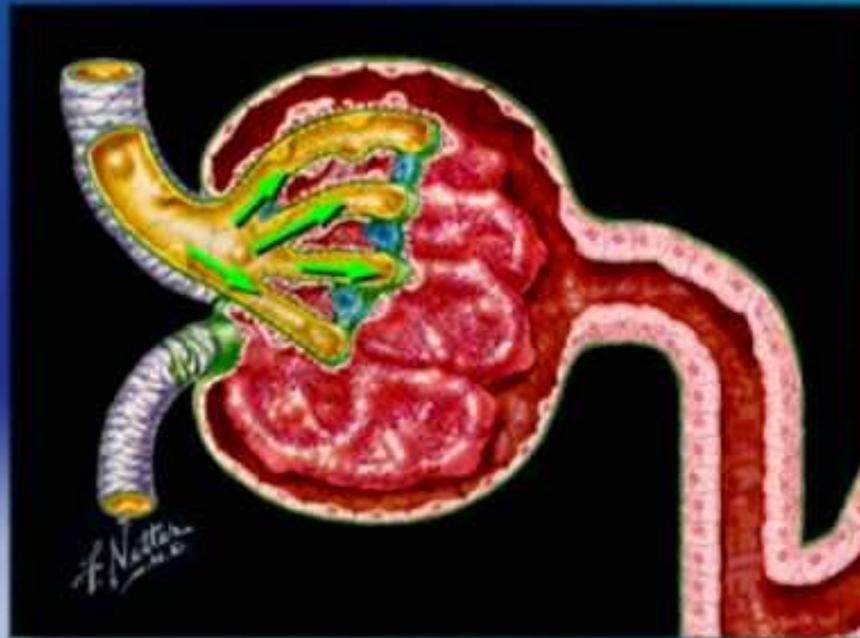


Лекция № 25

ФИЗИОЛОГИЯ ВЫДЕЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

РОЛЬ ПОЧЕК В ПРОЦЕССАХ ВЫДЕЛЕНИЯ



ПЛАН ЛЕКЦИИ

- Система выделения, ее функции и значение для организма.
- Почки – основной орган выделения.
Функциональная морфология нефрона.
Особенности кровоснабжения почек.
- Современная теория мочеобразования.
Клубочковая фильтрация. Факторы, от которых она зависит.
- Канальцевая реабсорбция, ее механизмы. Роль противоточно-поворотной системы в реабсорбции.
Механизмы осмотического концентрирования мочи.
- Секреция в канальцах. Секретируемые вещества.

I. СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧКИ.

Выделение – часть обмена веществ, осуществляемая путем выведения из внутренней среды организма во внешнюю среду конечных и промежуточных продуктов метаболизма, чужеродных и избыточных веществ для обеспечения оптимального состава внутренней среды и нормальной жизнедеятельности организма. Процессы выделения являются неотъемлемым признаком жизни, поэтому их нарушение неизбежно приводит к нарушению гомеостаза, обмена веществ и функций организма, вплоть до его гибели.

Почки – это важнейшие органы жизнеобеспечения, которые входят в функциональную систему выделения. Кроме почек выделительную функцию выполняют *легкие, желудочно-кишечный тракт, печень, кожа, молочные и сальные железы*. В процентном отношении почка занимает самое важное положение, беря на себя 90 % выделительной функции. Эта функция складывается из многих, в результате чего достигается **постоянство обменных процессов и внутренней среды** – что расценивается как гомеостатическая функция почек.

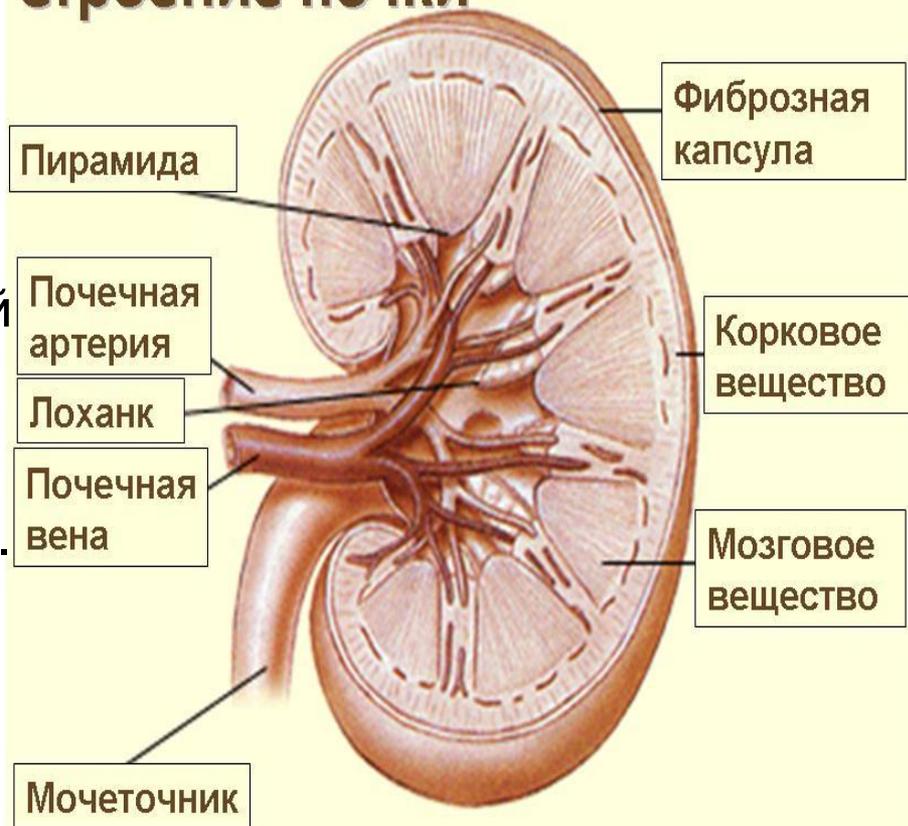
ФУНКЦИИ ПОЧЕК

1. **Обеспечивают водный обмен.**
2. **Регуляция ионного состава крови.**
3. **Обеспечение кислотно-щелочного равновесия.**
4. **Экскреторная функция почек** (выделение из крови нелетучих конечных продуктов обмена и чужеродных веществ, попавших во внутреннюю среду организма. Основными веществами являются продукты белкового обмена и обмена нуклеиновых кислот: мочевины, мочевая кислота, креатинин)
5. **Инкреторная функция почек** (ренин, простагландины).
6. **Функция мочеобразования.**

Почки – это парные органы, в которых непрерывно происходит образование мочи. Они расположены на внутренней поверхности задней брюшной стенки и имеют бобовидную форму. Их вогнутая поверхность называется воротами, куда вступают почечные артерии, выходят почечные вены и лимфатические сосуды, а также мочевыводящие пути – почечные чашечки, почечные лоханки и мочеточники.

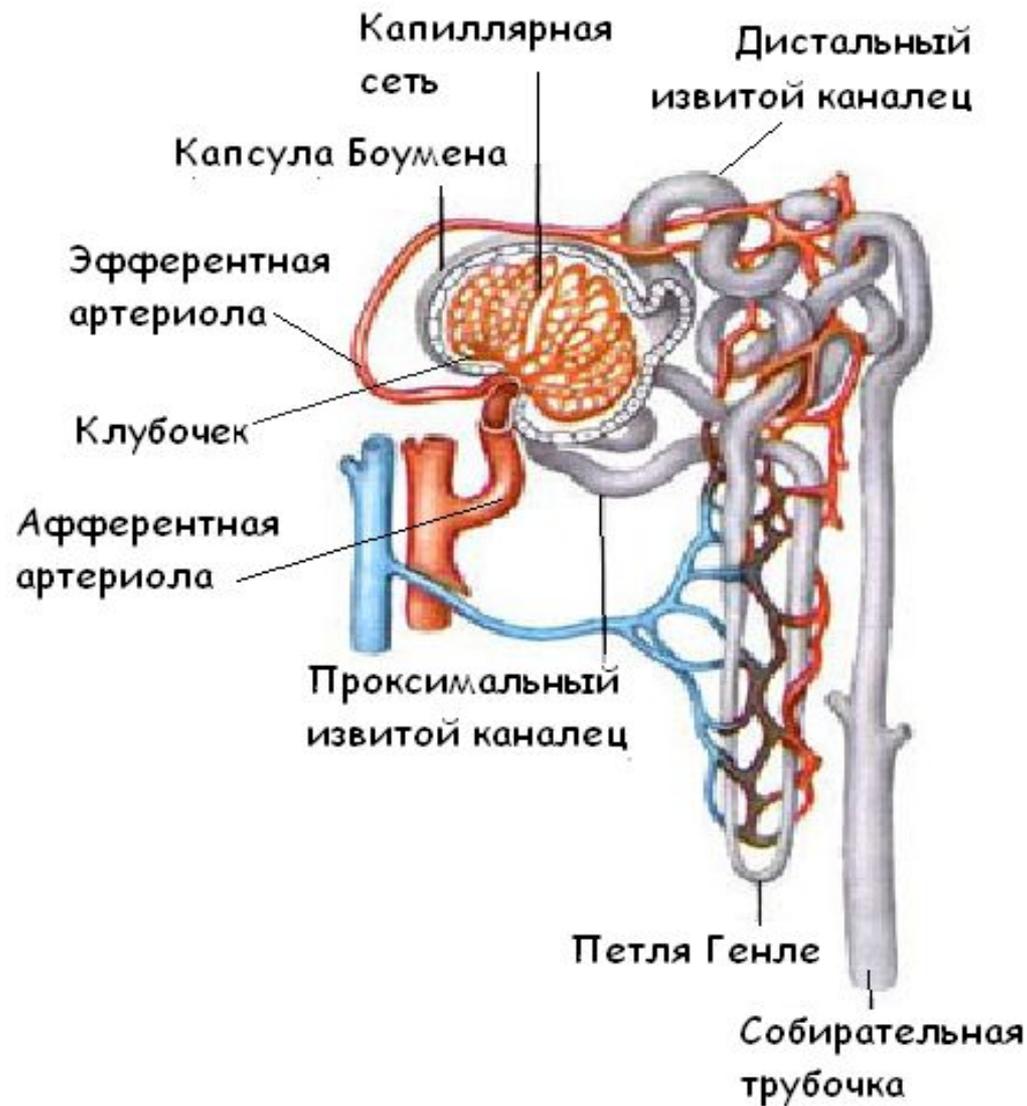
Почка покрыта соединительнотканной капсулой и серозной оболочкой. Вещество почки подразделяют на корковое – располагается под капсулой, и мозговое (более светлое). Почка разделена на 8-12 пирамид. И корковое, и мозговое вещество почки образованы различными частями нефронов.

Строение почки



НЕФРОН - ЭТО СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ЕДИНИЦА ПОЧКИ, ЗАКОНЧЕННАЯ ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА, КОТОРАЯ ВЫПОЛНЯЕТ ЗАКОНЧЕННУЮ ФУНКЦИЮ - ОБРАЗОВАНИЕ МОЧИ.

- ❖ Функциональная напряженность почек огромна, что возможно только на основе большого количества нефронов. В каждой почке их насчитывается до 1 миллиона. Они фильтруют в сутки по 150-170 л первичной мочи, из которой путем обратного всасывания (реабсорбции) образуется и выводится до 1,5 л конечной мочи.



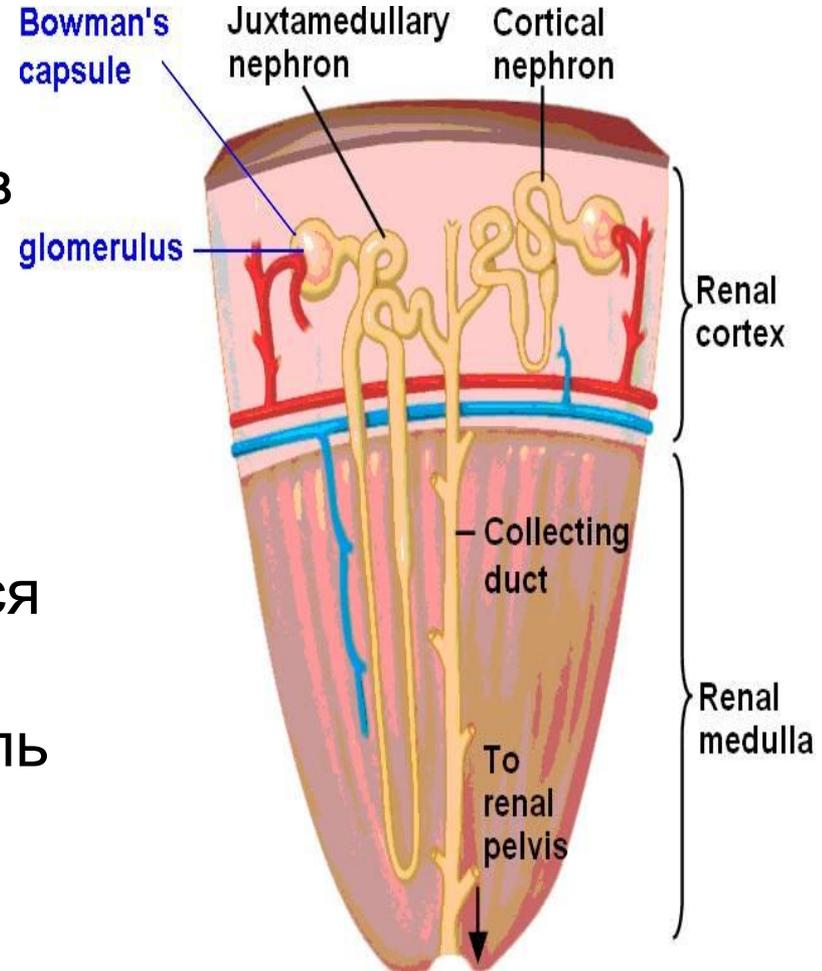
РАЗЛИЧАЮТ 2 ВИДА НЕФРОНОВ:

1. Корковые нефроны (до 80 %)

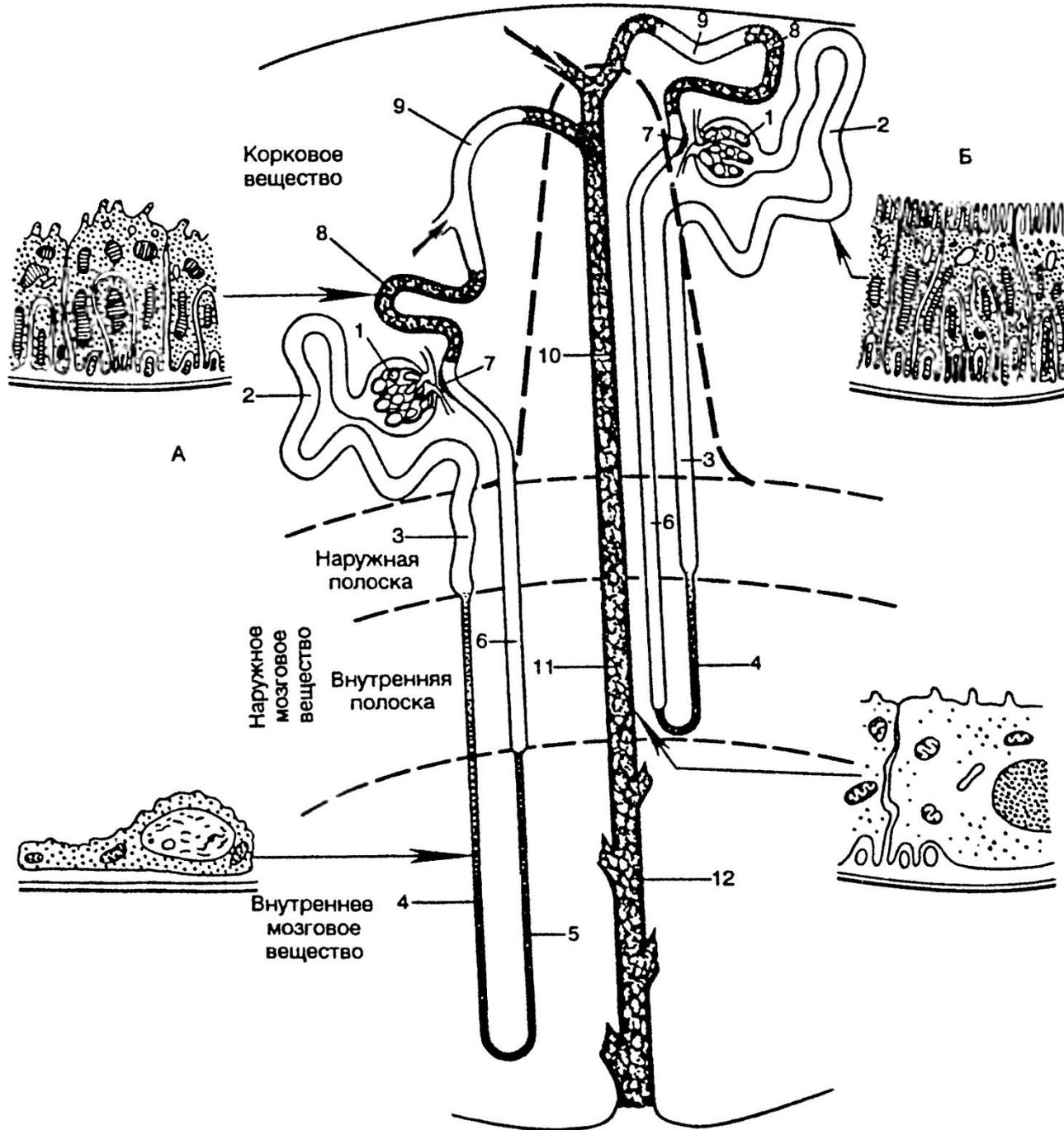
почти полностью находятся в корковом веществе, и лишь колена петли Генле находится в мозговом веществе.

2. Юкстамедуллярные

(околосозговые – 20 %) – их почечные тельца вместе с извитыми канальцами находятся на границе между мозговым и корковым слоями. Колена петель Генле опускаются глубоко в мозговое вещество.



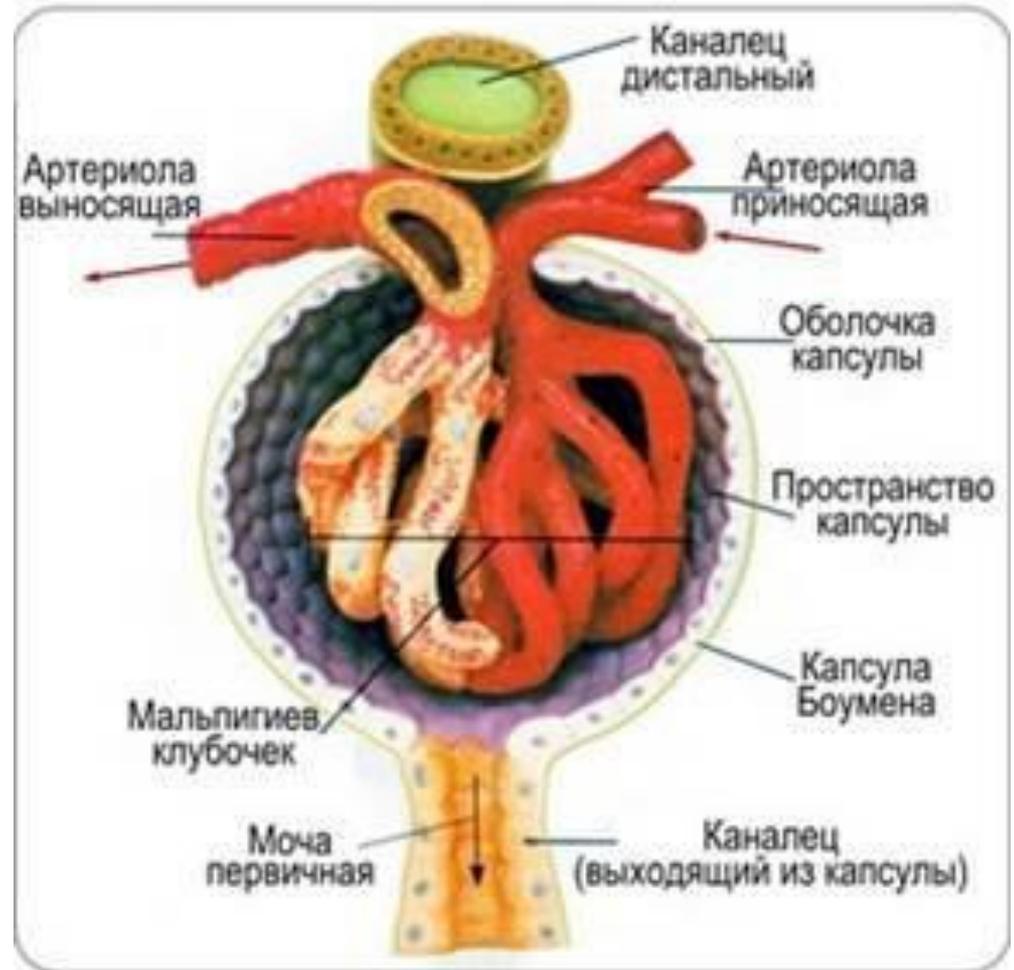
СТРОЕНИЕ НЕФРОНА



А – юкстамедуллярный нефрон;
Б – интракорткальный нефрон;
1 – почечное тельце, включающее капсулу клубочка и клубочек капилляров;
2 – проксимальный извитой каналец;
3 – проксимальный прямой каналец;
4 – нисходящее тонкое колено петли нефрона;
5 – восходящее тонкое колено петли нефрона;
6 – дистальный прямой каналец (толстое восходящее колено петли нефрона);
7 – плотное пятно (*macula densa*) дистального канальца;
8 – дистальной извитой каналец;
9 – связующий каналец;
10 – собирательная трубка коркового вещества почки;
11 – собирательная трубка наружного мозгового вещества;
12 – собирательная трубка внутреннего мозгового вещества.
Прерывистой линией с резким изгибом в корковом веществе обозначена зона мозгового вещества.

СТРОЕНИЕ КЛУБОЧКА

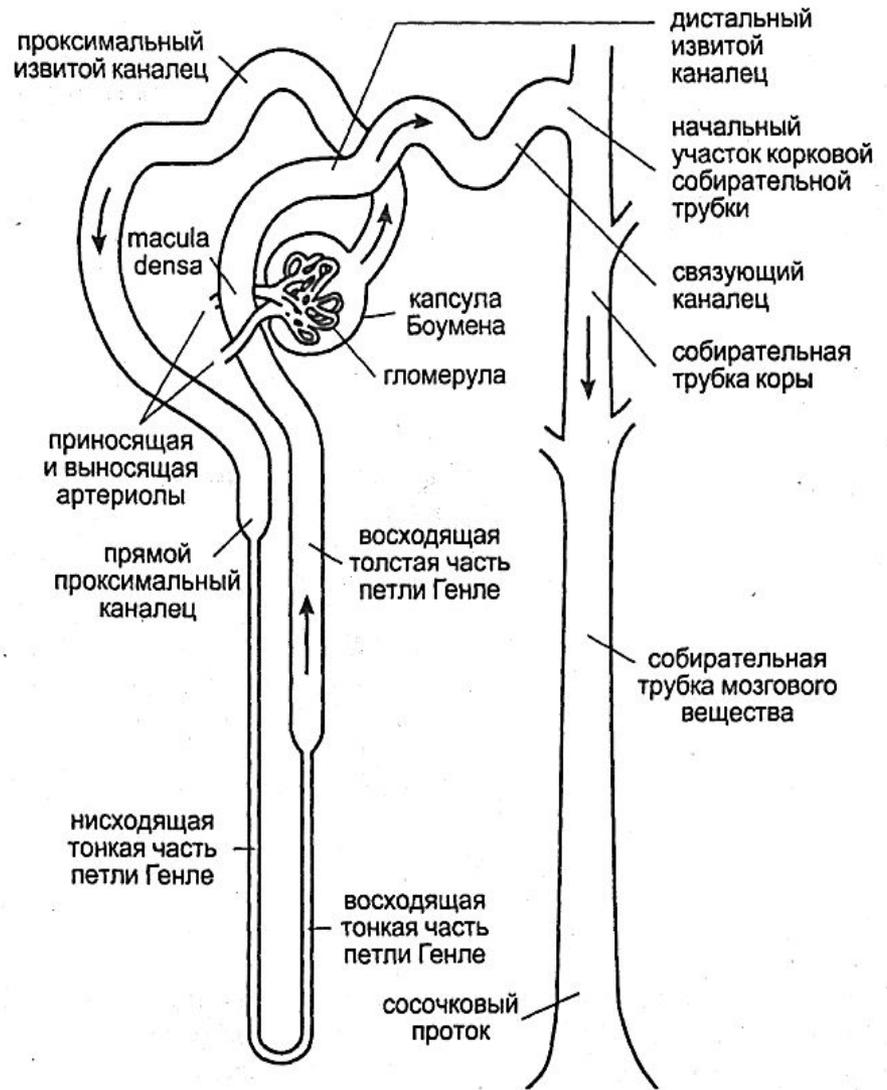
Каждый нефрон начинается почечным тельцем, или клубочком. В его состав входит капсула Шумлянско-Боумена, в просвет которой опущен мальпигиев сосудистый клубочек. Капсула Шумлянско-Боумена двустенная, образована *внутренним* и *наружным* листком, каждый из которых является слоем эпителиальных клеток. Между ними образуется щель, просвет капсулы, который переходит в просвет канальца.



Таким образом, создается биологический барьер, или почечный фильтр, через который и будет происходить процесс фильтрации.

ПЕТЛЯ ГЕНЛЕ

Это прямые каналцы, состоящие из нисходящего и восходящего колена, переходящего в дистальный каналец. Дистальный каналец обязательно соприкасается с почечным клубочком между афферентной (приносящей) и эфферентной (уносящей) артериолами. Именно здесь образуется юкстагломерулярный комплекс, вырабатывающий ренин.



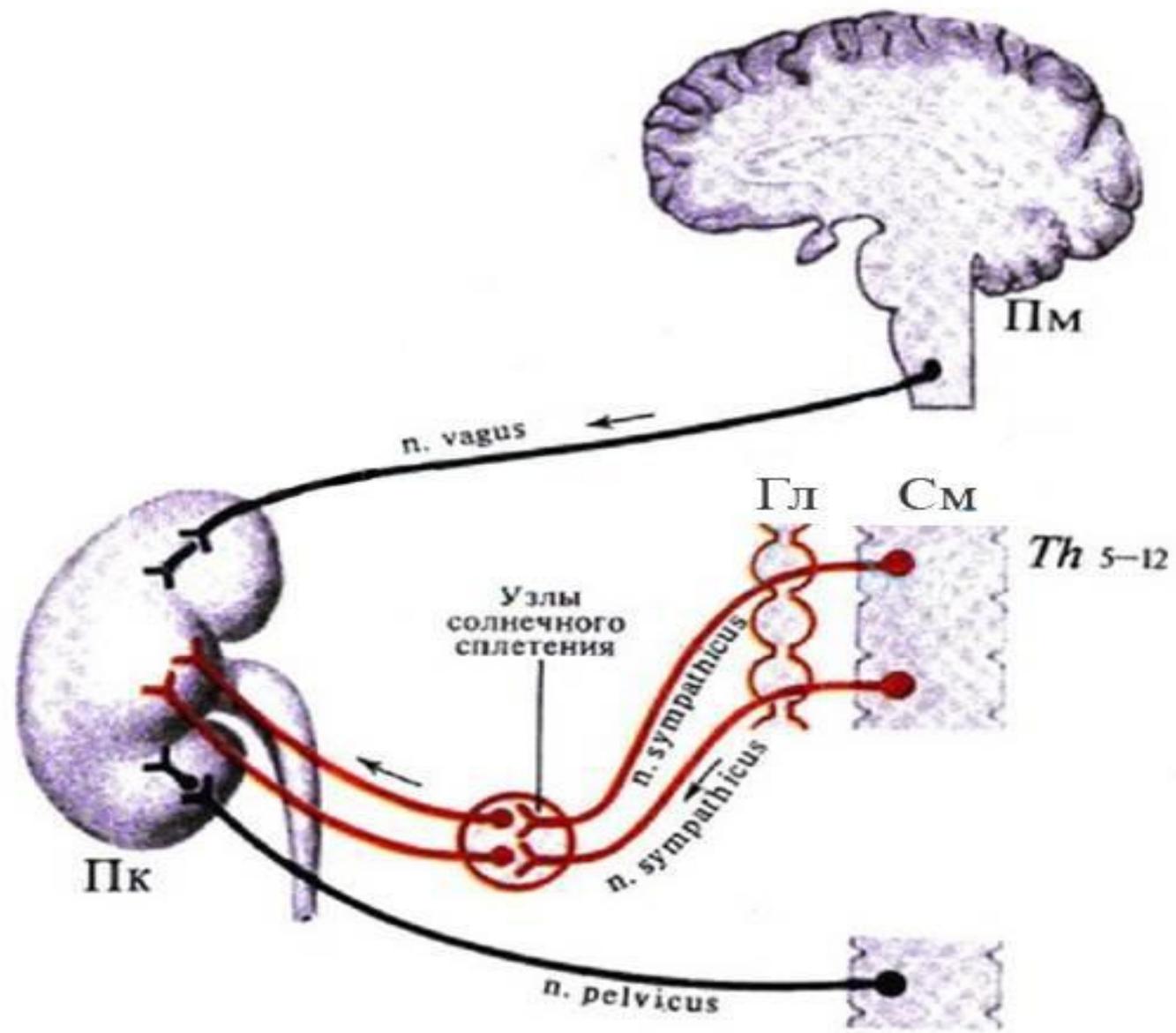
Взаимоотношения отдельных частей нефрона с длинной петлей. Нефрон на рисунке несколько «раскручен» для ясности изображения (относительная длина отдельных сегментов изображена не в масштабе). Сочетание гломерулы и капсулы Боумена носит название мальпигиева тельца.

АРТЕРИЮ, КАК ВЕТВЬ БРЮШНОЙ АОРТЫ. ПОЧЕЧНАЯ АРТЕРИЯ ВЕТВИТСЯ СНАЧАЛА НА МЕЖДОЛЕВЫЕ, ЗАТЕМ – ДУГОВЫЕ, МЕЖДОЛЬКОВЫЕ, ПРИНОСЯЩИЕ КРОВЬ К МОЗГОВОМУ ВЕЩЕСТВУ. В ПОЧКЕ РАЗЛИЧАЮТ 2 ВИДА КРОВООБРАЩЕНИЯ – *КОРКОВОЕ* И *ЮКСТАМЕДУЛЛЯРНОЕ*. КОРКОВОЕ КРОВООБРАЩЕНИЕ ОБЕСПЕЧИВАЕТ КОРКОВЫХ НЕЙРОНОВ, ЮКСТАМЕДУЛЛЯРНОЕ – ЮКСТАМЕДУЛЛЯРНЫХ НЕФРОНОВ.

Особенности кровоснабжения почек:

- ❖ В почке самый большой удельный кровоток (на единицу массы). Обе почки – 0,4 % от массы тела, а количество крови, проходящее через них ~ 25 % МОК, что составляет около 1,3 л в минуту.
- ❖ В клубочковых капиллярах корковых нефронов высокое кровяное давление ~ **50-70 мм рт.ст** за счет широкого просвета приносящей артериолы.
- ❖ Стабильность кровяного давления в почках достигается за счет работы юстагломерулярного аппарата.

ИННЕРВАЦИЯ ПОЧЕК

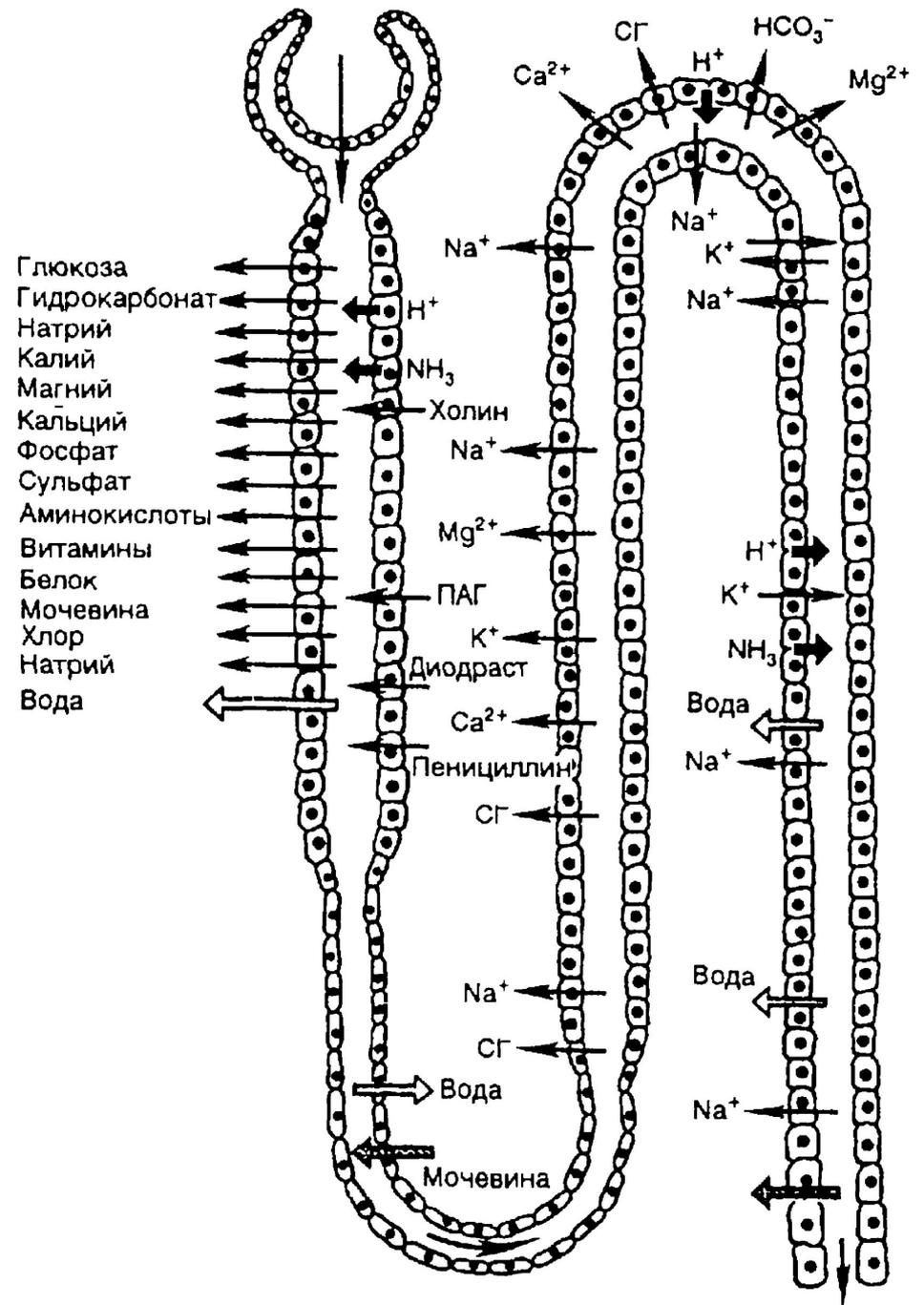


СОГЛАСНО СОВРЕМЕННОЙ **ТЕОРИИ КЕШНИ** ОБРАЗОВАНИЕ КОНЕЧНОЙ МОЧИ ЯВЛЯЕТСЯ РЕЗУЛЬТАТОМ 3Х ПРОЦЕССОВ: 1) ФИЛЬТРАЦИИ, 2) РЕАБСОРБЦИИ И 3) СЕКРЕЦИИ И 2Х ЭТАПОВ: 1) ОБРАЗОВАНИЕ ПЕРВИЧНОЙ МОЧИ И 2) ОБРАЗОВАНИЕ ВТОРИЧНОЙ МОЧИ.

1. Процесс **фильтрации** происходит в почечных клубочках. В результате образуется 150-170 л фильтрата.
2. В почечных канальцах происходит второй процесс мочеобразования – **реабсорбции** – в результате чего из фильтрата (первичной мочи) по мере ее движения в канальцах происходит вторичное всасывание воды и растворенных в ней веществ. Происходит концентрирование мочи, уменьшение ее объема до 1,5-2 л в сутки. Концентрация выделяемых продуктов обмена увеличивается: аммиака – в 40 раз(!), креатинина – в 45 раз (!).
3. Третий процесс – **канальцевая секреция** – происходит в 2-х вариантах. 1) Клетки эпителия нефрона захватывают некоторые вещества из крови и межклеточной жидкости и переносят их в просвет канальца. 2) Клетки эпителия синтезируют в своей цитоплазме новые органические вещества, которые переносят в просвет канальцев вместе с NH_4^+ и H^+ .

ЛОКАЛИЗАЦИЯ РЕАБСОРБЦИИ И СЕКРЕЦИИ ВЕЩЕСТВ В ПОЧЕЧНЫХ КАНАЛЬЦАХ.

Направление стрелок указывает на фильтрацию, реабсорбцию и секрецию веществ.



КЛУБОЧКОВАЯ, ИЛИ ГЛОМЕРУЛЯРНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ.

Происходит в почечных тельцах. Существуют 2 основные причины, определяющие фильтрацию, т.е. образование первичной мочи:

1) Анатомическая :

- ❖ наличие почечного фильтра с определяющим размером пор. Поры обеспечивают малую проницаемость фильтра для высокомолекулярных веществ (до 7 нм),
- ❖ огромная площадь фильтрации – 1,5 м² / 100 г почечной ткани.

2) Физическая – наличие фильтрационного давления. Оно определяет скорость клубочковой фильтрации и рассчитывается как разность

$$P_{\text{фильтрационное}} = P_{\text{гидростат. крови}} - P_{\text{онкотич. крови}} - P_{\text{гидростат. капсулы}} = \\ = 70 \text{ мм рт.ст.} - 25 \text{ мм рт.ст.} - 20 \text{ мм рт.ст.} = 20 \text{ мм рт.ст.}$$

КАНАЛЬЦЕВАЯ РЕАБСОРБЦИЯ

Это процесс обратного всасывания в кровь из первичной мочи веществ, необходимых организму: глюкозы, белков, аминокислот, определенного количества электролитов и воды. Вещества, которые представляют собой конечные продукты распада и должны быть выведены из организма, не подвергаются обратному всасыванию и входят затем в состав конечной мочи. Процесс реабсорбции начинается в проксимальном канальце. Сюда из капсулы Шумлянско-Боумена поступает ультрафильтрат, по составу почти равный плазме крови, а по объему – 150-180 л/сутки.

Обратное всасывание веществ находится в зависимости от их концентрации в крови. На этом основании выведено представление о пороге выведения различных веществ.

РЕАБСОРБЦИЯ, ПРОИСХОДЯЩАЯ В ПРОКСИМАЛЬНЫХ КАНАЛЬЦАХ, НАЗЫВАЕТСЯ **ОБЛИГАТНОЙ**. ПРОИСХОДИТ В РЕЗУЛЬТАТЕ АКТИВНОГО И ПАССИВНОГО ТРАНСПОРТА ВЕЩЕСТВ ЧЕРЕЗ СТЕНКУ КАНАЛЬЦЕВ. СУЩЕСТВУЕТ ПЕРВИЧНО- И ВТОРИЧНОАКТИВНЫЙ ТРАНСПОРТ. ВЫДЕЛЯЮТ АКТИВНУЮ РЕАБСОРБЦИЮ И ПАССИВНУЮ.

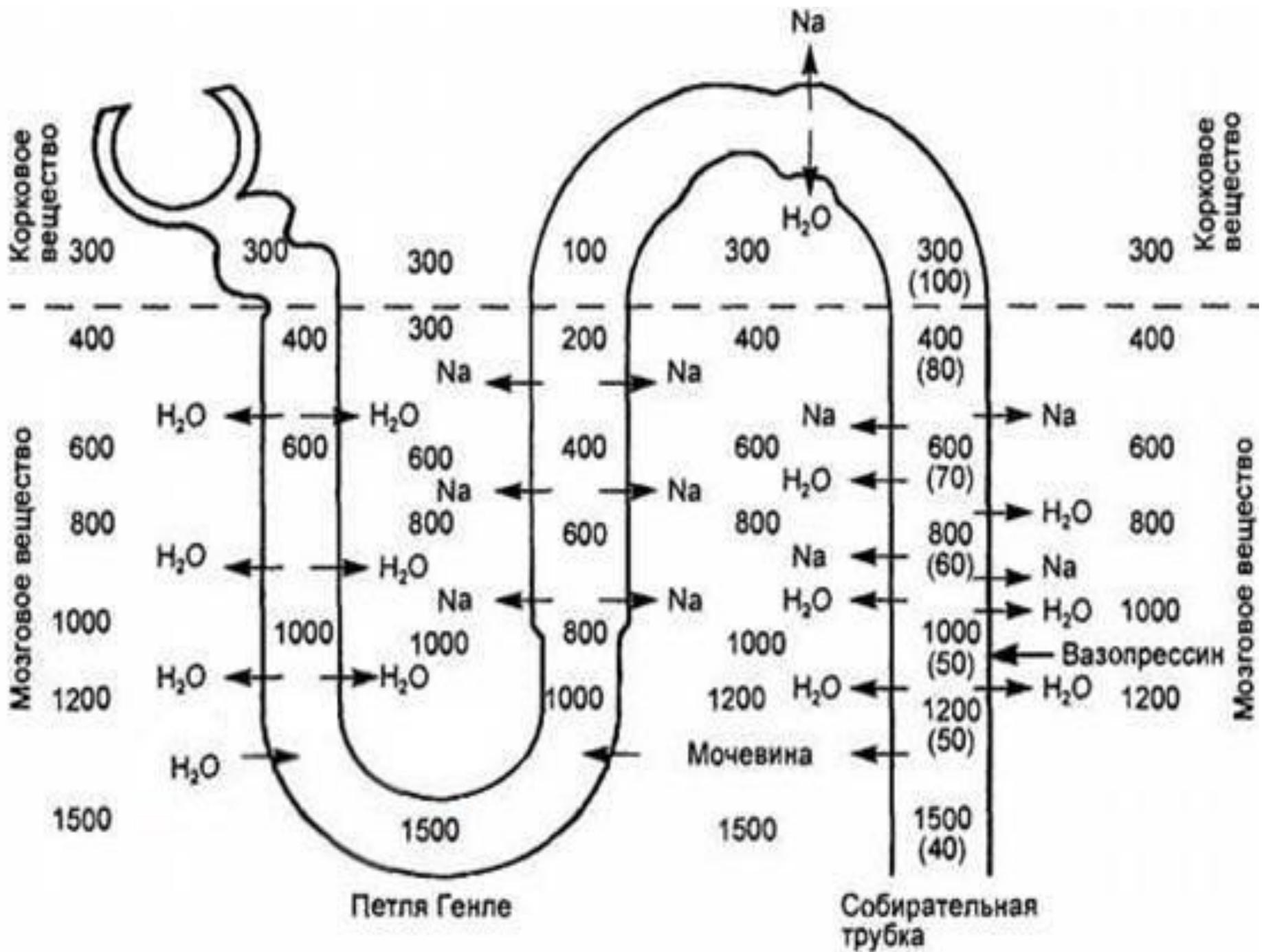
- ❖ **Активная реабсорбция** осуществляется специальными переносчиками реабсорбируемых веществ из просвета канальца в почечную тканевую жидкость и кровь против градиента концентрации этого вещества. Так, при помощи сукцинатдегидрогеназы эпителиальных клеток канальца реабсорбируются ионы Na^+ , а за ними, согласно электростатического притяжения и отрицательно заряженные ионы Cl^- . Щелочная фосфатаза является переносчиком глюкозы, а протеолитические ферменты лизосом эпителиальных клеток канальца – молекул белков. Для работы переносчика обязательно: перенос (вещество+ Na^+) через мембрану в клетку, а затем (+ Na^+) обратно в просвет канальца.
- ❖ **Пассивная реабсорбция** происходит по законам обратного осмоса и обеспечивает вторичное всасывание H_2O , а следовательно и электролитов из первичной мочи – K^+ , Ca^{2+} , Cl^- и т.д.

Таким образом, в проксимальной части канальца реабсорбируется большая часть профильтровавшихся веществ. Полностью всасываются все жизненно важные неэлектролиты: глюкоза – 100 %, мочевины – 60 %, аминокислоты – 98 %, и около 80-85 % электролитов и H_2O : H_2O – 85 %, Na^+ %, Cl^- - 99 %, бикарбонаты и фосфаты – 85-98 %, K^+ - 100 %.

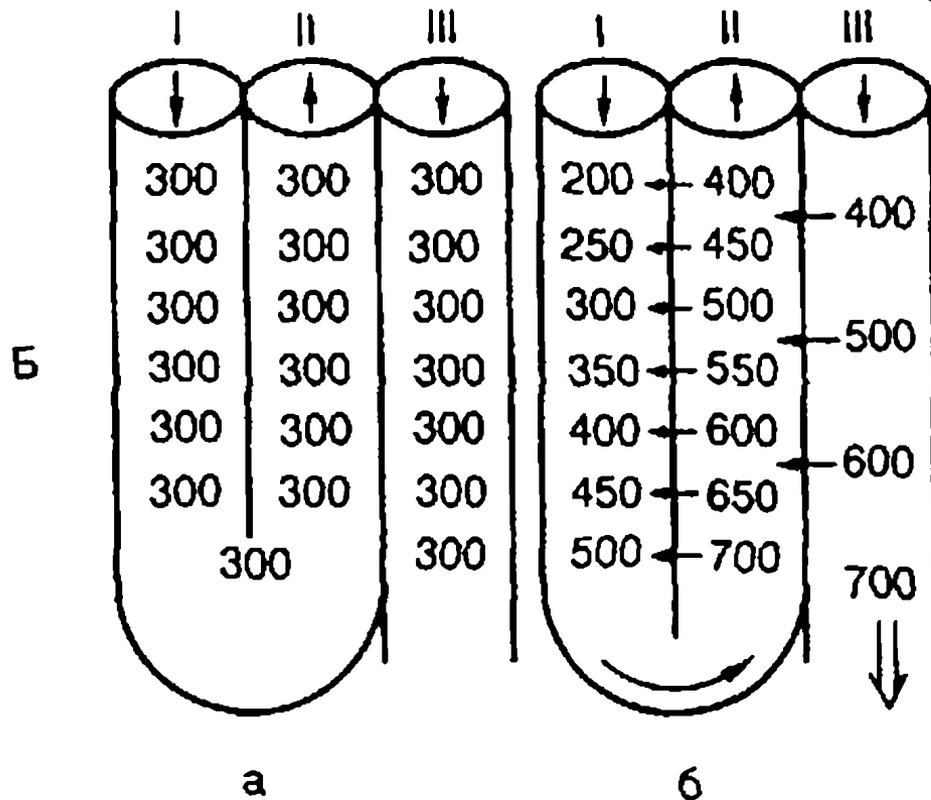
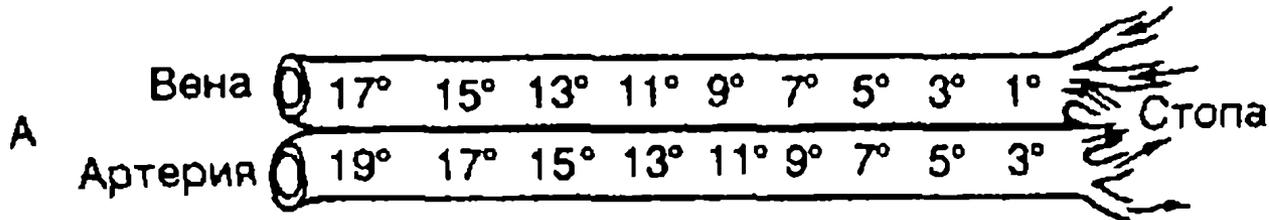
КАНАЛЬЦЕВАЯ РЕАБСОРБЦИЯ В ПЕТЛЕ

ПЕТЛЕ (поворотной-противоточная множительная и концентрационная система)

- ❖ В нисходящей части петли Генле эпителиальные клетки пропускают H_2O . вода выходит в интерстициальную жидкость по законам осмоса, т.к. осмотическое давление в интерстиции, вследствие выхода Na^+ и других ионов из восходящей части петли, выше, чем в просвете нисходящей части. Выход воды из нисходящей части приводит к тому, что моча, по мере того, как она проходит по этой части петли, становится всё более концентрированной, гипертоничной по отношению к плазме. Это способствует реабсорбции Na^+ из жидкости восходящей петли, что, в свою очередь, обеспечивает вход воды из нисходящей части. Оба этих процесса сопряжены. Поэтому петля Генле работает как концентрационный механизм, приводящий к реабсорбции большого количества H_2O и Na^+ . Общее количество мочи уменьшается и она становится гипертоничной.
- ❖ В восходящей части петли нефрона из канальцевой мочи в тканевую жидкость реабсорбируются и затем транспортируются в кровь Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- и мочевины. В результате осмотическое давление нефрона уменьшается, т.к. вместе с этими ионами H_2O не реабсорбируется.



ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ПОВОРОТНО-ПРОТИВОТОЧНОЙ СИСТЕМЫ



А — теплообменник в сосудистой системе конечностей арктических животных;

Б — модель поворотно-противоточной множительной системы в исходном состоянии (а) и в периоде эффективного концентрирования мочи (б).

СЕКРЕТОРНАЯ ФУНКЦИЯ КАНАЛЬЦЕВ

Секреторная функция канальцев определяется активной деятельностью эпителиальных клеток стенок канальцев. Этот процесс позволяет быстро экскретировать из организма органические кислоты и основания и ионы K^+ и H^+ . органические кислоты и основания экскретируются в проксимальных канальцах, K^+ и H^+ - в дистальных.

Кроме того, клетки канальцев способны сами синтезировать и выделять в просвет канальцев ряд веществ:

- гипуровую кислоту – продукт синтеза из бензойной кислоты и аминокислоты гликокол;
- аммиак – как продукт дезаминирования аминокислот в клетках эпителия канальцев. Аммиак образуется из отщепленной аминогруппы $-NH_2$ и H^+ , который выводится из организма в составе мочи.

Таким образом, в канальцах осуществляется секреция 2-х видов: 1) выведение клетками канальцев веществ из интерстициальной жидкости (обязательно наличие переносчика), так выводится парааминогиппуровая кислота (ПАГ), K^+ ; 2) секреция гипуровой кислоты и аммиака

РЕГУЛЯЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПОЧЕК

- ❖ Регуляция деятельности почек осуществляется нервным и гуморальным путем. Почки являются органами-исполнителями целого ряда безусловных рефлексов, которые регулируют постоянство состава внутренней среды. Основными рецепторами, раздражение которых вызывает безусловнорефлекторное изменение работы почек, являются осморецепторы, хотя доказано, что и болевое раздражение резко тормозит диурез (болевая анурия). Вследствие обширного спектра рецепторов, афферентными звеньями рефлексов служат различные нервные волокна. Центральным звеном регуляции безусловных рефлексов являются центры симпатической и парасимпатической нервной системы, а также гипоталамус.
- ❖ Регуляции подвергаются 2 процесса: фильтрация и реабсорбция, причем эти процессы регулируются различными механизмами.

РЕГУЛЯЦИЯ МОЧЕВЫДЕЛЕНИЯ И МОЧЕИСПУСКАНИЯ

