

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:

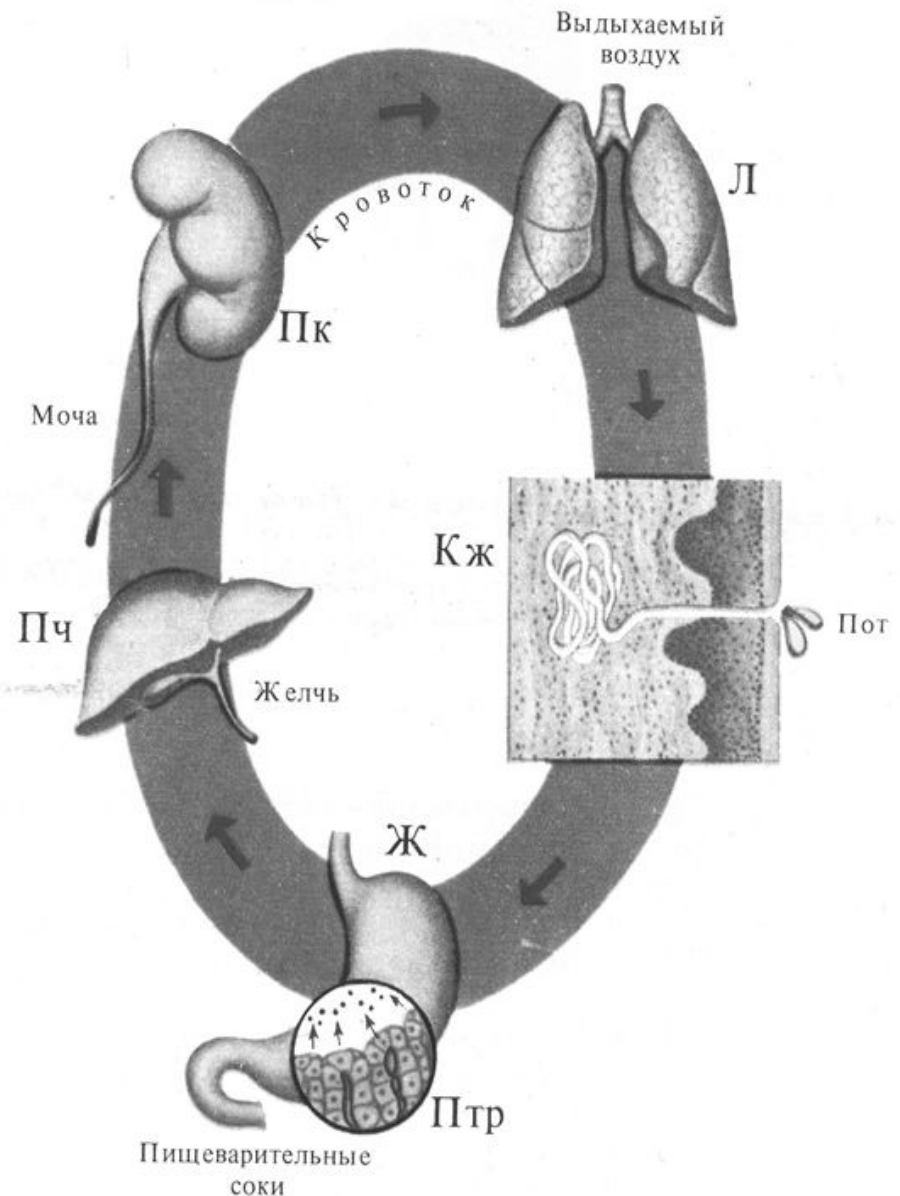
- почки,
- желудочно-кишечный тракт,
- легкие,
- кожа и слизистые оболочки,
- слюнные железы.

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

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

Органы,
принимающие
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, мочева́я кислота, креатин, хлориды, натрий, калий, кальций, органические вещества, липиды, микроэлементы.
- **Регуляция потоотделения** осуществляется симпатическими (холинергическими) влияниями, а также гормонами (вазопрессин, альдостерон, 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).

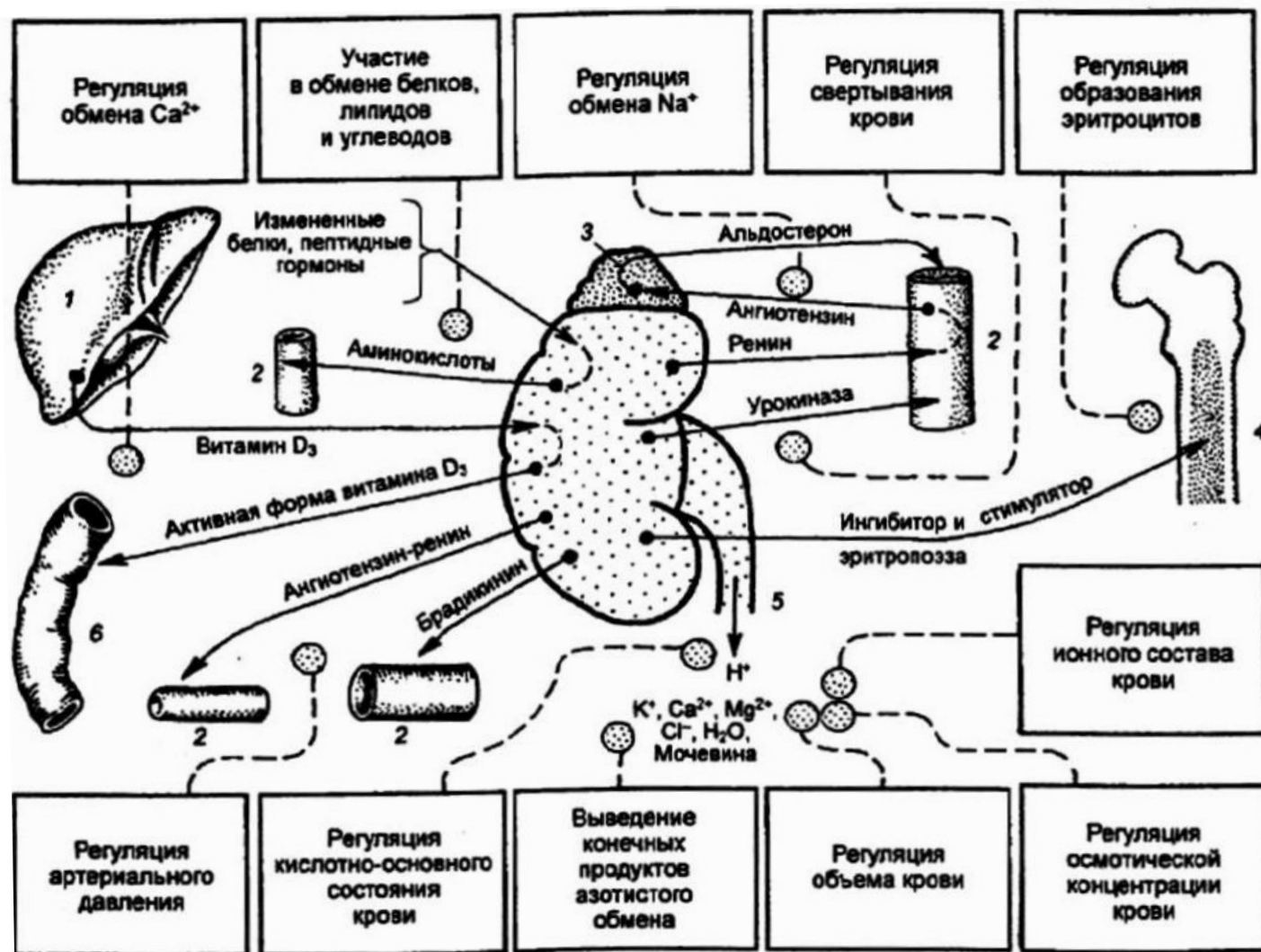
Функции почек

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).

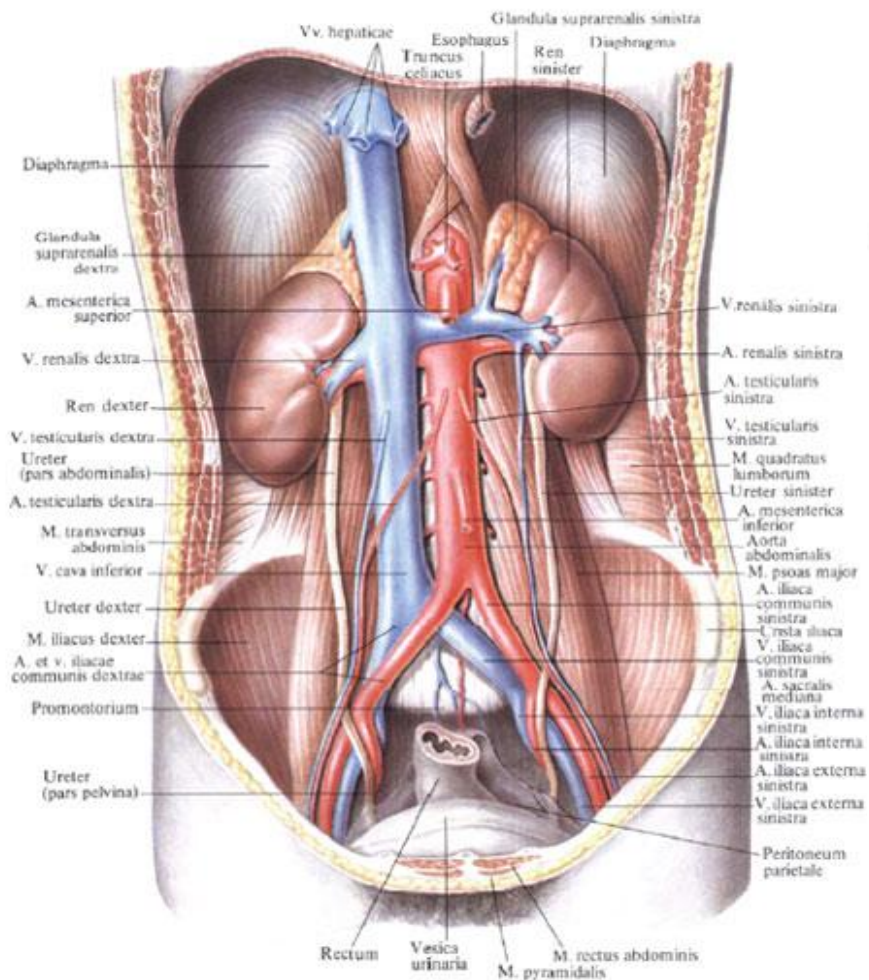
Выделительные и невыделительные функции почек



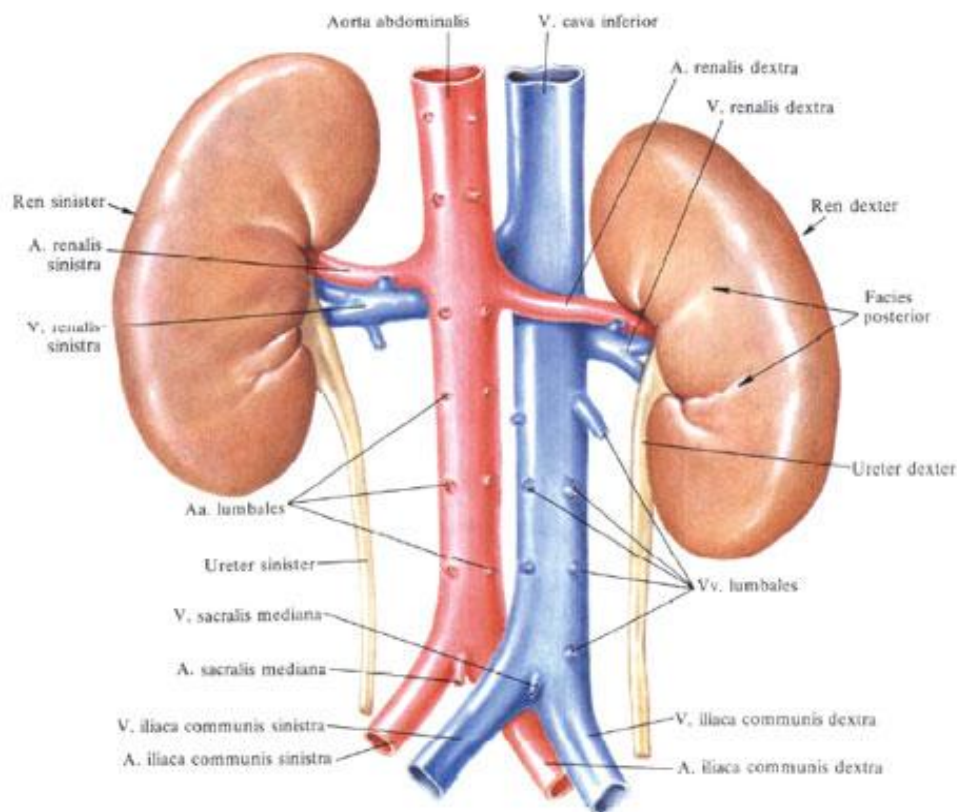
Основной функцией почек,
обеспечивающей ведущую роль в
выделительной системе
организма, является
образование и выделение мочи.

Анатомия почек

Мочевые органы, organa urinaria; вид сгthtlb



Почки, renes; вид сзади



Строение почки

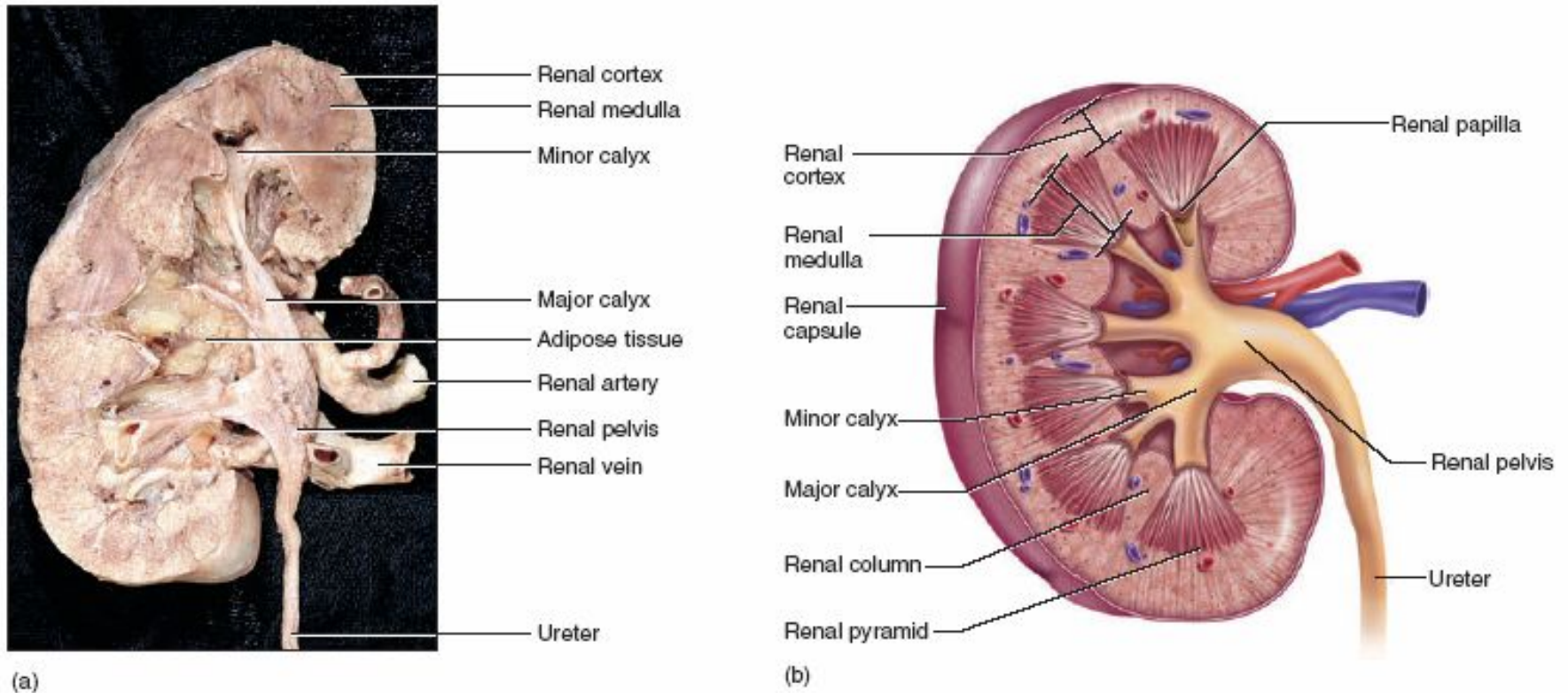
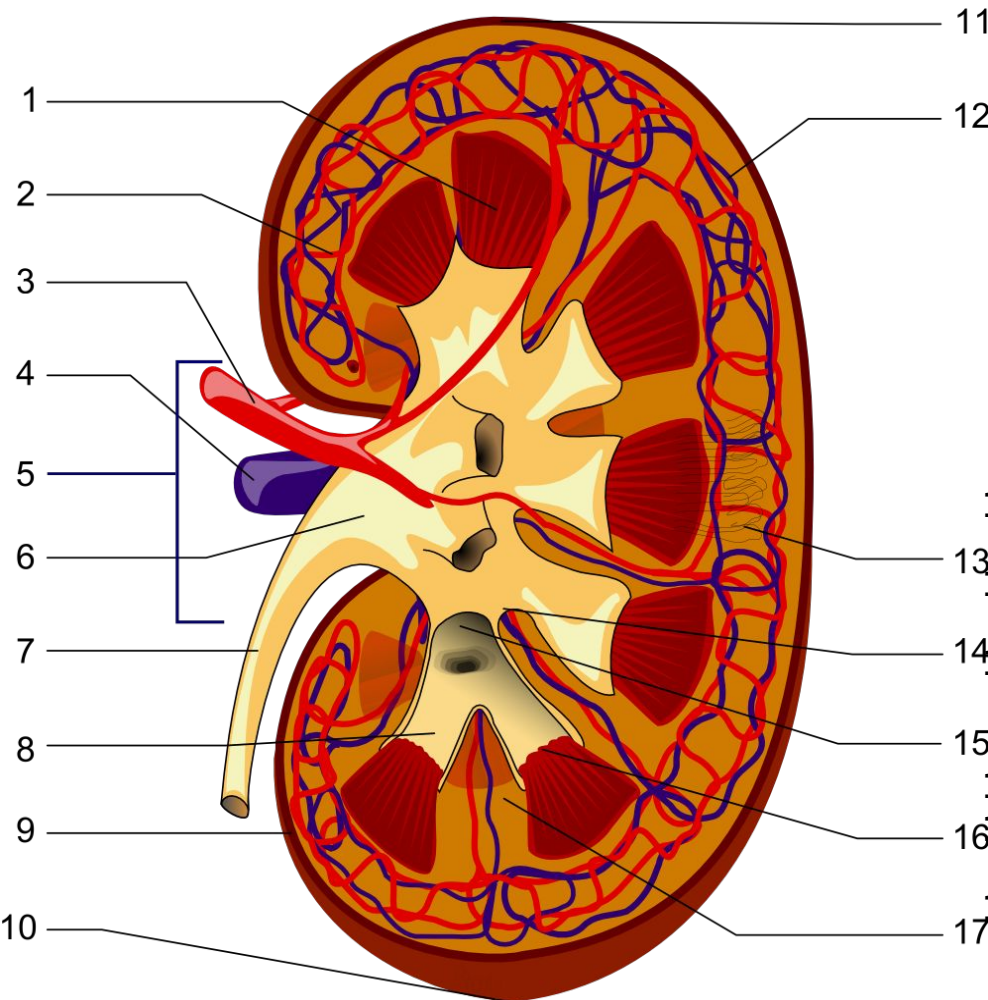


Figure 23.4 Gross Anatomy of the Kidney. (a) Photograph of a frontal section. (b) Major anatomical features.

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

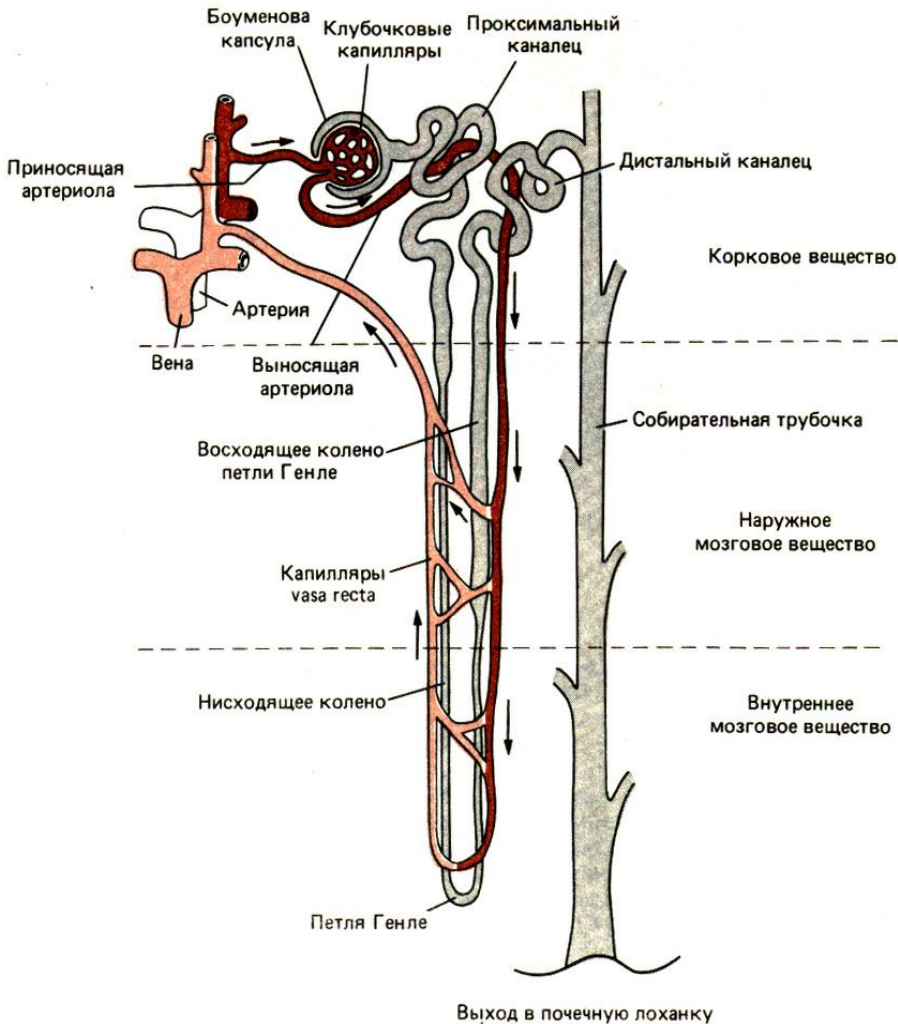
Моча образуется в почках из плазмы крови.

- 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.

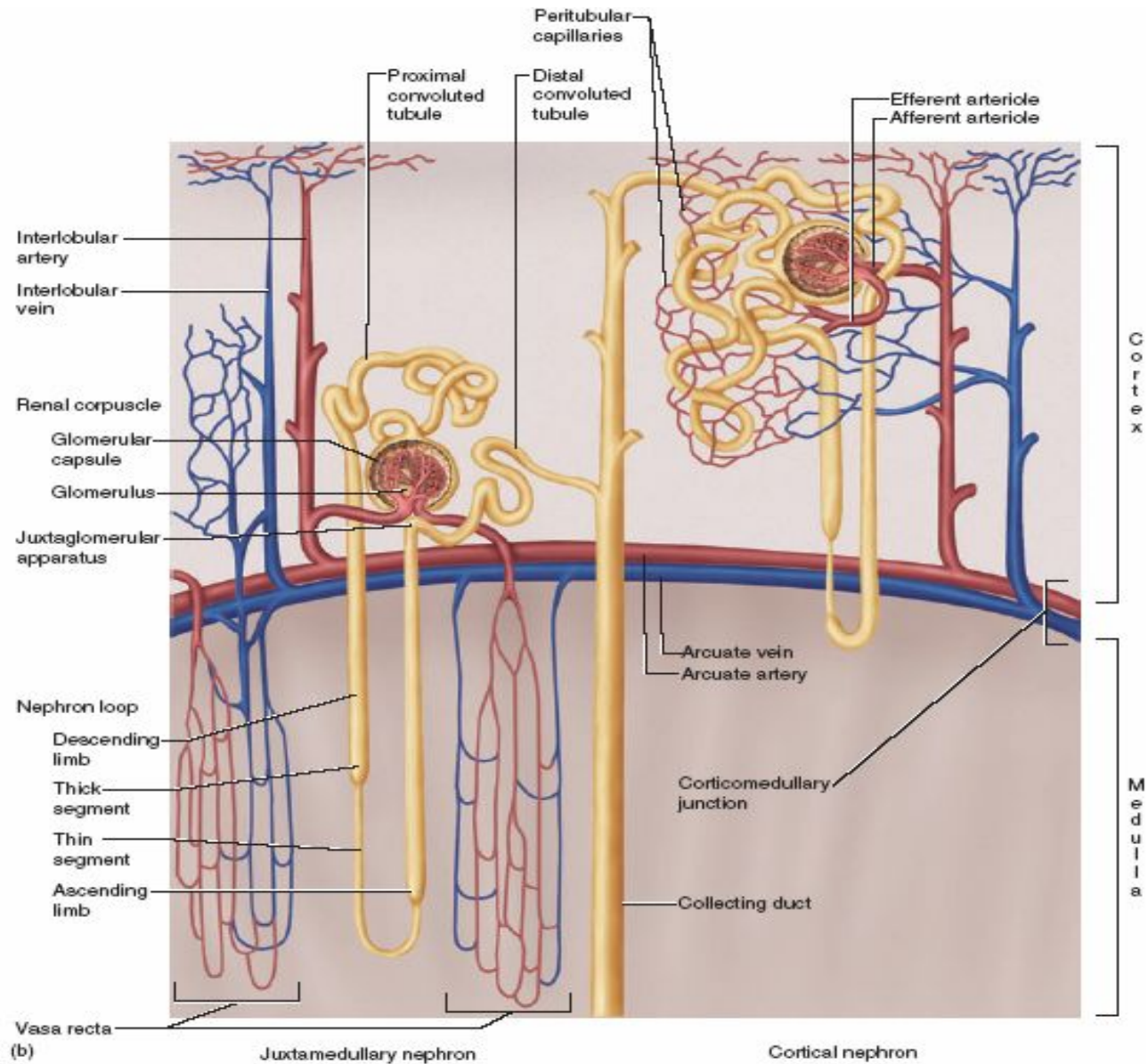
- В почке человека находится около **1,2** млн. нефронов.
- Не все нефроны функционируют в почке одновременно. В связи с этим важным показателем функциональной активности почки является масса действующих нефронов в конкретный момент времени.

Нефрон



- Сосудистый клубочек, или мальпигиево тельце;
- Двухслойная капсула Боумена—Шумлянського;
- 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.
- Собираательная трубочка.

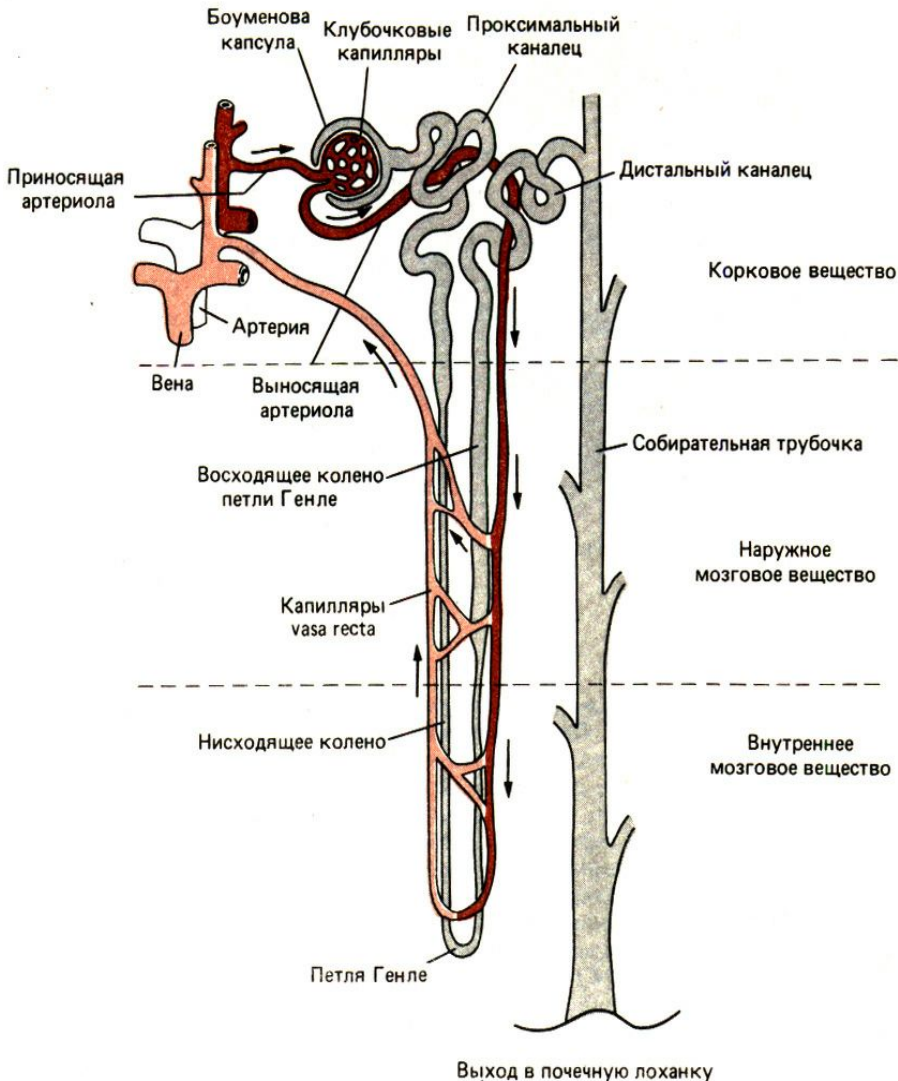
Структура нефрона



Типы нефронов

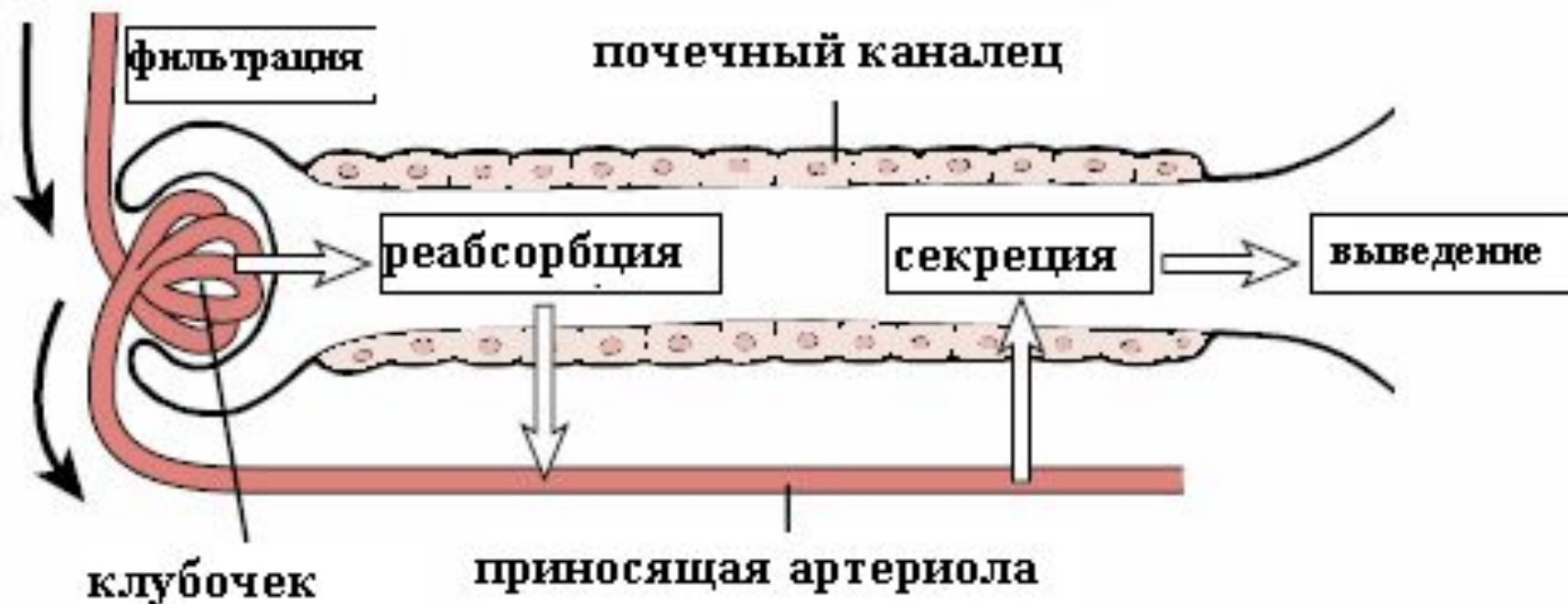
Различают 3 типа нефронов:

- **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.**

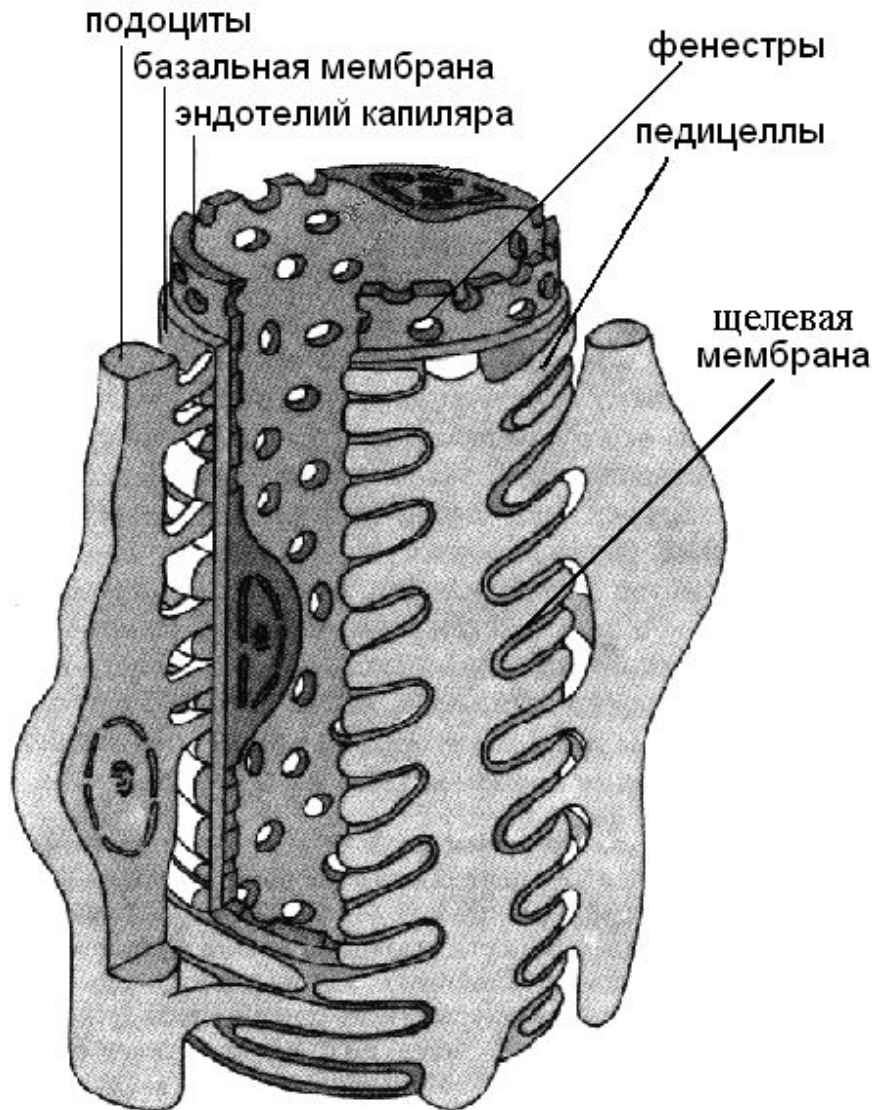


**Процессы, из которых складывается
образование мочи: 1.Фильтрация 2.
Реабсорбция 3.Секреция**

**Конечным продуктом этих процессов является
моча.**



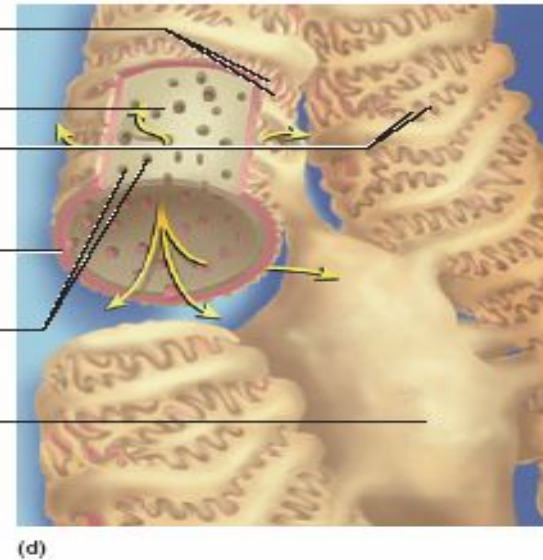
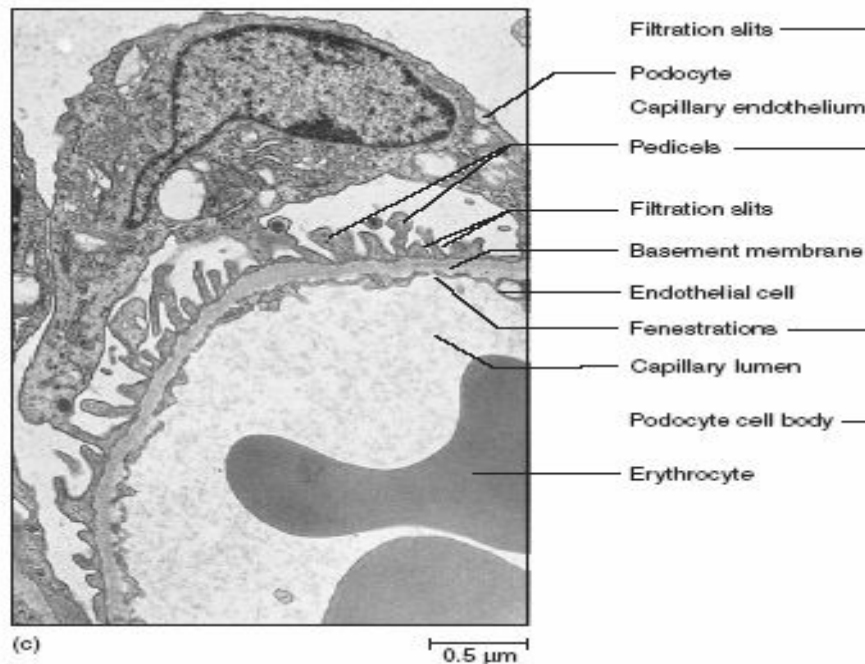
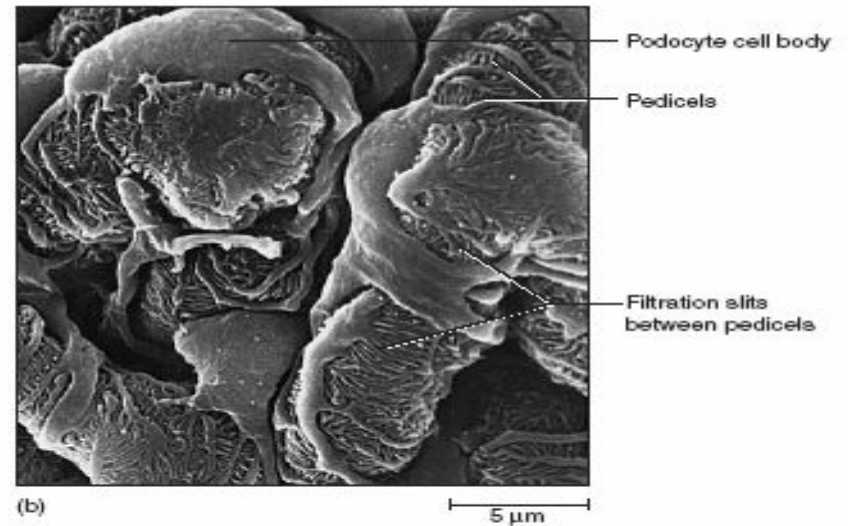
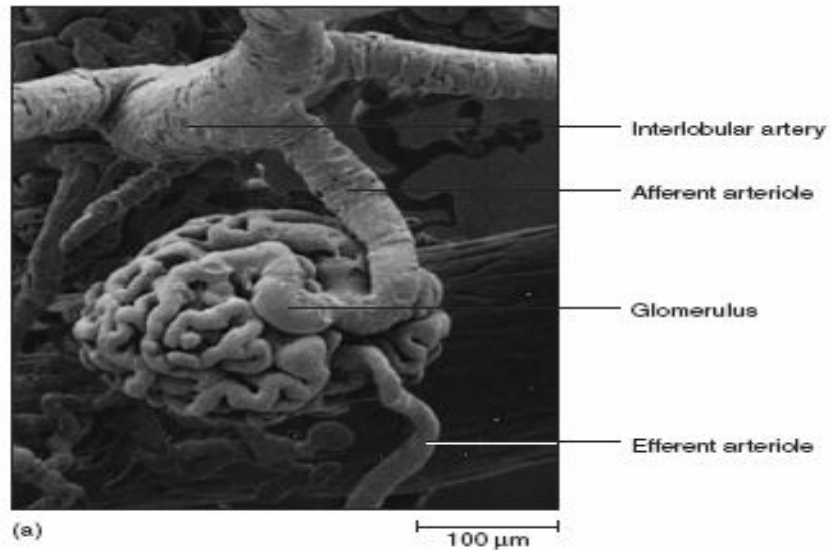
ФИЛЬТРАЦИОННЫЙ БАРЬЕР



- **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.

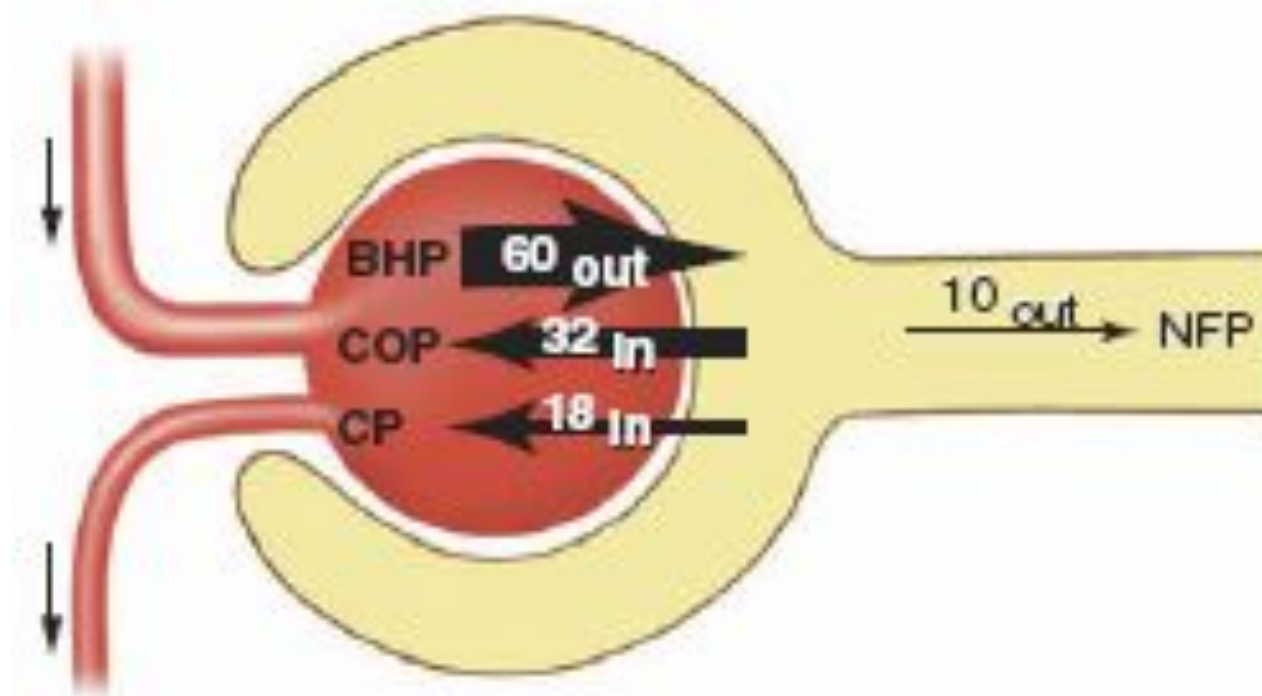
Фильтрационный барьер



**Эффективность фильтрации
определяется фильтрационным давлением,
которое складывается из:**

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

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



Зависимость между размерами молекул веществ и отношением концентрации вещества в боуменовой 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.

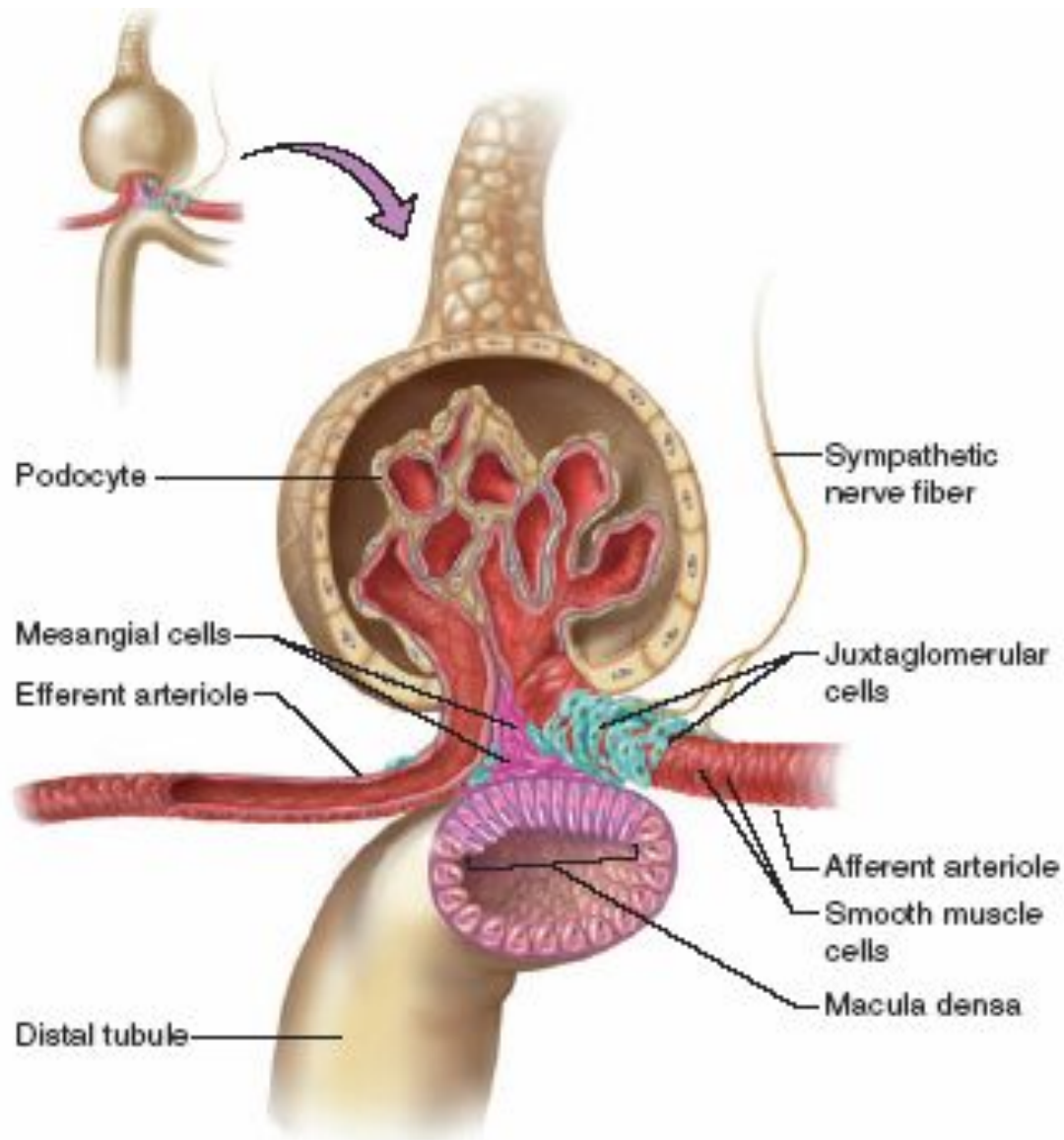
Нервные влияния реализуются:

- ❖ 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-П, кининов и простагландинов**;
- III. **Изменения числа функционирующих нефронов.**

Строение юкстагломерулярного аппарата



Канальцево-клубочковая обратная связь

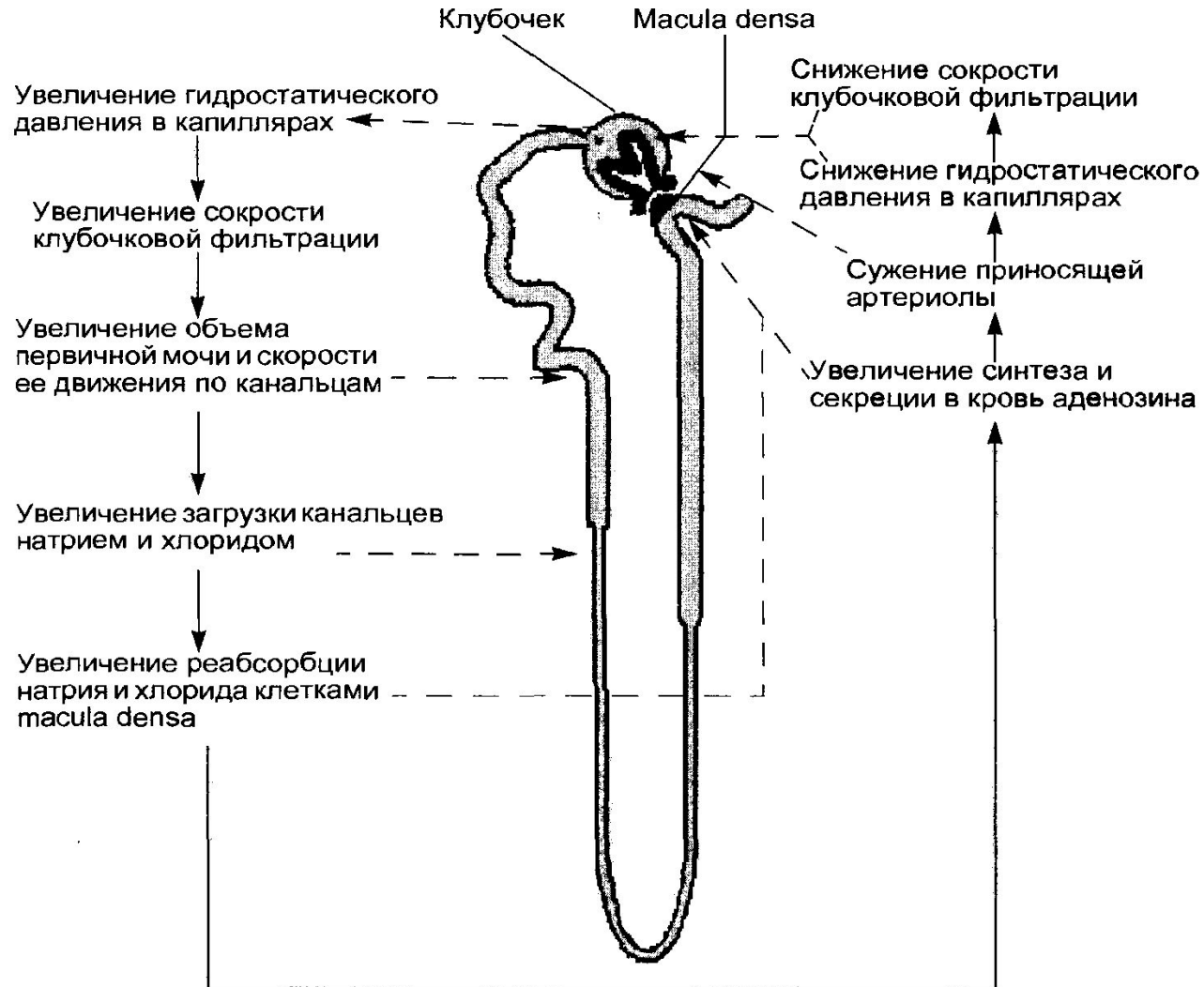
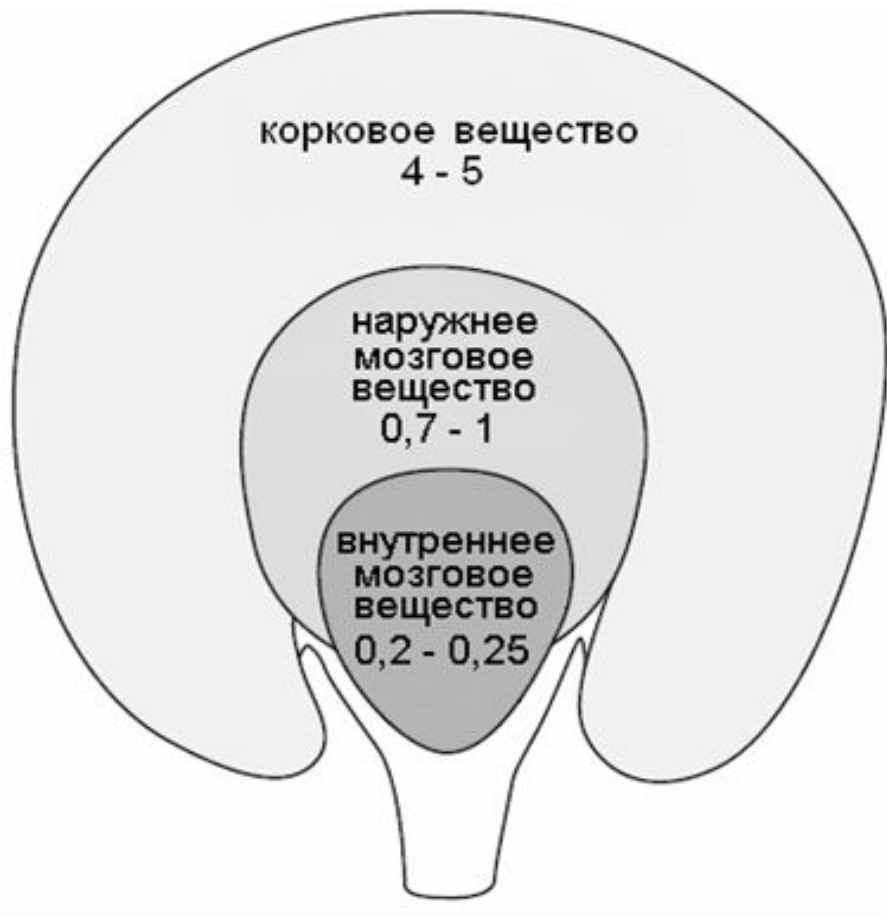
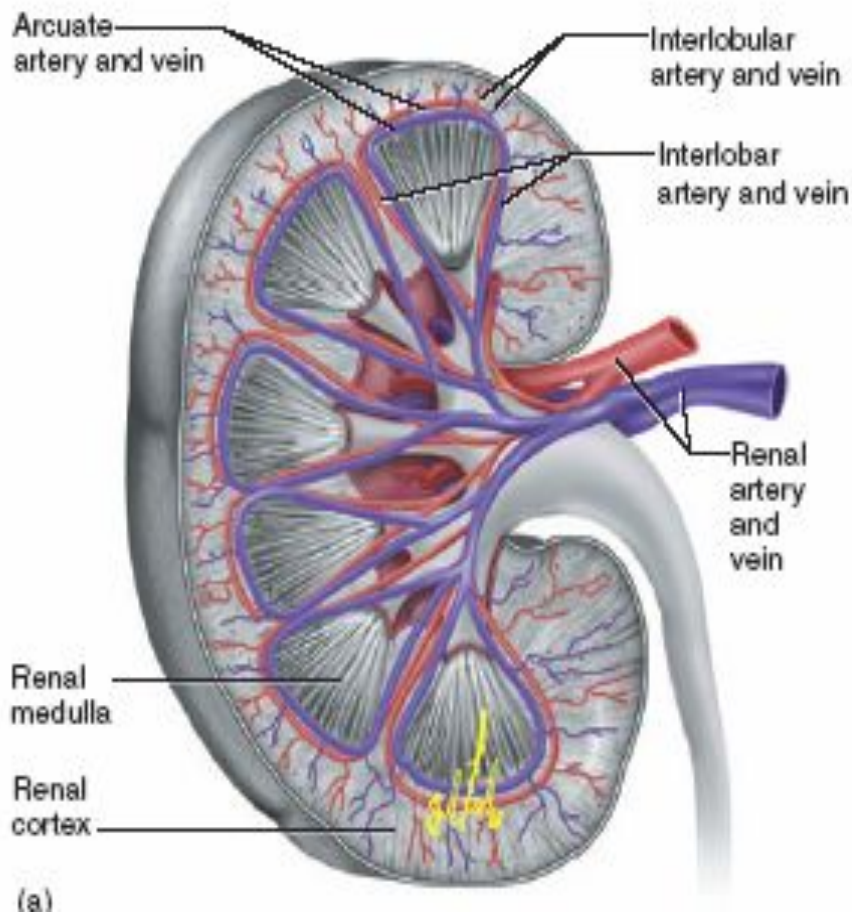


Рис. 14.6. Канальцево-клубочковая обратная связь как механизм ауторегуляции клубочковой фильтрации.

Кровоснабжение почек (мл/мин на 1 г ткани)



Регуляция почечного кровотока

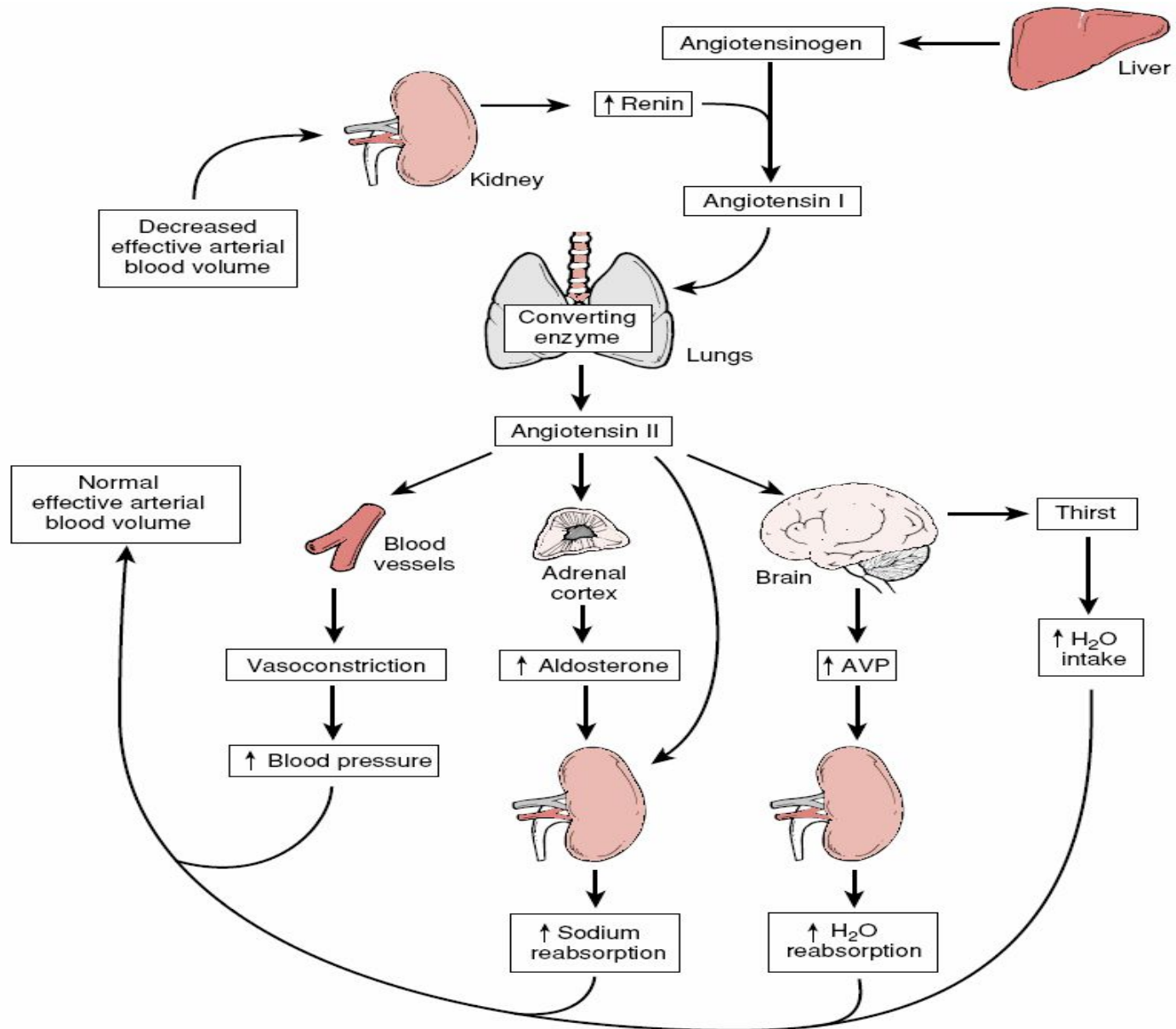
Процесс мочеобразования требует создания постоянных условий кровотока.

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

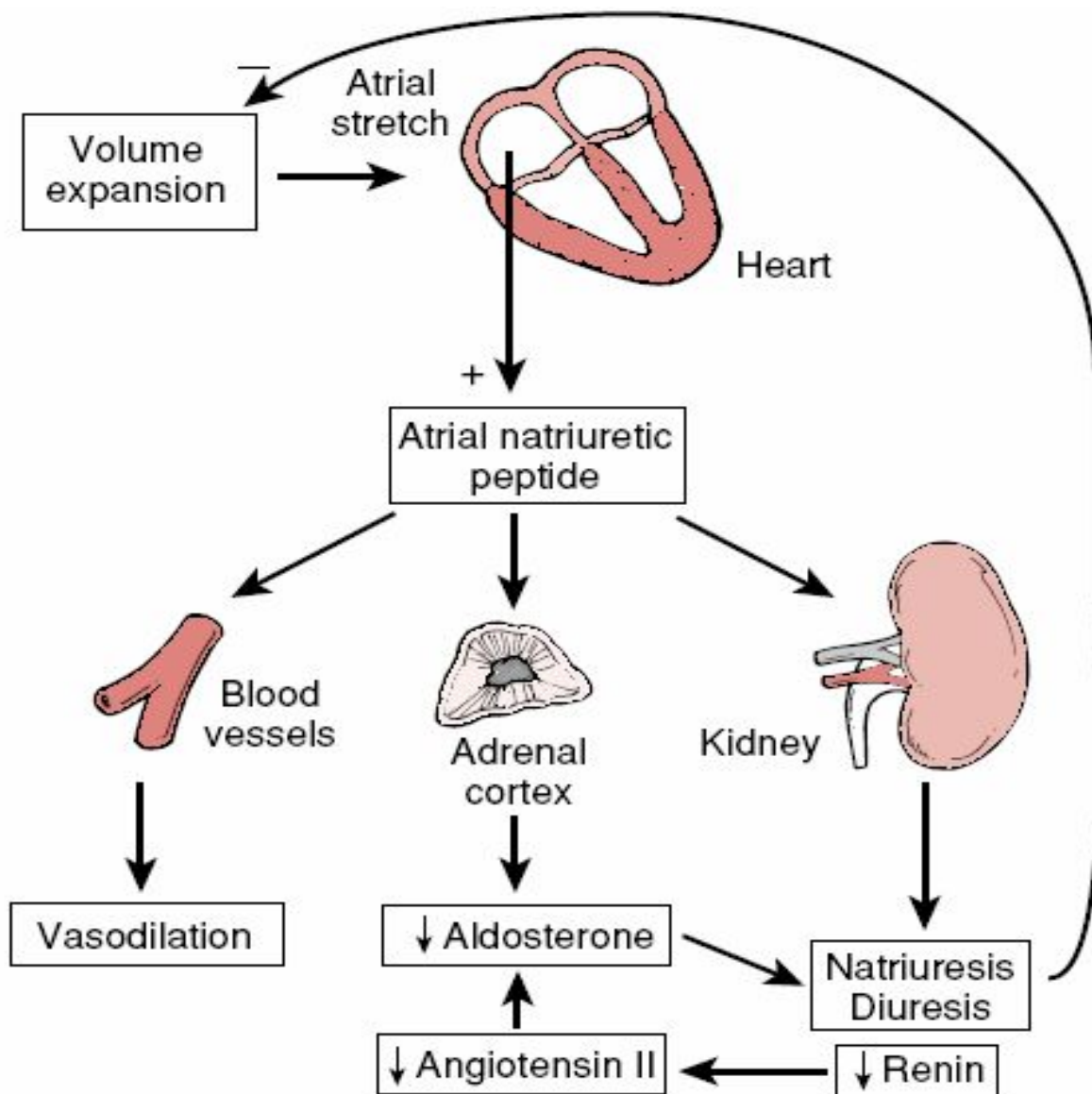
Механизмы поддержания почечного кровотока:

- 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-ангеотензин-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

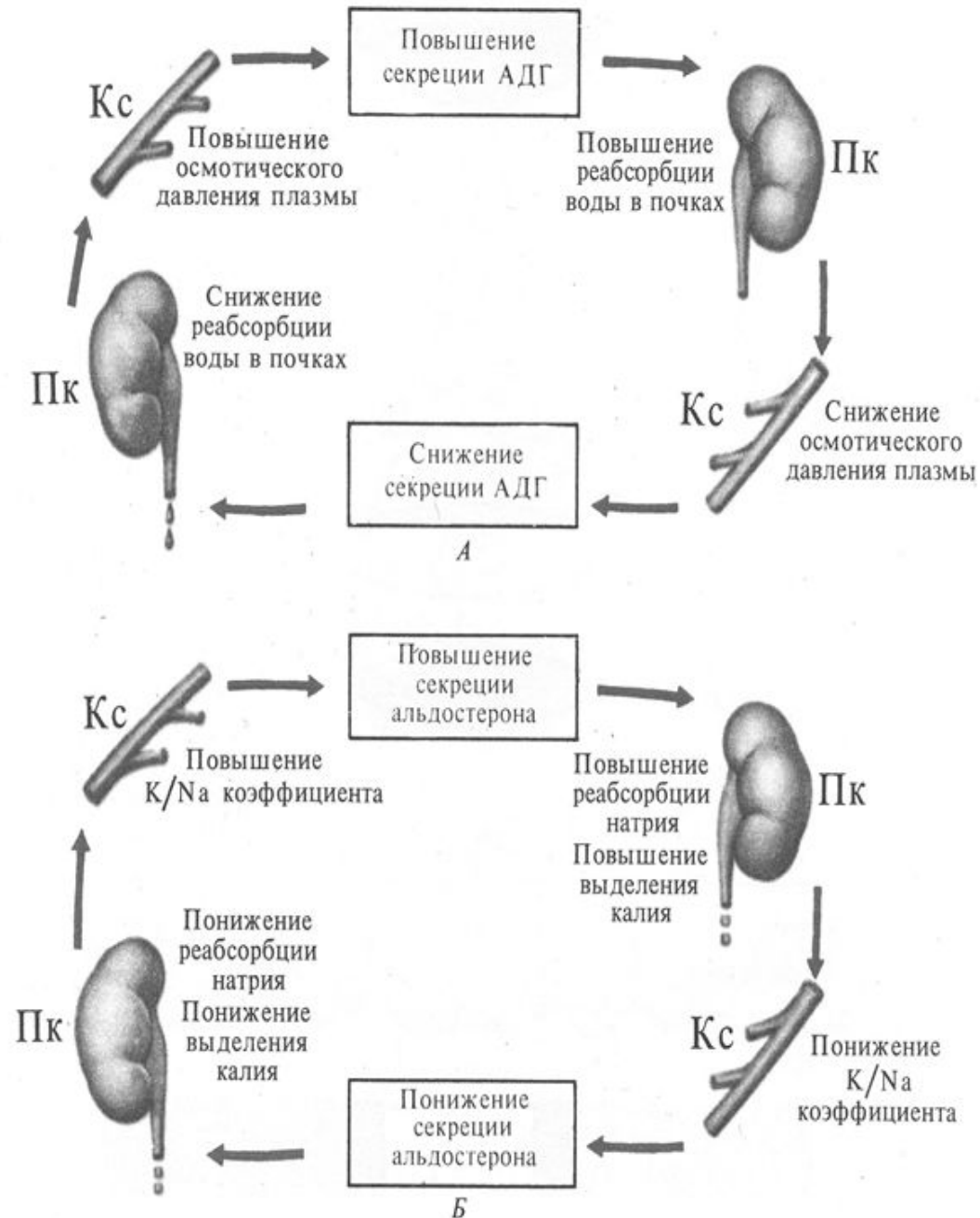


Роль почек в поддержании водно-солевого равновесия в организме.

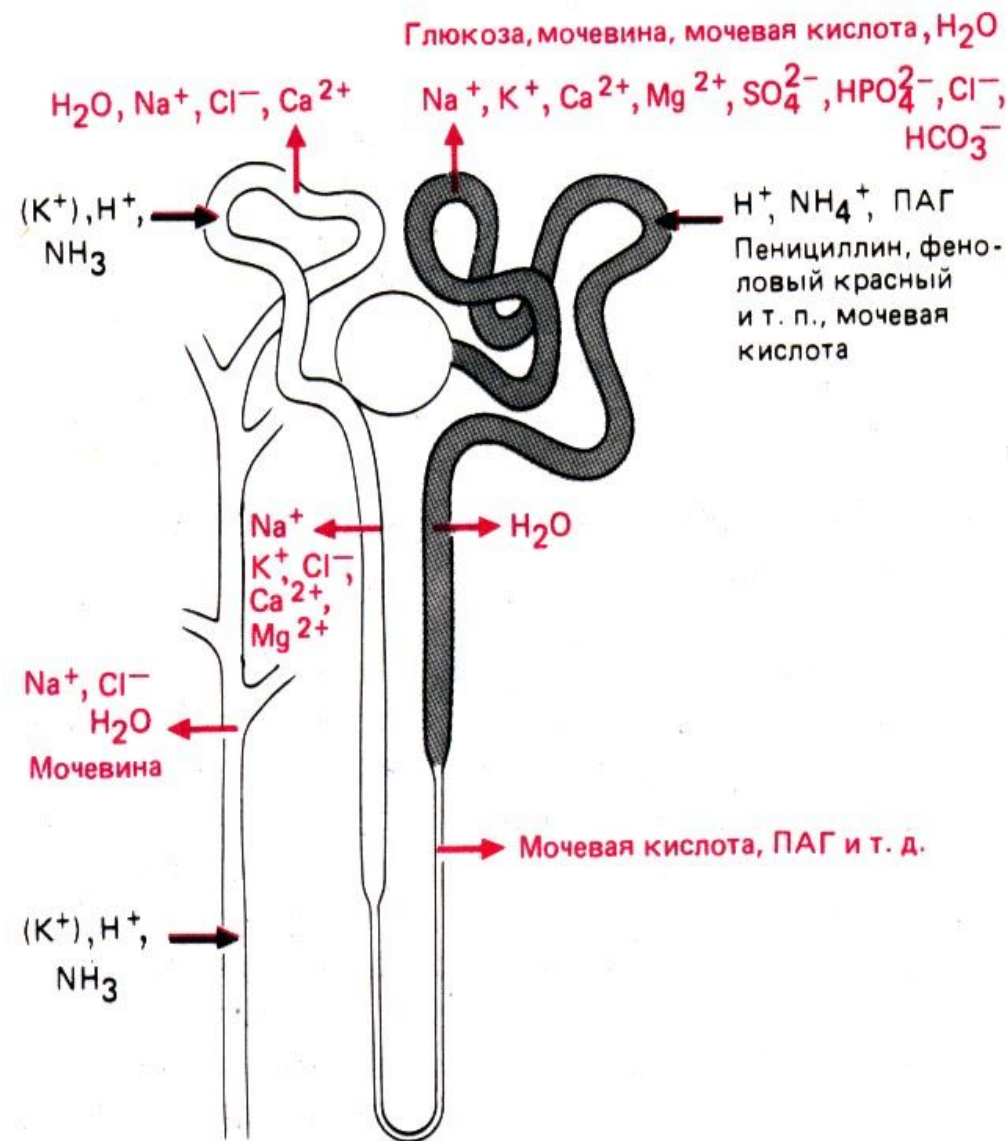
А – регуляция выделения воды;

Б – регуляция соотношения K^+ и Na^+

По А.В. Коробкову, 1986.

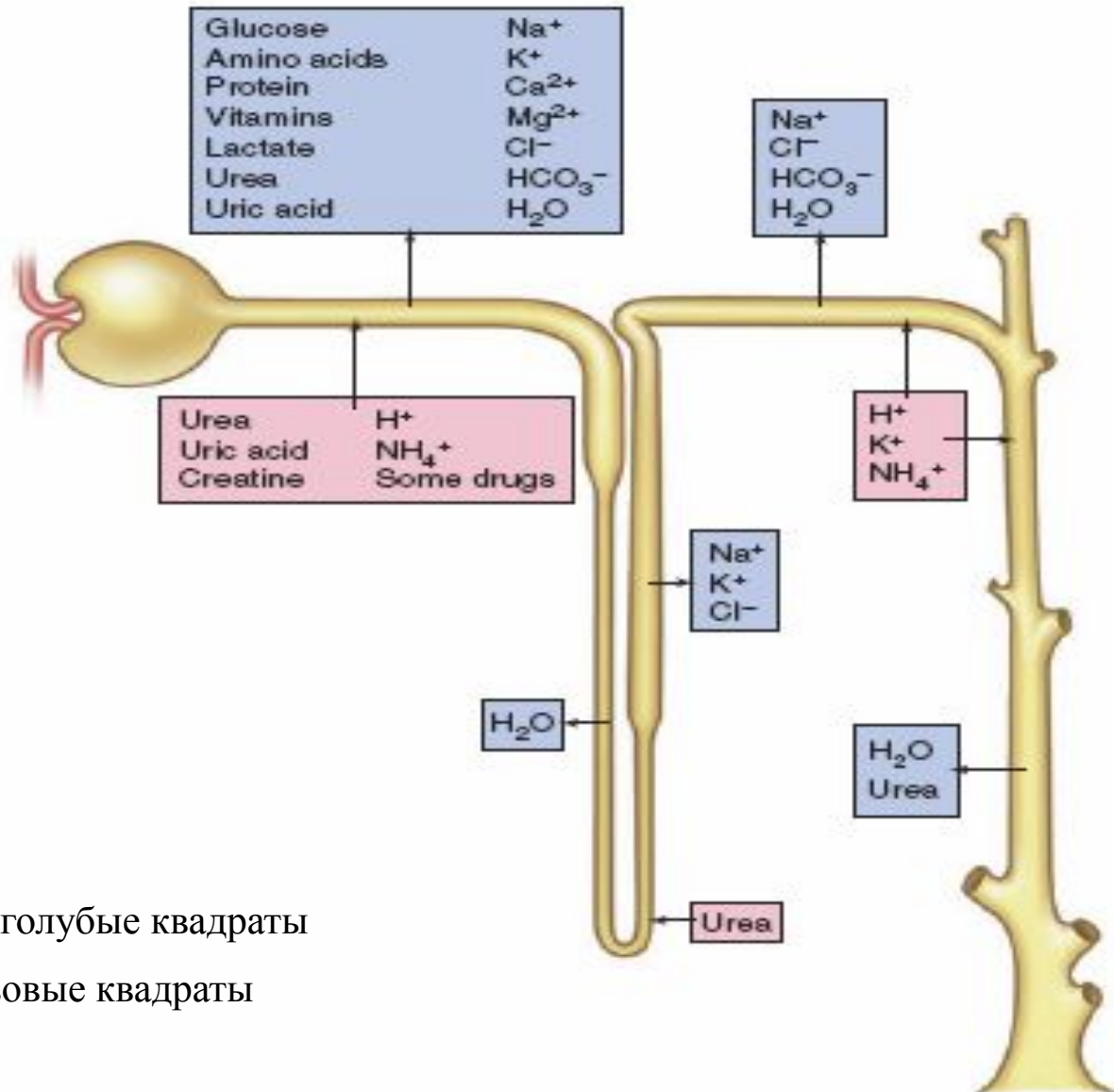


Реабсорбция обязательная и факультативная



- 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

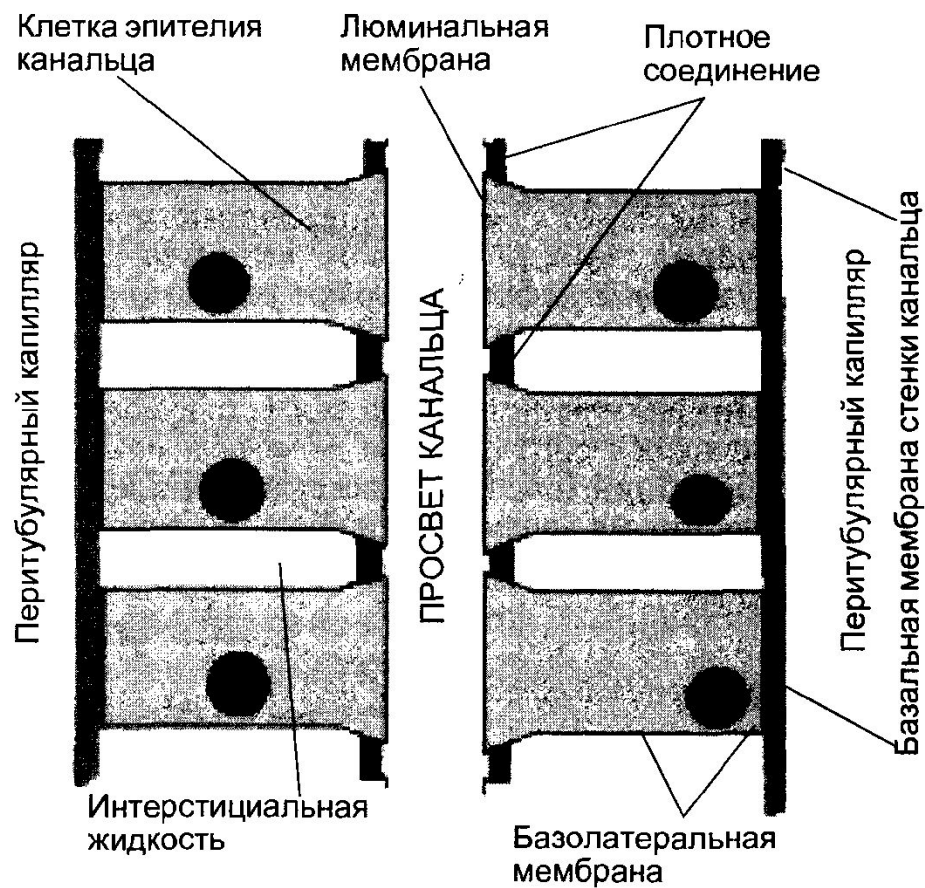


Рис. 14.4. Схема строения почечного канальца.

Проксимальная реабсорбция

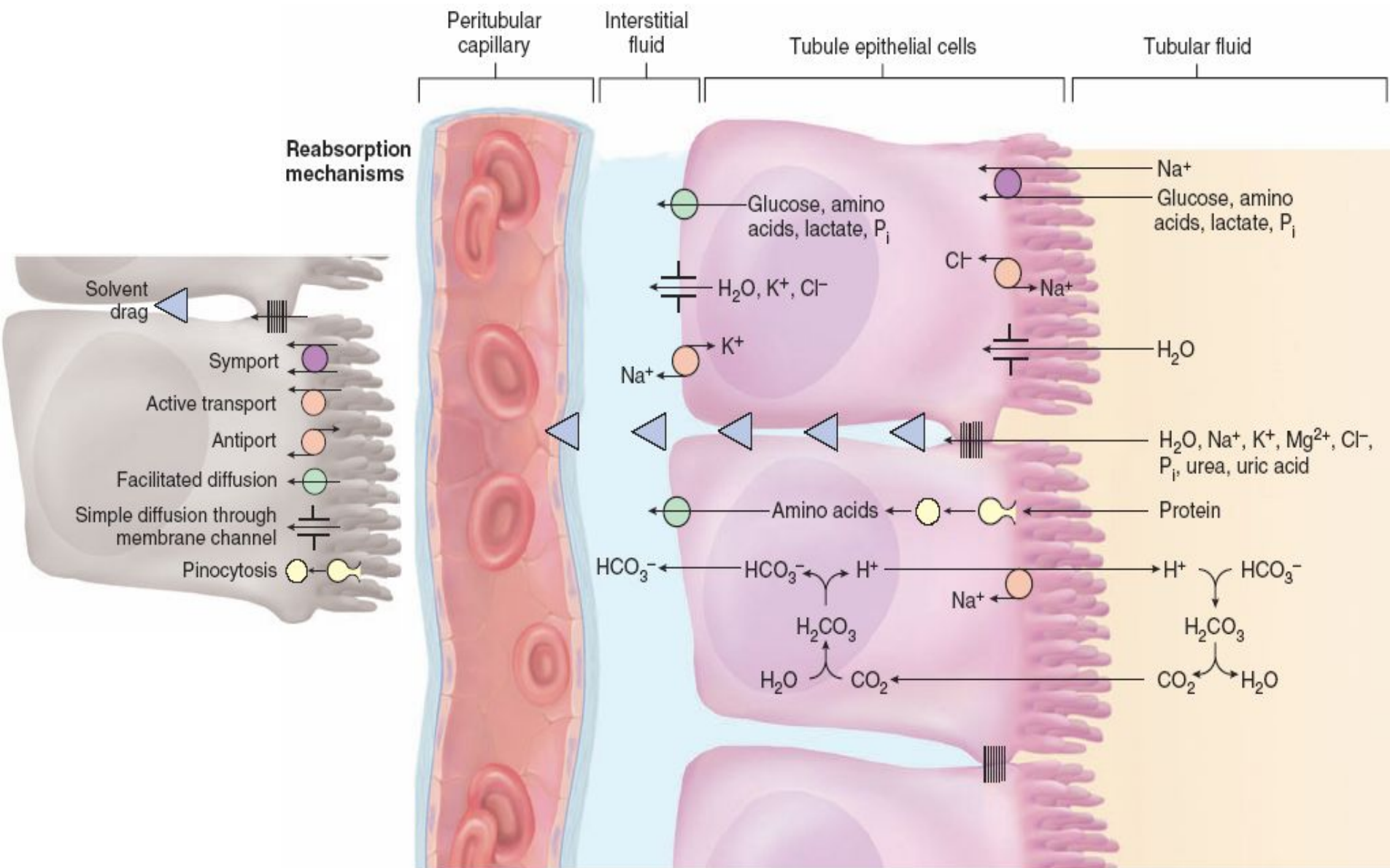
1. **обеспечивает полное всасывание глюкозы, белка, аминокислот и витаминов.**
2. **Всасывается 2/3 воды и ионов натрия,** большие количества ионов калия, двухвалентных катионов, анионов хлора, бикарбоната, фосфата, а также мочева кислота и мочевины.
3. В апикальной мембране эпителия проксимального канальца **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 Na^+/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

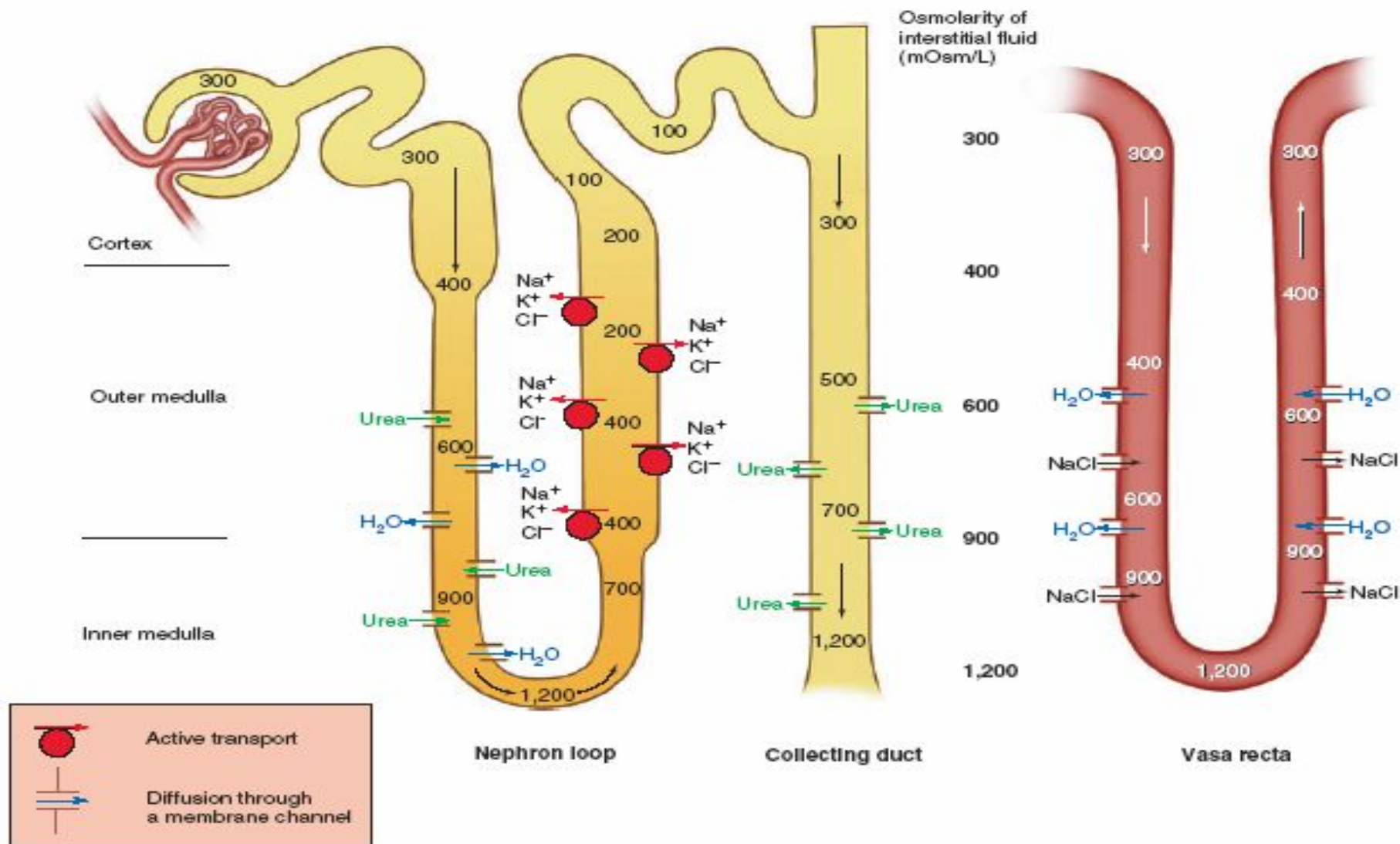
**обеспечивает способность почки
образовывать концентрированную
или разведенную мочу.**

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



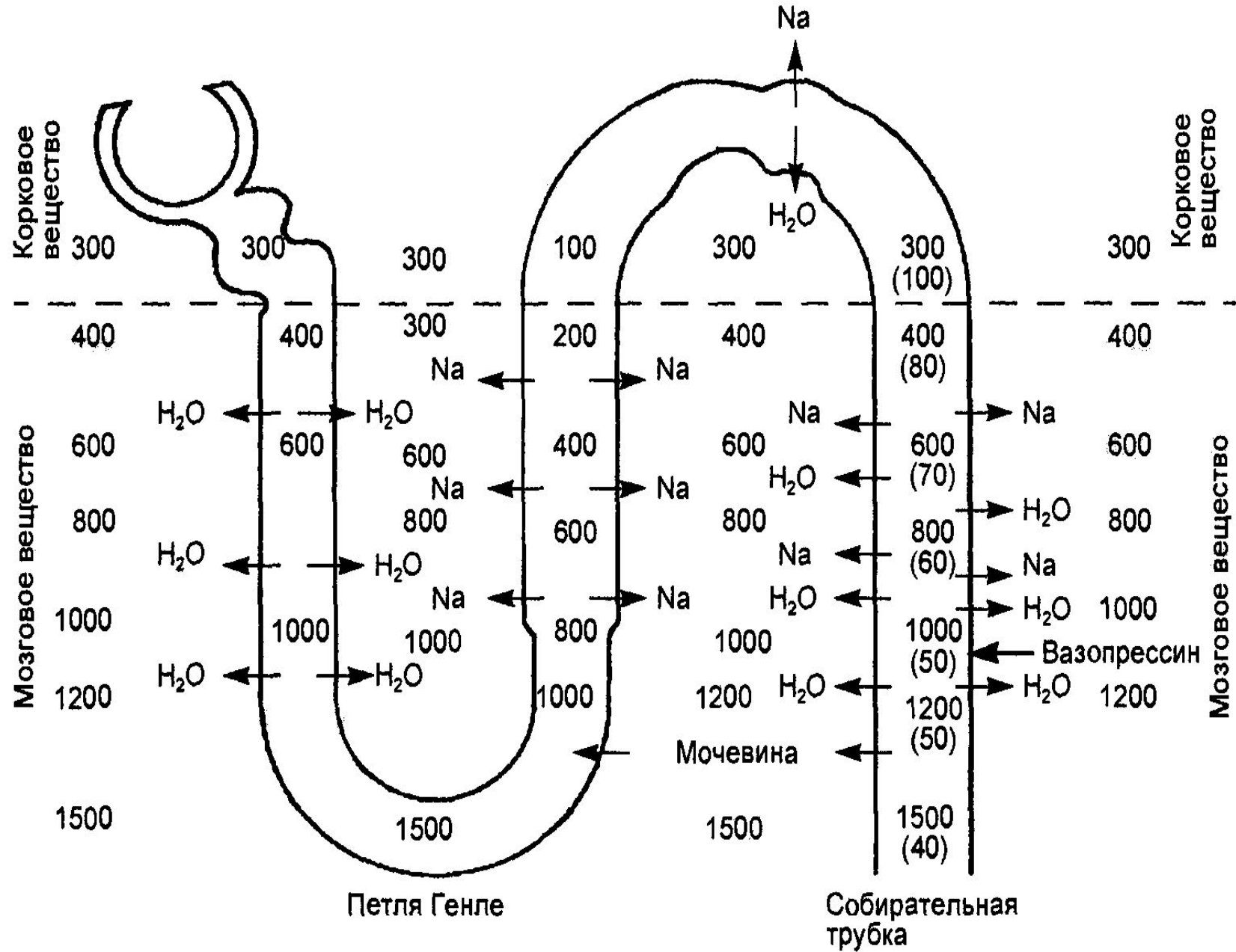
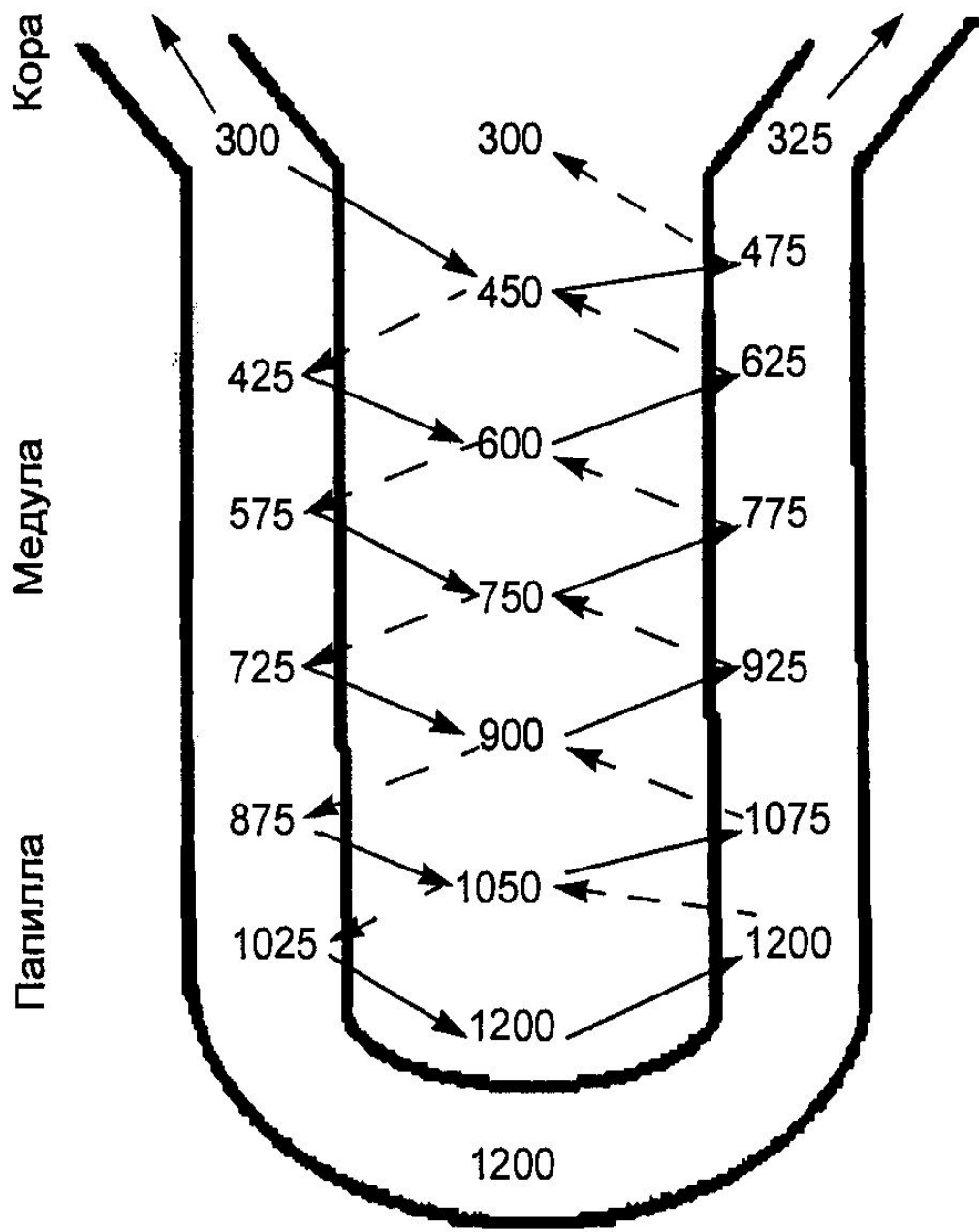


Рис. 14.11. Противоточно-множительная канальцевая система мозгового вещества почки.

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.

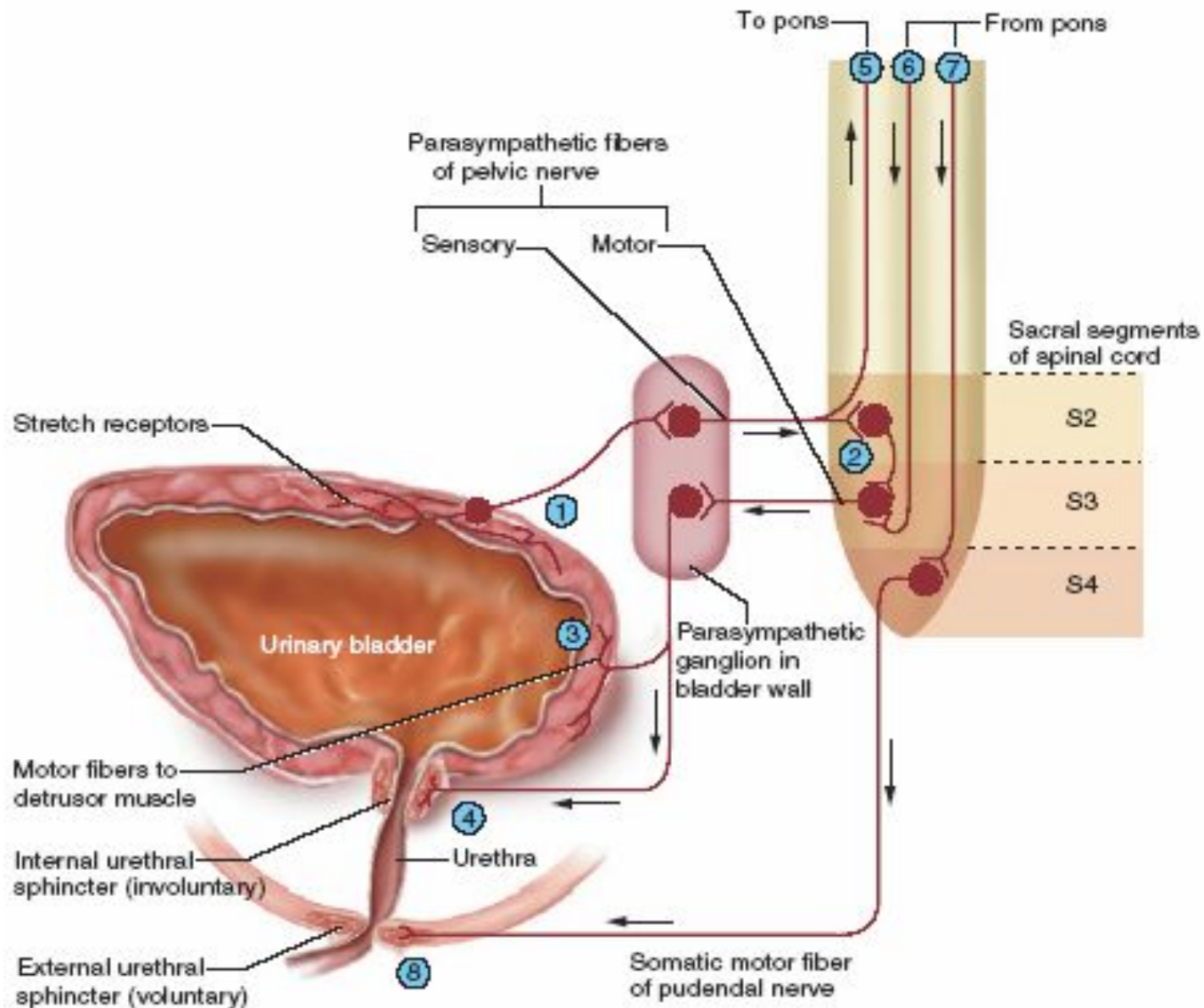
Парасимпатические (возбуждающие) волокна из крестцового отдела спинного мозга в составе тазовых нервов направляются к мышце, выталкивающей мочу (*m. detrusor vesicae*). Возбуждение нервов приводит к сокращению детрузора и расслаблению внутреннего сфинктера пузыря.

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»

