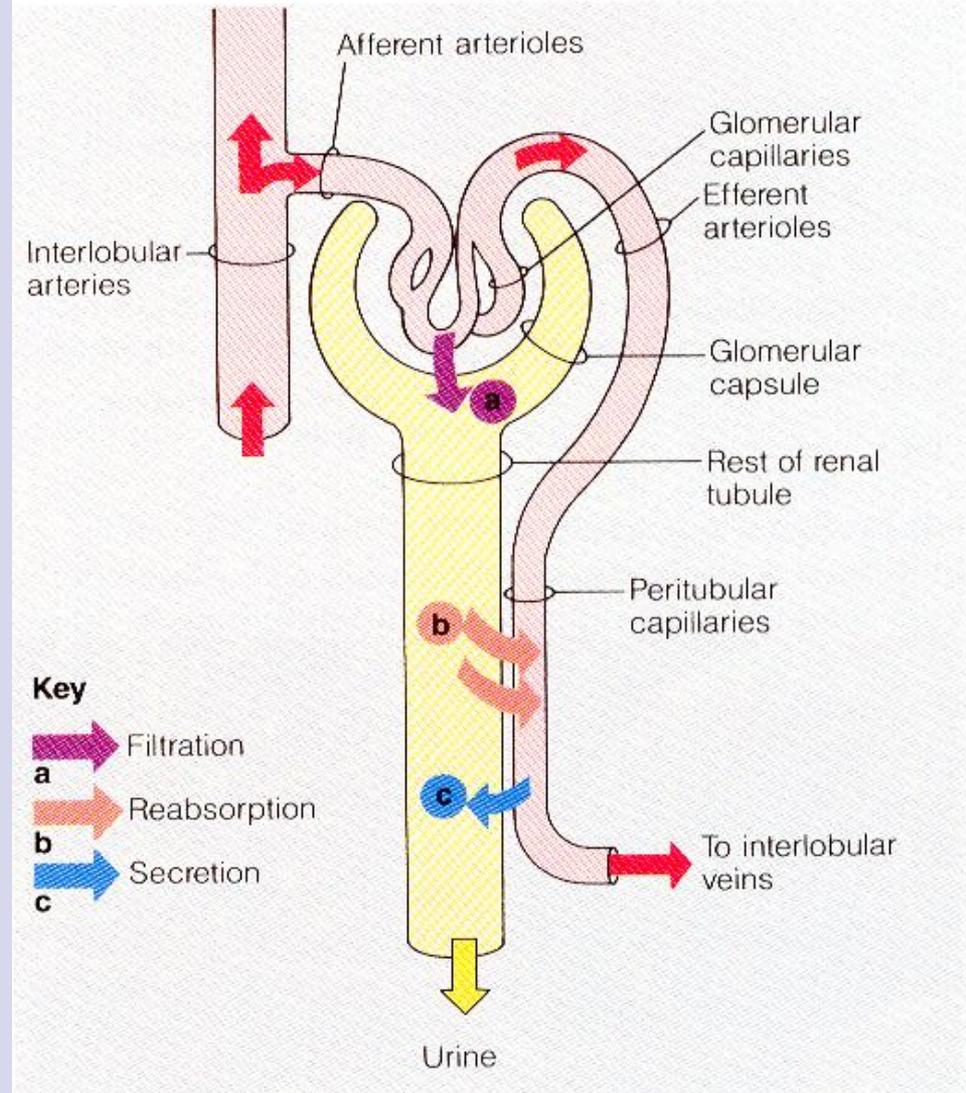
**1. Клубочковая фильтрация**

*(первичная моча)*

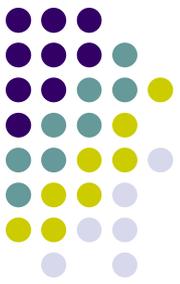
**2. Канальцевая реабсорбция**

*(вторичная моча)*

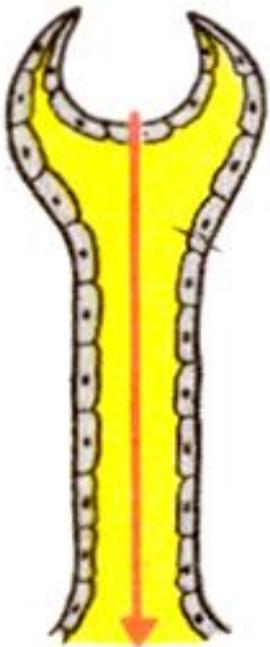
**3. Секреция**



# КЛУБОЧКОВАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ КАНАЛЬЦЕВАЯ РЕАБСОРБЦИЯ КАНАЛЬЦЕВАЯ СЕКРЕЦИЯ

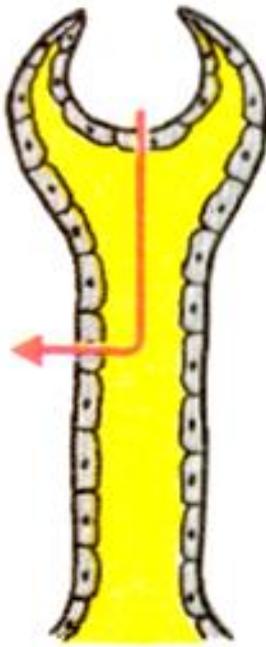


Фильтрация



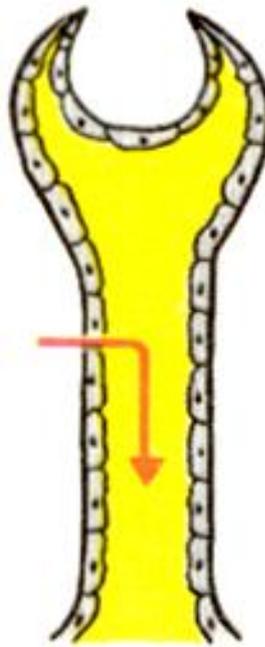
Инулин

Реабсорбция



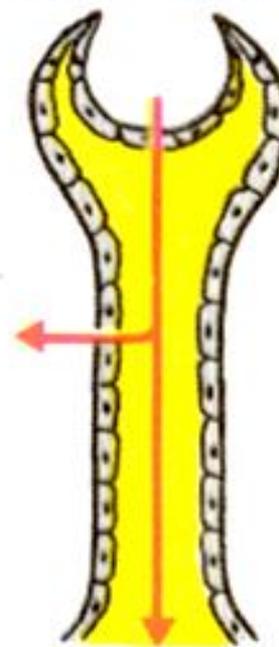
Глюкоза  
в норме

Секреция



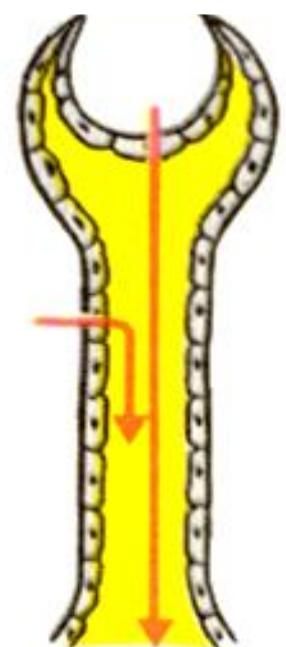
Ионы  $K^+$

Фильтрация  
и реабсорбция



Мочевина,  
Глюкоза  
при гипергликемии

Фильтрация  
и секреция



Диодрост

## ***Клубочковая фильтрация –***

фильтрация безбелковой жидкости из плазмы крови в капсулу почечного клубочка, в результате чего образуется первичная моча.

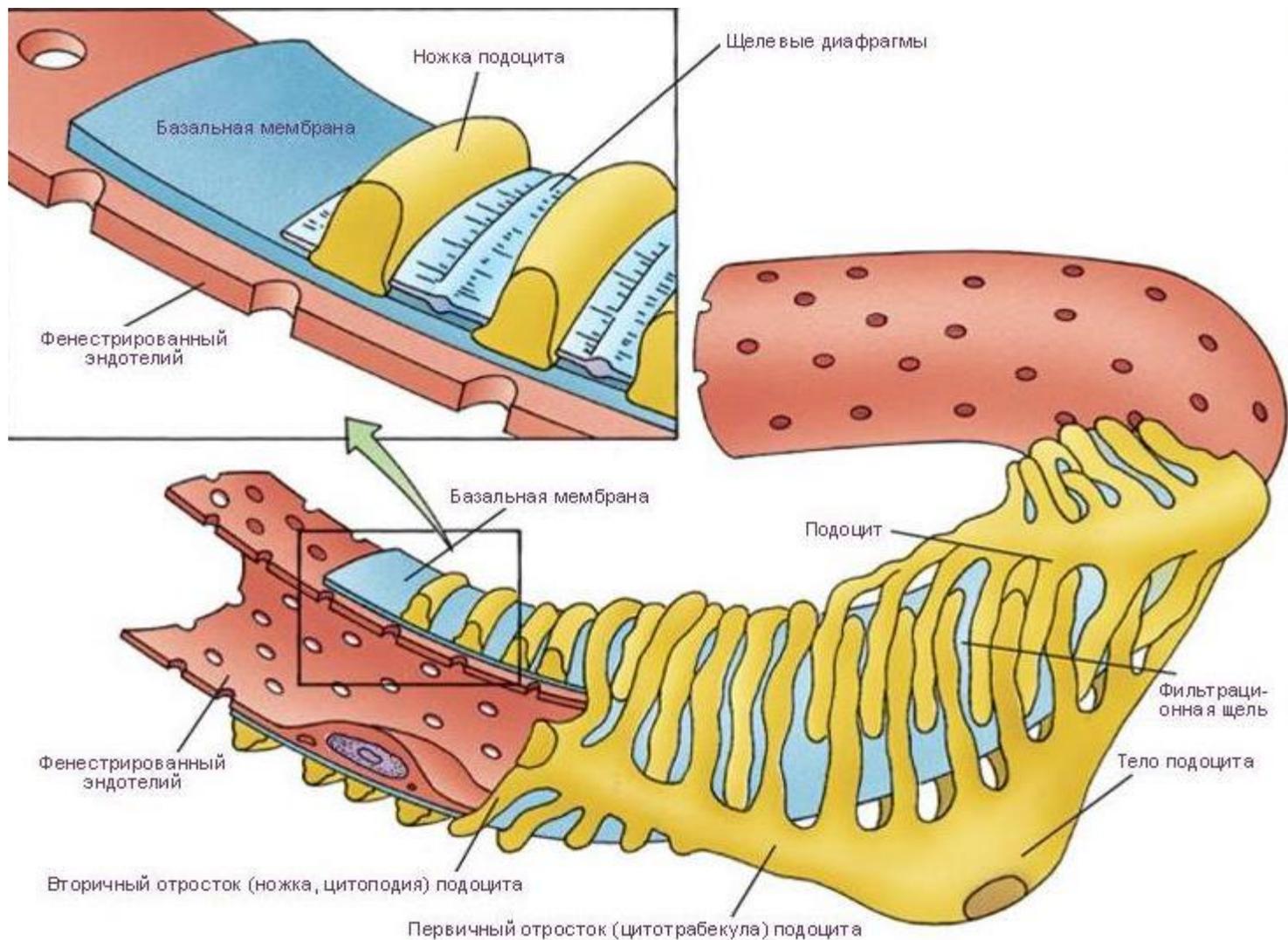


**Фильтрующая мембрана** состоит из трех слоев:

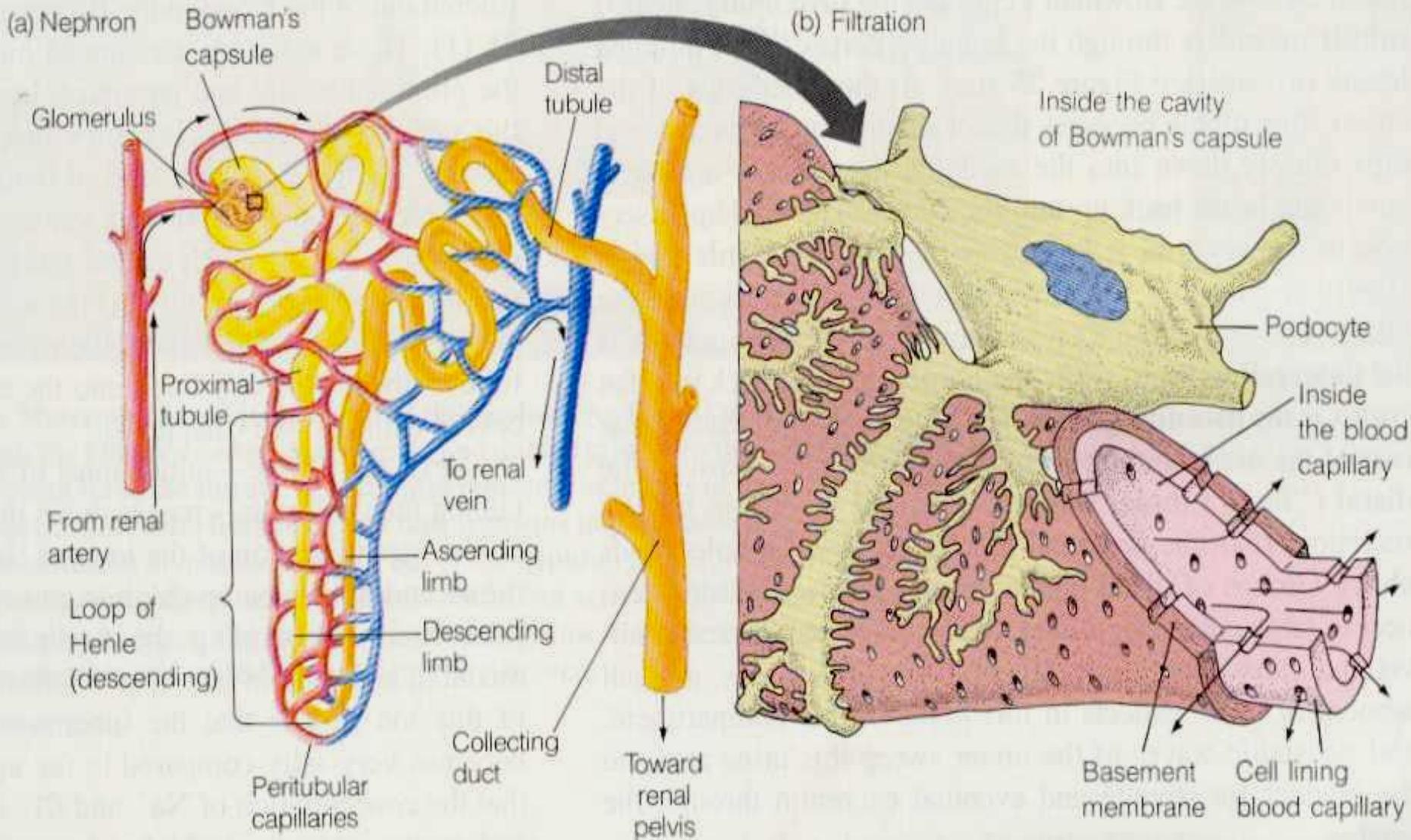
- 1) эндотелий гломерулярных капилляров («фенестры»  $d$  40 – 100 нм).
- 2) базальная мембрана (гелеподобное образование,  $d$  пор 2,9 – 3,7 нм)
- 3) однорядный слой эпителиальных клеток – подоцитов ( $d$  щелей между педиклами подоцитов 24-30 нм)

Прохождению белков через фильтр препятствует отрицательно заряженные молекулы в веществе базальной мембраны.

# Гломерулярный фильтр



# Гломерулярный фильтр



# **Механизмы клубочковой фильтрации:**



- **физико-химические**

- фильтрационное давление
- отрицательный заряд пор

- **биологические**

- сокращение подоцитов
- сокращение мезангиальных клеток

В норме через гломерулярный фильтр не проходят форменные элементы крови и крупные белки.

Свободно проходят неорганические соли и низкомолекулярные органические соединения (мочевина, мочевая кислота, глюкоза, аминокислоты, креатинин)

Количество первичной мочи - **150-180 л/сутки.**

# Эффективное фильтрационное давление (ЭФД)



$$\text{ЭФД} = \text{ГДК} - (\text{ОДК} + \text{ГДУ})$$

**ГДК** - гидростатическое давление крови в капиллярах клубочка

**ОДК** - онкотическое давление белков плазмы крови

**ГДУ** - гидростатическое давление ультрафильтрата в капсуле клубочка

$$\text{ЭФД} = 70 - (30 + 20) = 20 \text{ мм рт. ст.}$$

При повышении фильтрационного давления диурез увеличивается, при понижении - уменьшается.

***Скорость клубочковой фильтрации:***

125 мл/мин у мужчин

110 мл/мин у женщин



## ***Факторы, определяющие фильтрацию:***

### **1) почечные факторы**

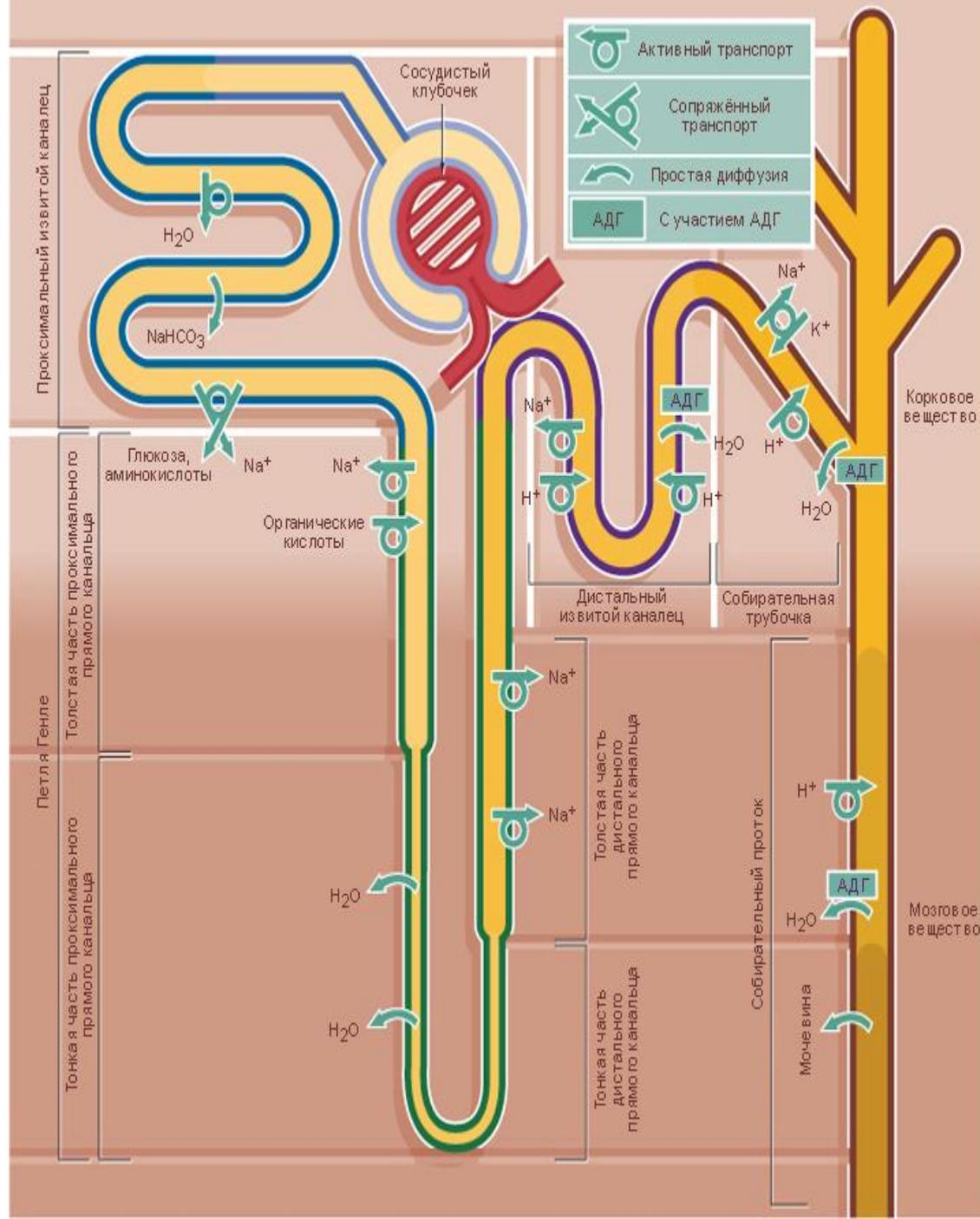
- количество функционирующих клубочков
- диаметр приносящего и выносящего сосудов
- давление фильтрата в капсуле

### **2) внепочечные факторы**

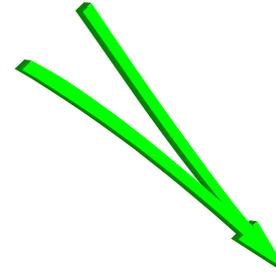
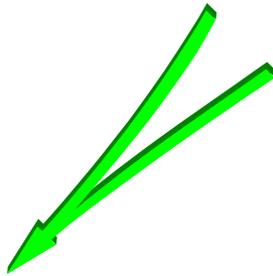
- количество циркулирующей крови, величина АД и скорость кровотока
- степень гидратации организма, осмотическое и онкотическое давление
- функционирование других механизмов выведения мочи (потовые железы)

# Канальцевая реабсорбция

- процесс обратного всасывания профильтровавшихся веществ и воды (из просвета канальца)



# МЕХАНИЗМЫ РЕАБСОРБЦИИ



**Пассивный  
транспорт**

**Активный  
транспорт**

## Пассивный транспорт

- ❑ По градиенту
- ❑ Без затраты энергии
- ❑ Неспецифичен

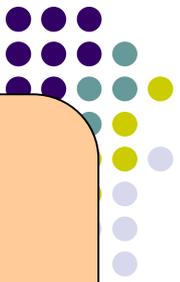
## Активный транспорт

- ❑ Против градиента
- ❑ С затратой энергии

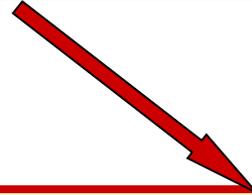
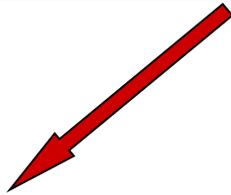
Всегда **специфичен**, т.е. происходит при участии транспортных систем:

- 1) **мобильные переносчики;**
- 2) **конформационные;**
- 3) **мембранные каналы**

# Пути реабсорбции



- I. **Парацеллюлярный** (движение между клетками посредством диффузии или за счет переноса вещества вместе с растворителем)
- II. **Трансцеллюлярный** («через» клетку)



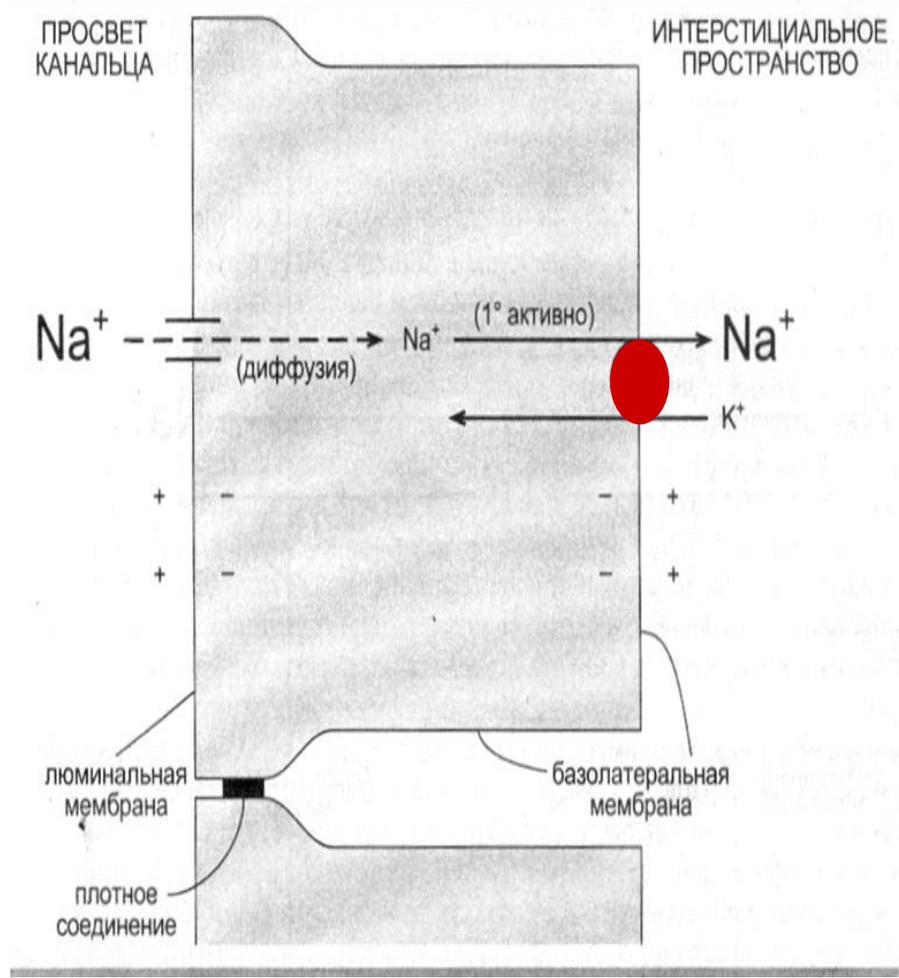
**первично-активный**  
против  
электрохимического  
градиента  
за счет энергии АТФ  
( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  АТФаза)

**вторично-активный**  
против концентрационного  
градиента: переносчик +  
вещество +  $\text{Na}^+$  ,  
*движущая сила* - градиент  
концентрации натрия  
(глюкоза,  
аминокислоты).

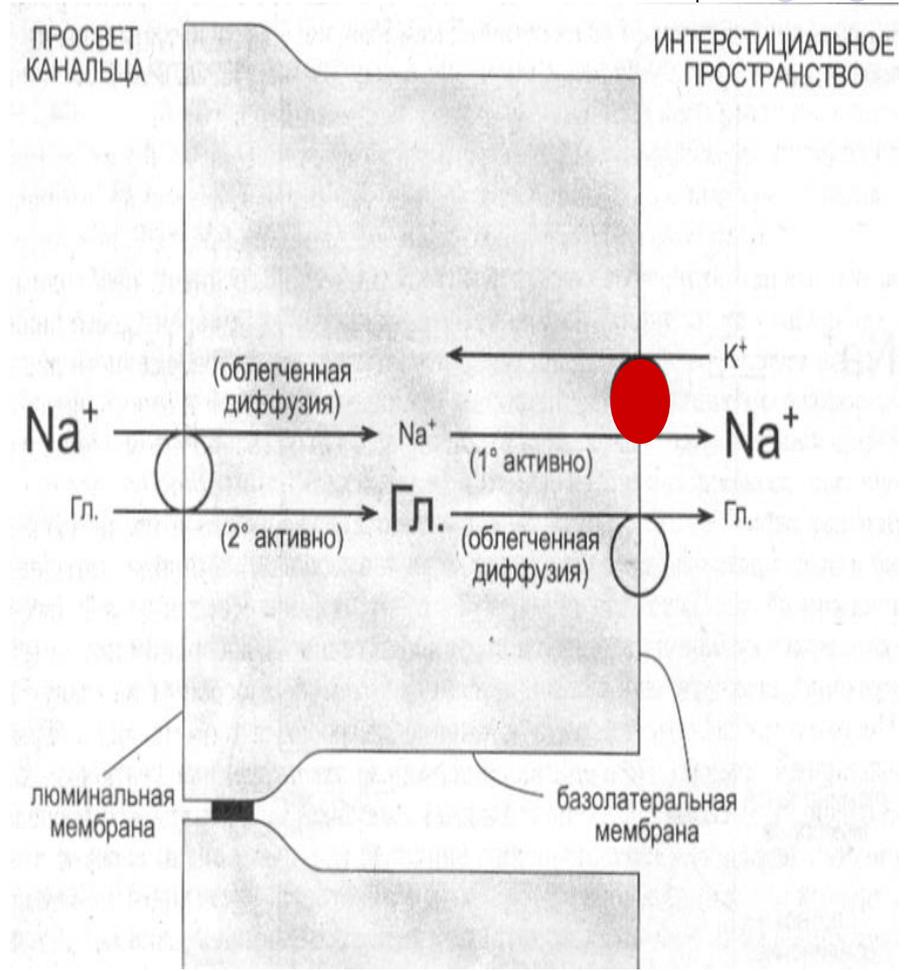


# Диффузия

## Первично-активный транспорт



# Вторично-активный транспорт

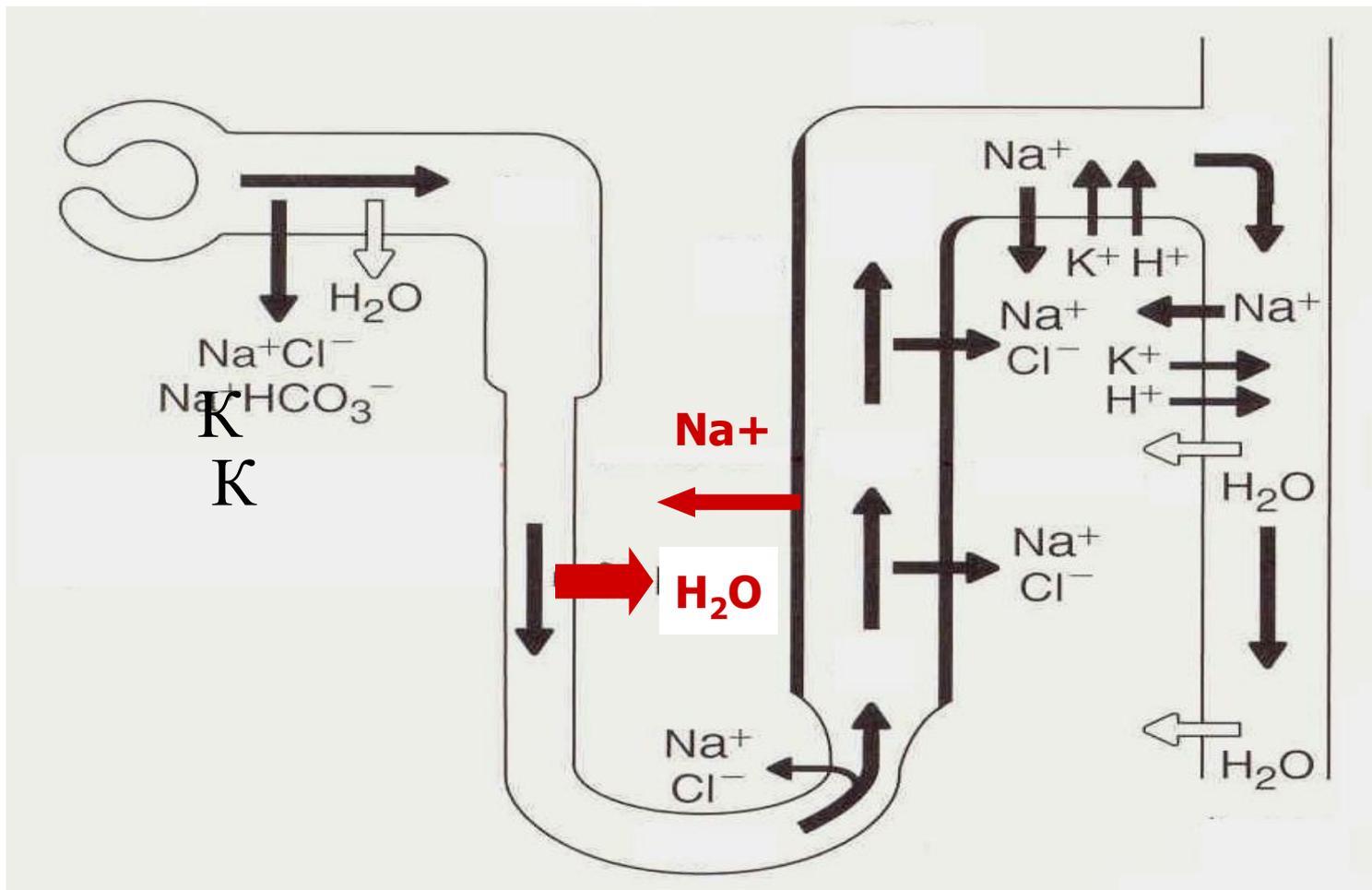


# Вещества, реабсорбируемые в различных частях нефрона



<b>Проксимальный каналец</b>	аминокислоты, глюкоза, витамины, белки, микроэлементы, $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{HCO}_3^-$ , фосфаты, сульфаты, вода, мочеви́на
<b>Нисходящая часть петли Генле</b>	вода
<b>Восходящая часть петли Генле</b>	$\text{Na}^+$ и $\text{Cl}^-$
<b>Дистальный извитой каналец</b>	$\text{Na}^+$ анионы
<b>Собира́тельная трубочка</b>	вода, мочеви́на

Переход NaCl из восходящей части петли увеличивает осмолярность интерстициальной жидкости, что приводит к большей реабсорбции воды посредством диффузии из нисходящей части петли



# Факторы, влияющие на реабсорбцию



## *Почечные факторы:*

- Реабсорбционная способность почечного эпителия
- Содержание пороговых и непороговых веществ в первичной моче

## *Внепочечные факторы:*

- Эндокринная регуляция деятельности почечного эпителия со стороны желез внутренней секреции
- Содержание пороговых и непороговых веществ в крови

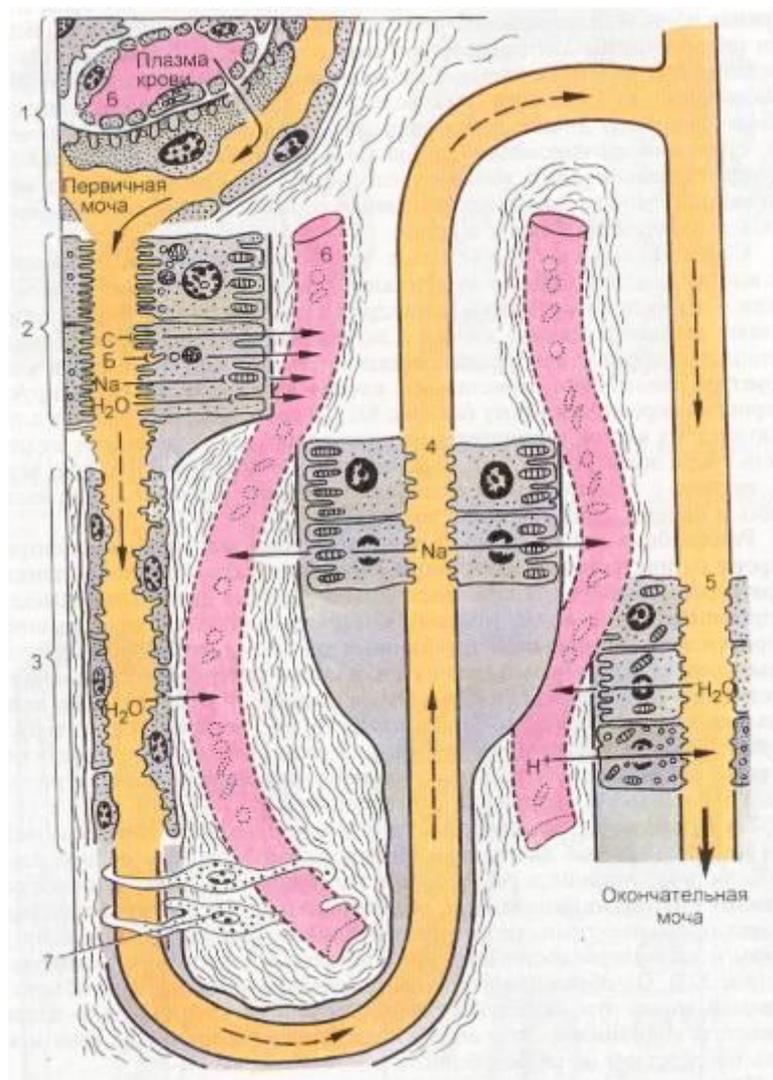
# Пороговые и непороговые вещества



***Пороговые вещества*** - появляются в конечной моче, если их концентрация в крови превышает определенную величину (глюкоза, аминокислоты и др.)

***Непороговые вещества*** - выделяются с мочой при любой концентрации их в плазме крови (инулин, креатинин и др.)

# Поворотно-противоточная множительная система



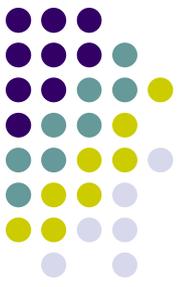
# Поворотно-противоточная множительная система.

Обеспечивает образование осмотически концентрированной мочи



*Компонентами противоточно-множительной системы являются:*

- ❖ тонкие сегменты восходящих и нисходящих частей петель Генле,
- ❖ медуллярные отделы собирательных трубок,
- ❖ восходящие и нисходящие прямые сосуды,
- ❖ интерстиций сосочка почки и др.



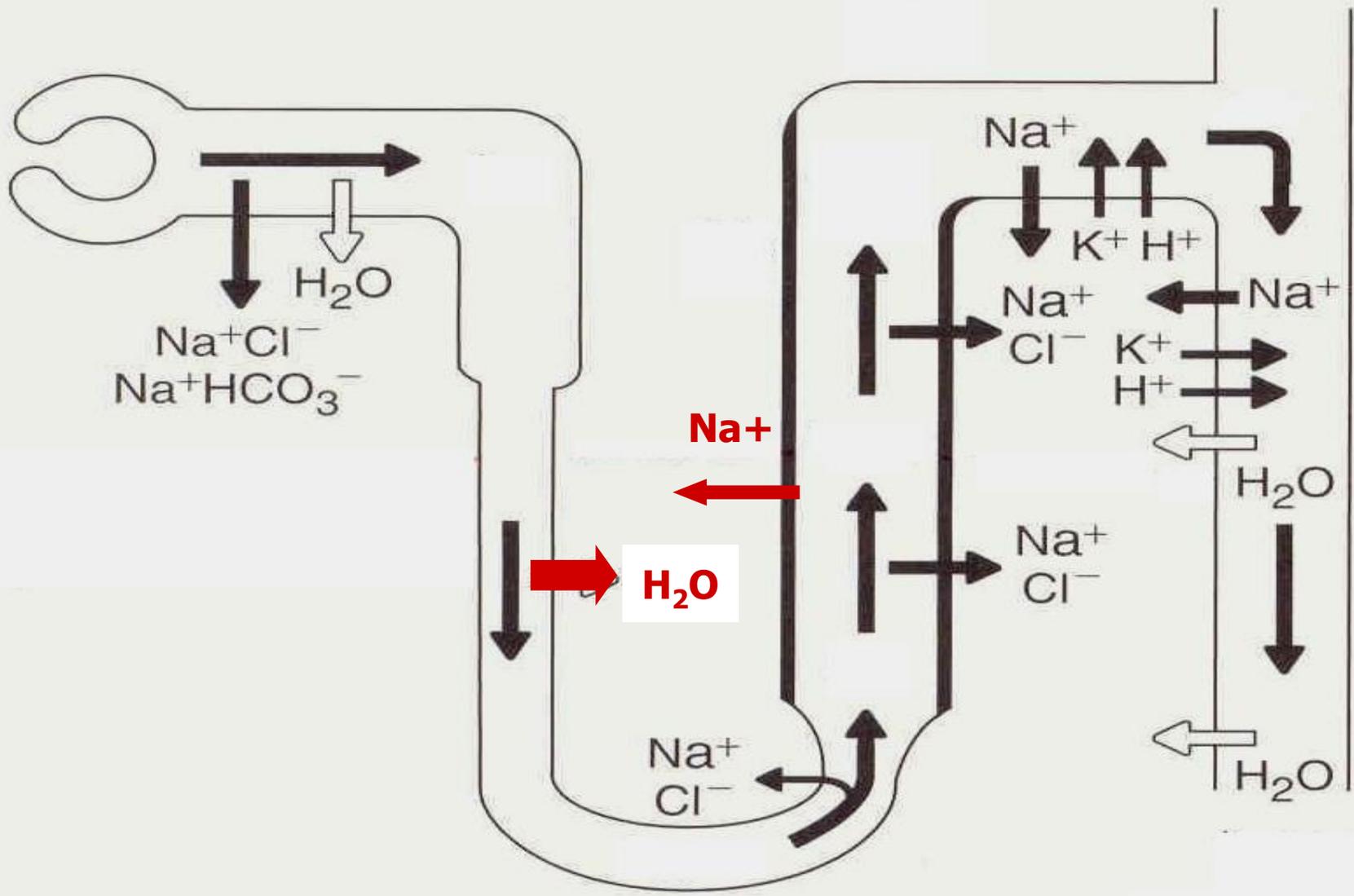
Сущность поворотно-противоточной системы состоит в том, что нисходящая и восходящая части петли Генле, тесно соприкасаясь друг с другом, функционируют сопряженно.

Эпителий *нисходящего отдела* петли **пропускает воду**, но не пропускает  $\text{Na}^+$ .

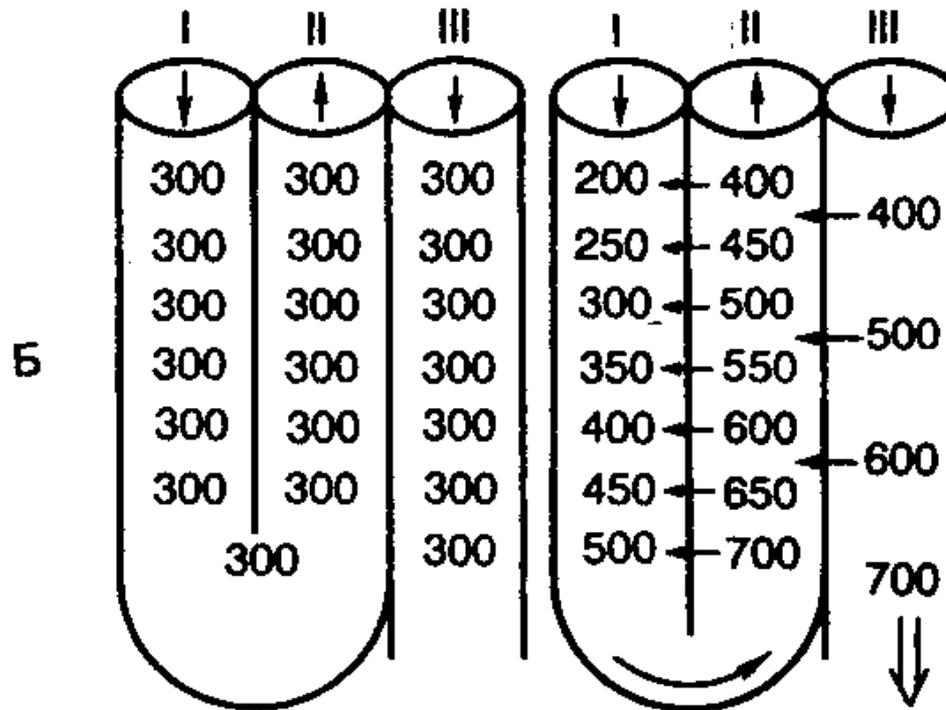
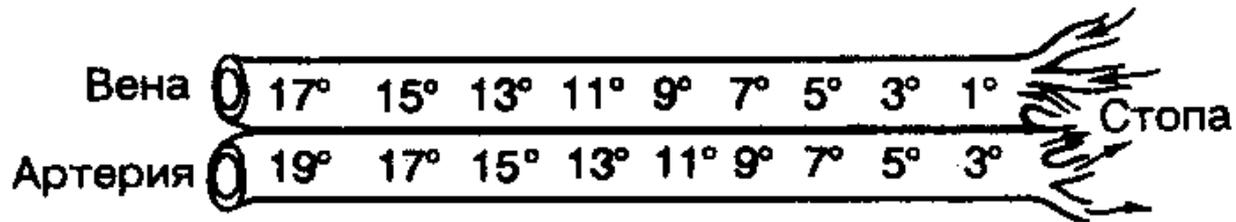
Эпителий *восходящего отдела* петли активно **реабсорбирует  $\text{Na}$** , но не пропускает воду.

На вершине петли Генле – канальцевая жидкость становится **гипертоничной**,  
в конце восходящей части петли -  
**гипотоничной**.

Концентрирование жидкости в одном колене происходит за счет разбавления в другом.



# Функционирование поворотной-противоточной системы



Исходное состояние

Концентрирование мочи

## **Внутрипочечный кругооборот мочевины.**



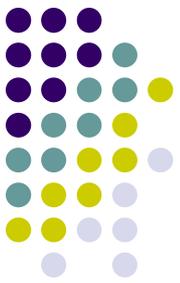
Мочевина фильтруется в клубочках.

**В проксимальном канальце** реабсорбируется до 50% профильтровавшейся мочевины.

**Петля Генле, дистальный извитой каналец** - относительно непроницаемы для мочевины.

**В собирательных трубках** внутренних отделов мозгового слоя - реабсорбция мочевины посредством облегченной диффузии (еще 10% мочевины).

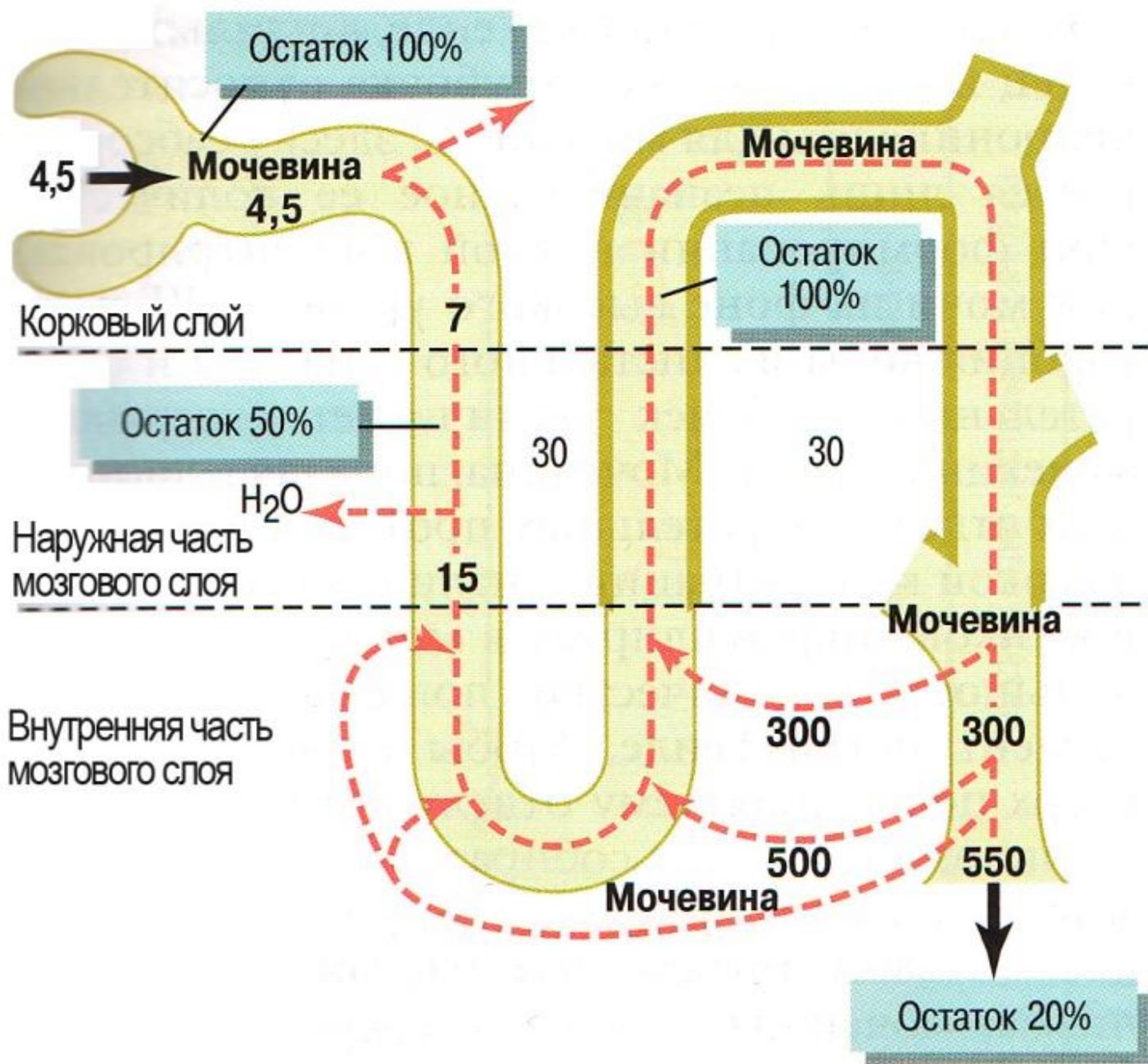
Антидиуретический гормон увеличивает проницаемость собирательных трубок мозгового вещества почки для воды и мочевины.



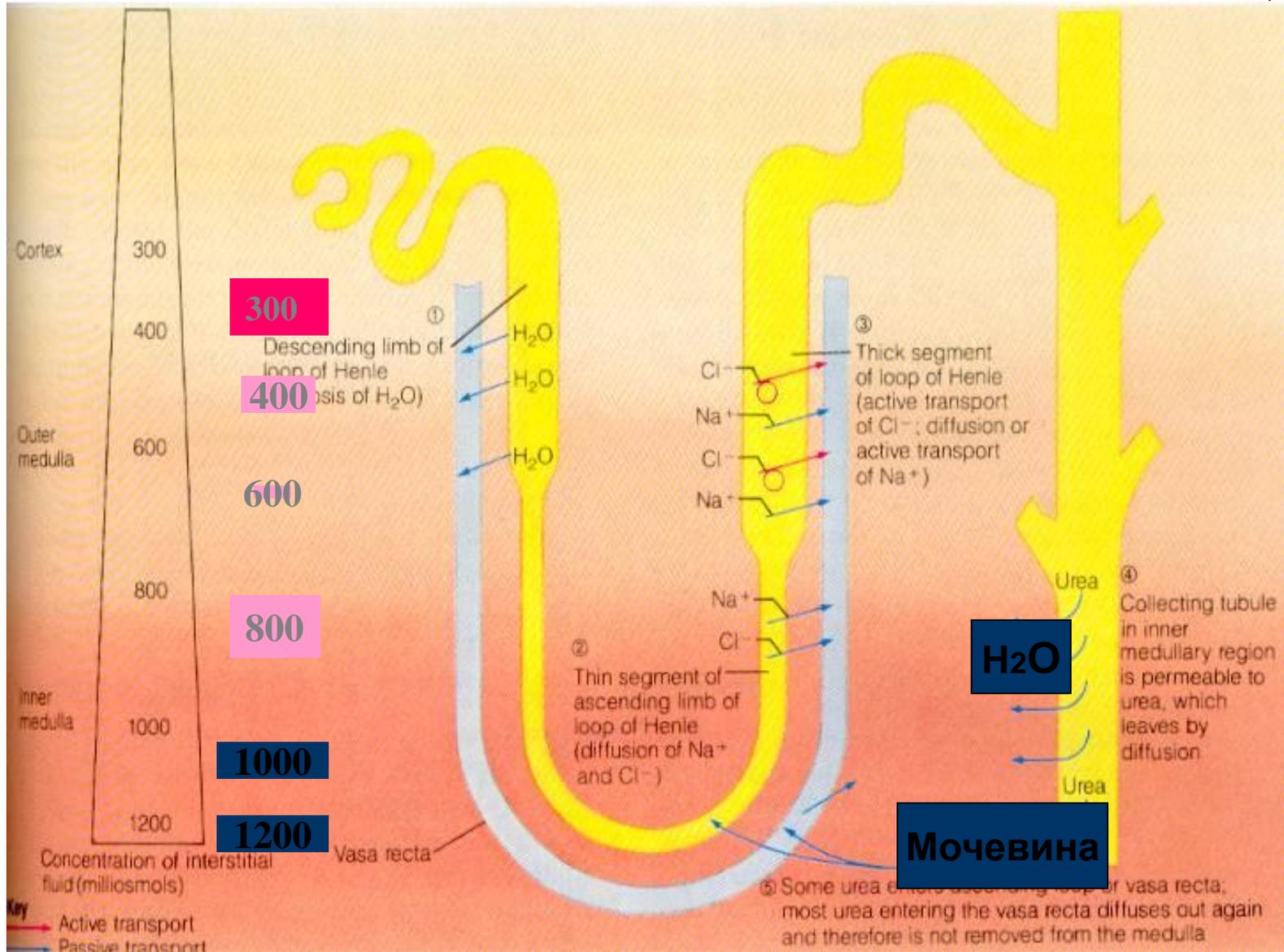
Мочевина диффундирует в мозговое вещество почки , что повышает осмолярность межтубулярной ткани и увеличивает реабсорбцию воды из собирательных трубочек.

Мочевина проникает в просвет прямого сосуда и тонкого отдела петли нефрона, и поднимаясь по направлению к корковому веществу, участвует в противоточном обмене.

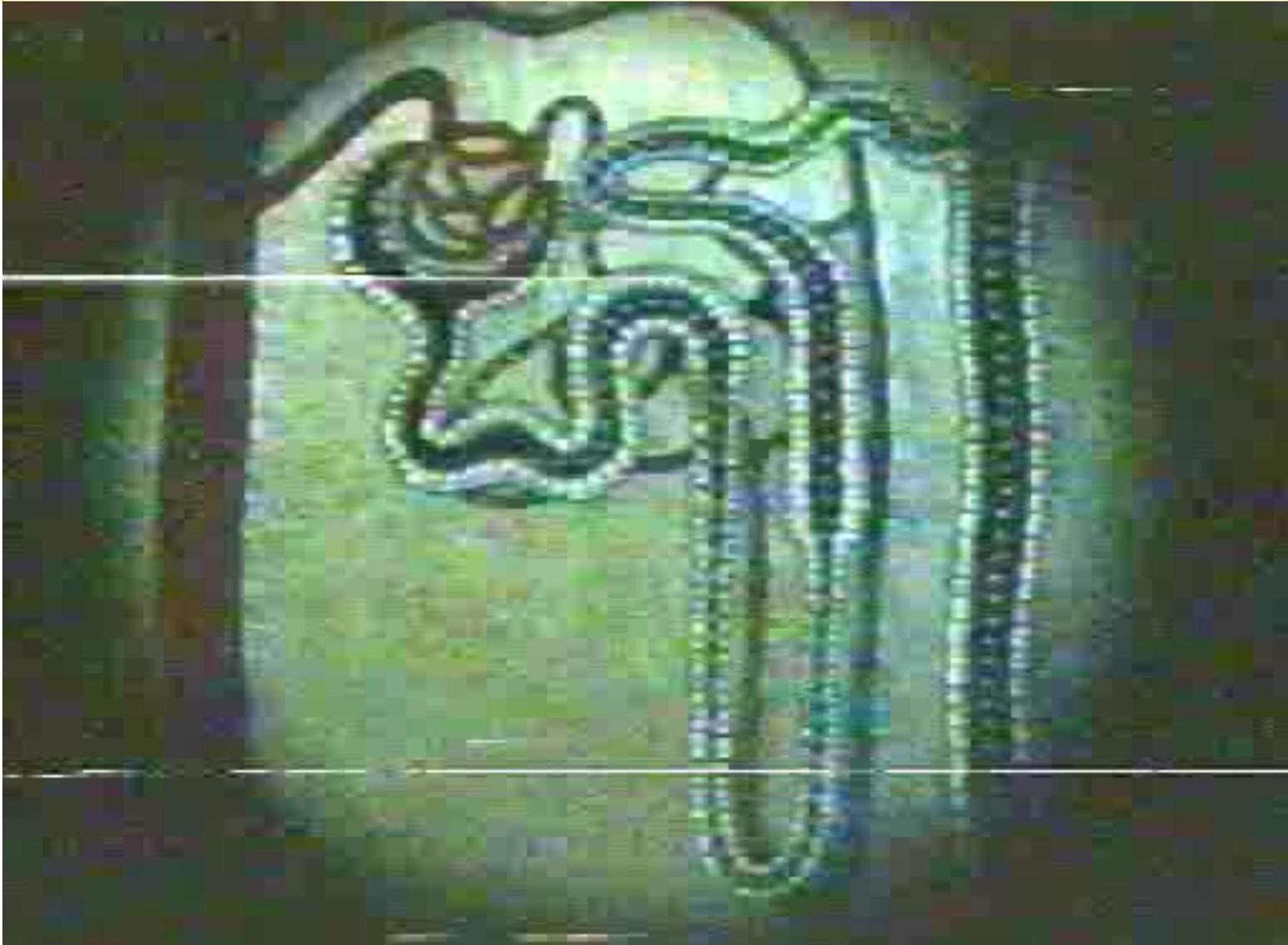
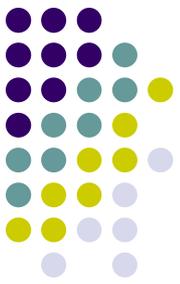
# Кругооборот мочевины



# Кругооборот мочевины



# ***КАНАЛЬЦЕВАЯ СЕКРЕЦИЯ***



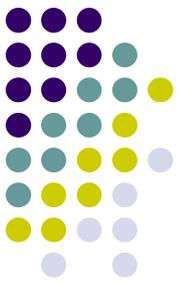
# Канальцевая секреция -



перенос веществ из внеклеточной жидкости в просвет канальца, либо выделение в просвет канальца молекул, синтезированных в клетках канальца.

В почках секретируются:

- 1) органические кислоты** - парааминогиппуровая кислота (ПАГ), мочевая кислота, пенициллин, диодраст (рентгеноконтрастное вещество) и др.
- 2) органические основания** – холин, гуанидин, тиамин и др.
- 3) неорганические вещества** -  $K^+$ ,  $H^+$  и др.



В проксимальном сегменте нефрона – секреция органических кислот и оснований.

В конечных частях дистального сегмента и собирательных трубках могут секретироваться ионы  $K^+$ ,  $H^+$ , аммиак.

## Понятие о клиренсе.

Почечный клиренс вещества отражает скорость очищения плазмы от данного вещества



$$C_v = \frac{M_v \times V}{P_v} \text{ (мл/мин)},$$

$C_v$  - клиренс вещества,

$M_v$  - концентрация вещества в моче,

$P_v$  - концентрация вещества в плазме крови,

$V$  - объем мочи, образующейся за 1 мин.

## Регуляция деятельности почек



**Нервный центр** - гипоталамо-лимбико-ретикулярные структуры и кора больших полушарий.

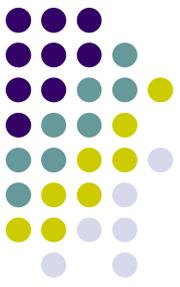
Рецепторы:

### 1) Хеморецепторы:

- центральные (гипоталамуса) осморецепторы,
- периферические осморецепторы (дуга аорты и каротидного синуса, печени, почек, селезенки, сердца и др.),
- натриорецепторы.

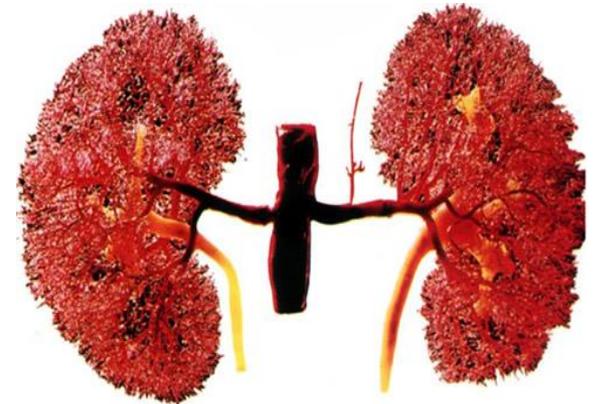
### 2) Волюморецепторы (в предсердиях, полых венах).

### 3) Барорецепторы (дуга аорты и каротидного синуса).

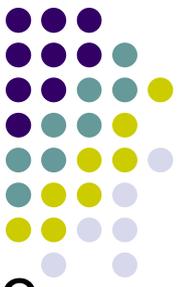


**Симпатикотония** - уменьшение кровотока  
в мозговом веществе и снижение диуреза.

Работа почки регулируется **корой большого мозга** (возможность выработки условных мочеотделительных рефлексов, увеличивающих или уменьшающих диурез).



# Гуморальная регуляция



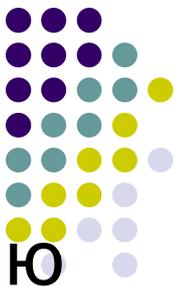
**Норадреналин** стимулирует секрецию **ренина**, который оказывает вазоконстрикторное действие, ЭФД повышается и фильтрация увеличивается.

**Антидиуретический гормон** – увеличивает реабсорбцию воды.

**Натрийуретический гормон** (вырабатывается в предсердиях).

*Эффекты:*

- вазодилатация, снижение АД;
- уменьшает реабсорбцию натрия и хлора;
- стимулирует клубочковую фильтрацию и снижает реабсорбцию воды;
- подавляет секрецию ренина.



***Альдостерон*** – увеличивает реабсорбцию натрия и уменьшает реабсорбцию калия.

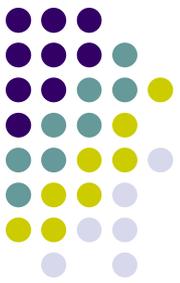
***Паратгормон и кальцитриол:***  
увеличивают реабсорбцию кальция.

***Тиреокальцитонин:*** уменьшает реабсорбцию кальция.

## Гомеостатические функции почек:

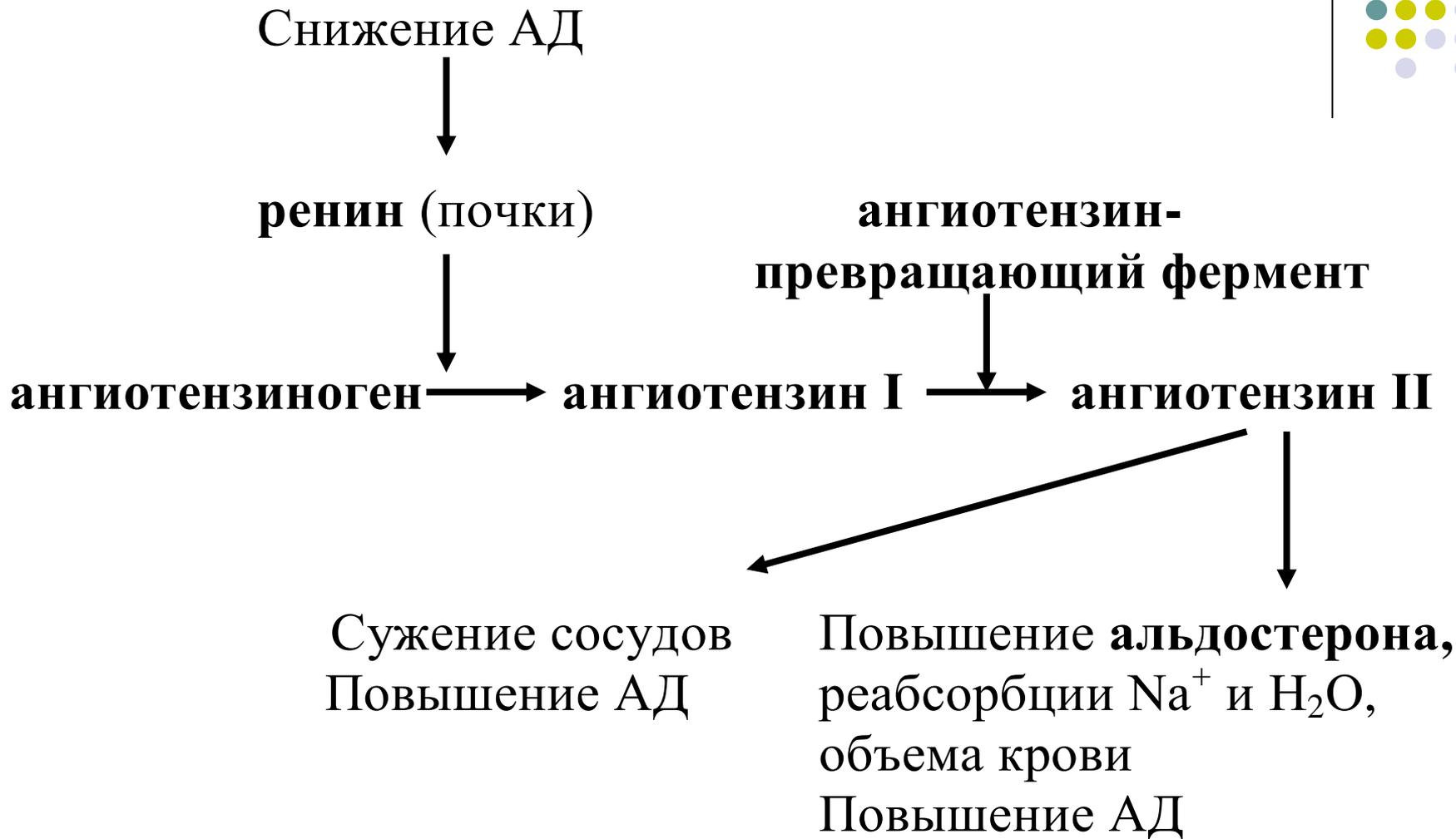


1. Регуляция объема крови и других жидкостей внутренней среды.
2. Регуляция постоянства осмотического давления крови и других жидкостей.
3. Регуляция ионного состава жидкостей внутренней среды.
4. Поддержание кислотно-щелочного равновесия.
5. Экскреция конечных продуктов азотистого обмена, чужеродных веществ и избытка органических веществ (глюкоза, аминокислоты).



6. Метаболизм белков, липидов и углеводов.
7. Поддержание АД (ренин-ангиотензин-альдостероновая система).
8. Секреция биологически активных веществ (брадикинин, простагландины и др.).
9. Регуляция эритропоэза (эритропоэтин).
10. Синтез урокиназы (участвует в фибринолизе).

# Ренин-ангиотензин — альдостероновая система



# Количество, состав и свойства мочи



В сутки выделяется 1-1,5 л мочи. Ночью диурез меньше, чем днем.

Состав мочи: 96% - вода, 4% - сухой остаток:

- **конечные продукты азотистого обмена** (мочевина, мочевая кислота, креатинин);
- **производные продуктов гниения белков** (индол, скатол, фенол);
- **пигменты** (уробилин);
- **органические кислоты;**
- **минеральные вещества;**
- биологически активные вещества и продукты их превращения: **гормоны** (коры надпочечников, эстрогены, АДГ, катехоламины), **витамины** (аскорбиновая кислота, тиамин), **ферменты** (амилаза, липаза, трансаминазы);
- при патологии в моче появляются белок, глюкоза, ацетон, желчные кислоты.

# Общий анализ мочи

## Физические свойства:

- цвет
- прозрачность
- рН (4,5 – 8,0)
- относительная плотность (в утренней порции 1,015 -1,025)

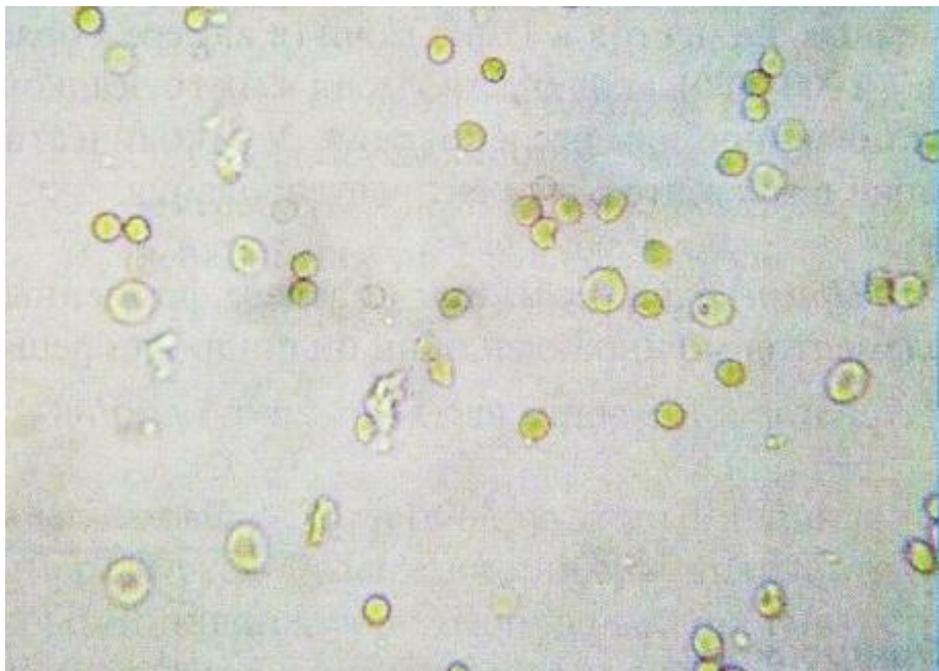
## Химическое исследование:

- белок
- глюкоза
- кетоновые тела
- билирубин, уробилиноген

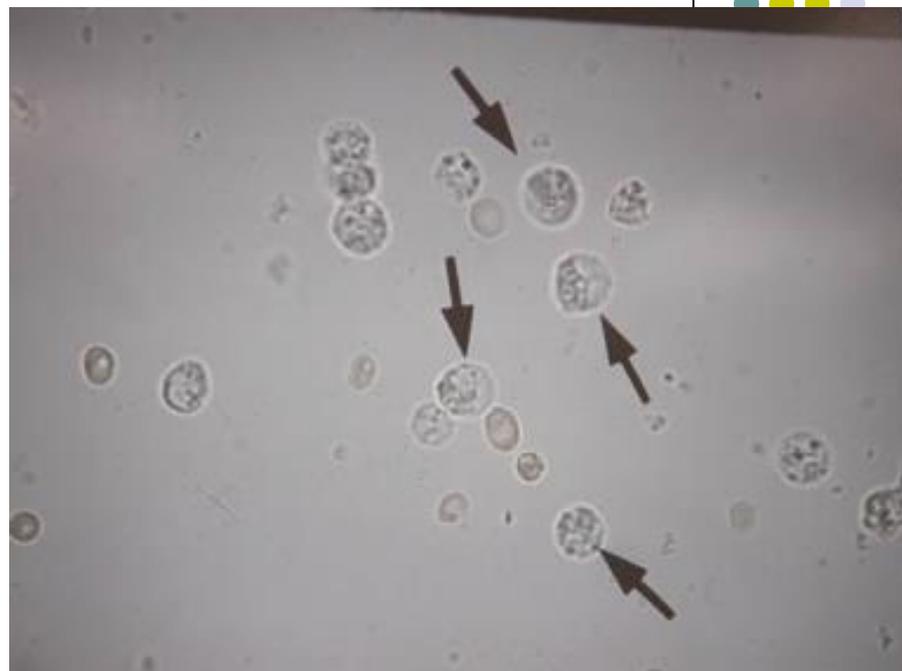
## Микроскопия осадка мочи

- эпителиальные клетки
- эритроциты
- лейкоциты
- цилиндры (белковые слепки почечных канальцев)
- соли, выпавшие в осадок в виде кристаллов или аморфных масс

# Микроскопия мочевого осадка

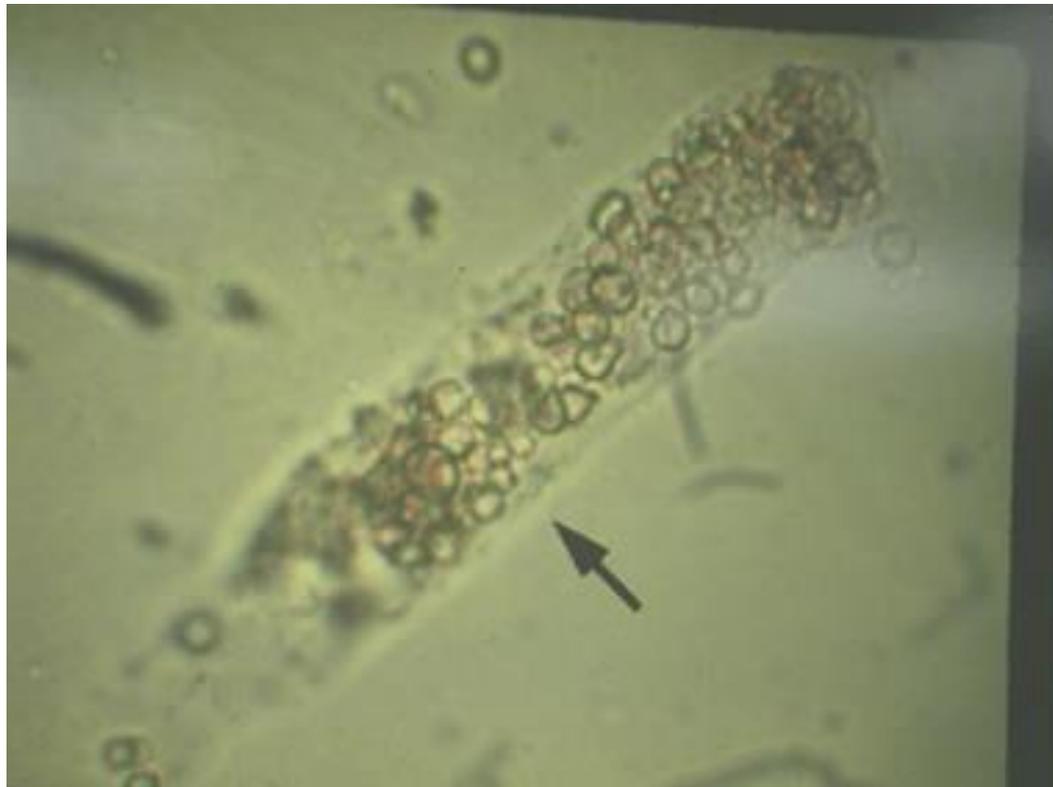


Эритроциты



Лейкоциты

## Цилиндр в мочевом осадке



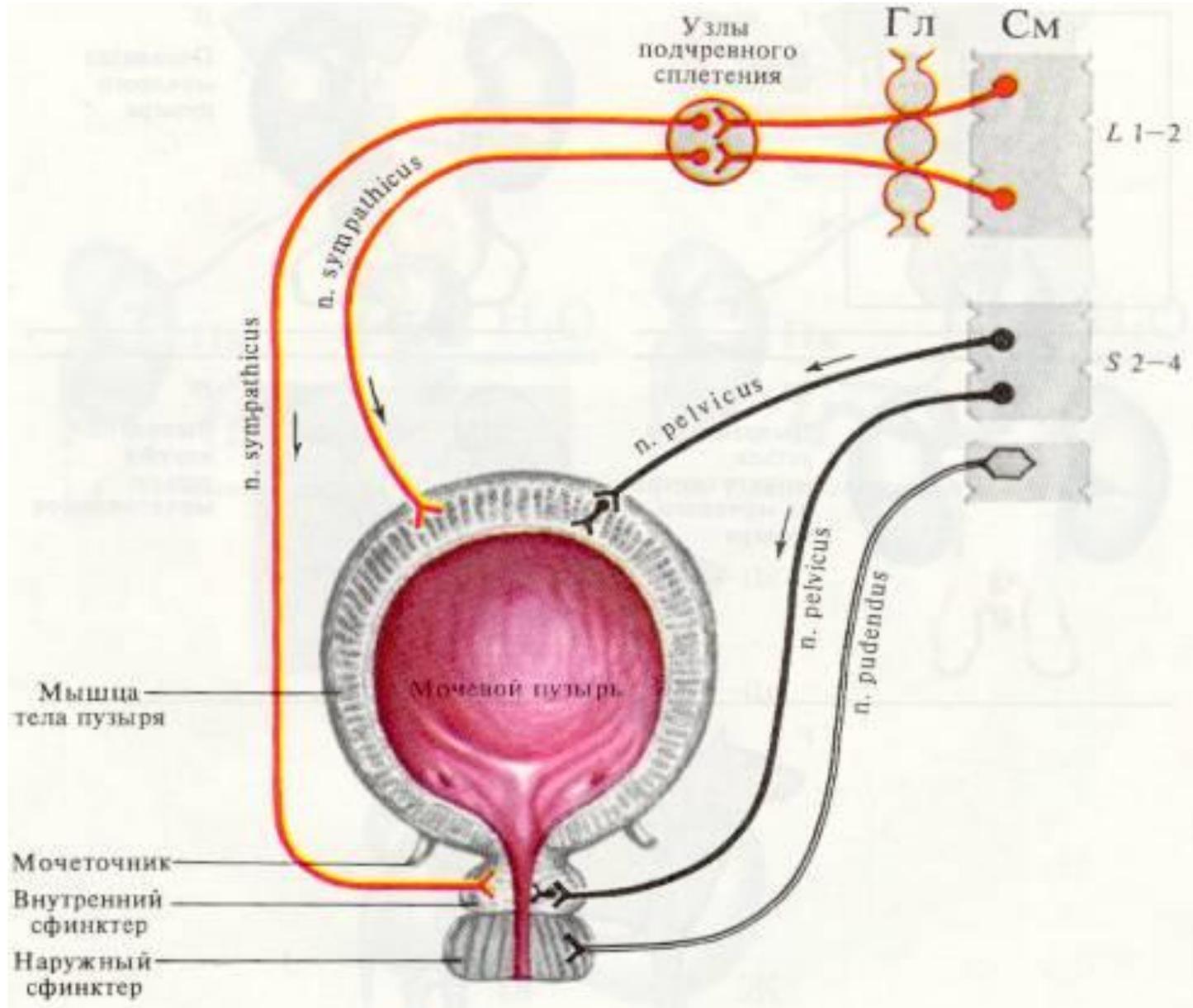
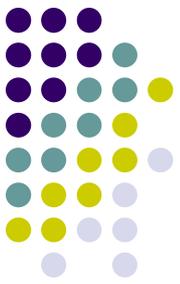
# Микроскопия мочевого осадка



Кристаллы оксалата кальция

Кристаллы мочевой кислоты

# Регуляция мочеиспускания





***СПАСИБО ЗА  
ВНИМАНИЕ!***