

# **Выделение**

**Функции почек.  
Водно-солевой обмен**

# Выделение

часть обмена веществ,

осуществляемая путем **выведения**  
из внутренней среды организма во  
внешнюю среду **конечных и**  
**промежуточных продуктов**  
**метаболизма, чужеродных и**  
**излишних веществ**

для **обеспечения оптимального**  
**состава внутренней среды** и  
нормальной жизнедеятельности  
организма.

# **Выделительная система организма**

## **Органы выделения:**

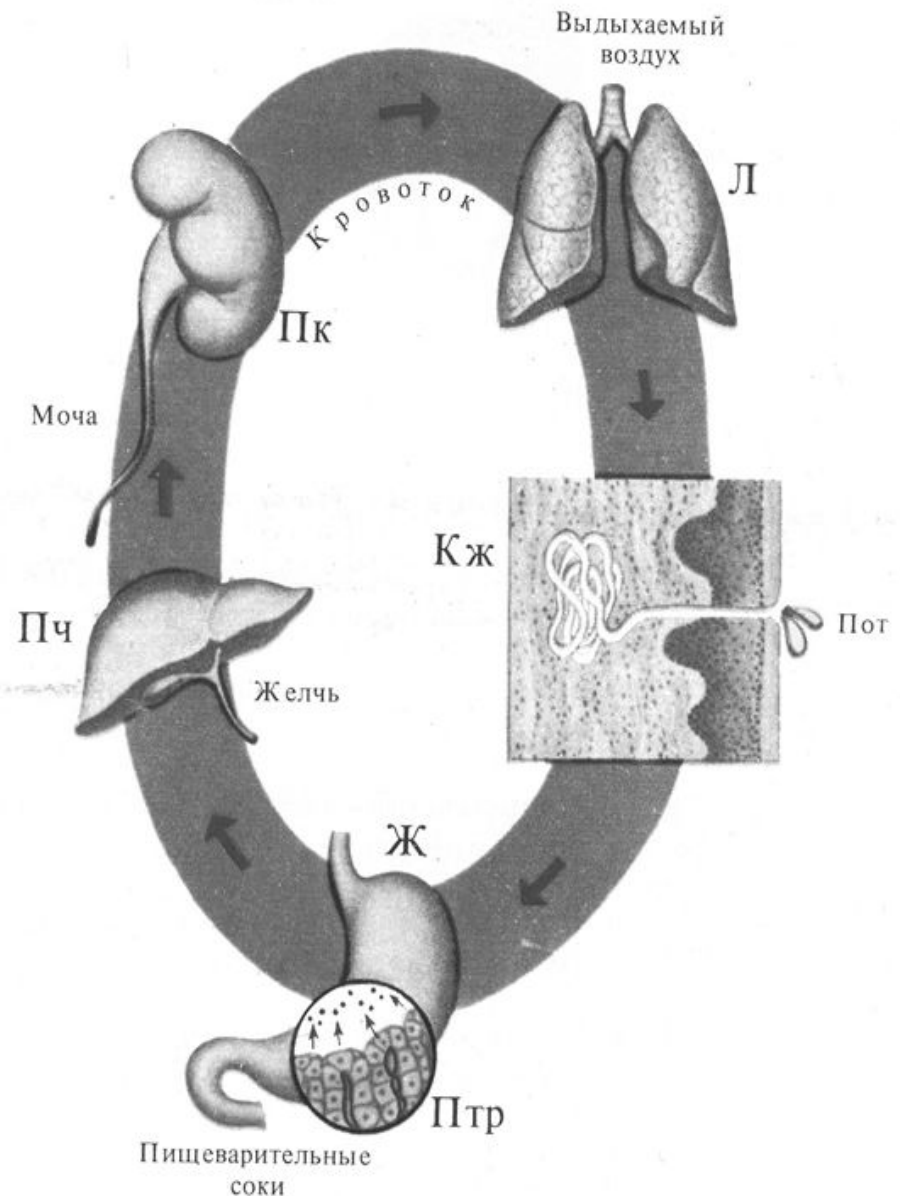
- почки,
- желудочно-кишечный тракт,
- легкие,
- кожа и слизистые оболочки,
- слюнные железы.

**Функционально эти органы объединяют  
понятием выделительная система  
организма.**

**Между органами выделения существуют  
функциональные и регуляторные  
взаимосвязи.**

Органы,  
принимające  
участие в  
выделительных  
процессах  
(очищение крови  
от продуктов  
метаболизма)

По А.В.  
Коробкову, 1986.



# Выделительная функция кожи

**обеспечивается деятельностью потовых и сальных желез.**

- **В среднем у человека за сутки выделяется от 300 до 1000 мл пота.**
- С потом из организма выводится в покое до  $1/3$  общего количества экскретируемой воды, 5—7 % всей мочевины, мочевая кислота, креатин, хлориды, натрий, калий, кальций, органические вещества, липиды, микроэлементы.
- **Регуляция потоотделения** осуществляется симпатическими (холинергическими) влияниями, а также гормонами (вазопрессинном, альдостероном, гормонами щитовидной железы и половыми стероидами).

**В выделительной системе сальные железы не имеют большой значимости, так как за сутки выделяется всего лишь около 20 г секрета.**

# **Выделительная функция печени**

**реализуется за счет образования и  
секреции в ней желчи.**

**С желчью экскретируются:**

- конечные продукты обмена гемоглобина и порфиринов (желчные пигменты),
- конечные продукты обмена холестерина (желчные кислоты).
- тироксин, мочевины, кальций и фосфор,
- лекарственные препараты, ядохимикаты и др.

# Выделительная функция пищеварительного тракта

**Выделительная функция желудка** обеспечивает выведение в составе желудочного сока продуктов метаболизма (мочевины, мочевой кислоты), **лекарственных и ядовитых веществ** (ртуть, йод, салицилаты, хинин).

**Выделительная функция кишечника** состоит:

- в выделении продуктов распада пищевых веществ,
- в экскреции веществ, поступивших в его просвет с пищеварительными соками (желудочным, поджелудочным) и желчью,
- в экскреции кишечным эпителием из крови плазменных белков, солей тяжелых металлов, магния, кальция.

# Выделительная функция легких и верхних дыхательных путей

- **летучие метаболиты и экзогенные вещества** (углекислый газ, аммиак, ацетон, этанол, метилмеркаптан и др.).
- за счет мерцательного эпителия удаляются **продукты обмена веществ самой легочной ткани и эпителия воздухоносных путей** (продукты деградации сурфактанта).
- **испаряется значительное количество воды** (от 400 мл в покое до 1 л при усиленном дыхании).

**Гиперсекреция желез слизистой оболочки верхних дыхательных путей имеет место при нарушениях выделительной функции почек (мочевина – аммиак - запах изо рта).**



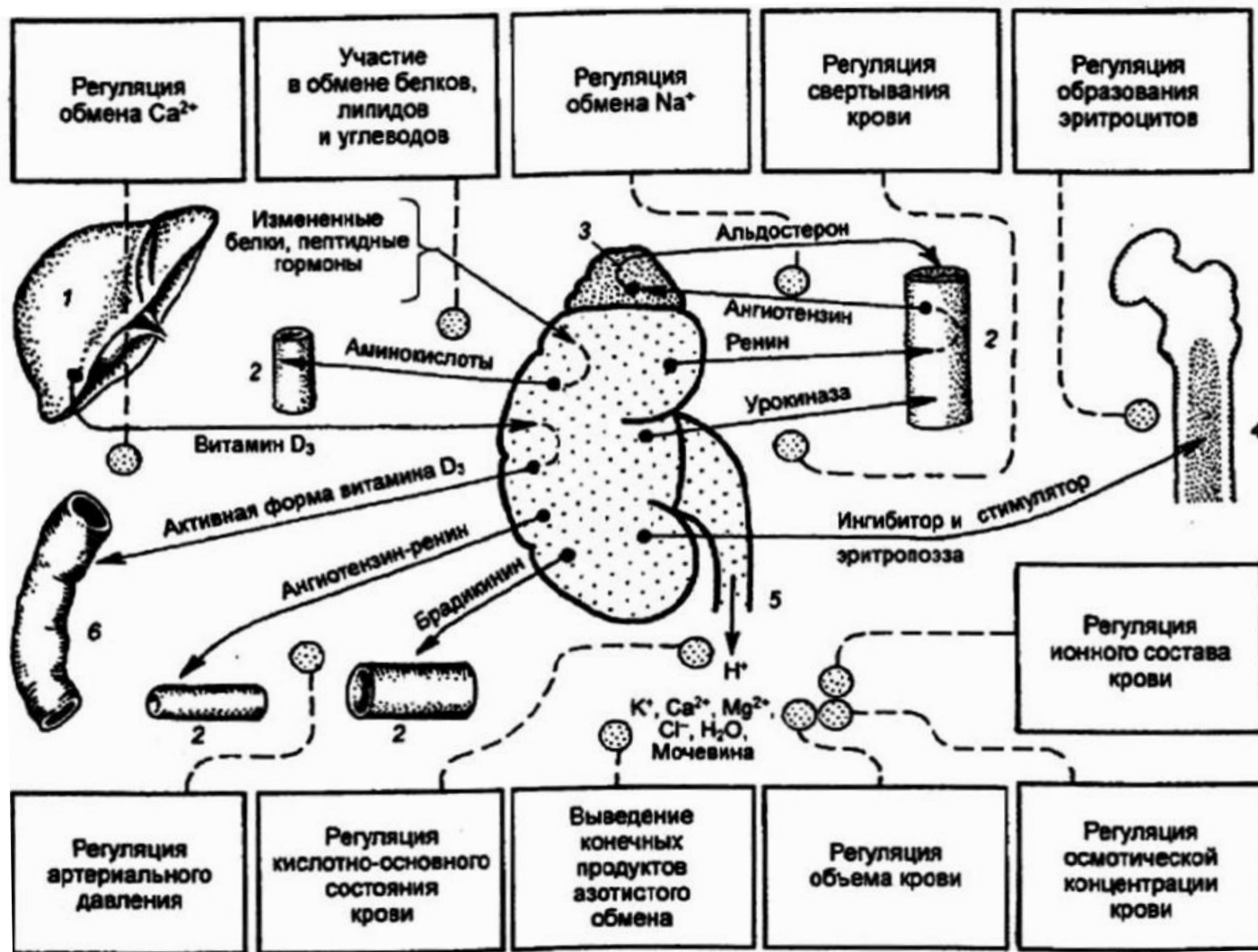
# Функции почек

## ВЫДЕЛИТЕЛЬНЫЕ И НЕ ВЫДЕЛИТЕЛЬНЫЕ

### Почки участвуют в регуляции:

1. **водного баланса организма** (объемов вне- и внутриклеточных водных пространств);
2. **ионного баланса и состава жидкостей внутренней среды;**
3. **постоянства осмотического давления жидкостей внутренней среды;**
4. **кисотно-основного баланса** (изменение экскреции водородных ионов, нелетучих кислот и оснований);
5. **метаболизма белков, липидов, углеводов, нуклеиновых кислот и других органических соединений;**
6. **циркуляторного гомеостаза** (путем регуляции обмена электролитов, объема циркулирующей крови, внутренней секреции гормонов, регулирующих функции сердечно-сосудистой системы, экскреции гормональных регуляторов системы кровообращения);
7. **Эритропоэза** (секреция эритропоэтина);
8. **Гемостаза** (образование гуморальных регуляторов свертывания крови и фибринолиза).

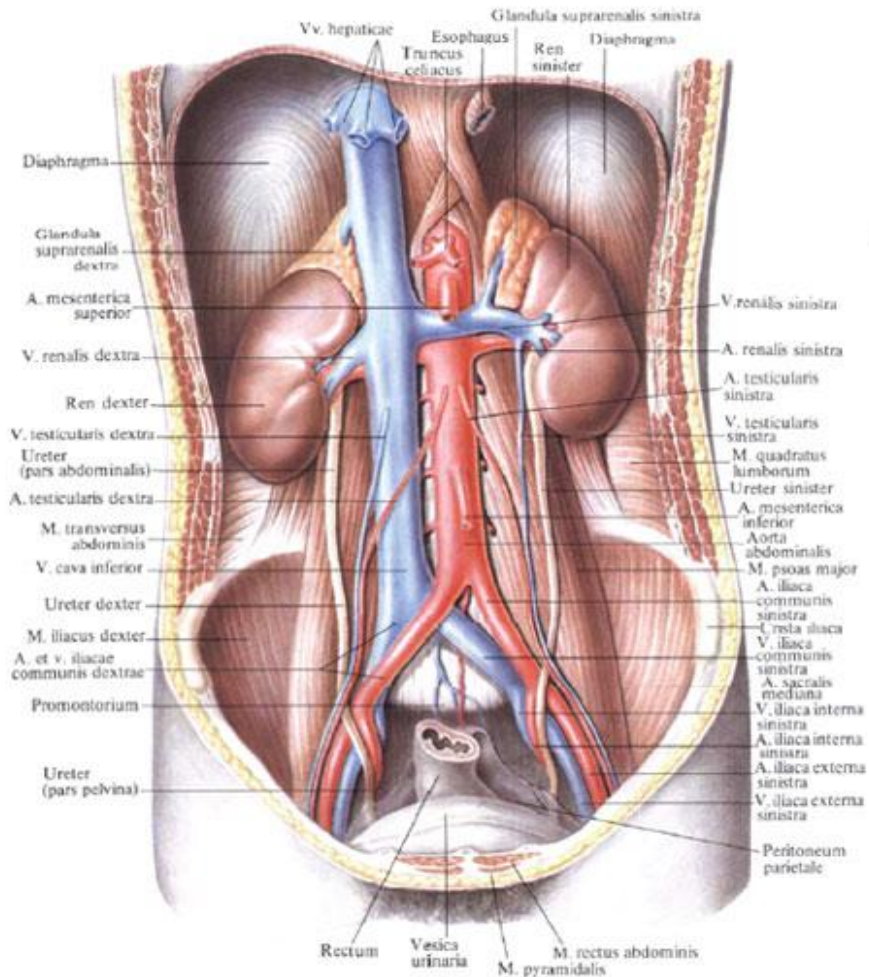
# Выделительные и невыделительные функции почек



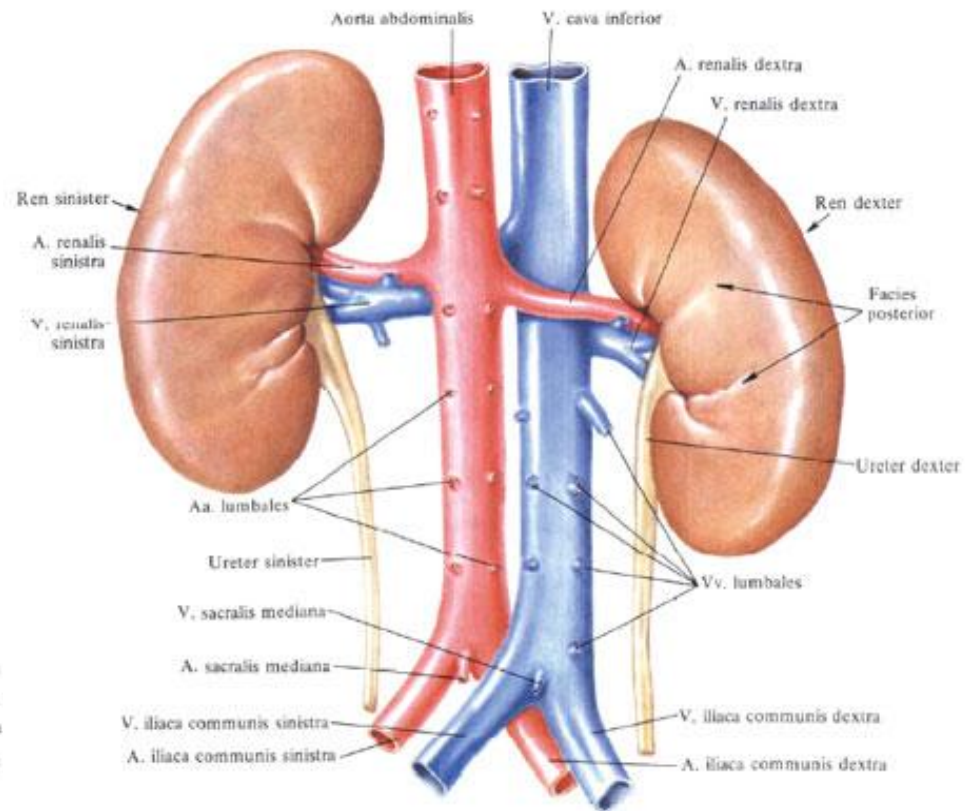
**Основной функцией почек,**  
**обеспечивающей ведущую роль в**  
**выделительной системе**  
**организма, является**  
**образование и выделение мочи.**

# Анатомия почек

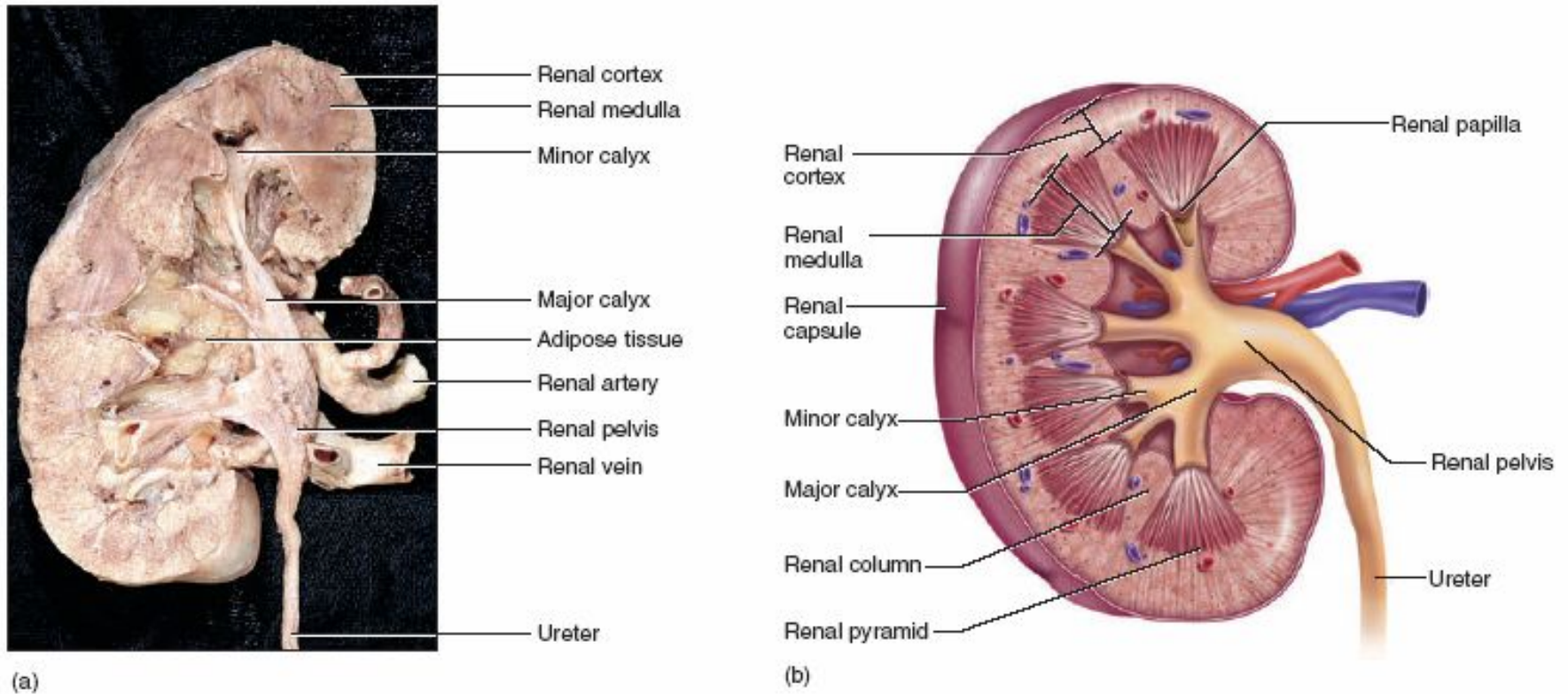
Мочевые органы, organa urinaria; вид сгthtlb



Почки, renes; вид сзади

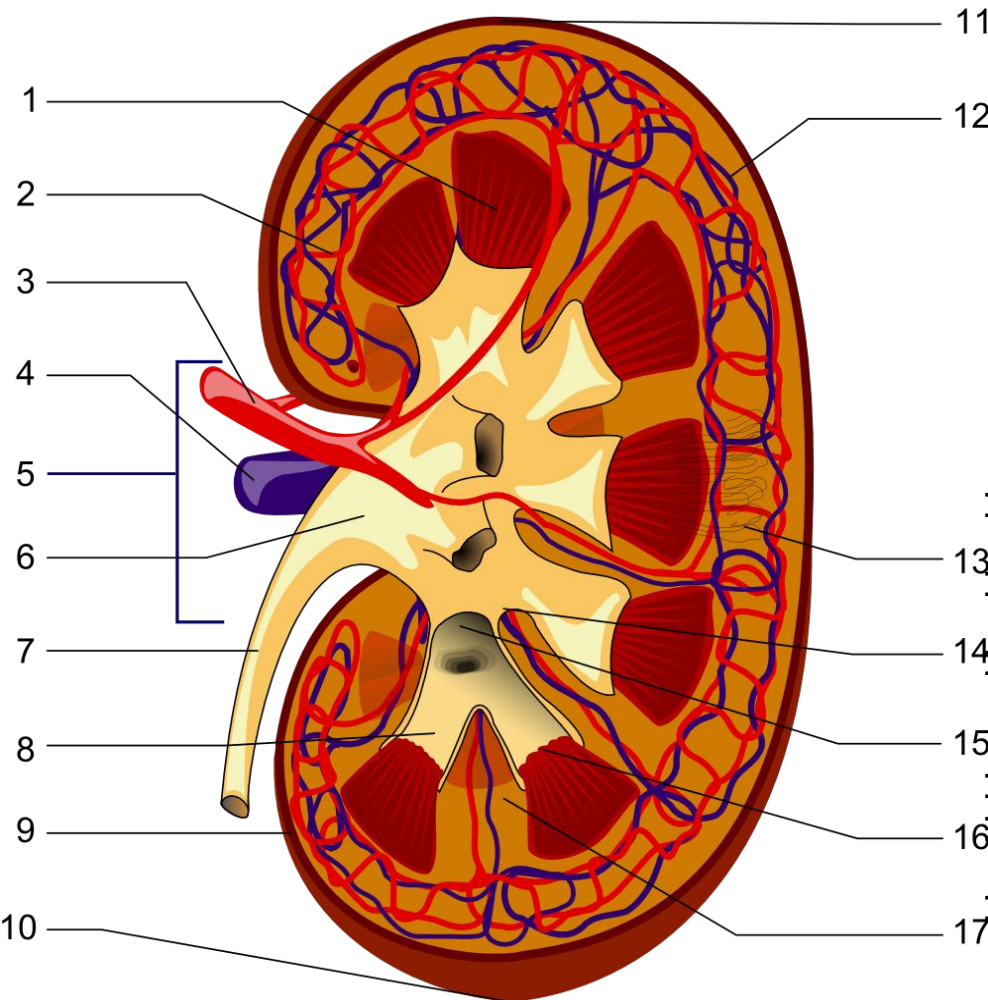


# Строение почки



**Figure 23.4** Gross Anatomy of the Kidney. (a) Photograph of a frontal section. (b) Major anatomical features.

# Строение почки



1. Мозговое вещество и почечные пирамиды (*Pyramides renales*)
2. Выносящая клубочковая артериола (*Arteriola glomerularis efferens*)
3. Почечная артерия (*Arteria renalis*)
4. Почечная вена (*Vena renalis*)
5. Почечные ворота (*Hilus renalis*)
6. Почечная лоханка (*Pelvis renalis*)
7. Мочеточник (*Ureter*)
8. Малая почечная чашка (*Calices minores renales*)
9. Фиброзная капсула почки (*Capsula fibrosa renalis*)
10. Нижний полюс почки (*Extremitas inferior*)
11. Верхний полюс почки (*Extremitas superior*)
12. Приносящая клубочковая артериола (*Arteriola glomerularis afferens*)
13. Нефрон (*Nephron*)
14. Почечная пазуха (*Sinus renalis*)
15. Большая почечная чашка (*Calices majores renales*)
16. Вершина почечной пирамиды (*Papillae renales*)
17. Почечный столб (*Columna renalis*)

# Механизмы мочеобразования

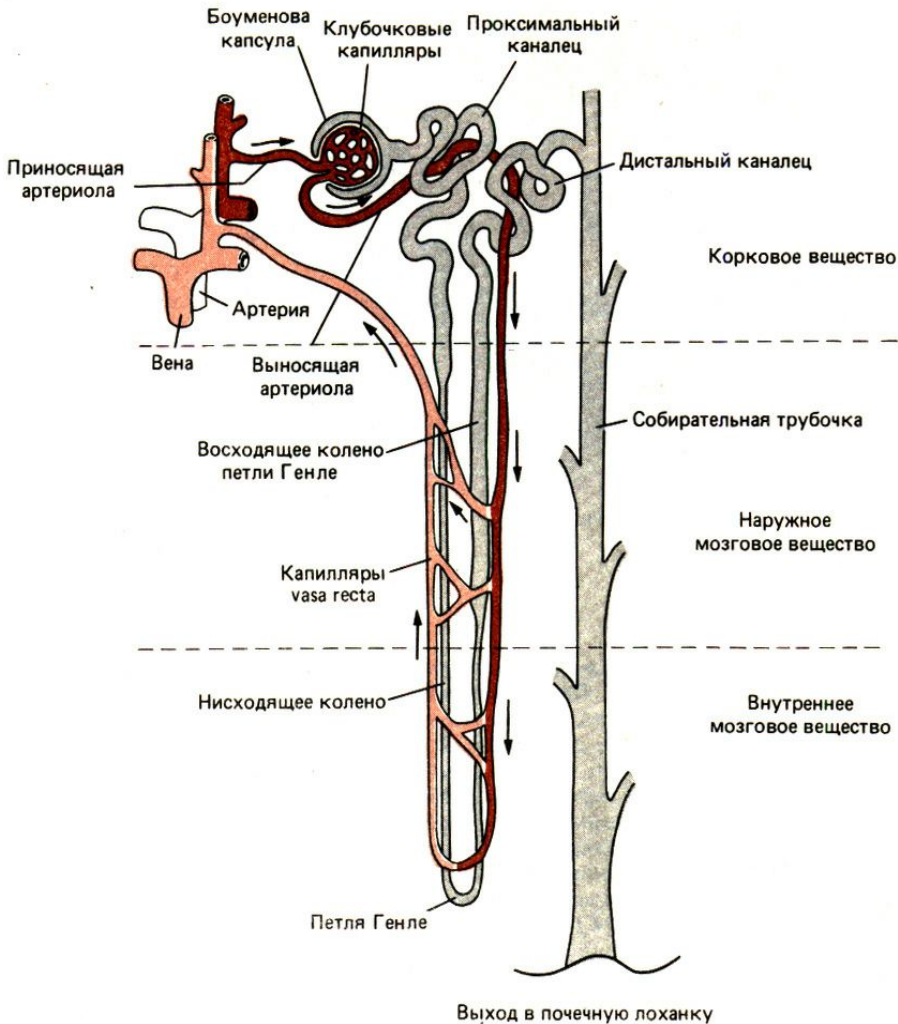
**Моча образуется в почках из плазмы крови.**

- Почка относится к наиболее интенсивно кровоснабжаемым органам (1/4 объема крови, выбрасываемой сердцем).
- Объем кровотока в коре почки, где происходит фильтрация плазмы крови и образование первичной мочи, составляет свыше **90 %** общего почечного кровотока.

**Основной структурно-функциональной единицей почки является нефрон.**

- В почке человека находится около **1,2** млн. нефронов.
- Не все нефроны функционируют в почке одновременно. В связи с этим важным показателем функциональной активности почки является масса действующих нефронов в конкретный момент времени.

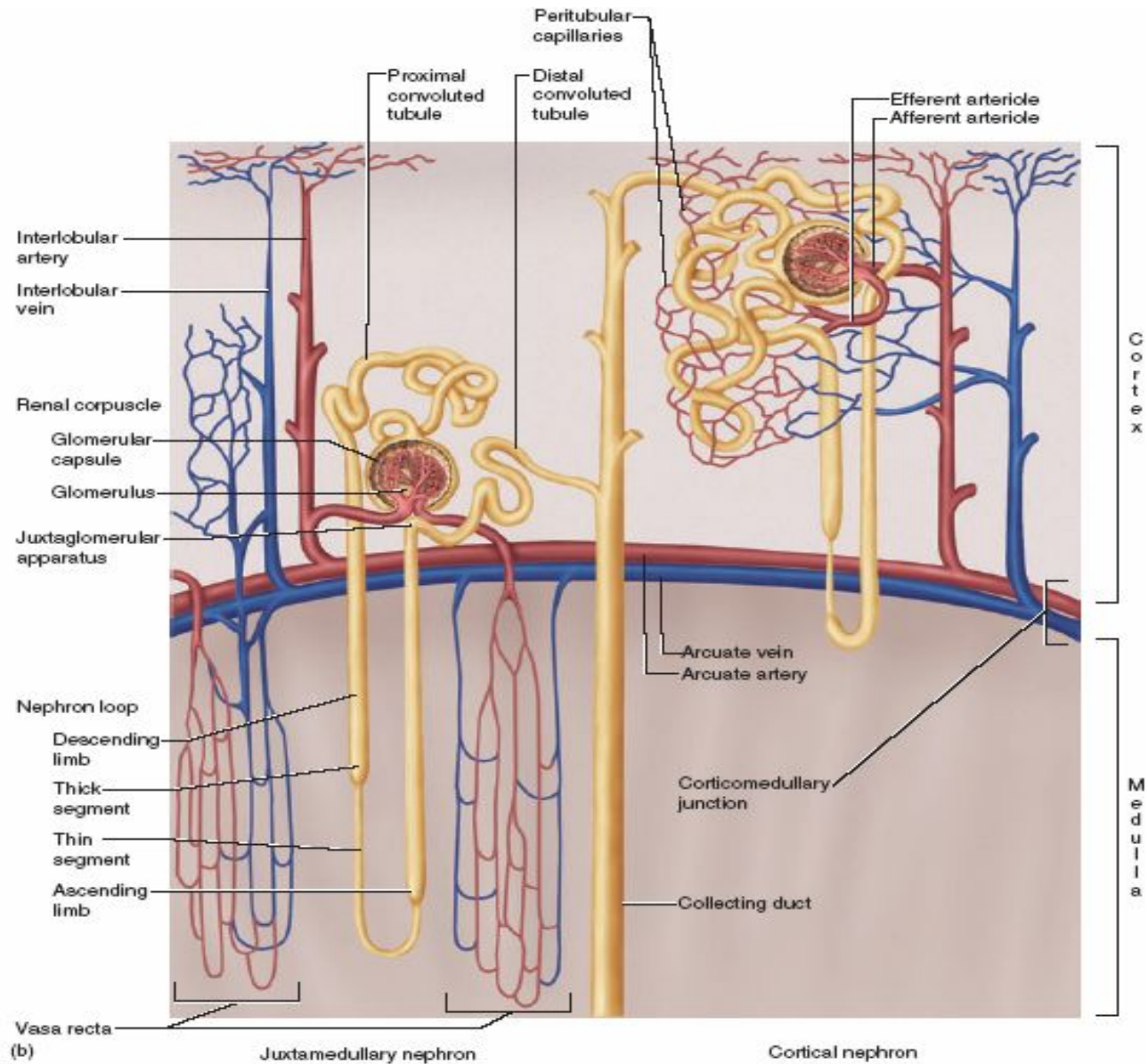
# Нефрон



- Сосудистый клубочек, или мальпигиево тельце;
- Двухслойная капсула Боумена—Шумлянскогo;
- Канальцевый аппарат нефрона подразделяют на несколько отделов:
- проксимальный, отдел канальцев,
- переходит в петлю Генле,
- Тонкий нисходящий отдел петли Генле,
- переходит в тонкую восходящую часть, соединяющуюся с
- дистальным отделом канальцев.
- Собирательная трубочка.



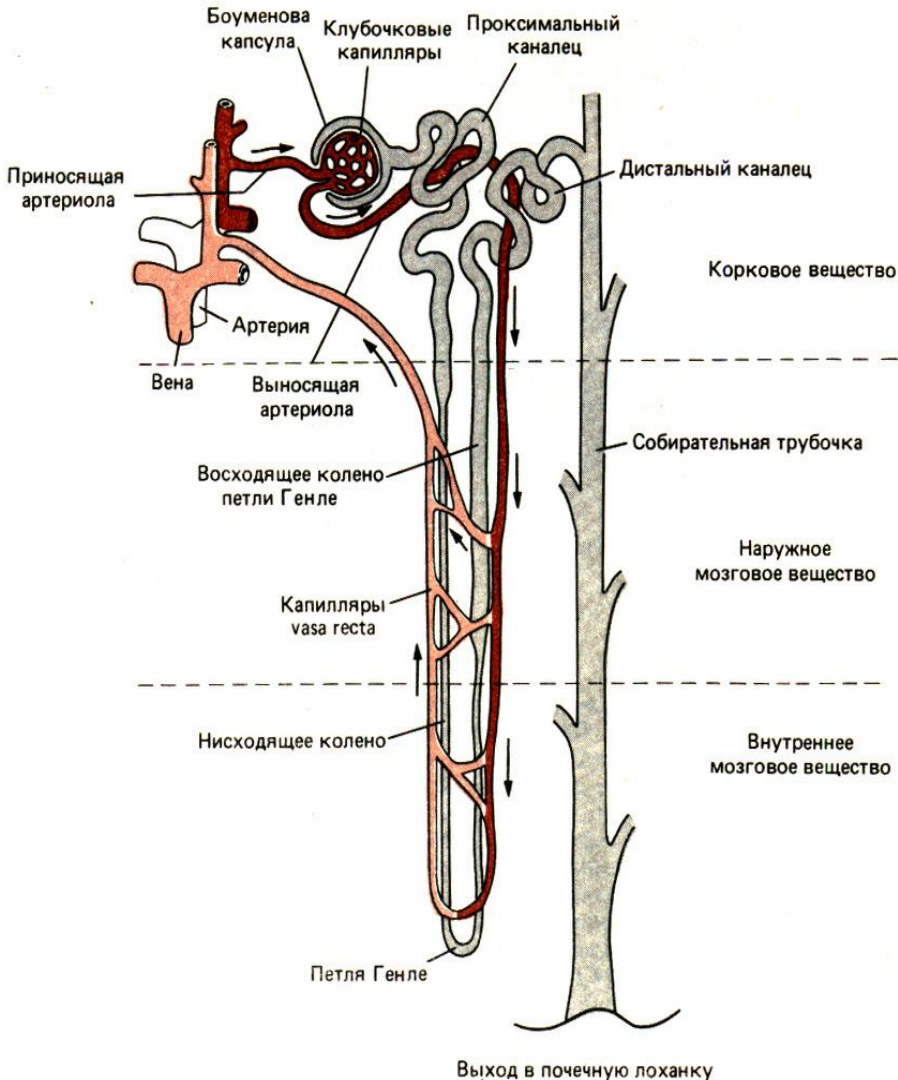
# Структура нефрона



# Типы нефронов

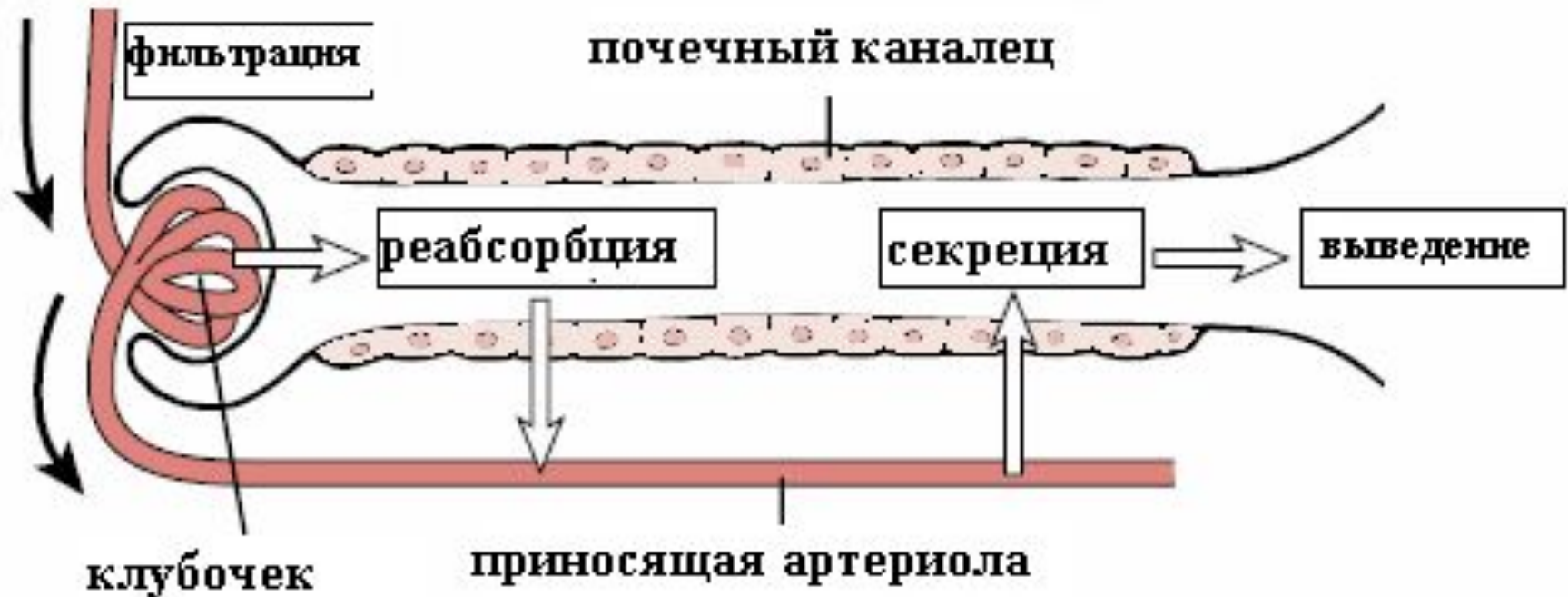
Различают 3 типа нефронов:

- **суперфициальные** (поверхностные), располагаются в верхней части коры и составляют 20-30 % **участвуют в фильтрации мочи;**
- **интракортикальные** (корковые) располагаются в средней части коры и составляют основную массу нефронов (60-70%), **выполняя главную роль в фильтрации мочи;**
- **юкстамедуллярные нефроны** располагаются в основном в наружном мозговом слое, их масса составляет 10-15 %. Их петли Генле самые длинные и **основная их функция концентрирование мочи.**

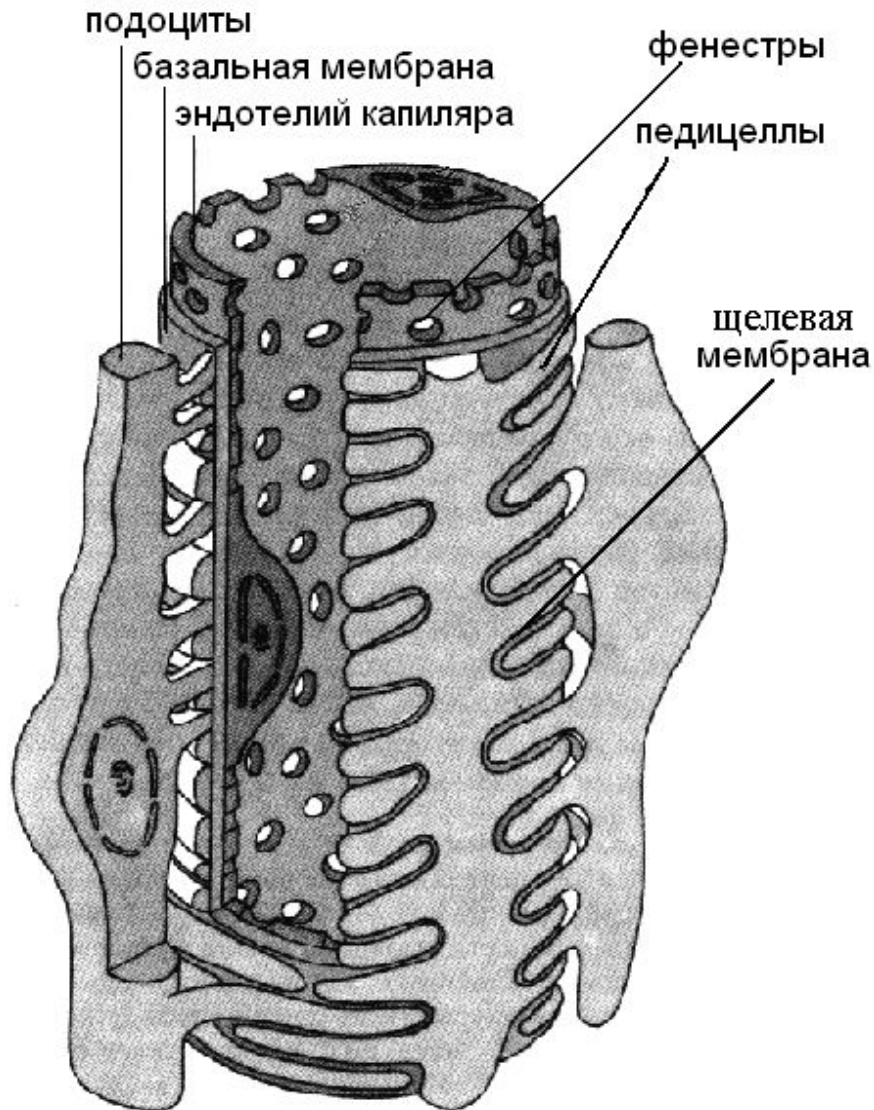


Процессы, из которых складывается образование мочи: 1.Фильтрация 2. Реабсорбция 3.Секреция

Конечным продуктом этих процессов является моча.



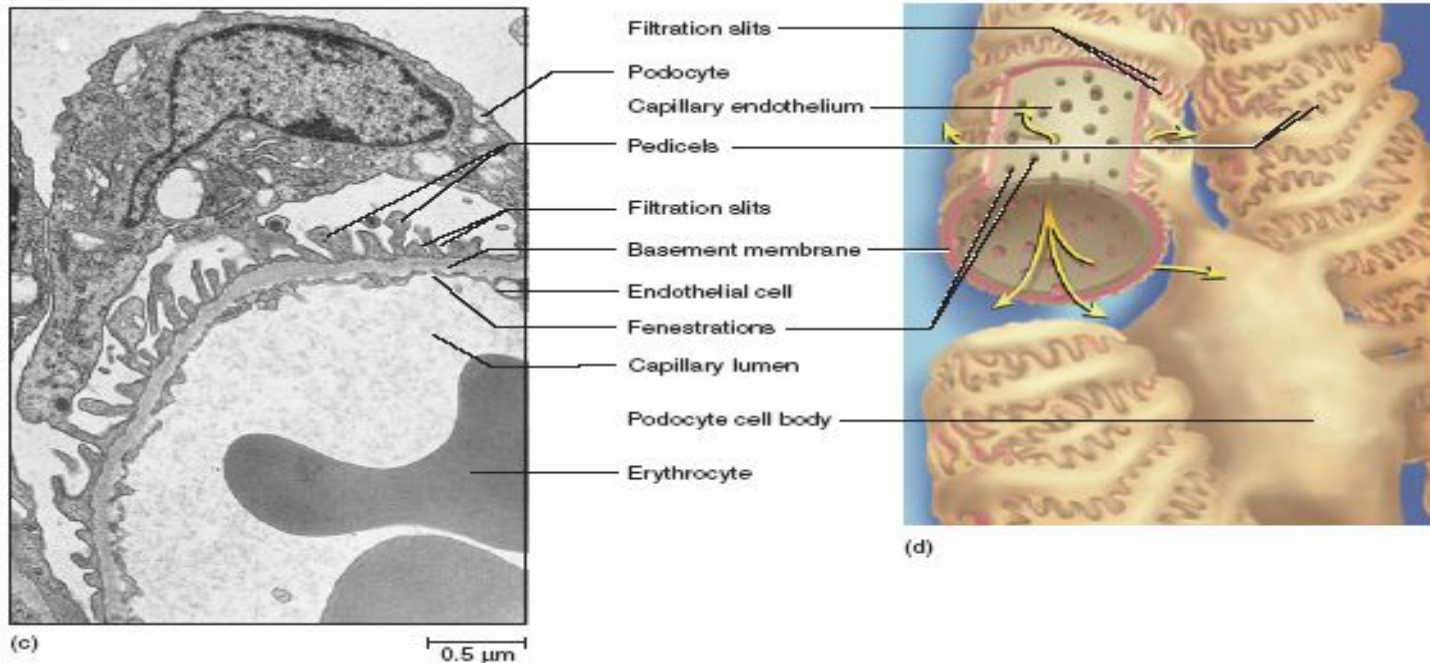
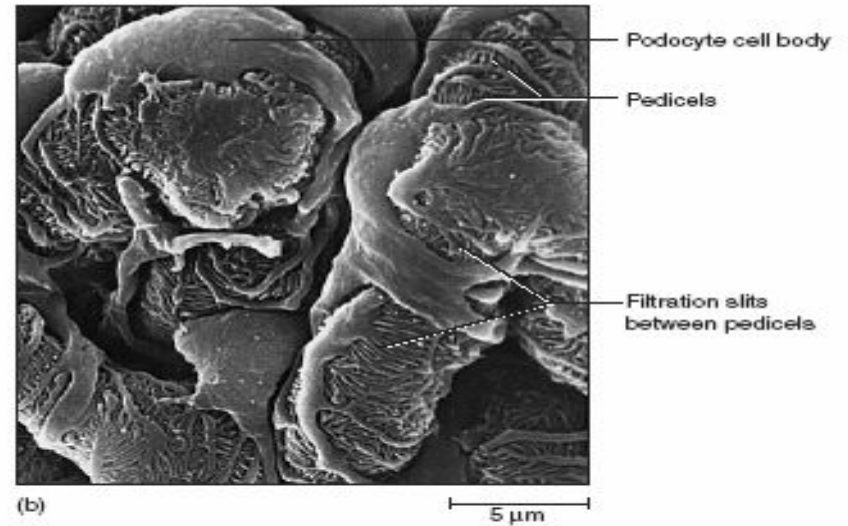
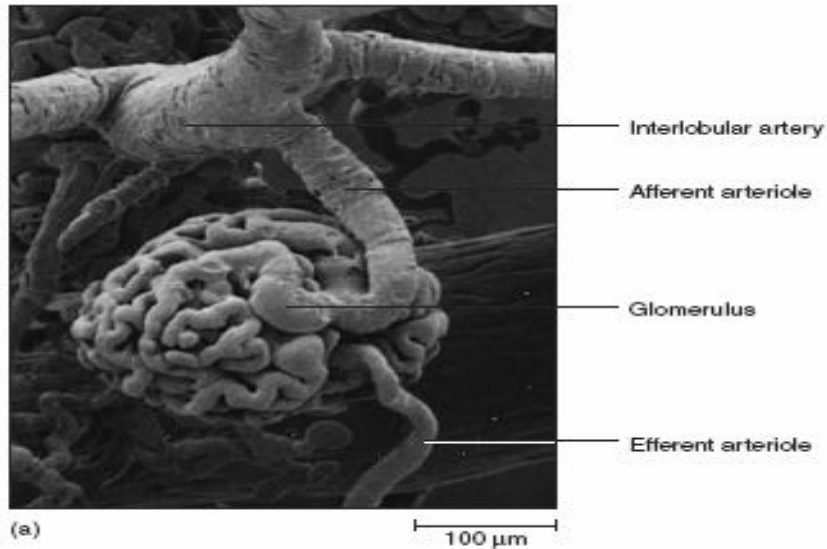
# ФИЛЬТРАЦИОННЫЙ БАРЬЕР



- **эндотелий капилляра** (диаметром 50-100 нм, что ограничивает прохождение ФЭК);
- **базальная мембрана** (поры составляют 3 - 7,5 нм., изнутри содержат отрицательно заряженные молекулы, что препятствует прохождению отрицательно заряженных частиц (белков и др)).
- **щелевая мембрана** (поры до 8 нм) Отростки подоцитов имеют щелевые диафрагмы, которые ограничивают прохождение альбуминов и других молекул с большой молекулой массой. Эта часть фильтра также несет отрицательный заряд.

**Подоциты и мезангиальные клетки обладают сократительной способностью.**

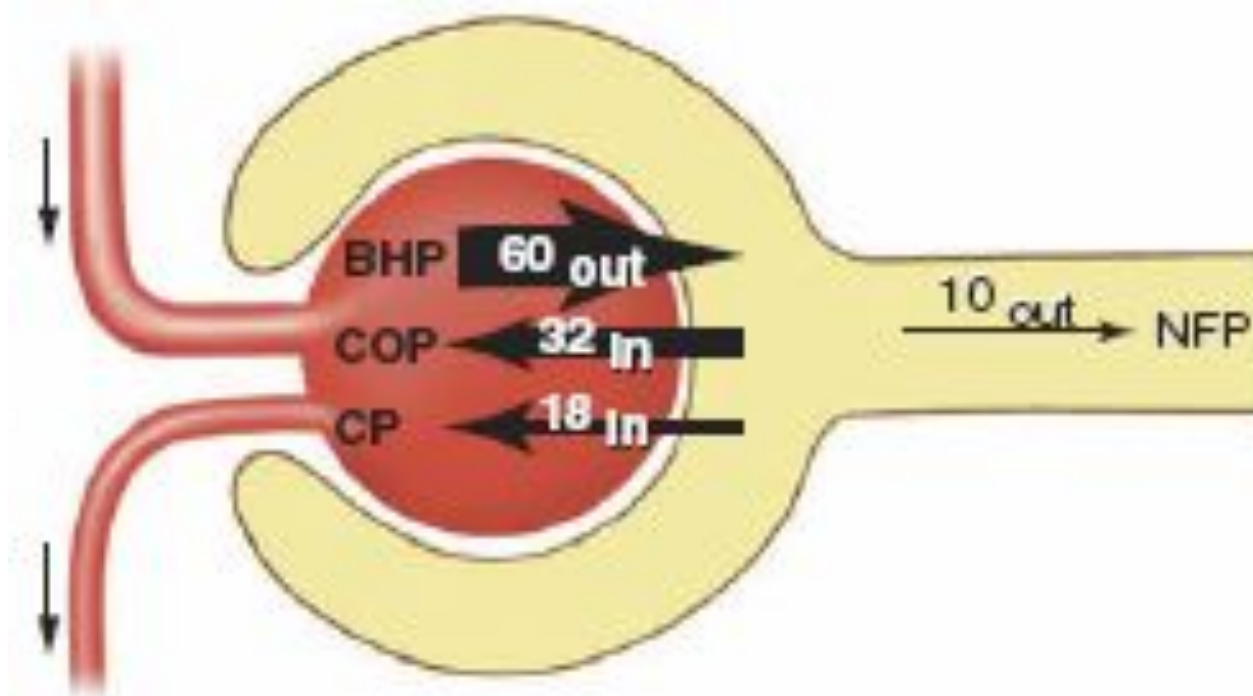
# Фильтрационный барьер



# Эффективность фильтрации определяется фильтрационным давлением, которое складывается из:

1. Гидростатическое давление в клубочке (ВНР) 60 мм рт.ст.
2. Онкотическое давление в капсуле (СОР) –32 мм рт.ст.
3. Гидростатическое давление в капсуле (СР) –18 мм рт.ст.

**Фильтрационное давление (NFP) = 60 + (-32) + (-18) = 10 мм рт.ст.**



**Зависимость между размерами молекул веществ и отношением концентрации вещества в боуменовской капсуле к концентрации его же в плазме крови, [фильтрат]/[плазма]**

Вещество	Молекулярная масса	Молекулярный радиус, нм	[фильтрат]/[плазма]
Вода	18	0,11	1
Мочевина	60	0,16	1
Глюкоза	180	0.36	1
Сахароза	342	0,44	1
Инулин	5500	1,48	0,98
Миоглобин	17000	1,95	0,75
Гемоглобин	68000	3.3	0.03
Сывороточный альбумин	69,000	3,55	<0,01

# Скорость клубочковой фильтрации (СКФ)

**СКФ —это объем ультрафильтрата или первичной мочи, образующийся в почках за единицу времени.**

**Эта величина зависит:**

- 1) от объема крови (плазмы) проходящей через корковое вещество почек в единицу времени;
- 2) фильтрационного давления;
- 3) фильтрационной поверхности (2—3 % от общей поверхности капилляров клубочка и может изменяться при сокращении подоцитов и мезангиальных клеток);
- 4) массы действующих нефронов.

**В физиологических условиях СКФ поддерживается на довольно постоянном уровне (несмотря на изменения системного артериального давления) за счет механизмов ауторегуляции.**



# Регуляция СКФ

**осуществляется за счет нервных и гуморальных механизмов.**

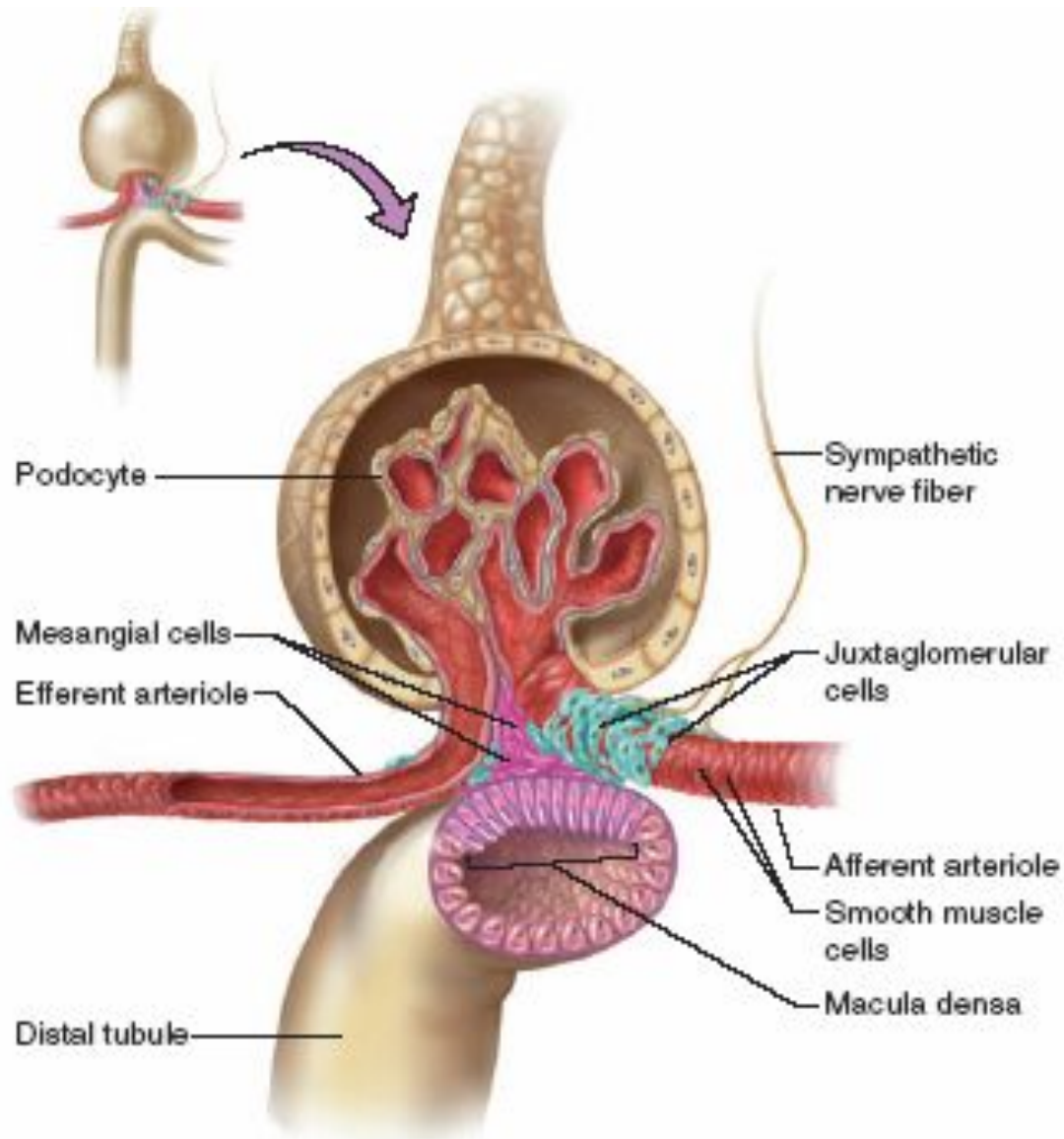
## **Нервные влияния реализуются:**

- ❖ вазомоторными ветвями почечных нервов, **преимущественно симпатической природы**, обеспечивающими изменение соотношения тонуса приносящих и выносящих артериол клубочков.
- ❖ Симпатические влияния на юкстагломерулярные клетки через бета-адренорецепторы стимулируют секрецию ренина и тем самым реализуют ангиотензинный механизм регуляции фильтрации.

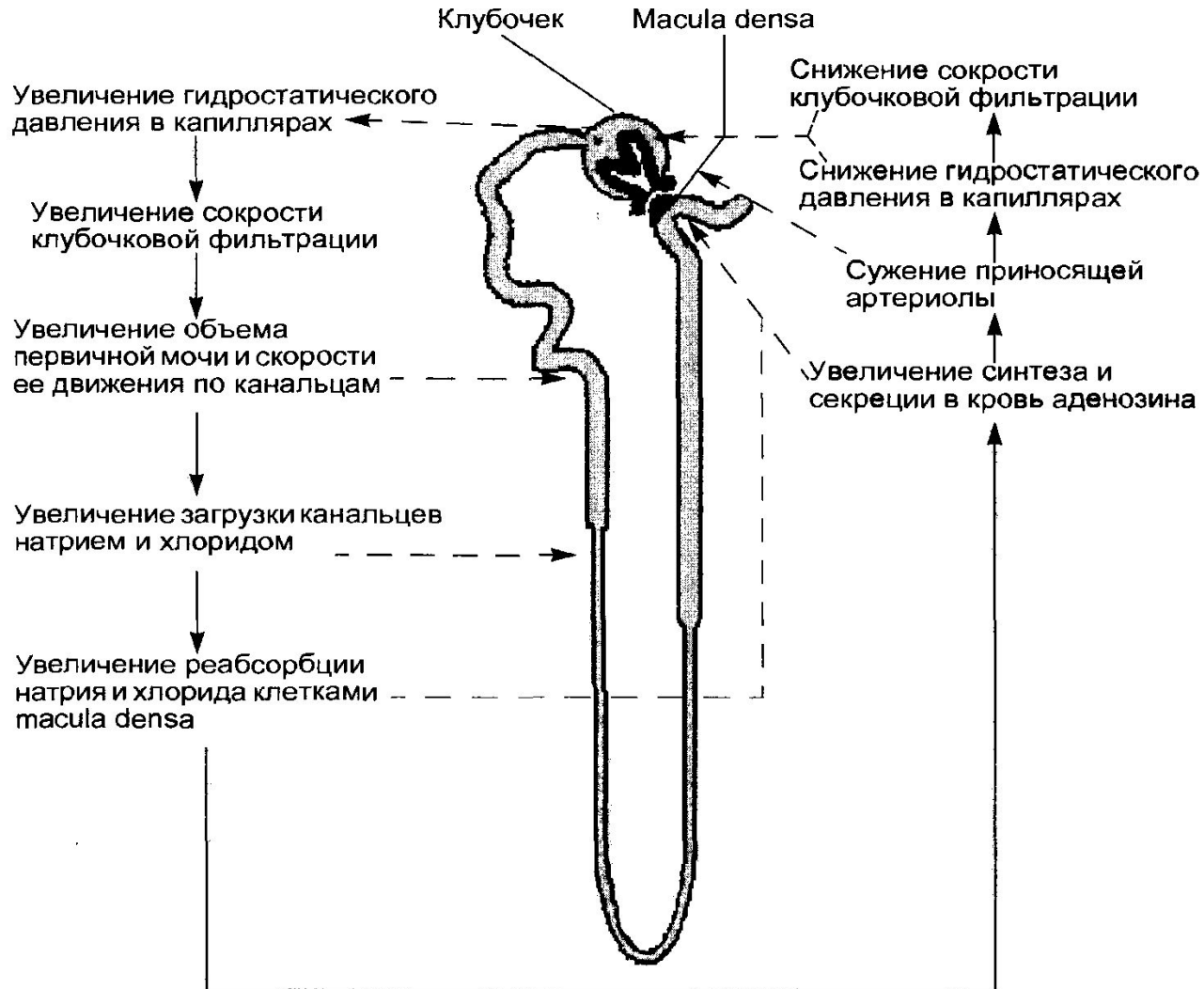
# Механизмы ауторегуляции СКФ

- I. **миогенная ауторегуляция** тонуса приносящих артериол по принципу **феномена Остроумова—Бейлиса**;
- II. **канальцево-клубочковая обратная связь**, приводящая к изменению соотношения тонуса приносящих и выносящих артериол клубочка. Изменение доставки с фильтратом в область **плотного пятна (macula densa)** ионов натрия и хлора ведет к изменению продукции в ЮГА гуморальных регуляторов: **аденозина, NO, ренина и ангиотензина-II, кининов и простагландинов**;
- III. **Изменения числа функционирующих нефронов.**

# Строение юкстагломерулярного аппарата

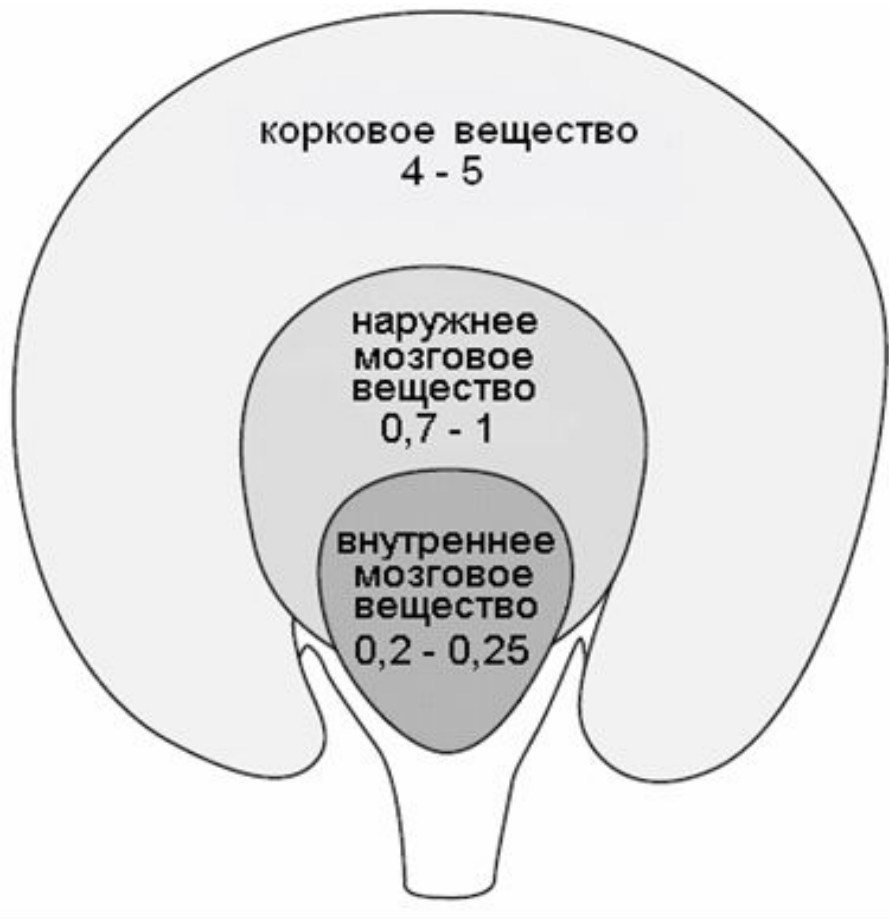
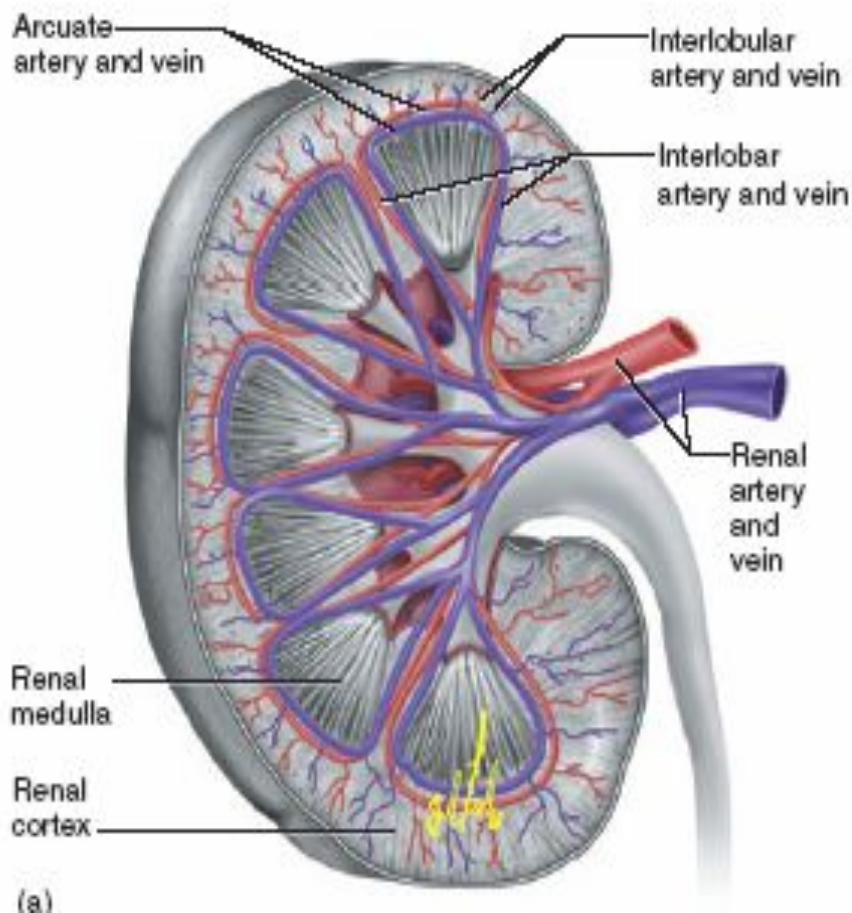


# Канальцево-клубочковая обратная связь



**Рис. 14.6.** Канальцево-клубочковая обратная связь как механизм ауторегуляции клубочковой фильтрации.

# Кровоснабжение почек (мл/мин на 1 г ткани)



# Регуляция почечного кровотока

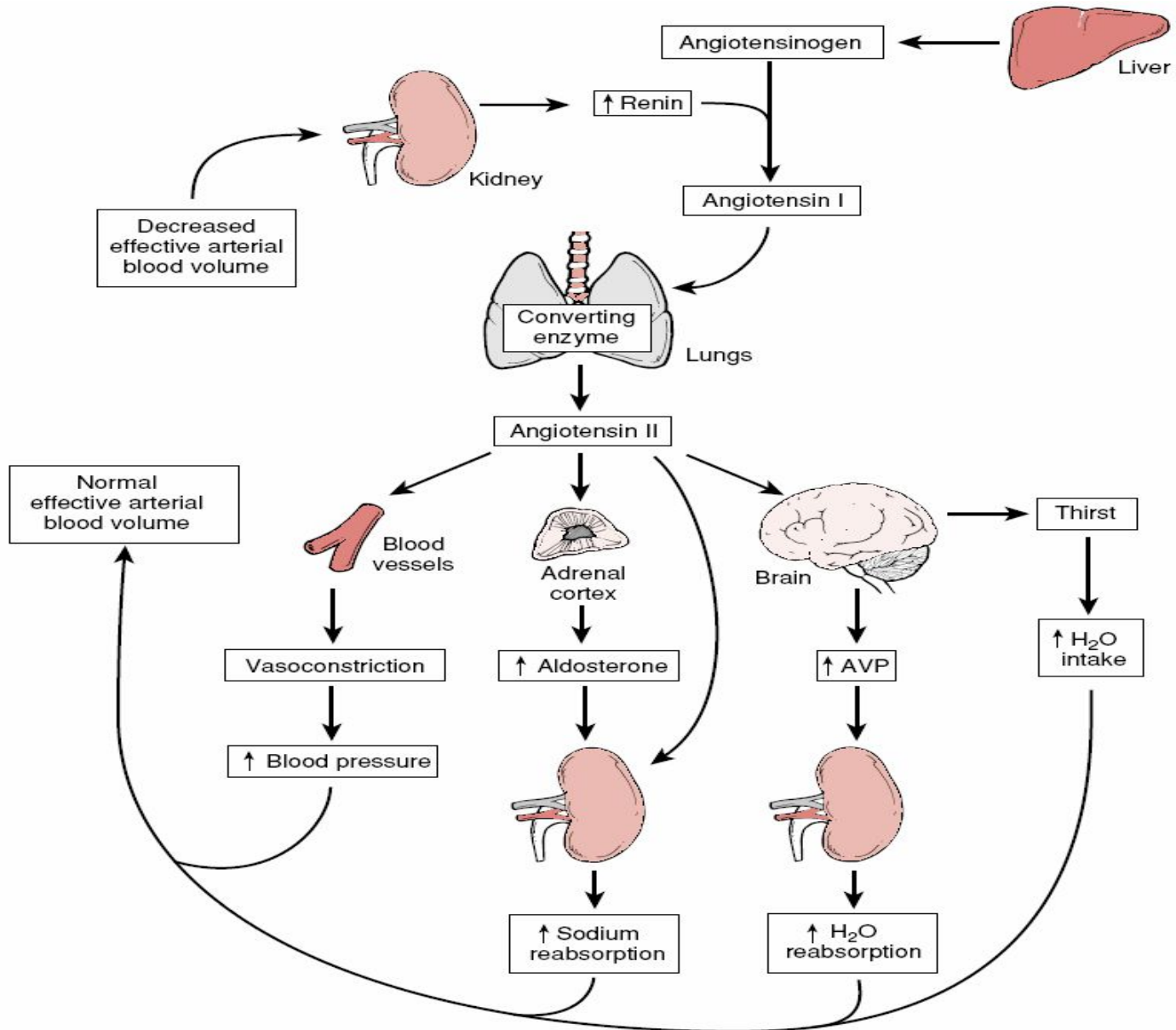
Процесс мочеобразования требует создания постоянных условий кровотока.

**Почечный кровоток поддерживается на постоянном уровне даже если давление варьирует от 70 до 180 мм рт.ст.**

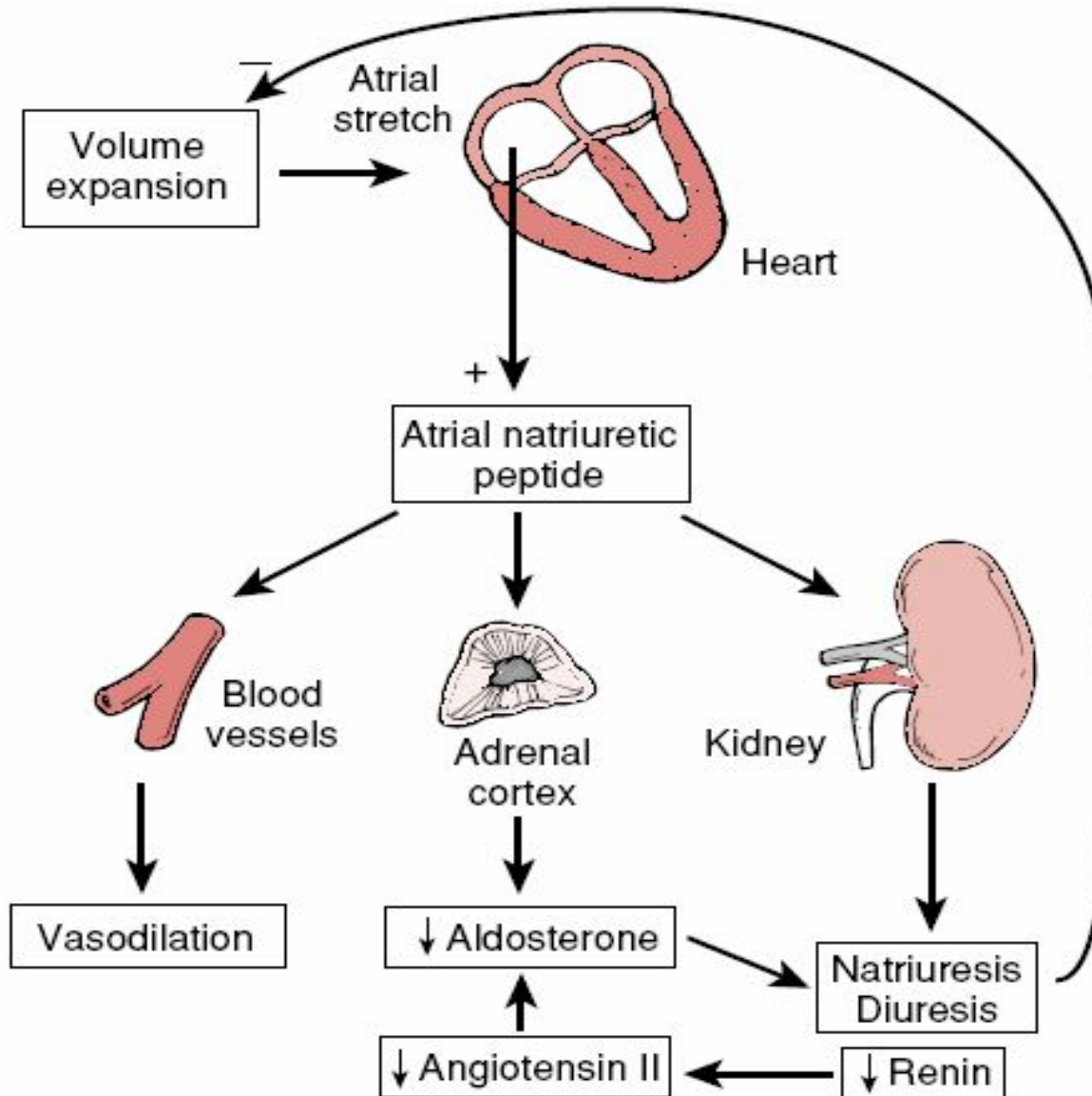
**Механизмы поддержания почечного кровотока:**

- Изменение тонуса сосудов почки при изменении давления в почечной артерии;
- Изменение соотношения тонуса приносящей и выносящей артерии;
- Уменьшение давления в почечных сосудах ниже 70 мм рт.ст. включает **ренин-ангiotензин-альдостероновую систему**;
- Снижение концентрирования мочи при повышении артериального давления (вследствие вымывания осмотически активных веществ из интерстиции).

# Реакция почек на уменьшение АД



# Реакция почек на увеличение АД



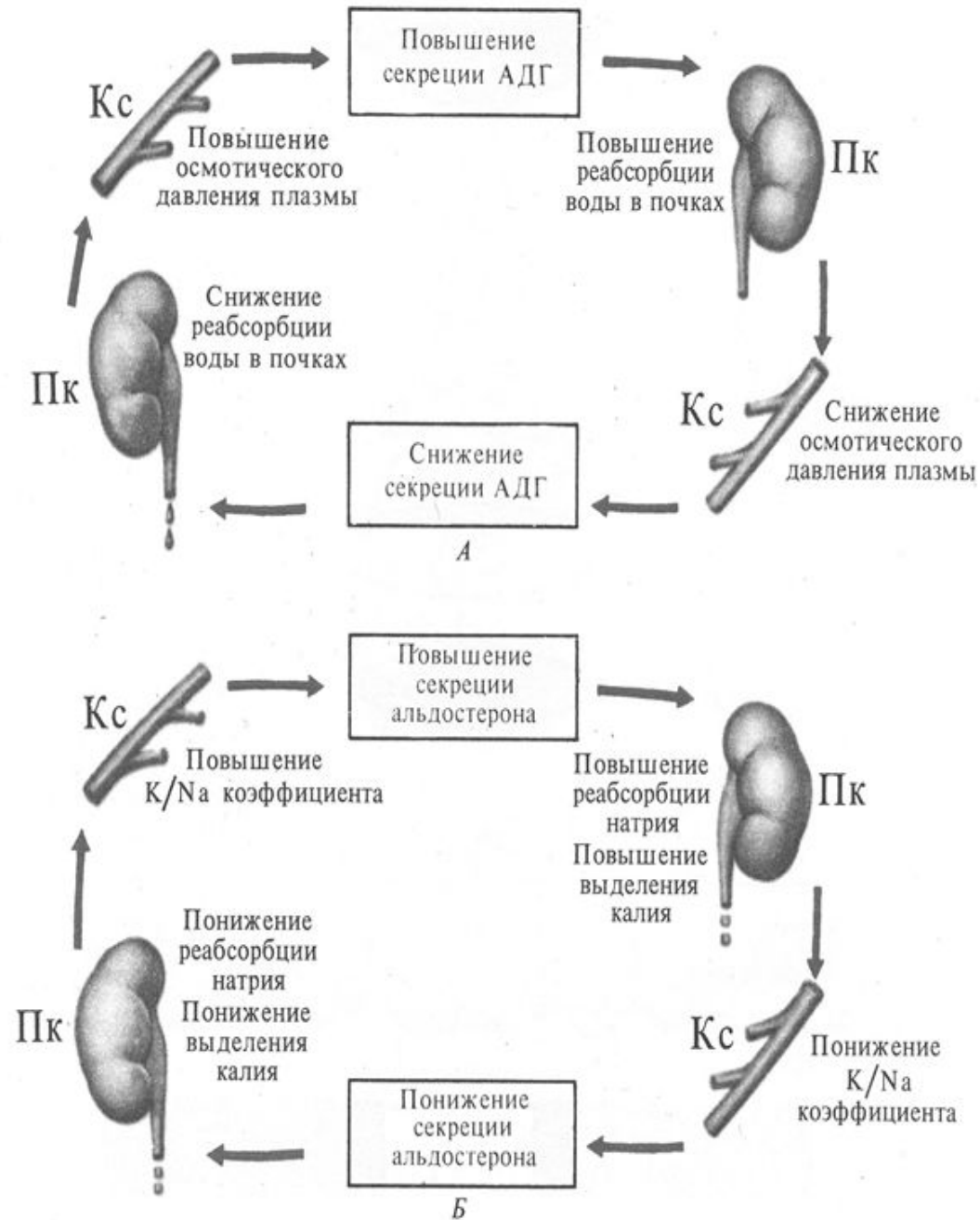


# Роль почек в поддержании водно-солевого равновесия в организме.

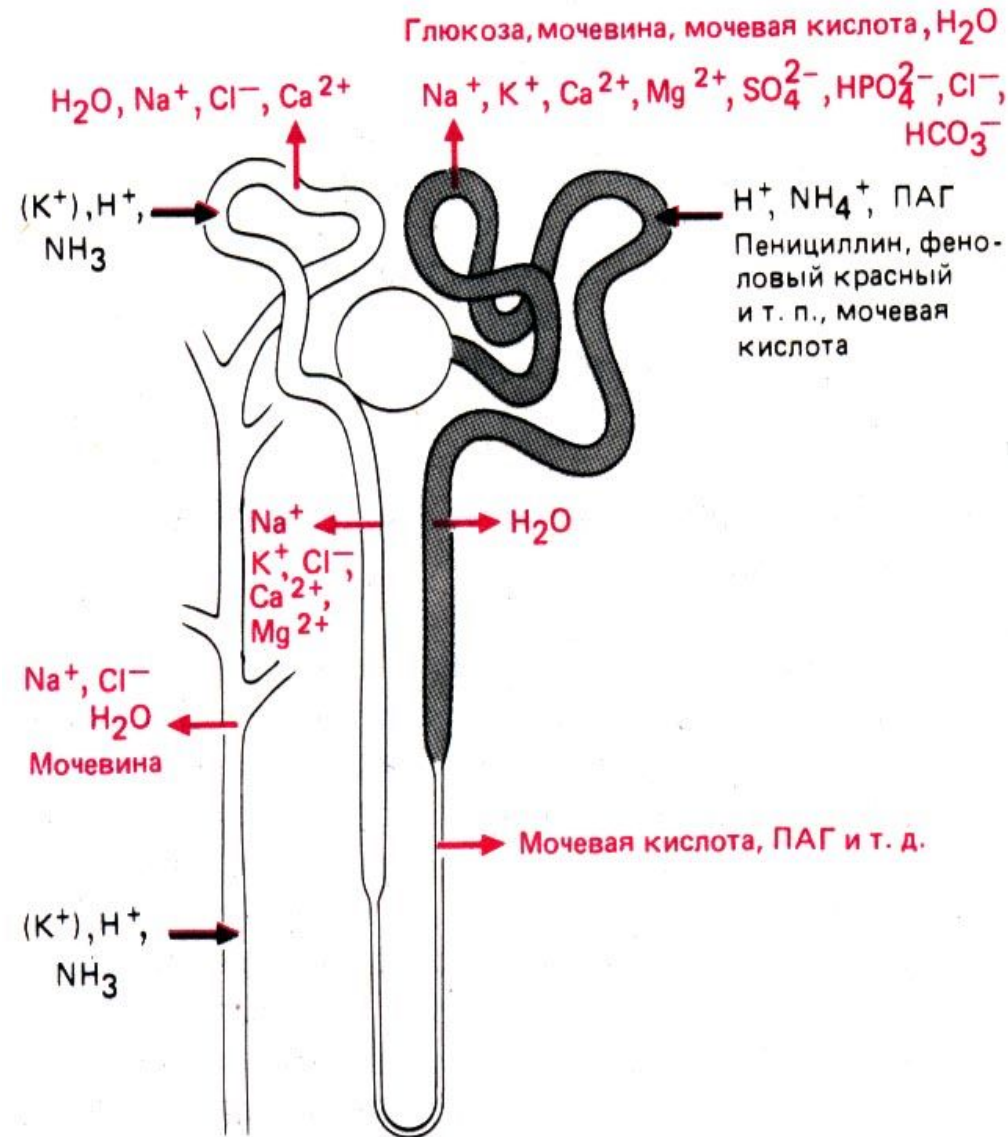
**А – регуляция выделения воды;**

**Б – регуляция соотношения  $K^+$  и  $Na^+$**

По А.В. Коробкову, 1986.

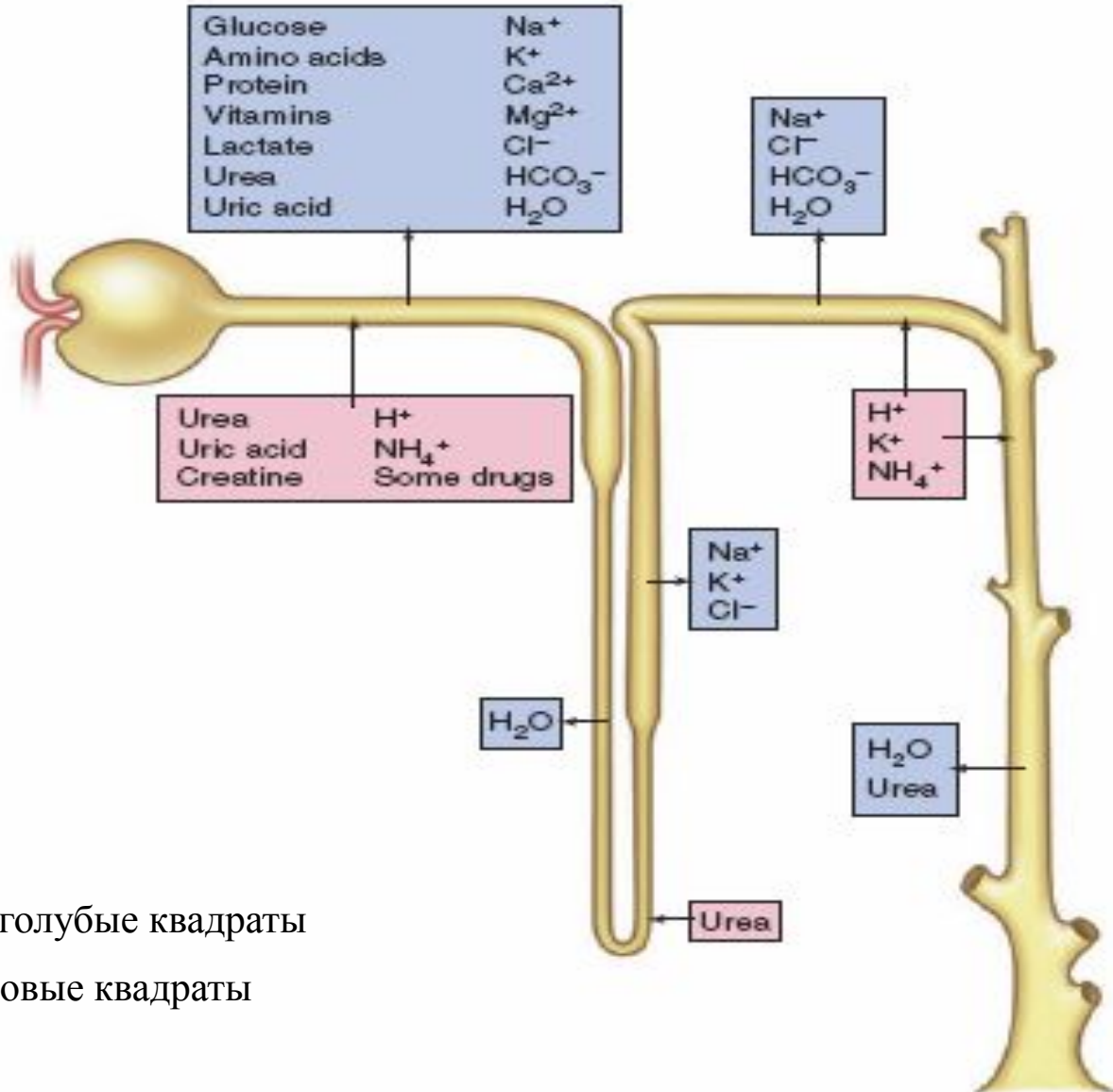


# Реабсорбция обязательная и факультативная



- Основная масса молекул реабсорбируется в проксимальном отделе нефрона (Красным на рисунке).
- В петле Генле, дистальном отделе канальца и собирательных трубочках всасываются электролиты и вода.

# Реабсорбция и секреция в почечных канальцах



Реабсорбция – голубые квадраты

Секреция – розовые квадраты

# Реабсорбция

**Проксимальная и дистальная** - в зависимости от отдела канальцев, где она происходит.

**Пути реабсорбции:**

**Трансцеллюлярный** - из просвета канальцев через люминальную (апикальную) мембрану в цитоплазму клеток эпителия, затем через базолатеральную мембрану в интерстициальное пространство, после чего в околоканальцевые капилляры.

**Парацеллюлярный** - через плотные соединения между клетками эпителия посредством простой диффузии или переносом вещества вместе с растворителем.

**В зависимости от механизма выделяют - пассивный, первично и вторично активный транспорт.**

# Строение почечного канальца

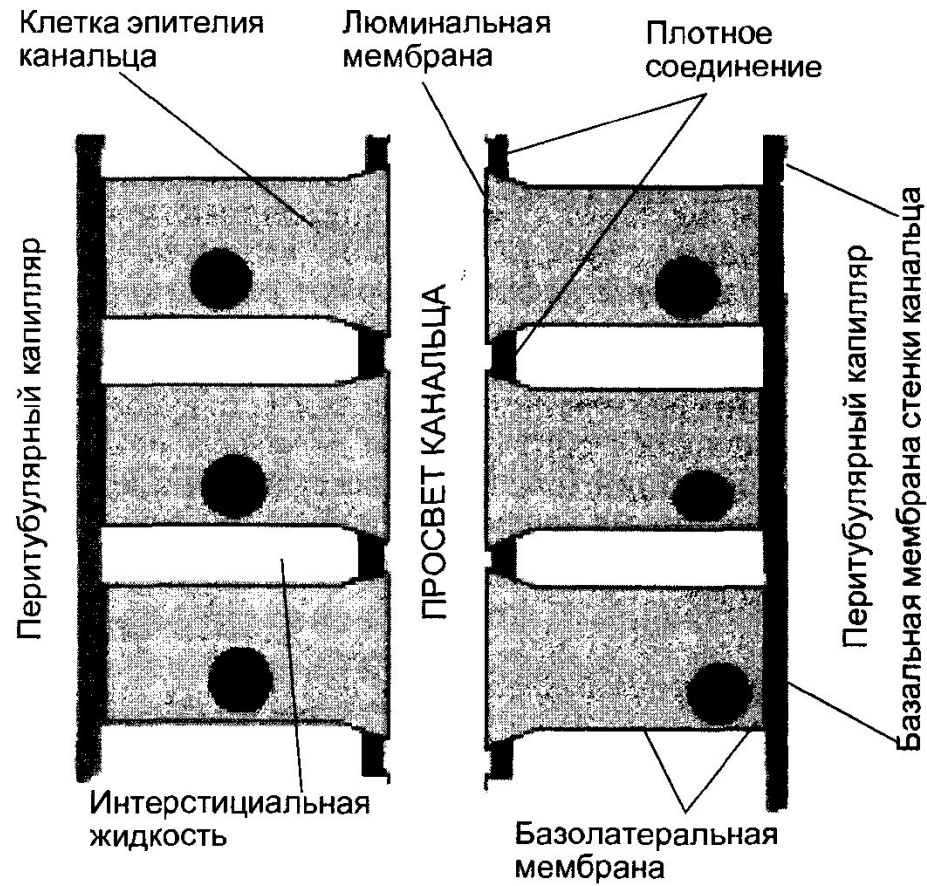


Рис. 14.4. Схема строения почечного канальца.

# Проксимальная реабсорбция

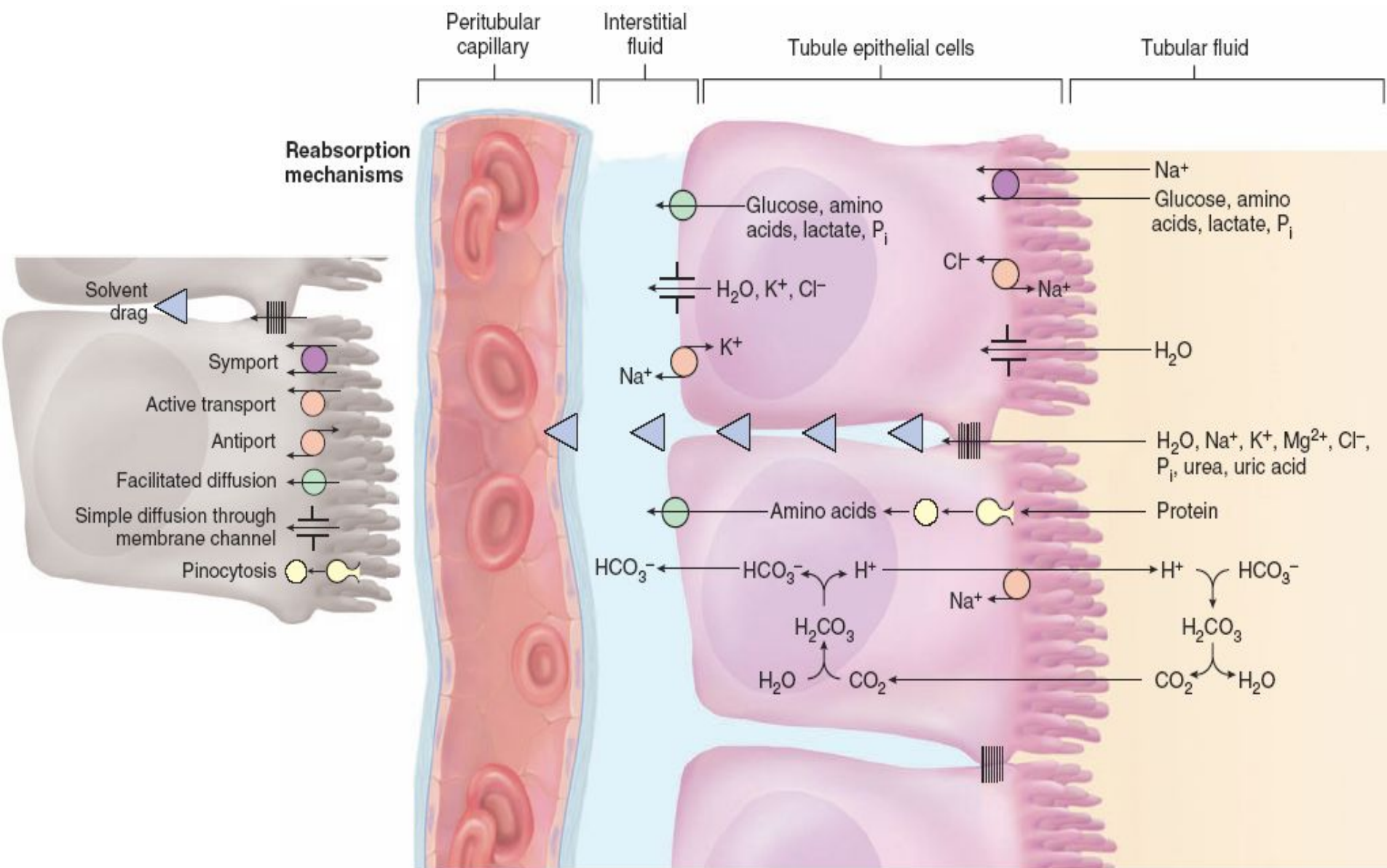
- 1. обеспечивает полное всасывание глюкозы, белка, аминокислот и витаминов.**
- 2. Всасывается 2/3 воды и ионов натрия,** большие количества ионов калия, двухвалентных катионов, анионов хлора, бикарбоната, фосфата, а также мочева кислота и мочевины.
- 3. В апикальной мембране эпителия проксимального канальца **имеются водные каналы - аквапорины** (описано 6 типов аквапоринов). **Всасывание воды происходит пассивно путем простой диффузии по осмотическому градиенту** и прямо зависит от реабсорбции ионов натрия хлорида. Благодаря этому содержимое проксимального отдела остается **изоосмотичным** плазме крови.**

# Реабсорбция ионов натрия

осуществляется несколькими механизмами активного и пассивного транспорта:

1. **первично активным транспортом;**
2. **Антипорт** (на апикальной мембране имеется электронейтральный  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  - переносчик) (сопровождающим ион натрия в начальных отделах проксимального канальца является бикарбонат анион);
3. **Котранспорт парацеллюлярно** (ион натрия реабсорбируется пассивно, по электрохимическому градиенту, вслед за анионом хлора);
4. **Котранспорт интрацеллюлярно** (на апикальной мембране расположены переносчики натрия и органических веществ (глюкозы, аминокислот), натрия и фосфата или сульфата.

# Механизмы реабсорбции ионов натрия





# Дистальная реабсорбция

**ионов и воды по объему  
значительно меньше проксимальной.**

**Однако, существенно меняясь под влиянием  
регулирующих гормональных воздействий,  
она определяет состав конечной мочи**

(в зависимости от водного баланса организма).

**В дистальном отделе нефрона происходит:**

- Активная реабсорбция ионов натрия;
- Пассивная реабсорбция анионов хлора по электрохимическому градиенту (вслед за натрием).
- Активно всасываются ионы калия, кальция и фосфатов.

**Стенка дистального извитого канальца из-за  
отсутствия аквапоринов имеет низкую  
проницаемость для воды.**

# **Противоточно-множительная канальцевая система**

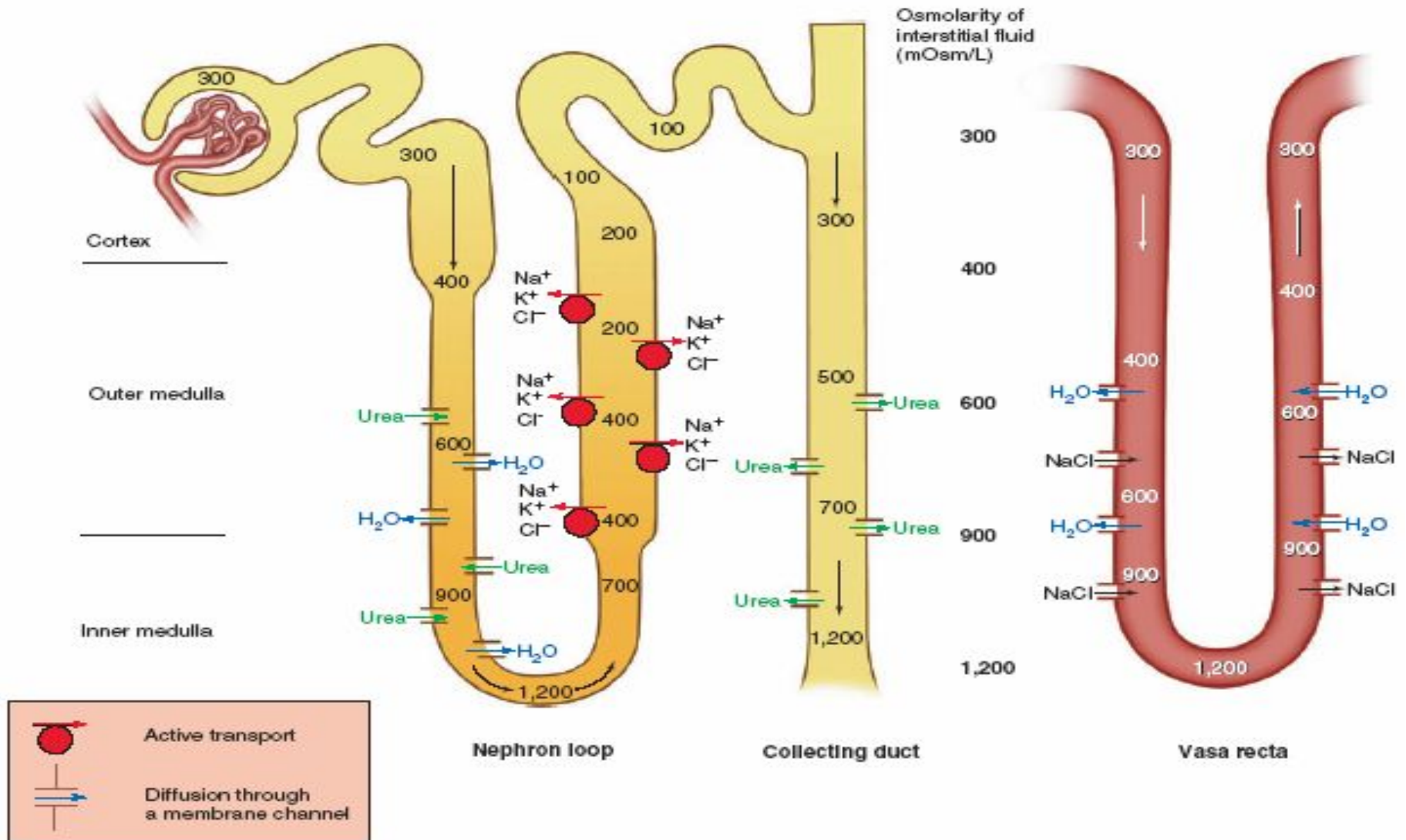
**обеспечивает способность почки  
образовывать концентрированную  
или разведенную мочу.**

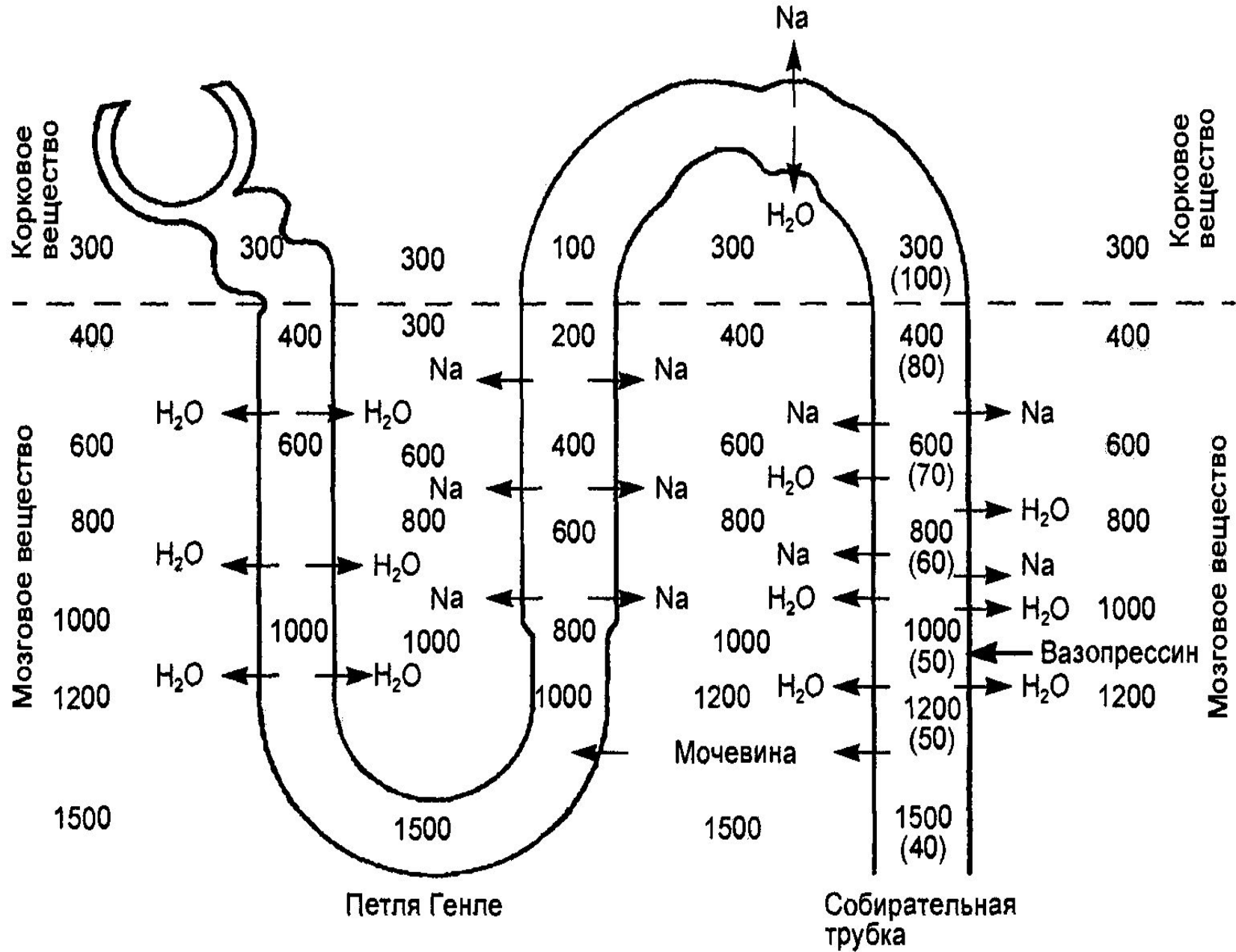
**Объединяет в себе 3**

**взаимодополняющие системы:**

1. параллельно расположенные колена петли Генле, по которым жидкость движется в разных направлениях (противоточно);
2. восходящее колено петли Генле и собирательная трубочка.
3. сосудистая противоточная система.

# Противоточно-множительный механизм концентрирования мочи

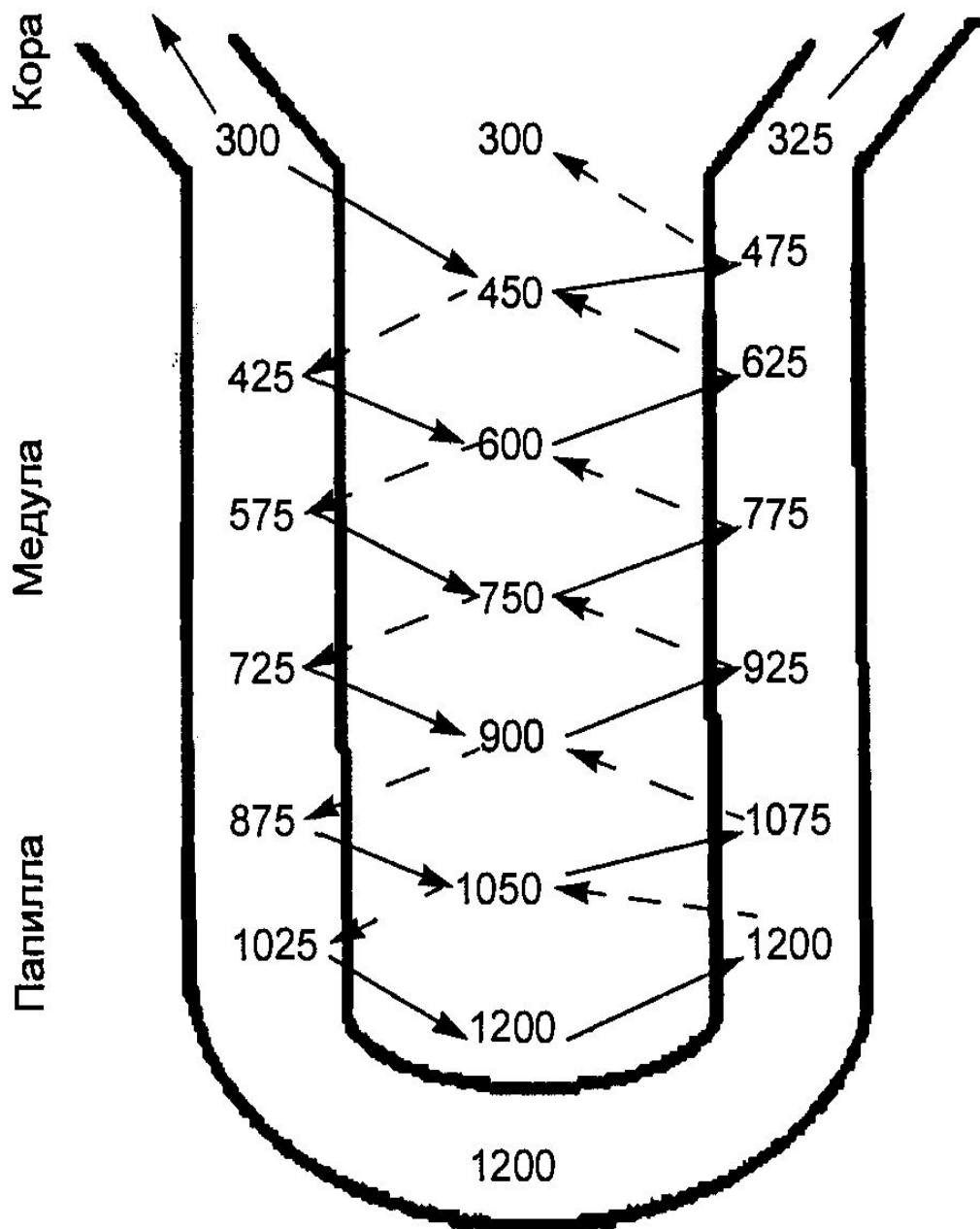




**Рис. 14.11.** Противоточно-множительная канальцевая система мозгового вещества почки.

**Рис. 14.12.** Противоточная сосудистая система мозгового вещества почки.

Цифрами обозначены величины осмотического давления плазмы крови (в просвете капилляров) и интерстициальной жидкости. Пассивная диффузия воды (сплошные стрелки) происходит по градиенту осмотического давления, в результате кровь в нисходящем колене капилляра теряет воду, натрий и мочевины пассивно по градиенту концентрации диффундируют из интерстиция в кровь и она становится более высоко осмотичной, а в восходящем колене капилляра из крови в интерстиций происходит диффузия натрия и мочевины, а из интерстиция в кровь — диффузия воды. В результате к концу восходящего колена капилляра осмотическое давление крови восстанавливается. Таким образом сосудистая противоточная система сохраняет высокие концентрации натрия и мочевины в интерстиции и его высокое осмотическое давление.



# Регуляция мочевыделения

Нервная регуляция функции мочевого пузыря обеспечивает чередование длительных периодов наполнения и коротких периодов опорожнения.

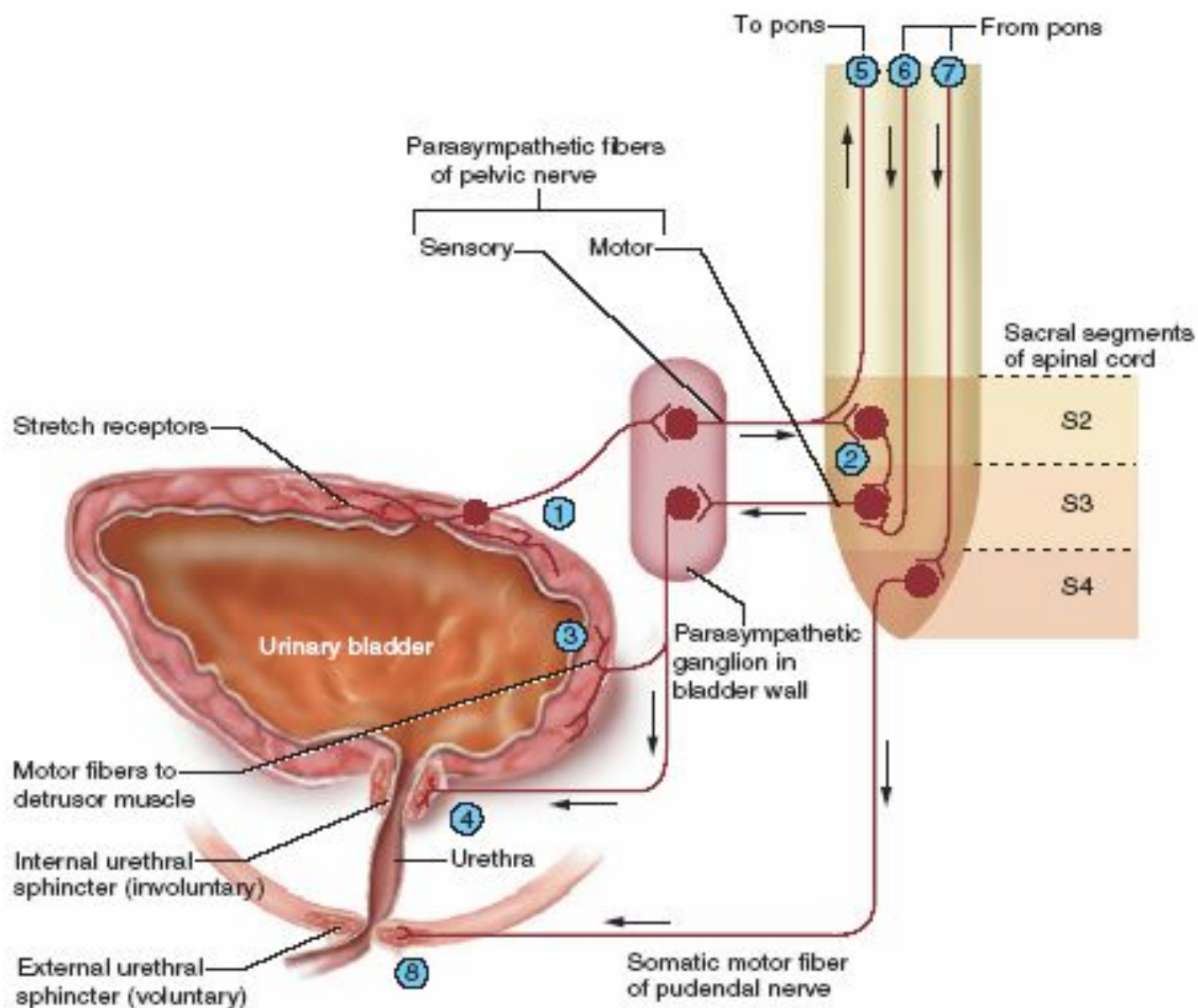
**Парасимпатические (возбуждающие) волокна** из крестцового отдела спинного мозга в составе тазовых нервов направляются к мышце, выталкивающей мочу (*m. detrusor vesicae*). Возбуждение нервов приводит к сокращению детрузора и расслаблению внутреннего сфинктера пузыря.

**Симпатические (задерживающие) волокна** из боковых ядер нижнего отдела спинного мозга направляются в нижний брыжеечный узел. Отсюда возбуждение передаётся по подчревным нервам к мускулатуре пузыря. Раздражение нервов вызывает сокращение внутреннего сфинктера и расслабление детрузора, то есть приводит к задержке выделения мочи.

**Чувствительные волокна.** В составе тазовых нервов проходят также чувствительные нервные волокна, передающие информацию о степени растяжения стенки мочевого пузыря. Наиболее сильные сигналы о растяжении поступают из заднего отдела мочеиспускательного канала, именно они отвечают за возникновение *рефлекса опорожнения мочевого пузыря*.

**Соматические моторные волокна.** В составе половых нервов проходят соматические моторные волокна, иннервирующие скелетную мускулатуру наружного сфинктера.

# Иннервация мочевого пузыря



# Аппарат «Искусственная почка»

