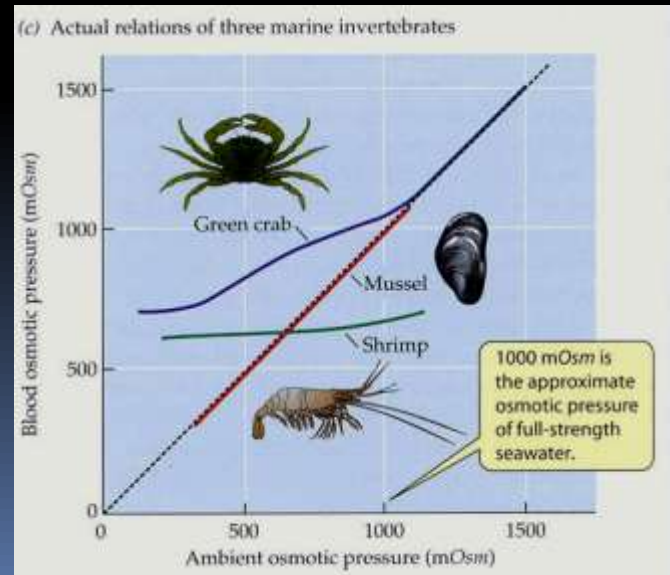
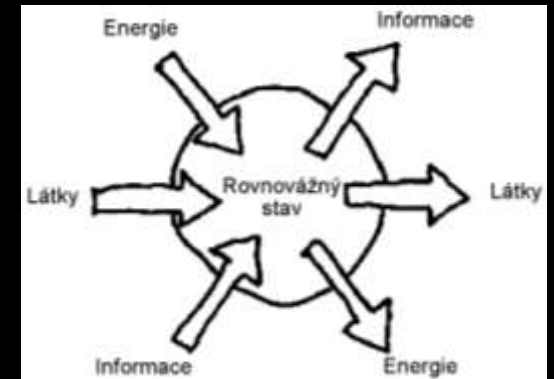


# Vylučování a vodní hospodářství

Další z úkolů udržování vnitřního prostředí:

- Koncentrace odpadních a toxických látek
- Koncentrace rozpuštěných látek – osmolalita
- Acidobazická rovnováha - pH
- Navzdory nerovnováze s okolím
- I užitečné látky mohou škodit



Velmi zjednodušeně řečeno, jsou živé organismy tvořeny vodními roztoky uzavřenými epitely tělesného povrchu. Objem buněk, a tak i koncentrace látek musejí být udržovány v úzkých limitech.

Problémem je, že správné koncentrace uvnitř těla se mohou lišit od koncentrací vnějších.

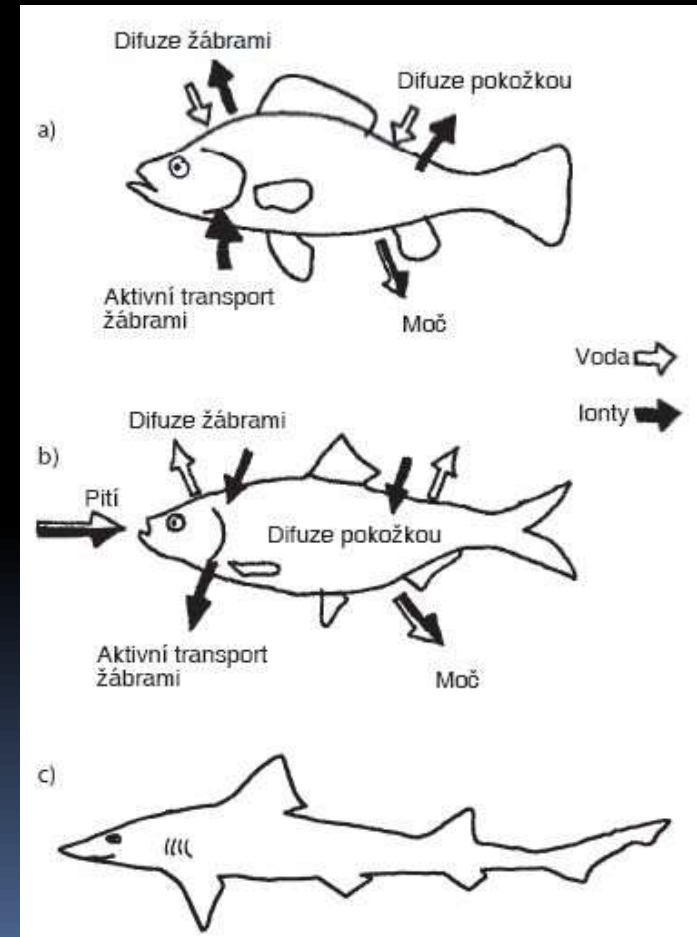
Živočichové se snaží zmenšit propustnost svých povrchů a mít toky pod kontrolou. I tak ale musí vynakládat energii na kompenzaci proniklých látek.

Problém je zcela opačný, jedná-li se o souš nebo sladkou vodu.

# Hospodaření se solemi a vodou u vodních živočichů.

**Sladkovodní, hyperosmotičtí** živočichové (a) musejí kompenzovat únik iontů do okolí a naopak pronikání vody do těla. Soli jsou aktivně importovány epitelem žaber. Voda odchází s močí.

**Mořští, hypoosmotičtí živočichové** (b) naopak získávají vodu pitím a soli vylučují žábry a močí. Některé paryby (c) jsou díky vysoké koncentraci močoviny isoosmotické.

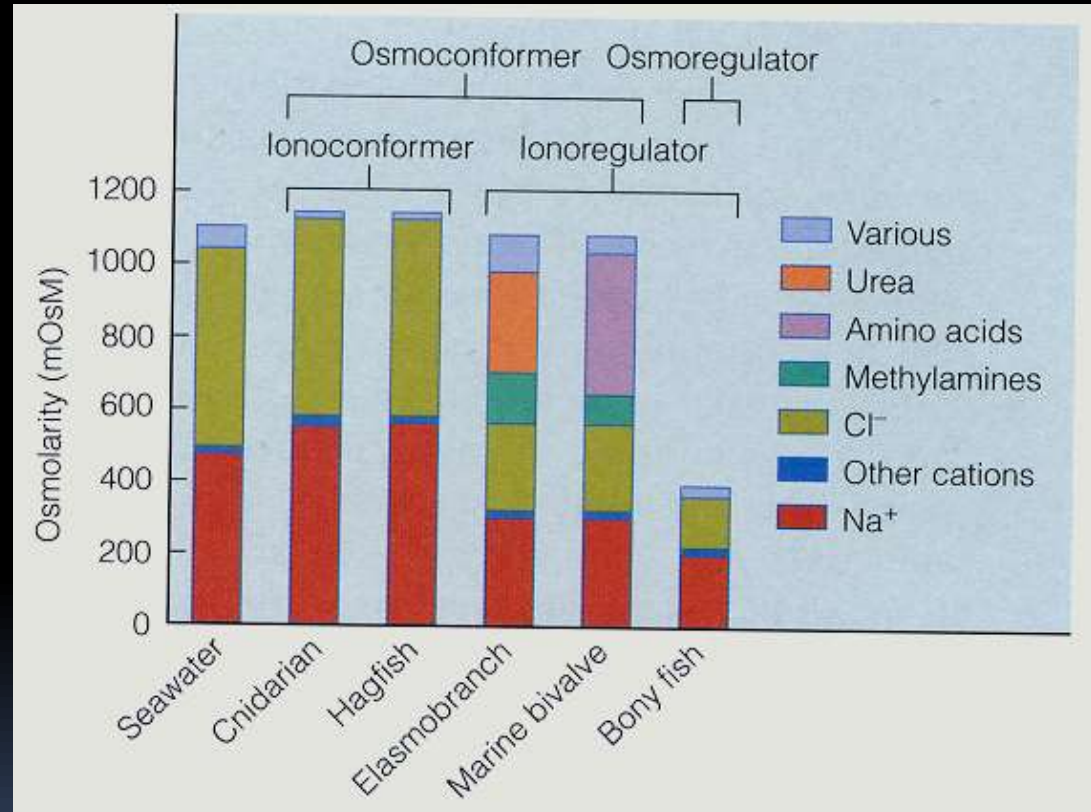


# Ionoregulace nemusí být nutně i osmoregulace

V extracelulární tekutině většiny dominuje Na a Cl. Mořští ionokonforméři mají složení těchto iontů podobné jako je v mořské vodě.

U osmokonformních ionoregulátorů – měkkýši, žraloci – je velké množství anorganických iontů nahrazeno organickými.

Mořské ryby jsou hypotonické.



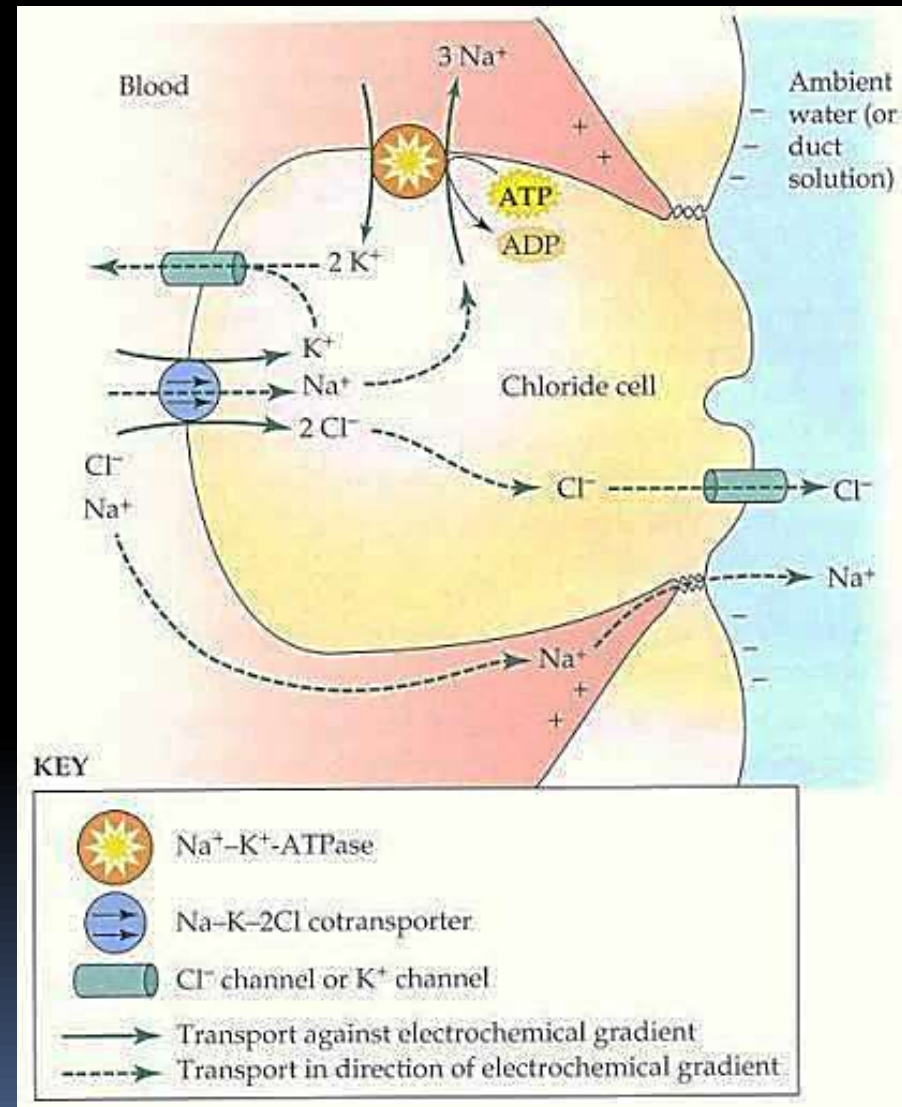
# V mořské vodě je třeba soli čerpat ven

NaCl sekrece přes žábra mořské kostnaté ryby – tzv. chloridové buňky.

Stejný model se uplatní jako přídatná sekrece NaCl u žlaz mořských ptáků a želv.



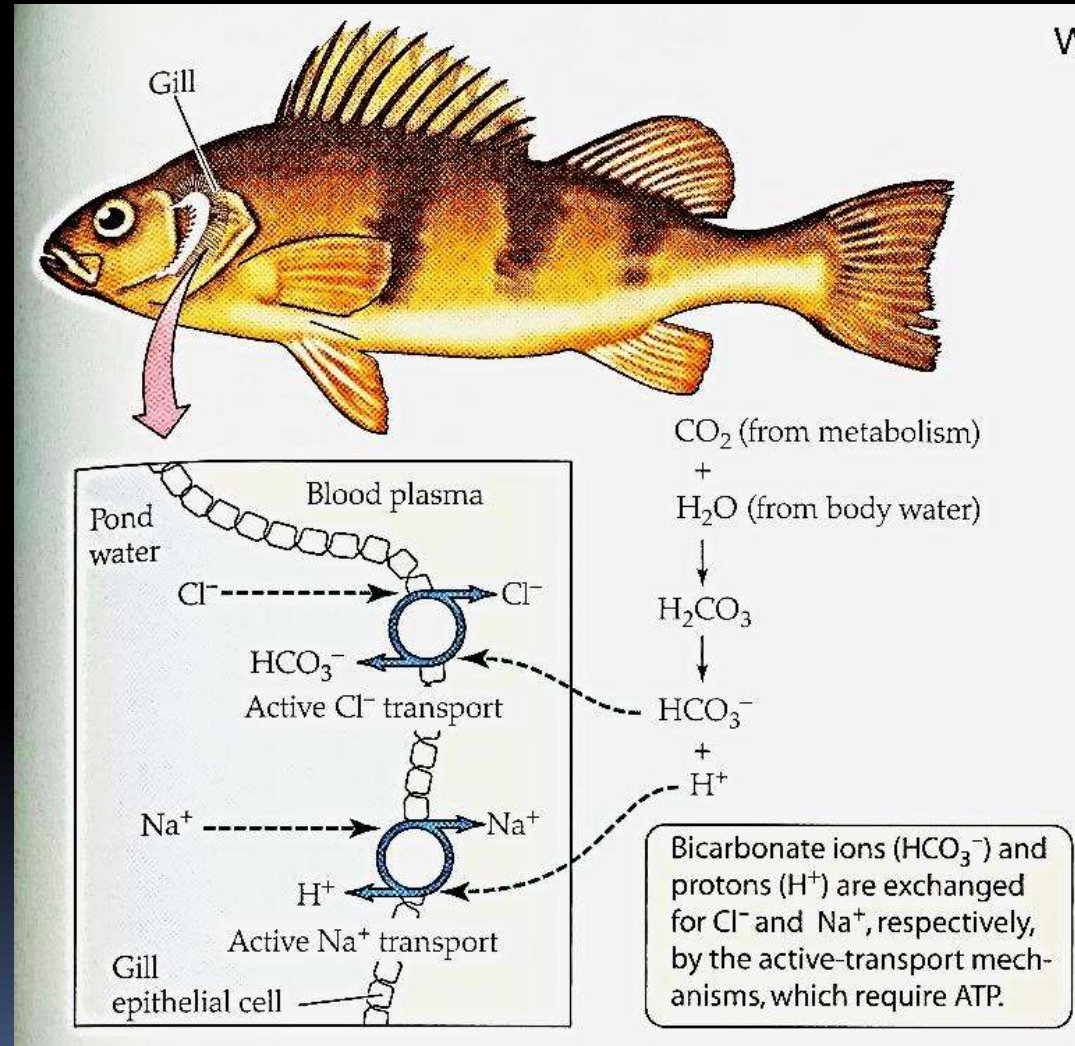
Solná žláza buňháka





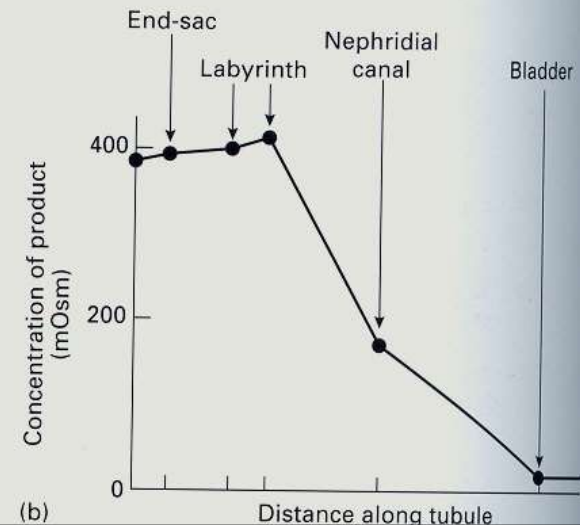
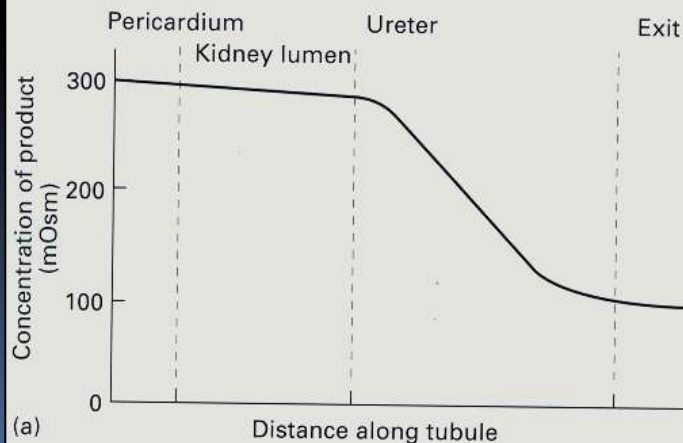
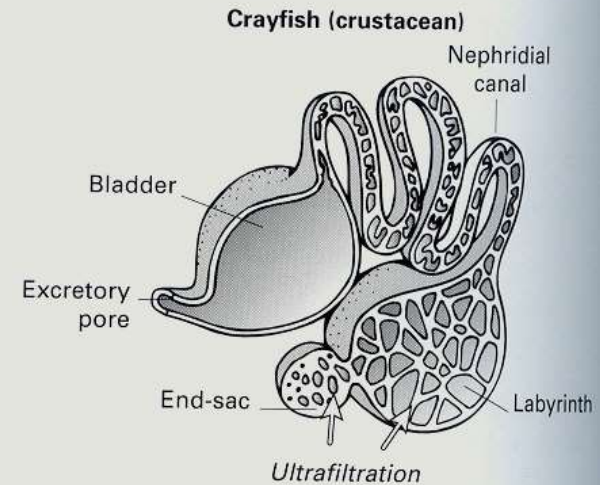
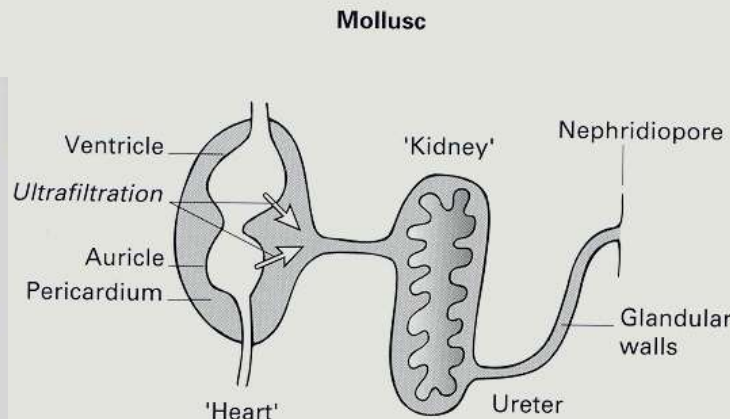
# Ve sladké vodě je třeba soli čerpat dovnitř

Aktivní  $\text{Na}^+$  a  $\text{Cl}^-$  transport v epitelu žaber.



# Sladká voda – tvorba hypotonické moči

## Jak prochází moč tubulem, její koncentrace klesá



## Suchozemská prostředí

Největší výhodou je snadný přístup ke kyslíku. Ohrožující život je ale dehydratace. Skutečně masivní úspěšná invaze na souš se podařila jen dvěma taxonům: členovcům a obratlovcům, kteří žijí i na nejsušších a nejteplejších biotopech planety.

Jsou ovšem i měkkýši, kterým se na suchu daří a někteří dokonce žijí i na pouštích. Jejich adaptace je spíše behaviorální.



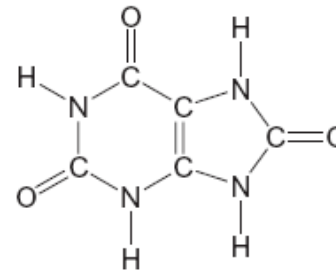
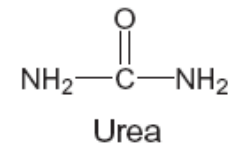
# Dusíkatý odpad

Mimo vody a solí je nutno vyloučit koncové a vedlejší produkty metabolismu.

Na rozdíl od sacharidů nebo lipidů, které jsou metabolizovány až na  $\text{CO}_2$ , bílkoviny a nukleové kyseliny produkují toxické metabolity dusíku.

Molekuly tří nejběžnějších dusíkatých exkretčních produktů - amoniaku, močoviny a kyseliny močové. Nízký poměr H:N pro kyselinu močovou znamená, že na její syntézu bylo spotřebováno méně vody než u močoviny nebo amoniaku (vodíkový atom pochází z vody).

$\text{NH}_3$   
Ammonia



Uric acid

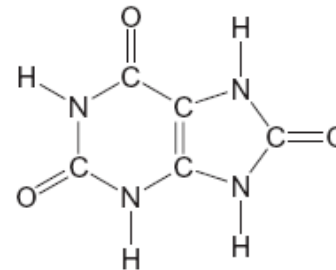
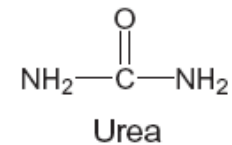
# Dusíkatý odpad

Amoniak přerušuje nervový přenos tím, že nahrazuje draslík a také mění sacharidový a lipidový metabolismus.

Je ale velmi dobře rozpustný a dobře prochází membránami a vodní druhy zvířat jej vylučují povrchem těla nebo žábry prostou difúzí (**Amonotelní**). Na každý gram amoniaku je potřeba 400ml vody

Molekuly tří nejběžnějších dusíkatých exkretčních produktů - amoniaku, močoviny a kyseliny močové. Nízký poměr H:N pro kyselinu močovou znamená, že na její syntézu bylo spotřebováno méně vody než u močoviny nebo amoniaku (vodíkový atom pochází z vody).

$\text{NH}_3$   
Ammonia

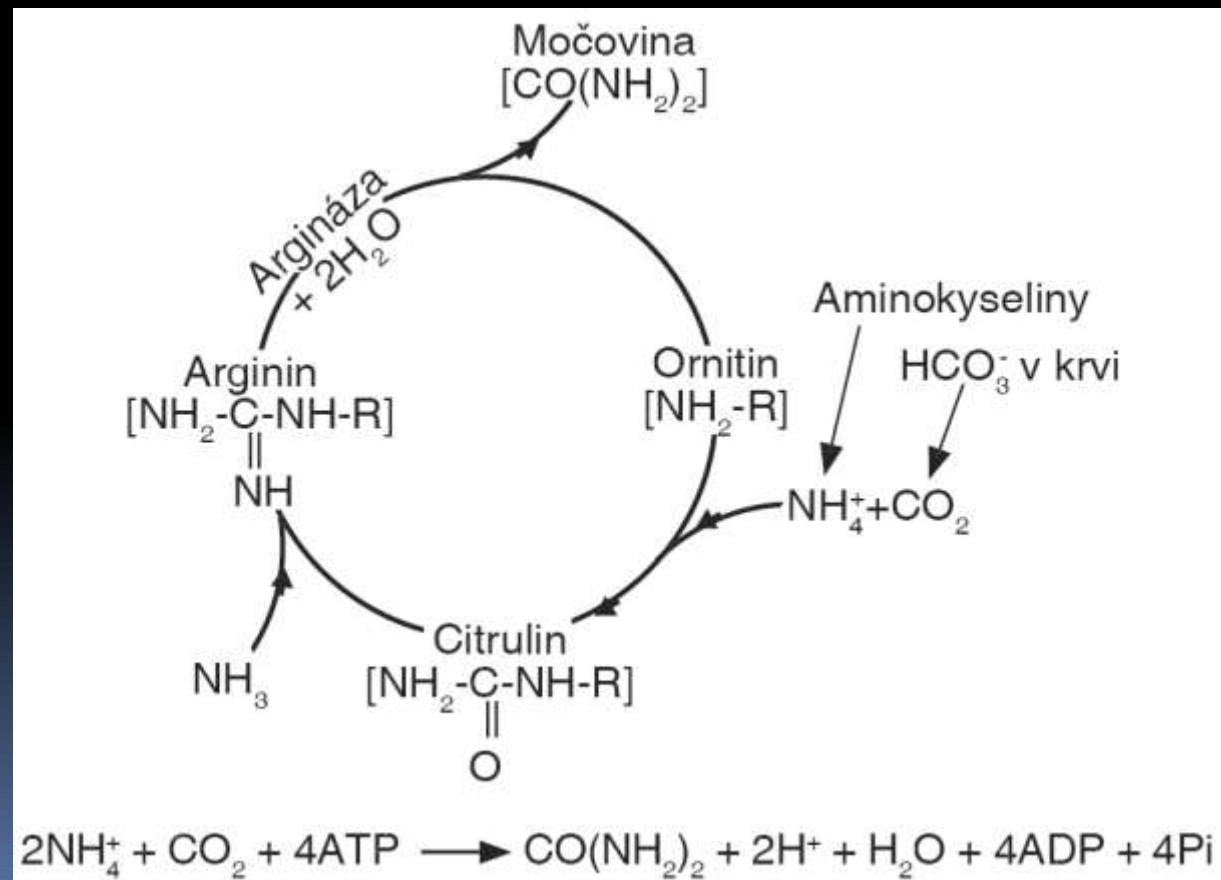


Uric acid

## Dusíkatý odpad

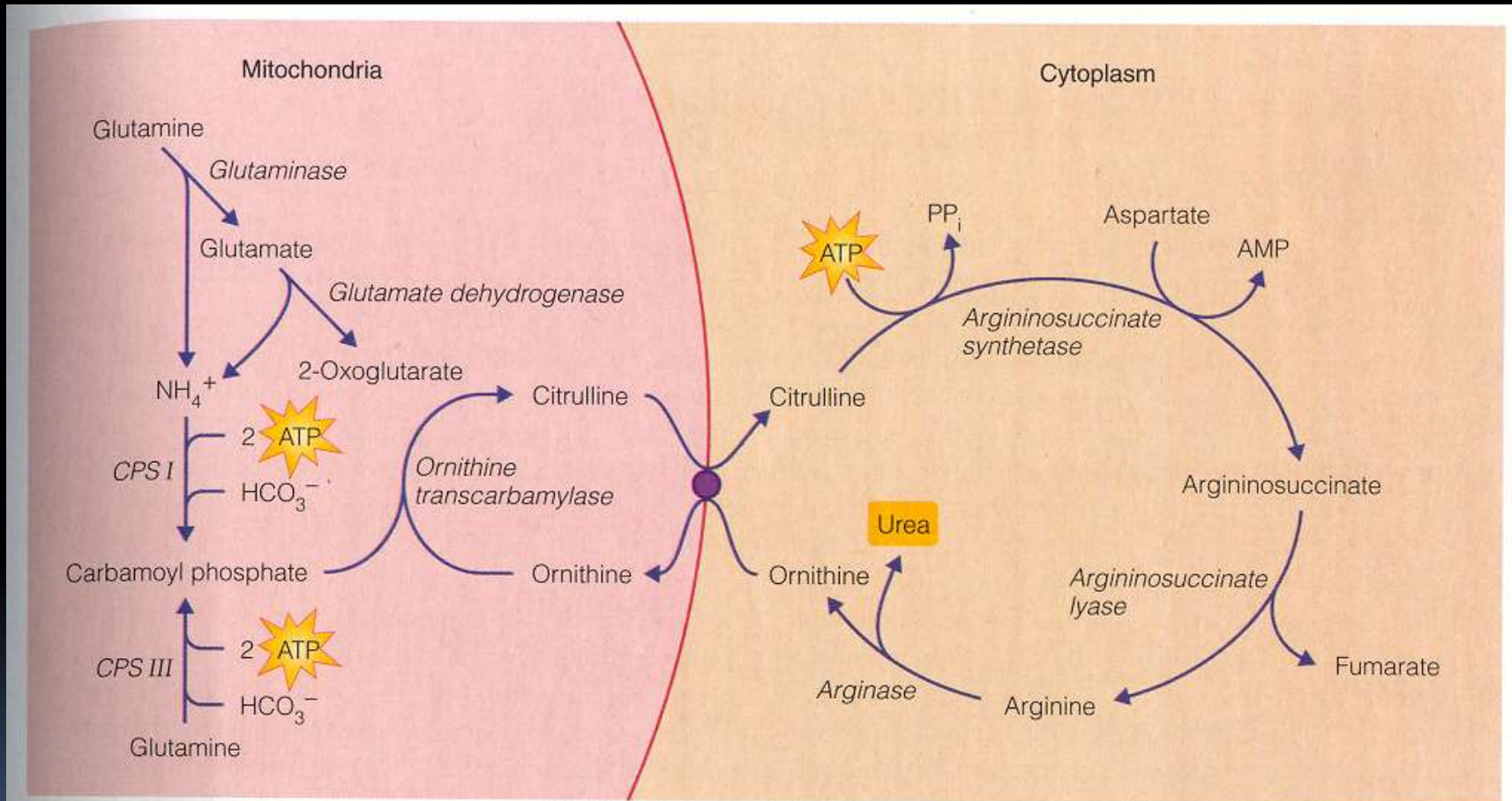
Terestriční živočichové mají omezený přístup k vodě. Amoniak je přeměněn na méně toxickou močovinu za spotřeby ATP. Je dobře rozpustná a odchází s močí - **ureotelní**. Objevila se ale v evoluci relativně pozdě, u savců. Převažující drahou syntézy je ornithinový cyklus.

Ornithinový cyklus –  
syntéza močoviny -  
2,5 ATP/N



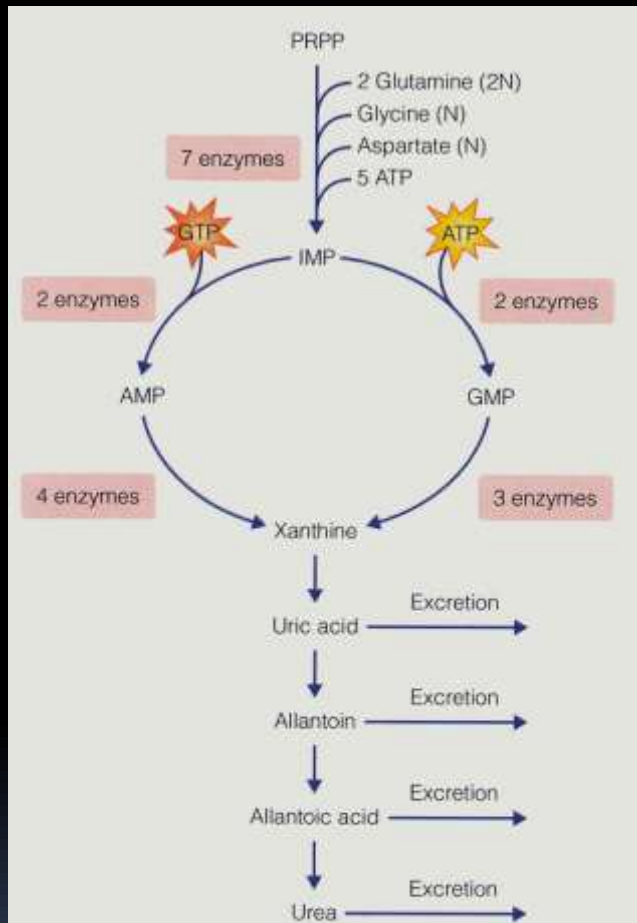
# Problém s amoniakem

Část cyklu probíhá v mitochondriích.



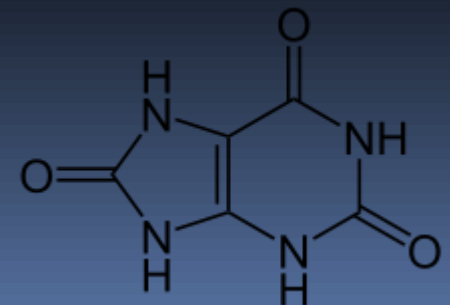
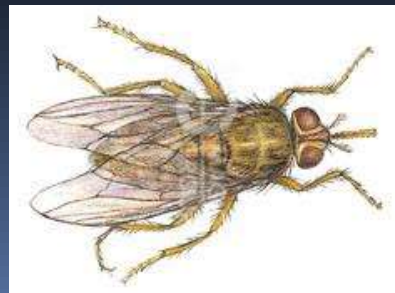
**Figure 10.18 Ornithine-urea cycle** Amino nitrogen in the form of either glutamine or  $\text{NH}_4^+$  is used to produce carbamoyl phosphate, which enters the ornithine-urea cycle.

# Problém s amoniakem



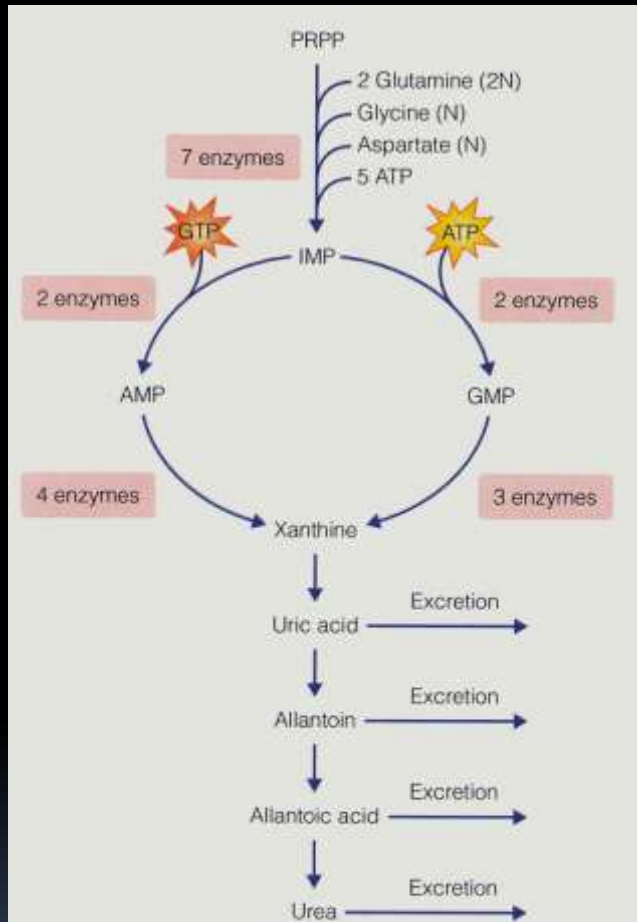
**Figure 10.17 Uric acid metabolism** A complex reaction network uses high-energy phosphate compounds to use amino acids as substrates to produce various nucleotides, and then break those nucleotides down for excretion. This pathway is also an important route of nitrogenous waste production. Amino acid nitrogen is transferred to uric acid, which, depending on the animal, may be excreted or further metabolized to produce other nitrogenous wastes. PRPP: 5-phosphoribosyl-1-pyrophosphate.

Mírně ekonomičtější je produkce kyseliny močové. – 1,75 ATP/N  
Mnoho členovců včetně hmyzu, plazů a ptáků konvertuje amoniak na kyselinu močovou nebo jiné deriváty purinu. Ty jsou velmi nerozpustné a mohou být vylučovány ve vysokých koncentracích s minimálními ztrátami vody ve formě husté pasty - purinotelní, urikotelní.



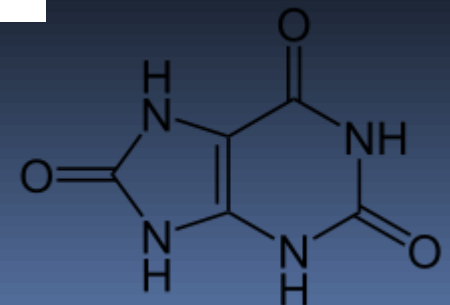


# Problém s amoniakem

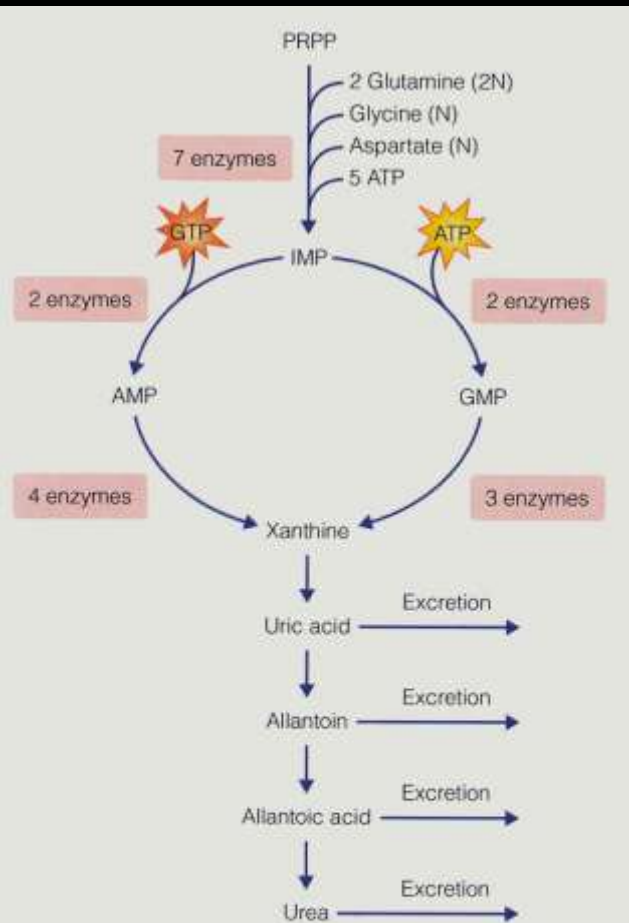


**Figure 10.17 Uric acid metabolism** A complex reaction network uses high-energy phosphate compounds to use amino acids as substrates to produce various nucleotides, and then break those nucleotides down for excretion. This pathway is also an important route of nitrogenous waste production. Amino acid nitrogen is transferred to uric acid, which, depending on the animal, may be excreted or further metabolized to produce other nitrogenous wastes. PRPP: 5-phosphoribosyl-1-pyrophosphate.

Je to starší dráha používaná konvergentní evolucí jak obratlovci tak bezobratlými. Řada zvířat může přepínat mezi amonotelií a urikotelií podle podmínek okolí (např. obojživelný apple snail (rod ampulárka).



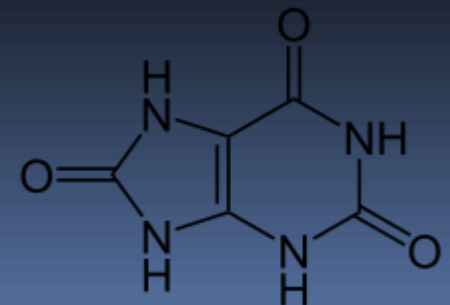
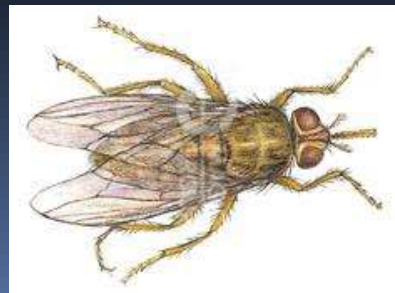
# Problém s amoniakem



**Figure 10.17 Uric acid metabolism** A complex reaction network uses high-energy phosphate compounds to use amino acids as substrates to produce various nucleotides, and then break those nucleotides down for excretion. This pathway is also an important route of nitrogenous waste production. Amino acid nitrogen is transferred to uric acid, which, depending on the animal, may be excreted or further metabolized to produce other nitrogenous wastes. PRPP: 5-phosphoribosyl-1-pyrophosphate.

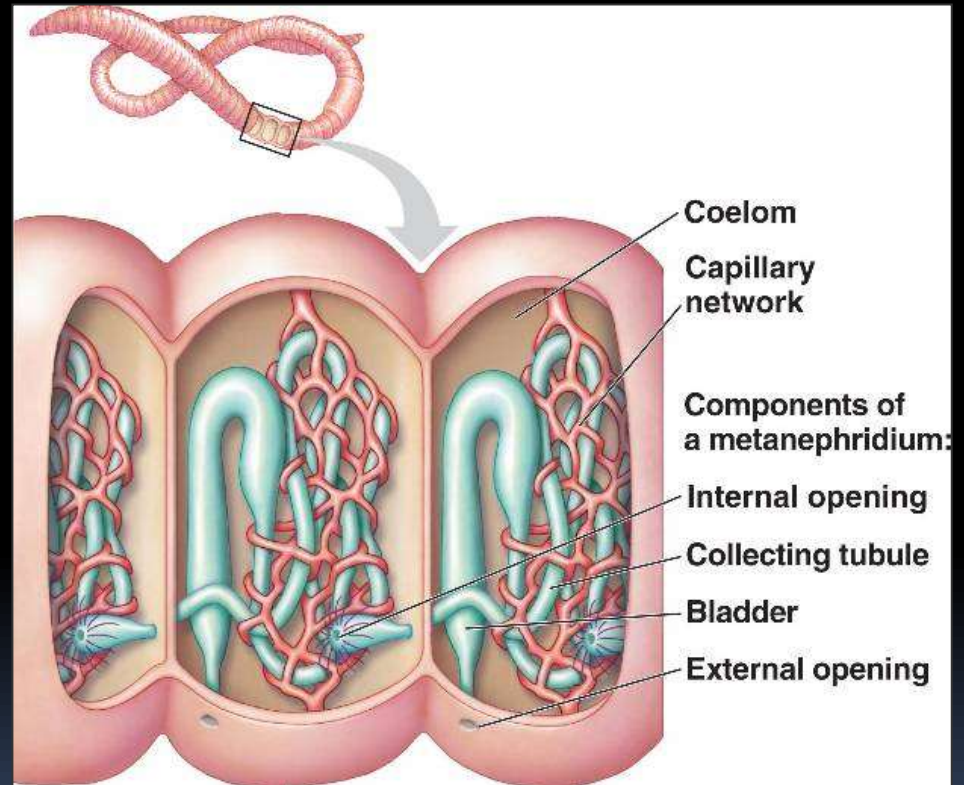
Energeticky to není zadarmo:

U mouchy tse tse, *Glossina palpalis*, která se žíví výhradně na bílkoviny bohatou krví, z každých 100mg potravy musí 47mg padnout na pokrytí energie nutné k exkreci dusíku.



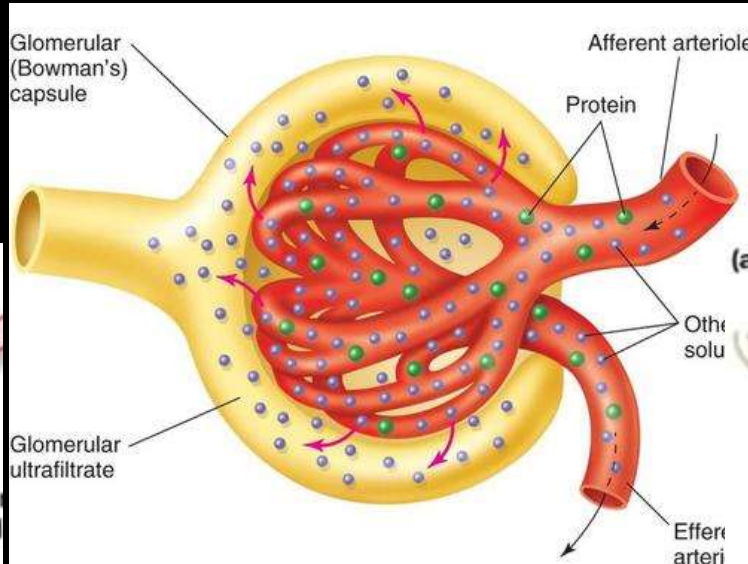
## Stavba exkrečních orgánů:

- Epiteliální povrchy těla (žábry, papily)
- Tubulární orgány

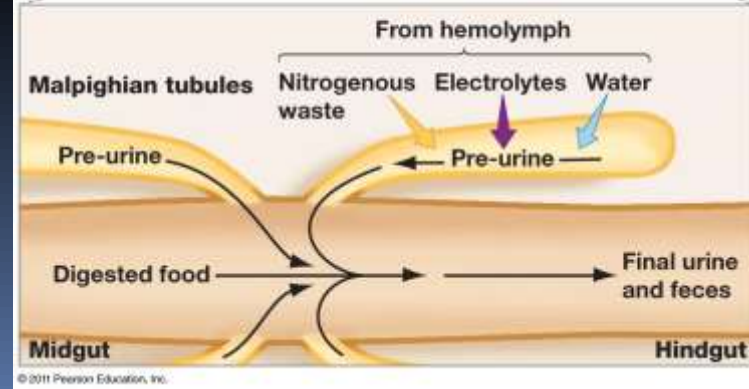
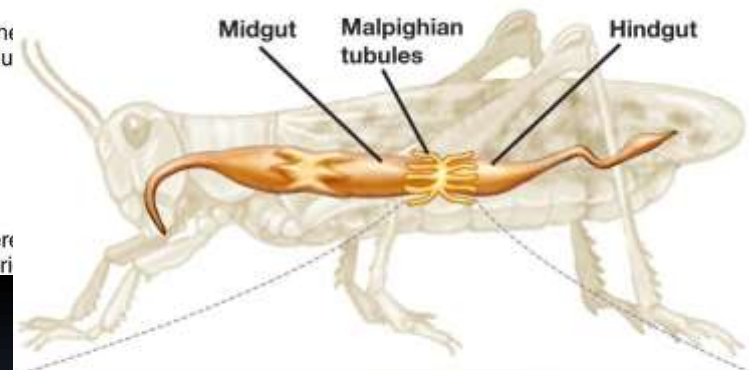


# Tubulární orgány: Tvorba a úprava primárního filtrátu.

1. Tvorba:
  - a) Víření bičků/brv
  - b) Ultrafiltrace pod tlakem nebo
  - c) Osmotický tok



(a) Malpighian tubules produce an isotonic pre-urine.

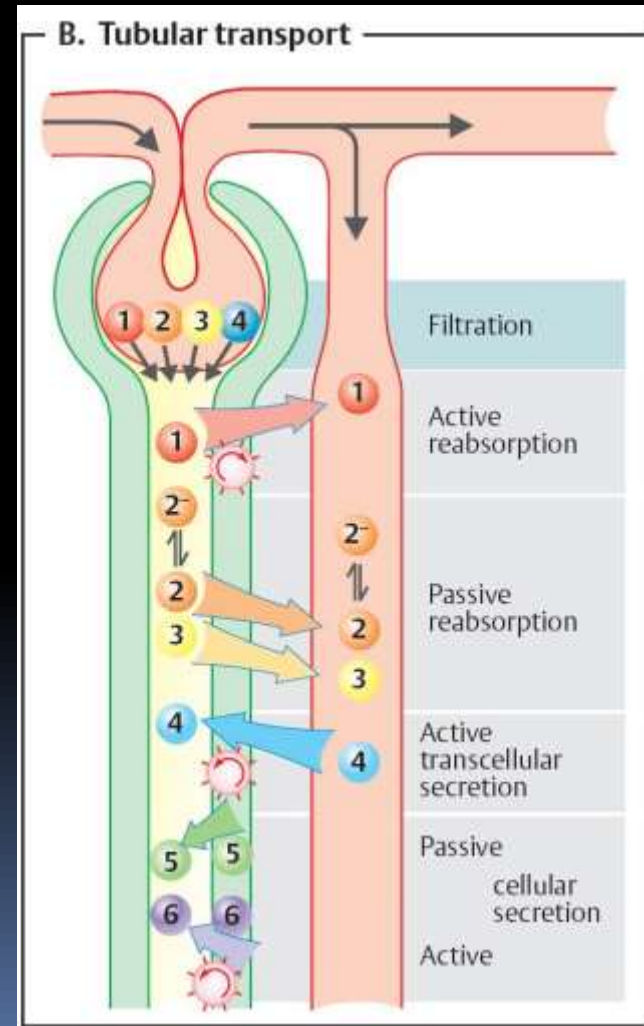
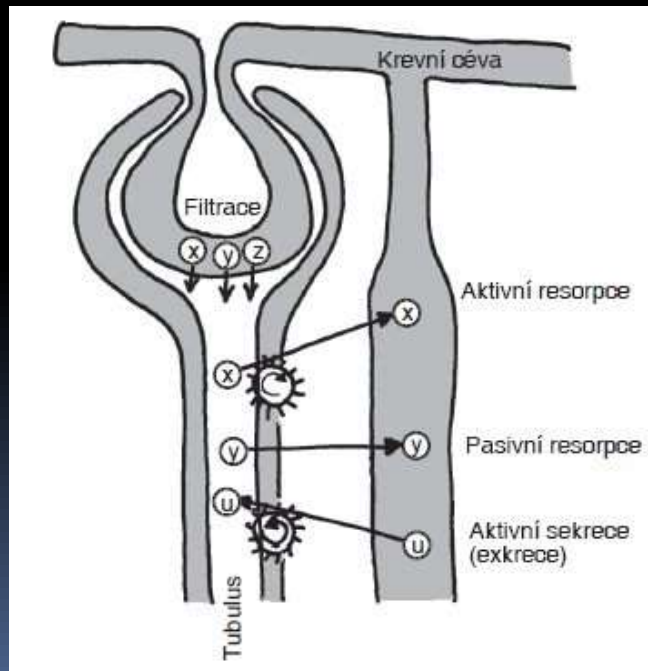




# Tubulární orgány: Tvorba a úprava primárního filtrátu.

2. Úprava:      a) zpětná Re(ab)sorbce,  
                     b) sekrece (exkrece)

Jednodušší je transportovat zpět známé látky než všechny neznámé ven.

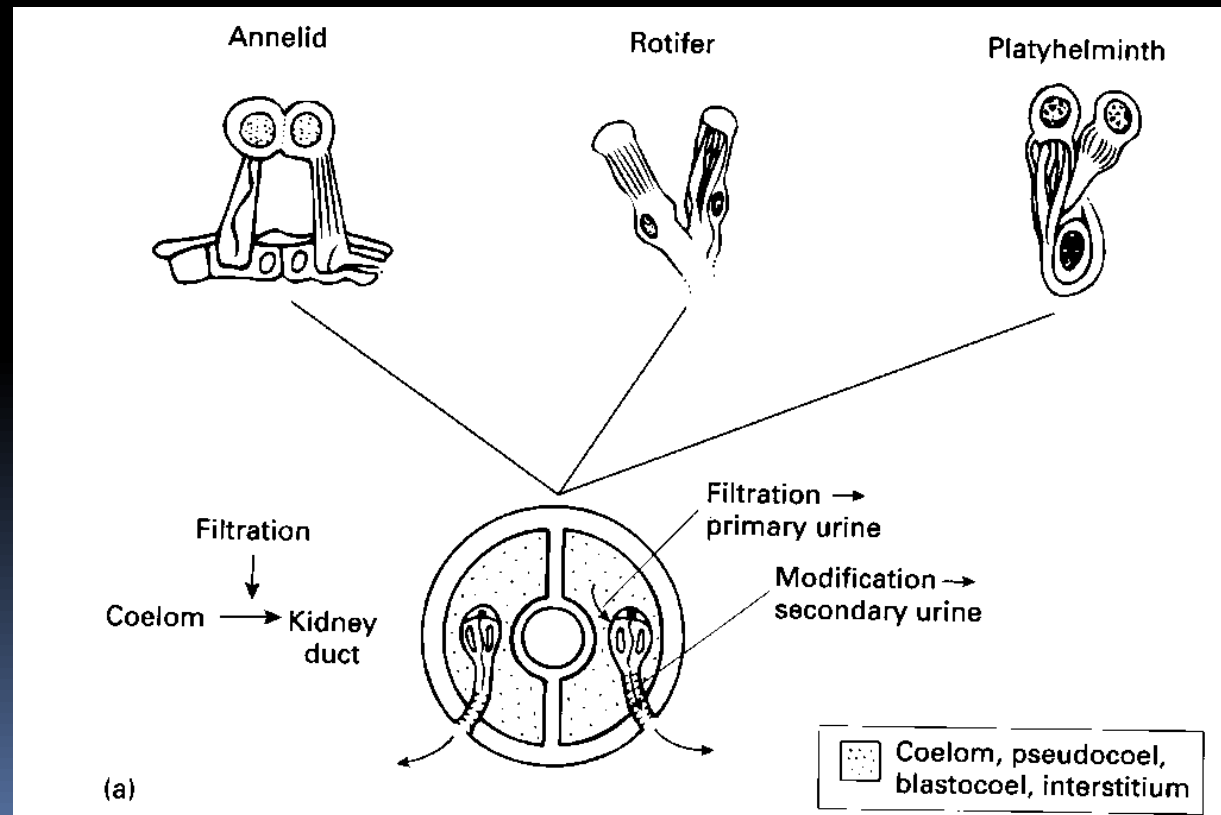




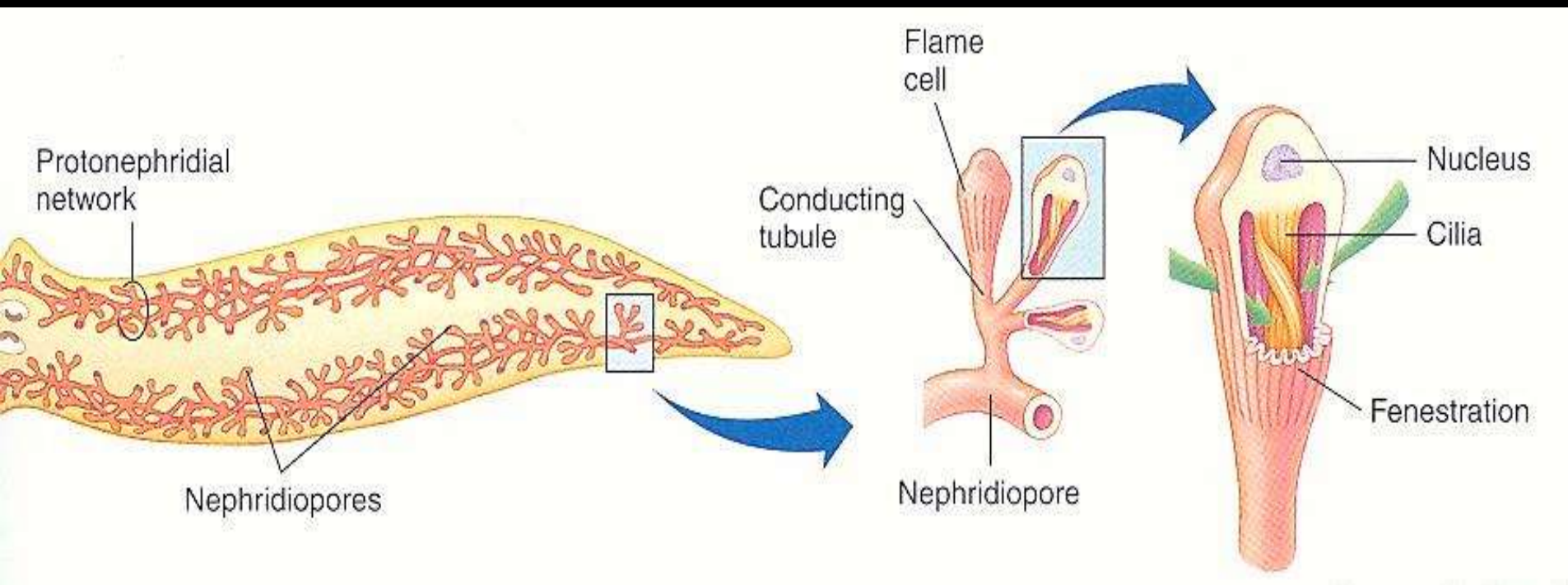
## Protonefridie.

Protonefrídie jsou slepě končící buňky – solenocyty (jediný bičík) nebo plaménkové buňky (svazek cilií do nitra kanálku) nemající přímé spojení mezi kanálkem a coelomovou dutinou. Nejlépe vyvinutá u sladkovodních druhů, které se musejí zbavovat vody.

Většinou nemají žádnou úlohu v exkreci amoniaku, protože u těchto druhů jde přes tělní stěnu. Ploštěnci, hlísti, pásnice



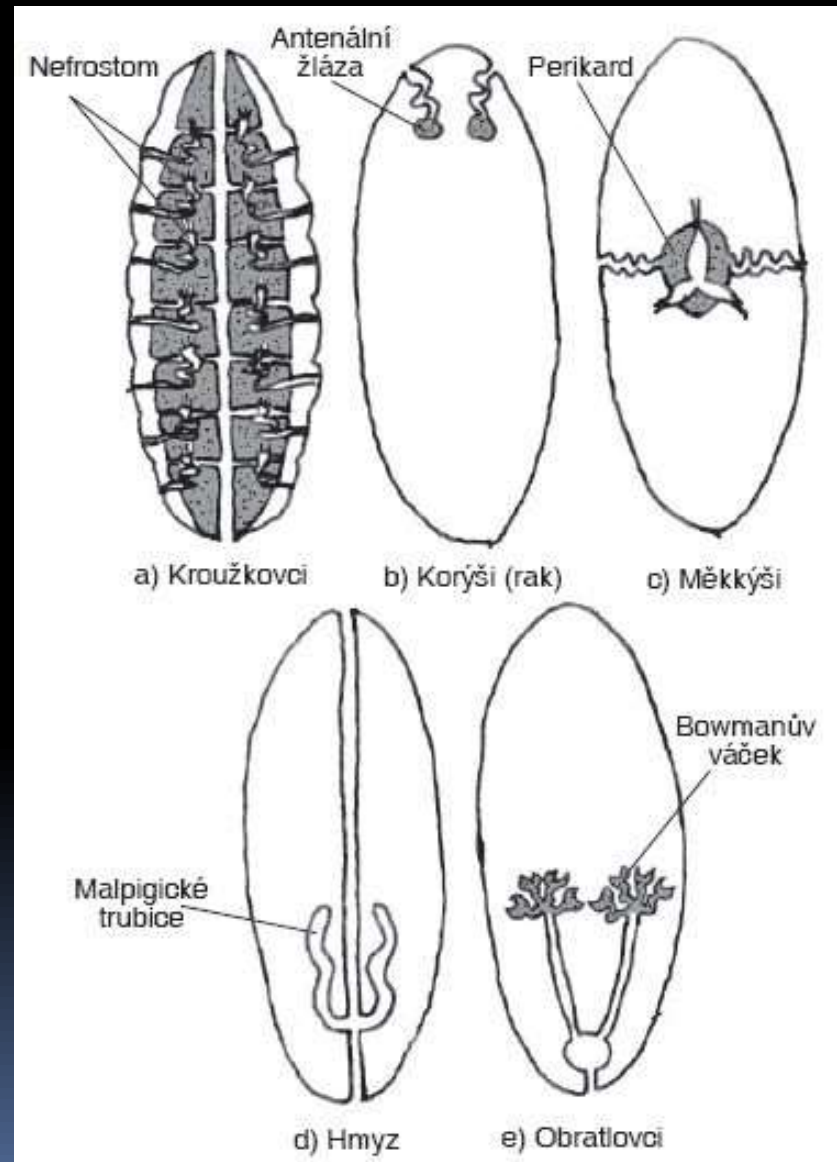
# Protonefridie.



# Metanefridie

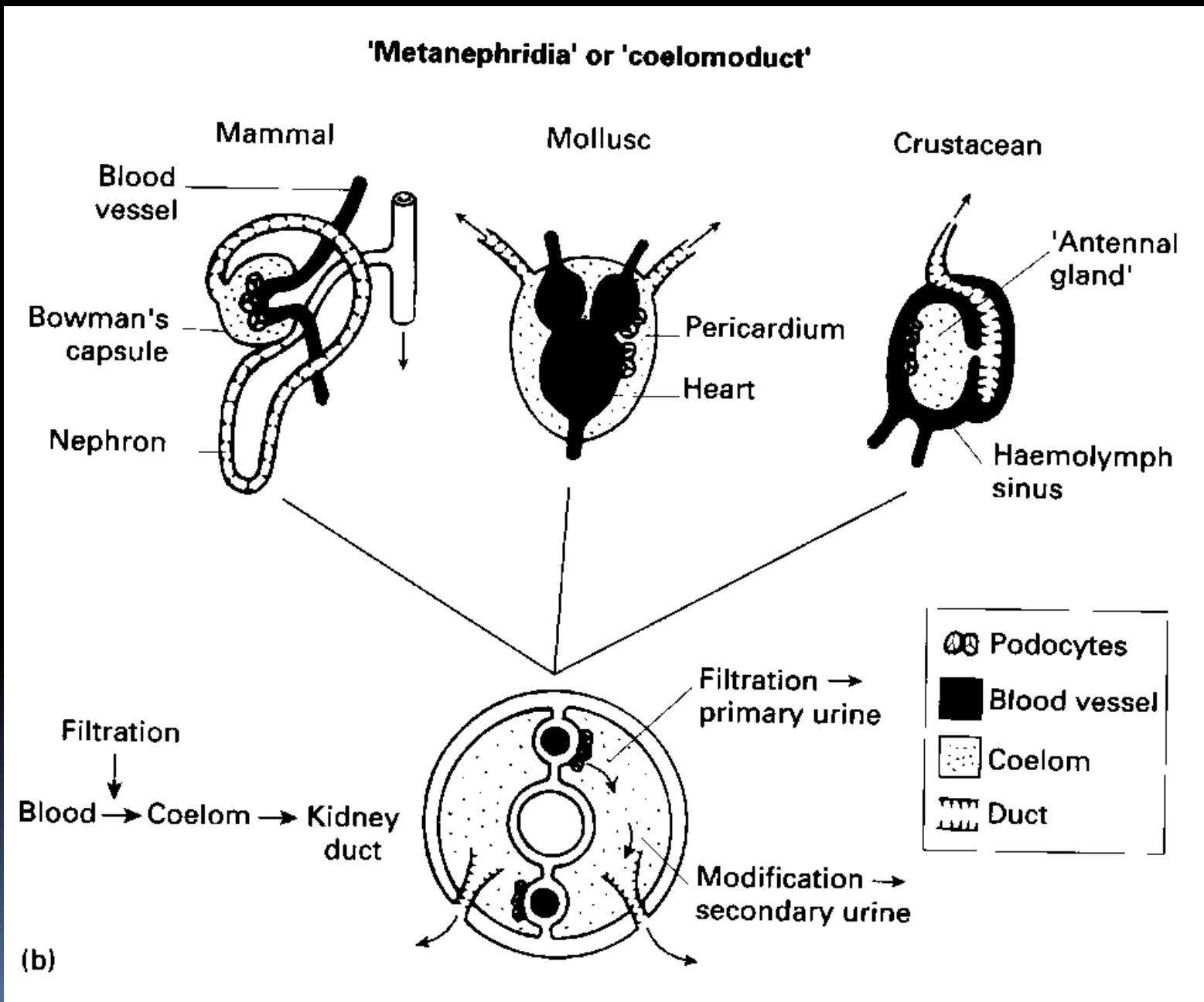
Jsou odvozenějším typem u živočichů s oddělenou cévní a coelomovou tekutinou a jejich lumen se otevírá do coelomového prostoru. Nejjednodušší podobou vstupu je obrvený kanálek (kroužkovci). Jsou typicky vázány na existenci cévní sítě a tlaku krve tvořící ultrafiltrací primární filtrát.

U hmyzu však není céloom zachován a exkreci zajišťují malpigické trubice.



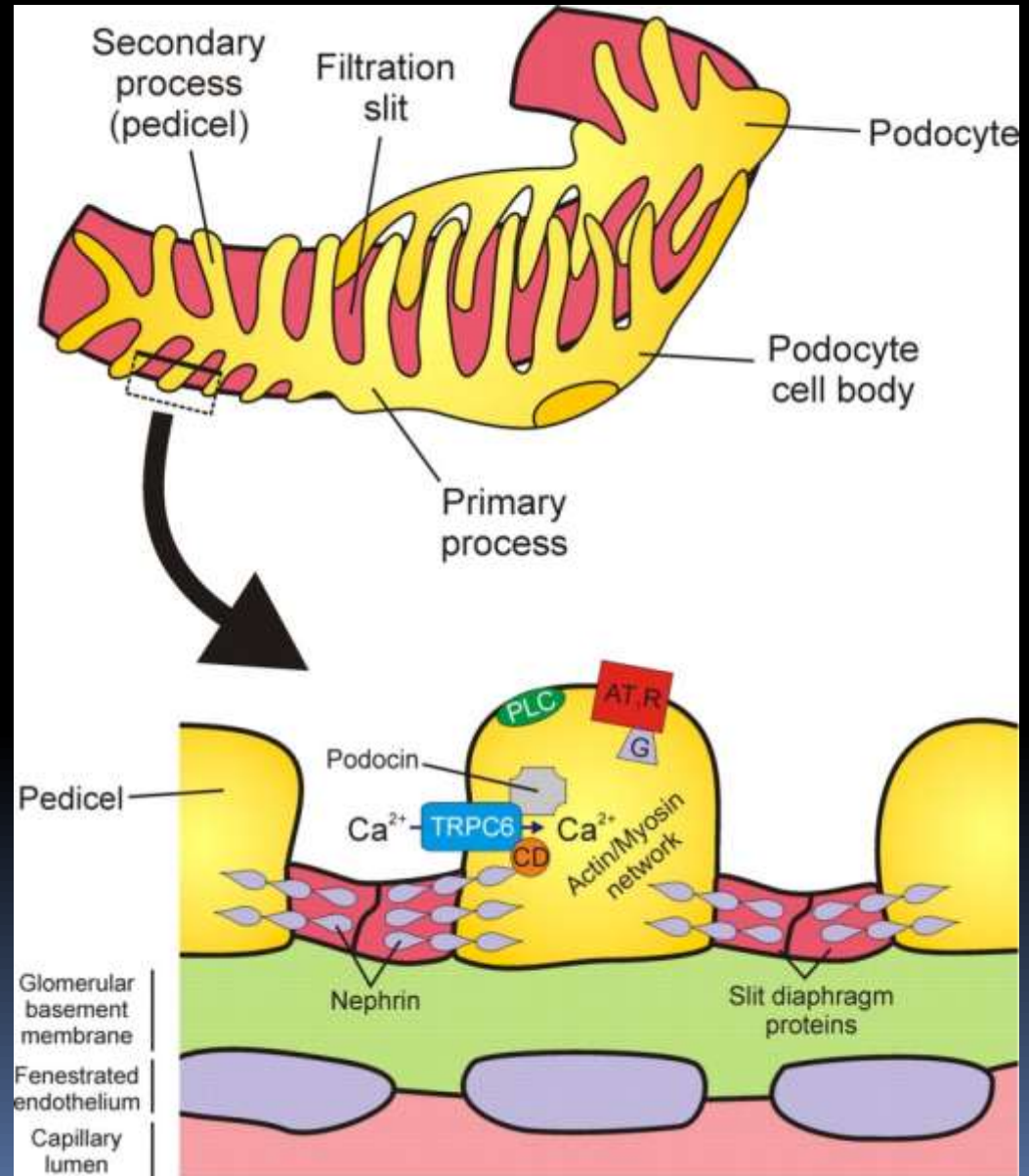
# Metanefridie

Oddělená krev a célová tekutina



# Metanefridie

Podocyty – buňky „dřavého“ epitelu nechávající mezi sebou filtrační štěrbinu, kterými ultrafiltrací prochází primární filtrát.

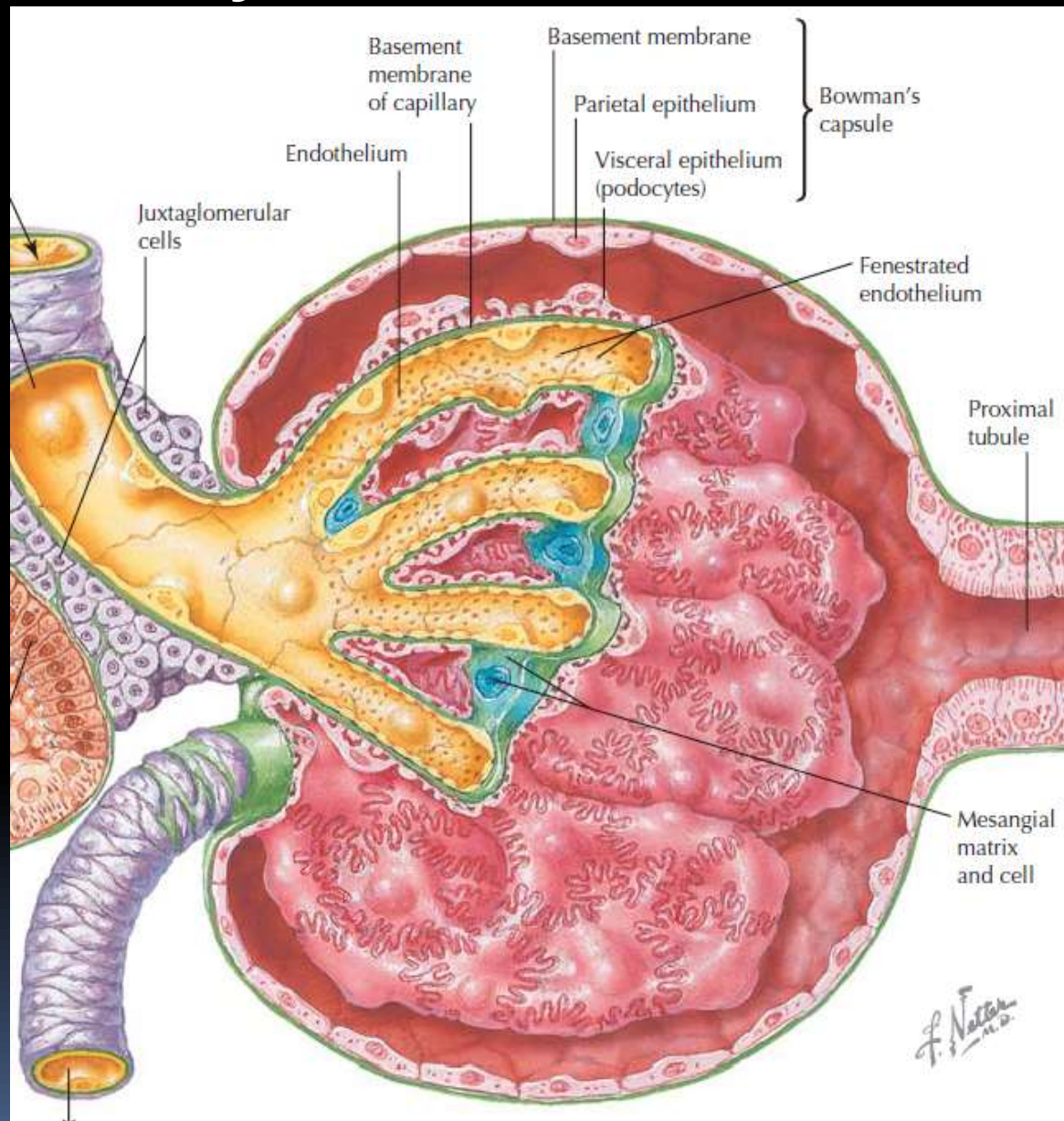




# Ledvinný glomerulus savců je odvozen od metanefridií

Plazma je v glomerulárních kapilárách filtrována do Bowmanova prostoru a ultrafiltrát pokračuje do proximálního tubulu.

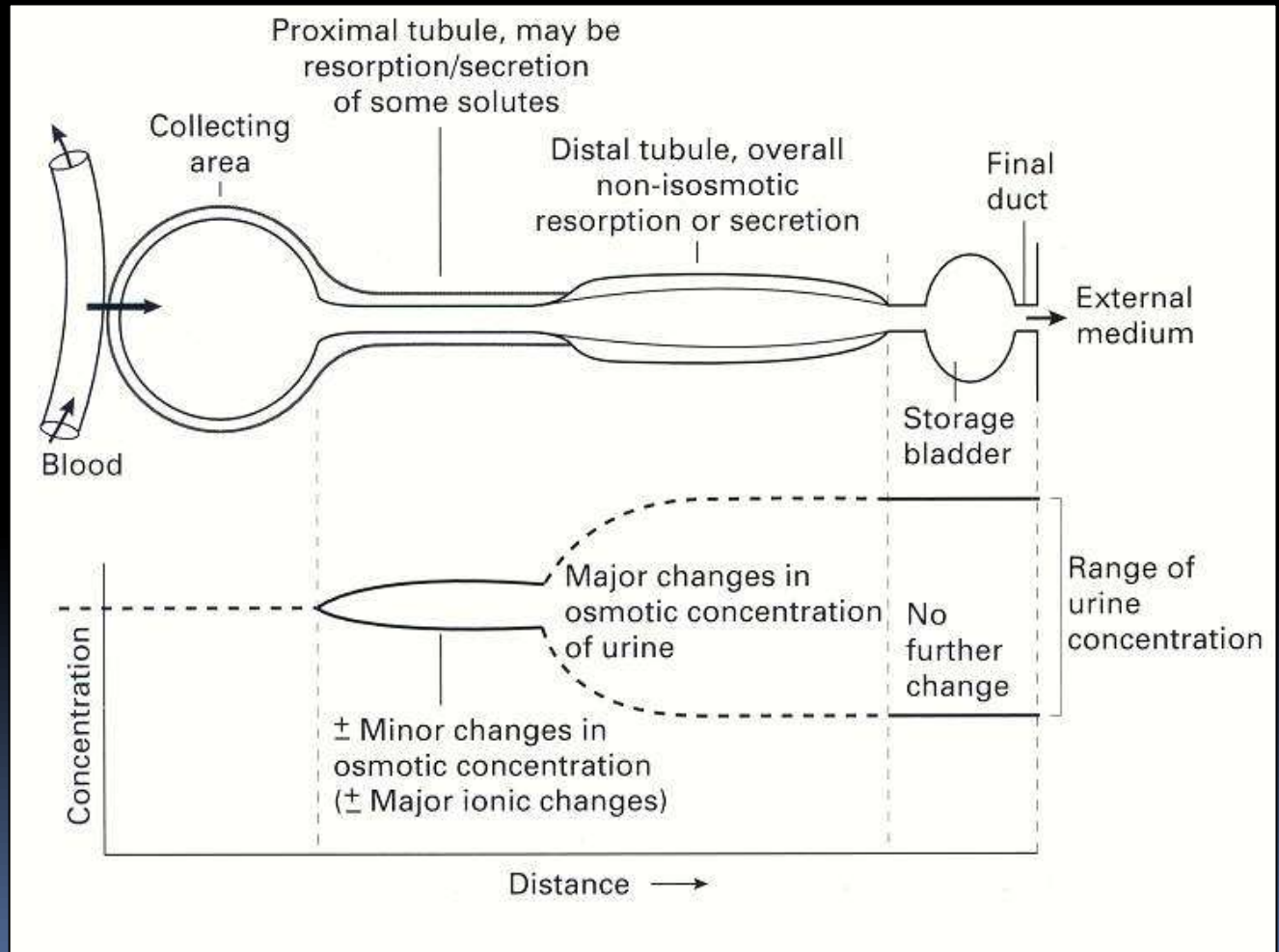
Fenestrováný endotel zajistí, že ultrafiltrát neobsahuje krvinky a plasmatické proteiny.



# Tubulární orgány: Tvorba a úprava primárního filtrátu.

Proximální část - nejprve velké izoosmotické objemy,

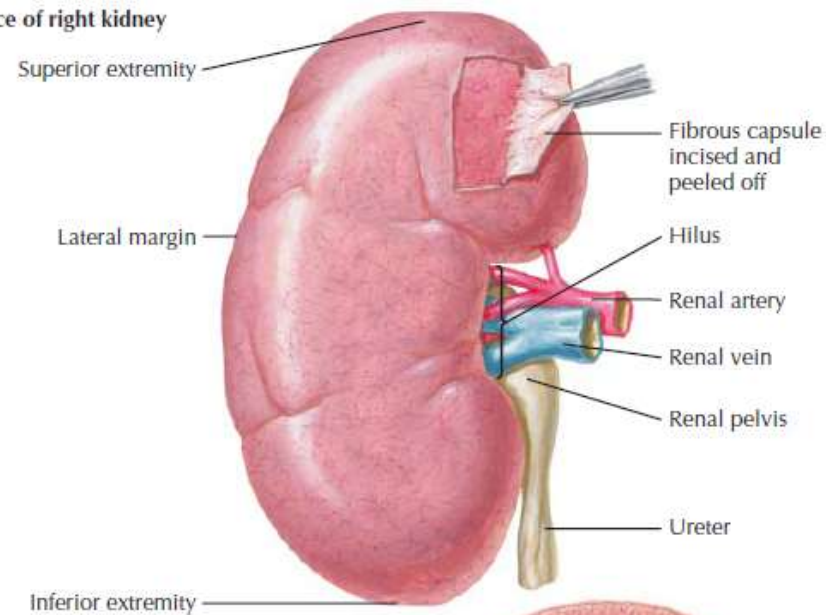
Distální část - malé přesouvané objemy, ale velké změny koncentrace



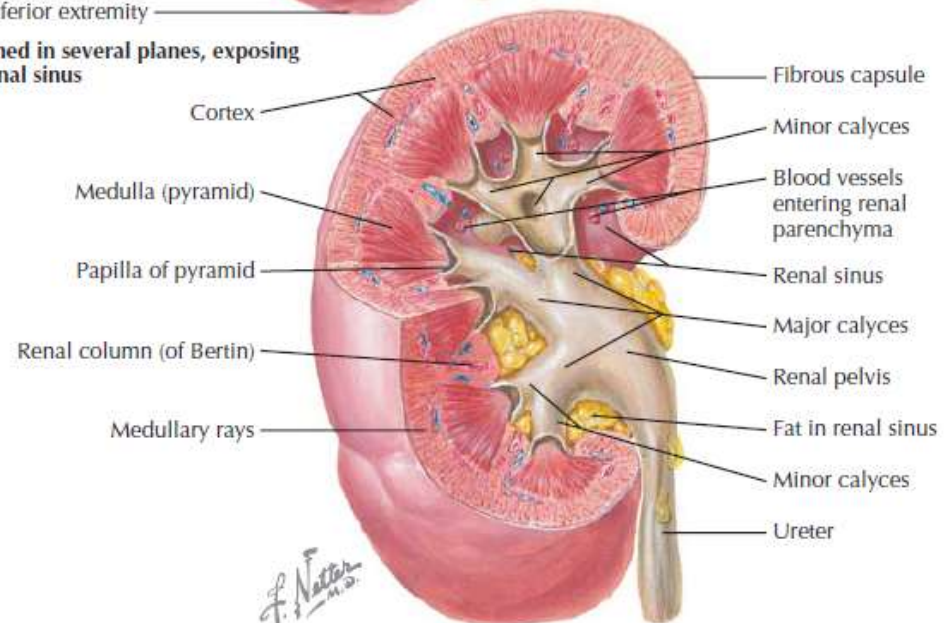
# Úkol savčích ledvin: filtrace a tvorba hypertonické moči

Anatomie:  
Kůra a dřeň.  
Přívod odvod krve.  
Odvod moči.

A. Anterior surface of right kidney



B. Right kidney sectioned in several planes, exposing parenchyma and renal sinus



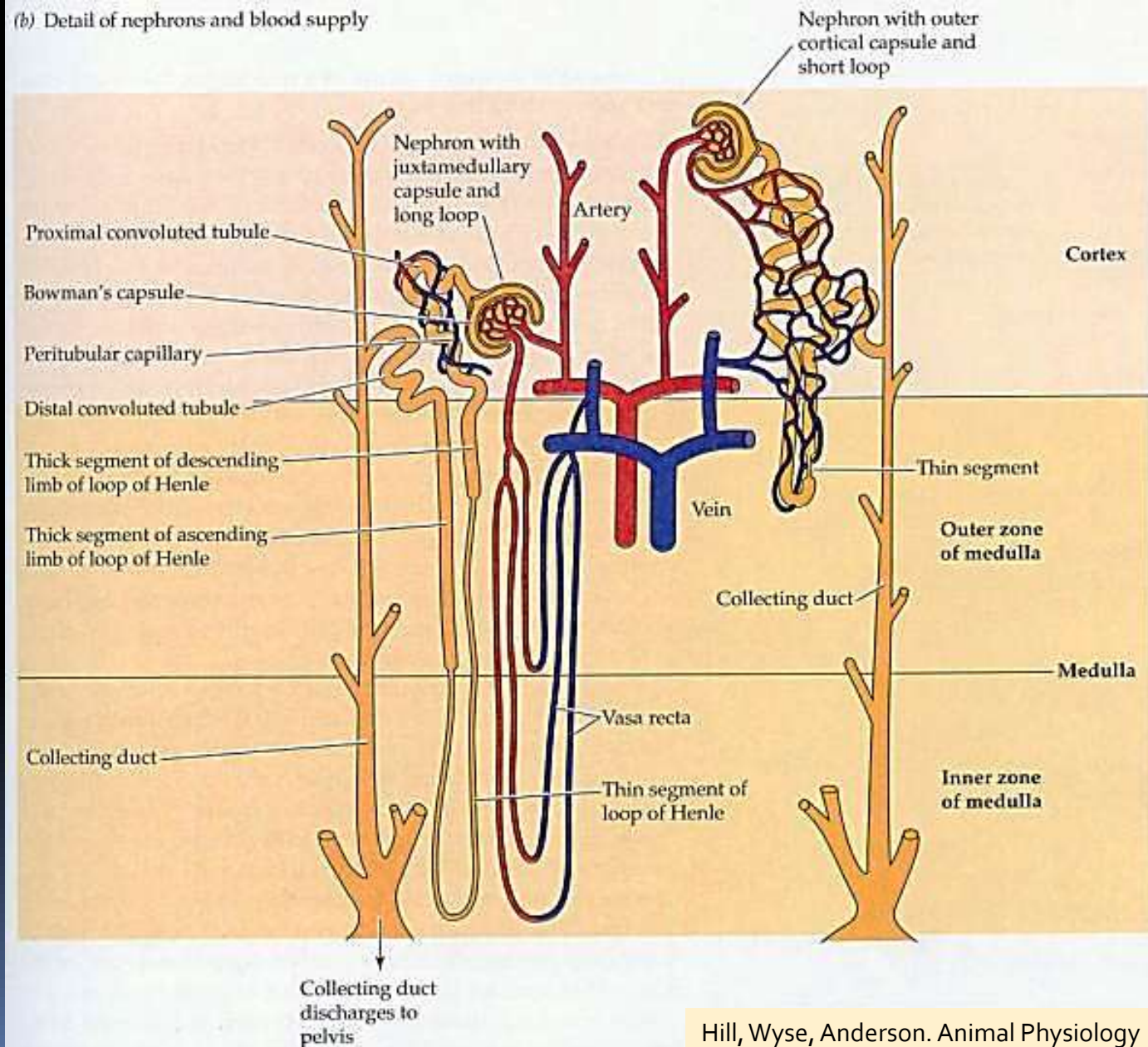


# Úkol savčích ledvin: filtrace a tvorba hypertonické moči

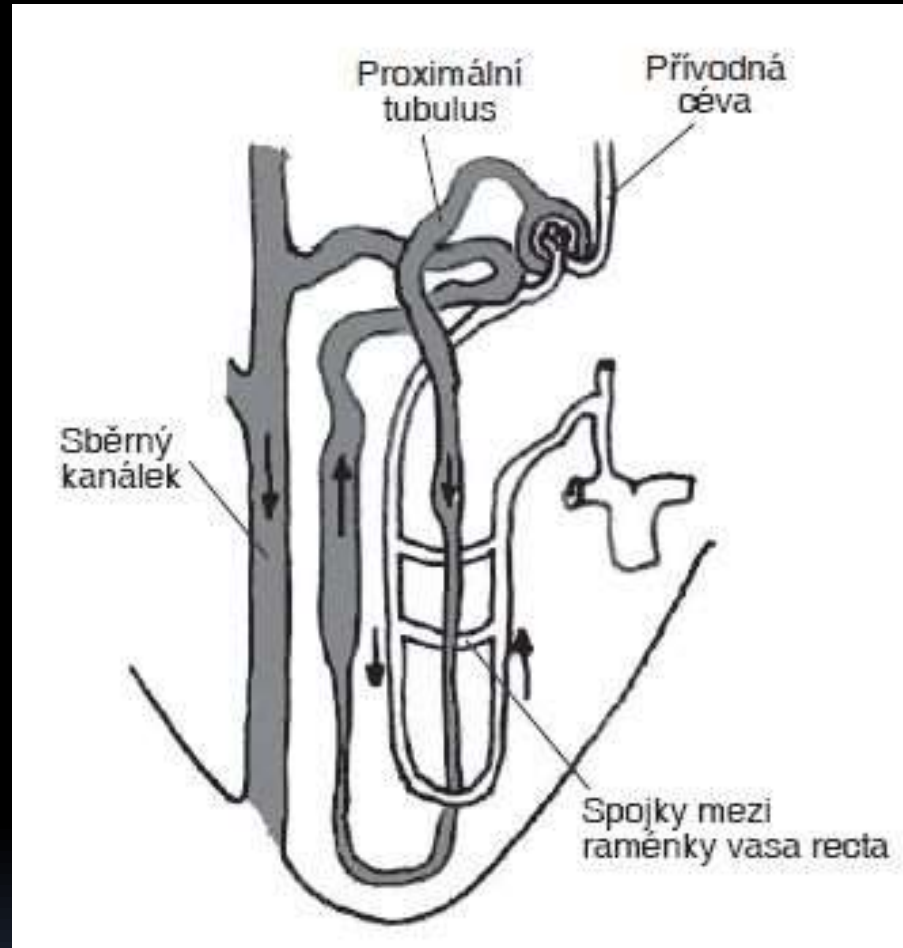
Anatomie:  
Kůra a dřeň.

Kanálek  
doprovázený  
cévami hluboko  
zasahující do  
dřeně.

Proximální,  
Henleova klička,  
distální tubulus,  
sběrný kanálek.



# Tubulární orgány: Tvorba a úprava primárního filtrátu.



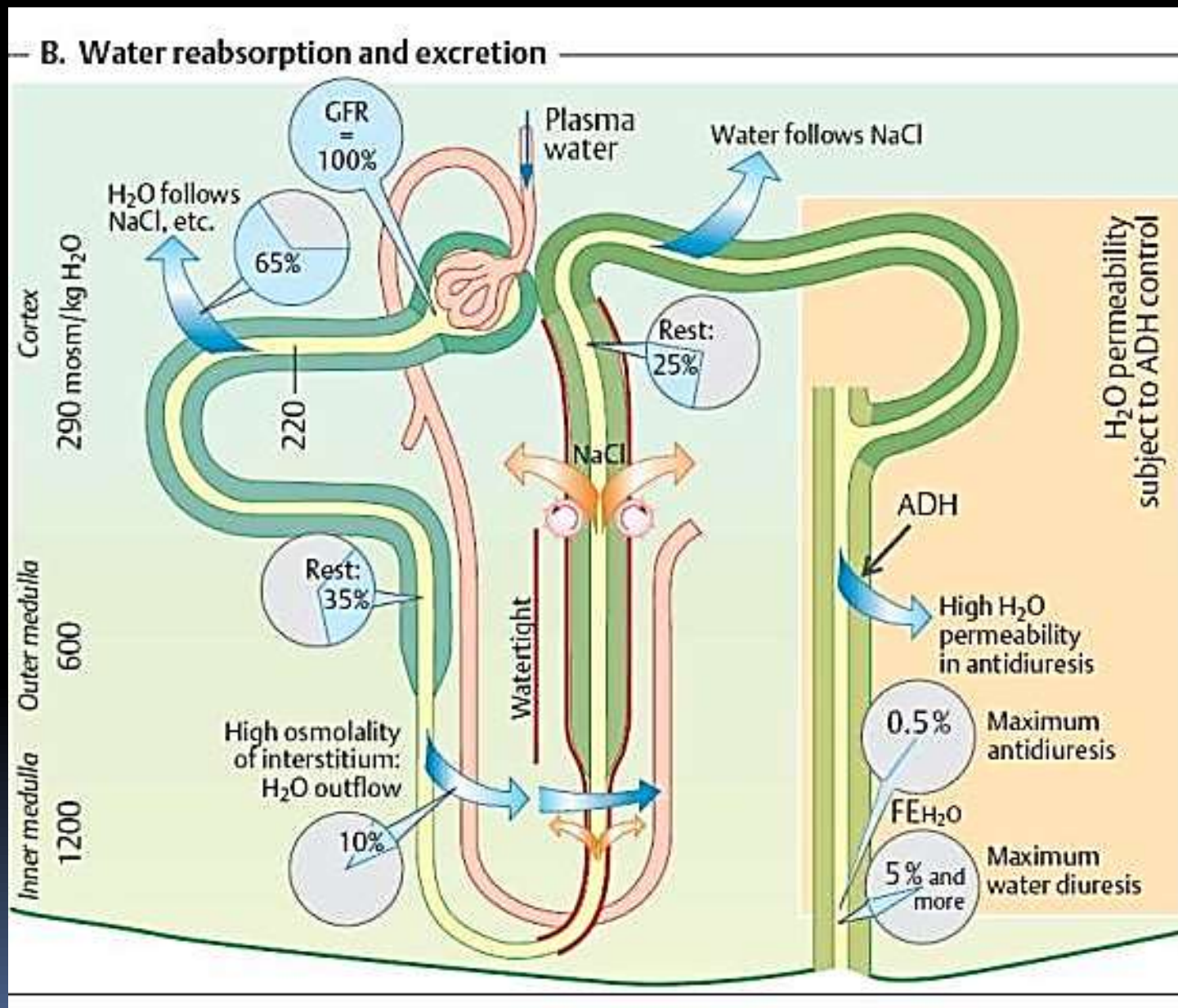
Obr. 14.14: Architektura dřeně ledvin. Cévy a kanálky jsou vedeny paralelně do hloubky dřeně. Tím je umožněna protiproudá výměna vody a rozpuštěných látek už mezi přívodnými a odvodnými cestami a je tak oddělena hyperosmotická dřeň od kůry. Vasa recta tvoří celou pleteň kolem tubulu (nezakresleno) s řadou spojek. Jejich vazomotorikou je regulováno prokrvení a tedy osmolalita dřeně.



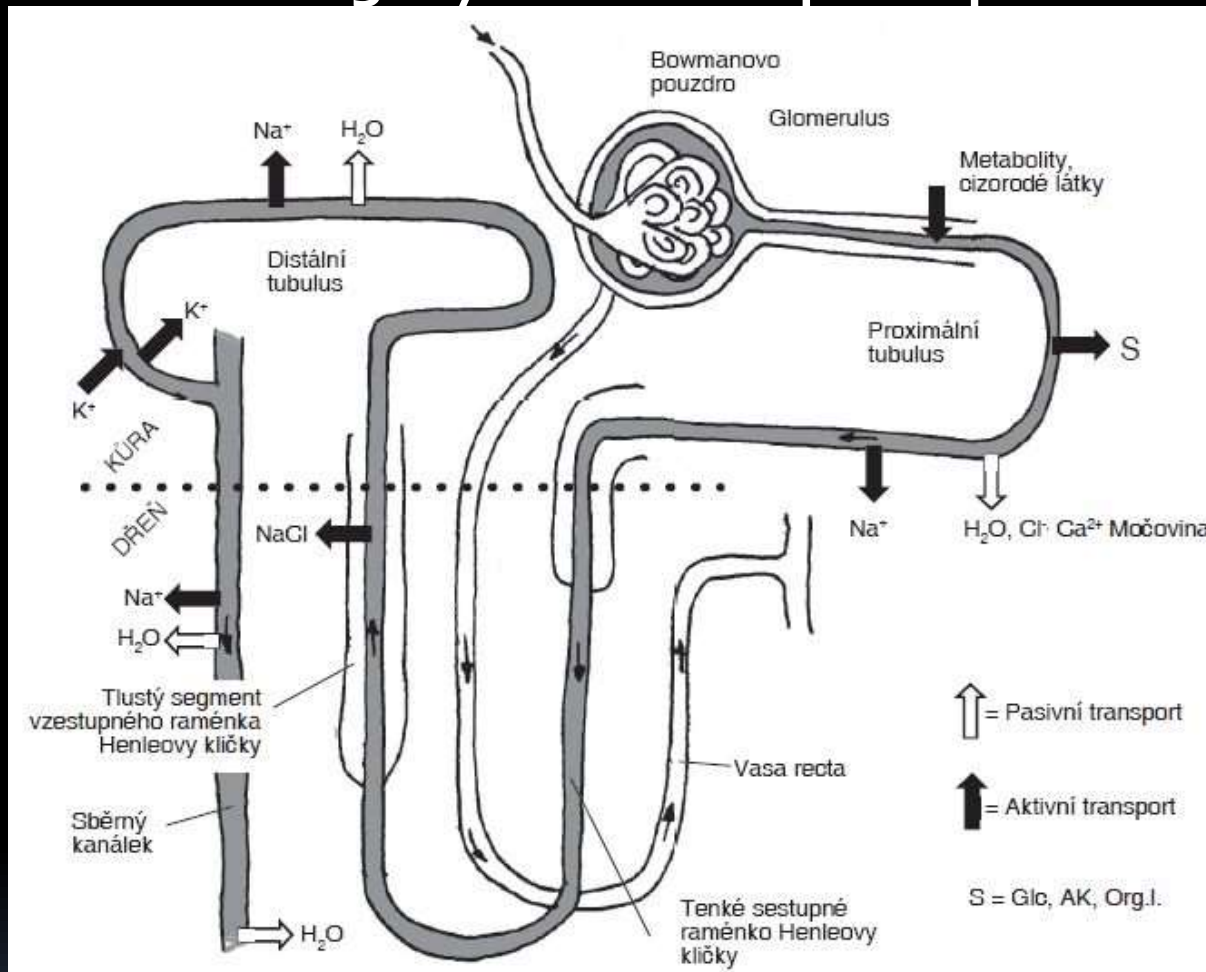
# Úkol savčích ledvin: filtrace a zpětná resorpce vody

Finální moč má jen 0,5 – 5% vody.

Protože vodu nelze selektivně čerpat, jediná možnost je připravit hypertonické okolí tubulu.



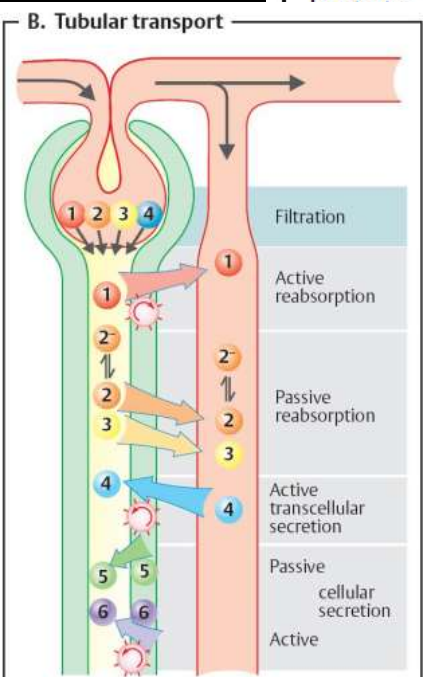
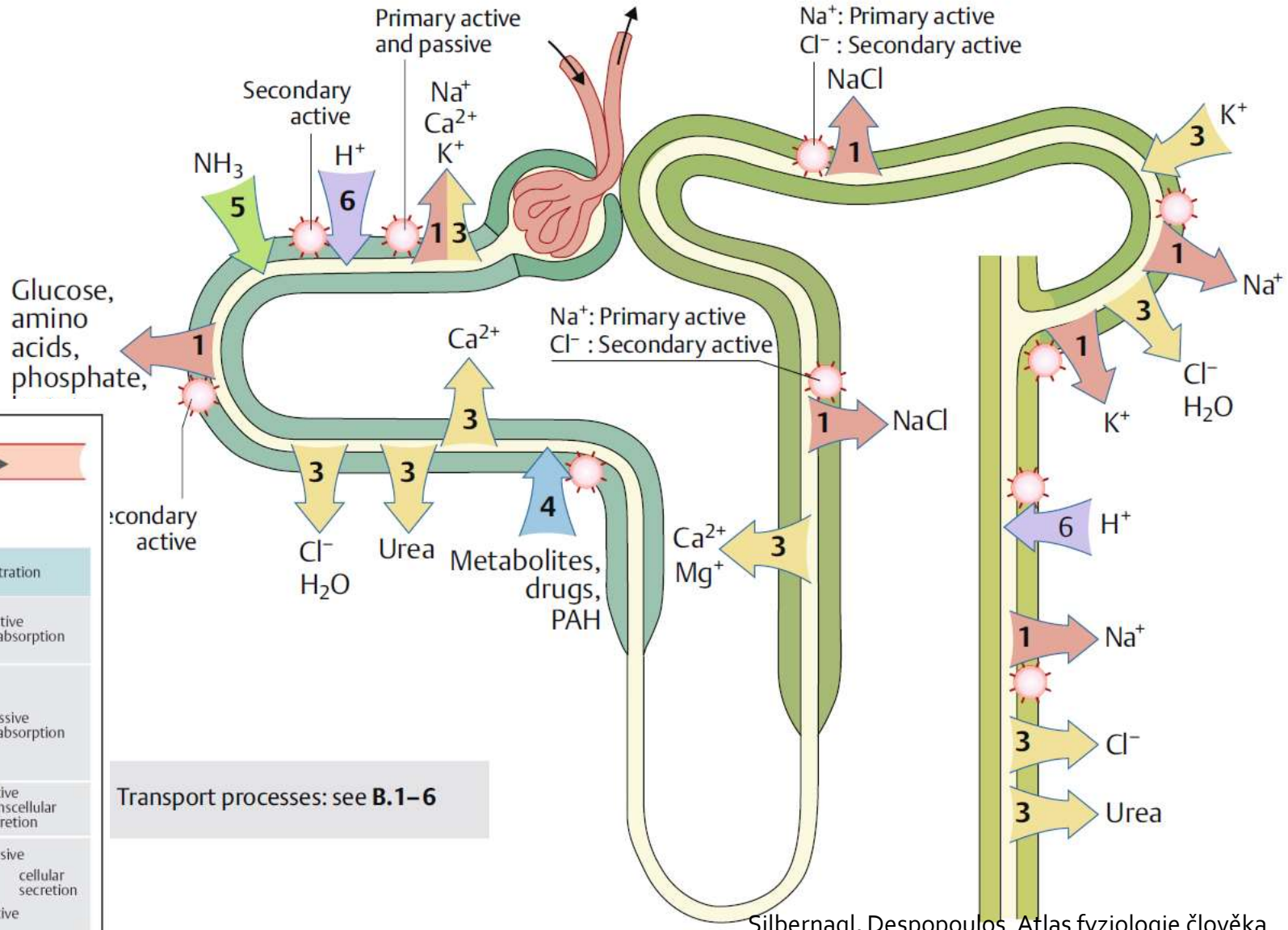
# Tubulární orgány: Tvorba a úprava primárního filtrátu.



Obr. 14.7: Schéma stavby nefronu a transportních dějů při tvorbě moči. Primární filtrát je cestou tubulem upravován sekrecí a resorpcí. V proximálním tubulu se spolu s  $\text{Na}^+$  resorbují organické látky, většina vody a iontů. Tlustý segment Henleovy kličky exportuje  $\text{NaCl}$  bez doprovodu vody a generuje vysokou osmolalitu dřeně. V distálním tubulu se doladuje iontové složení moči. Ve sběrném kanálku se odchodem vody do dřeně tvoří hyperosmotická moč.

# Tubulární orgány: Tvorba a úprava primárního filtrátu.

## C. Overview of important transport processes along the nephron

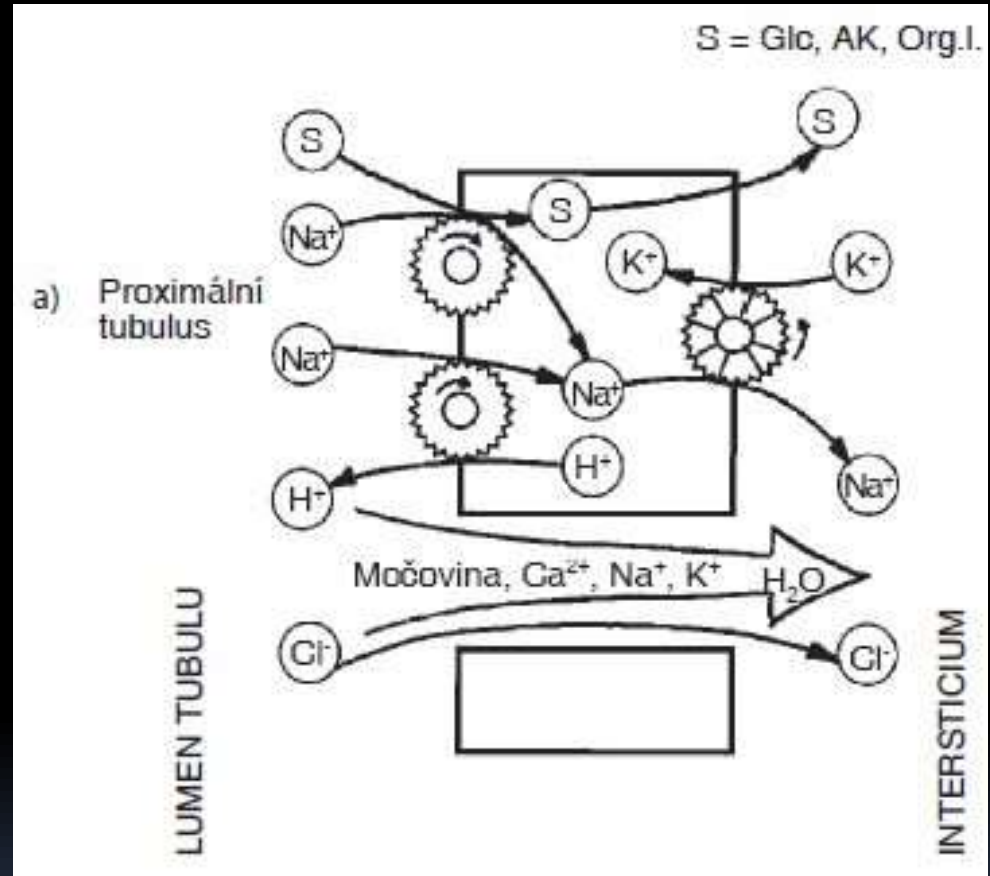




# Proximální tubulus.

Úkol: vrátit co největší objem vody s užitečnými látkami.  
Osmolalita se nemění.

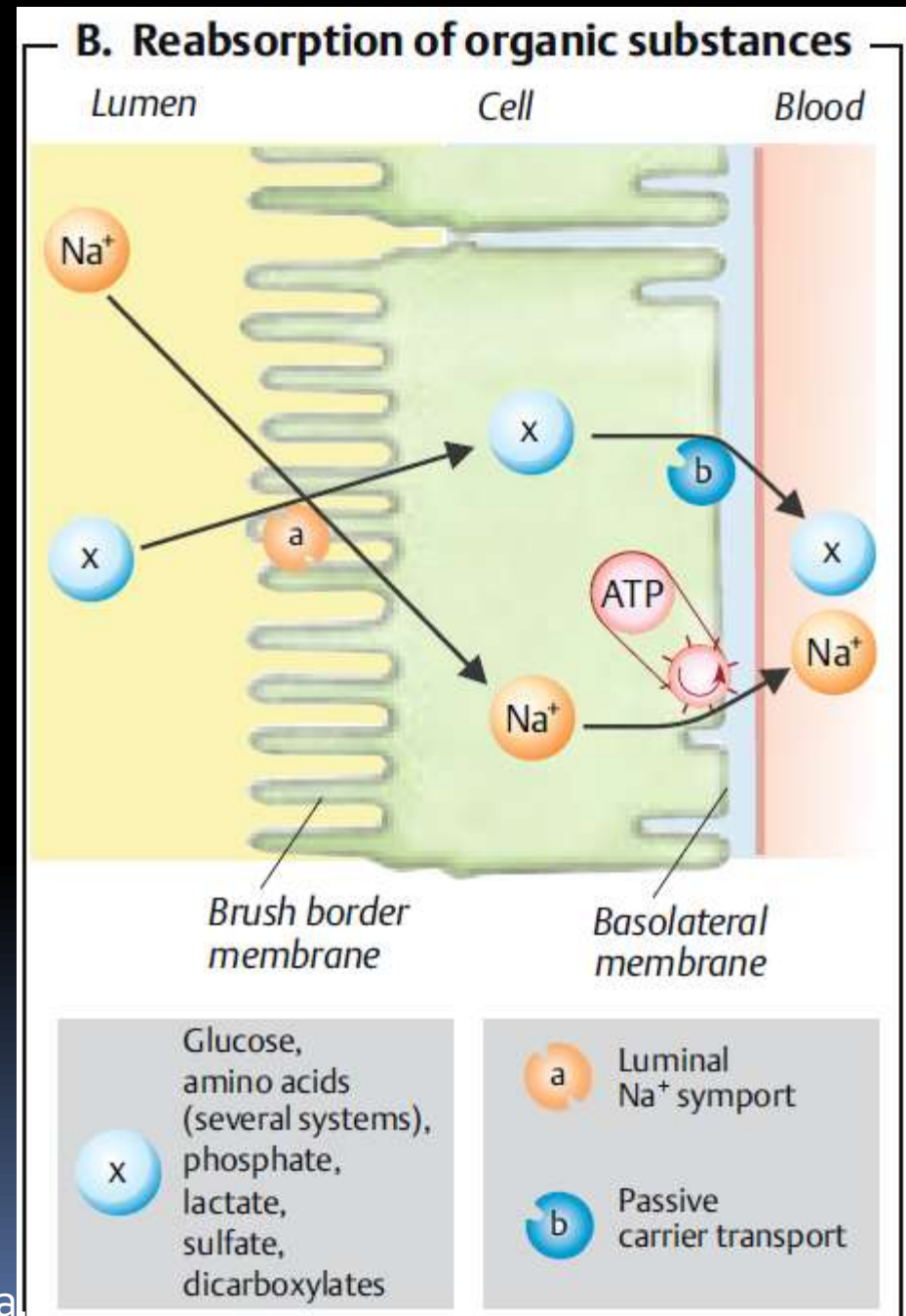
Z dutiny proximálního tubulu jsou organické látky transportovány do buněk epitelu sekundárním aktivním kotransportem energií  $\text{Na}^+$  gradientu. Do intersticia projdou usnadněnou difuzí.  $\text{Na}^+$  ionty následuje paracelulárně voda, strhávající s sebou další látky.



## Proximální tubulus.

Úkol: vrátit co největší objem vody s užitečnými látkami.  
Osmolalita se nemění.

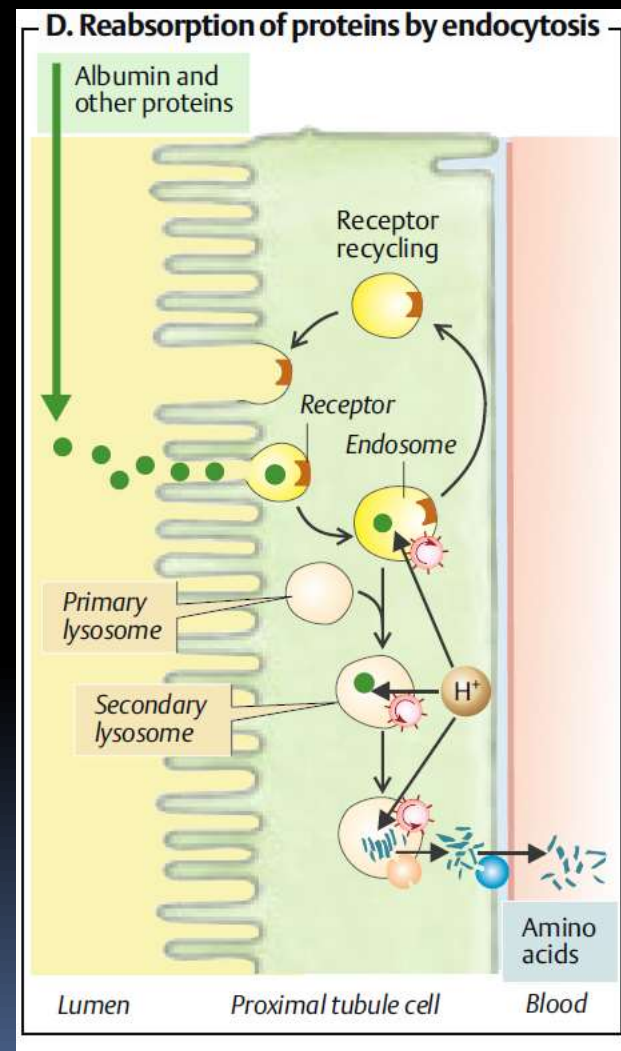
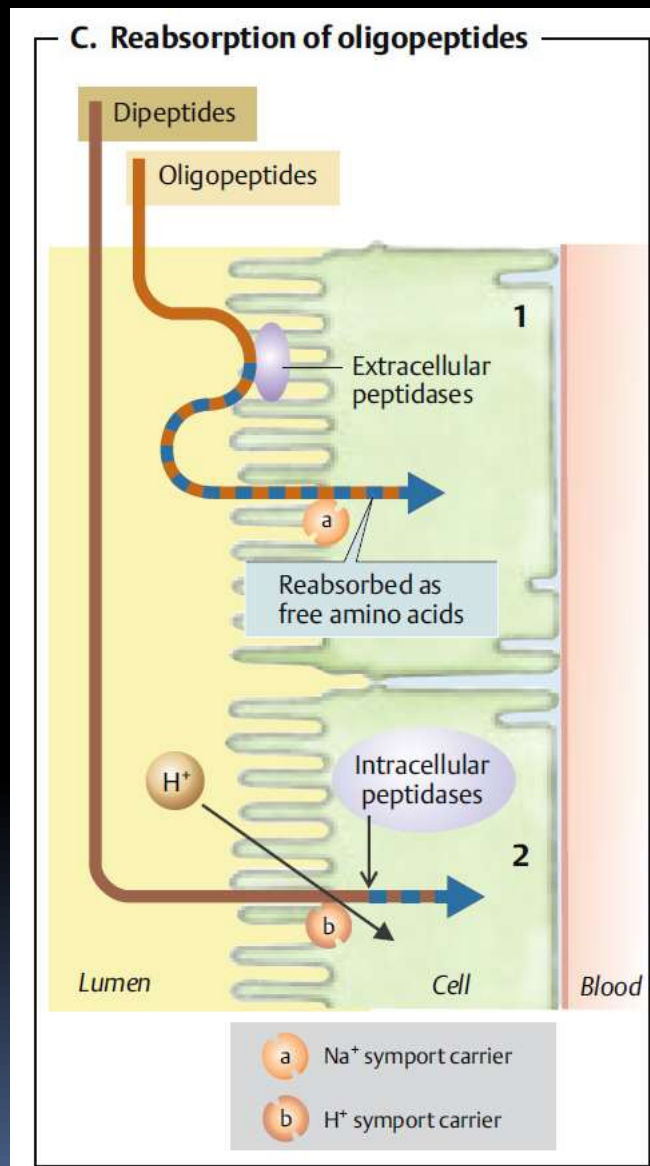
Z dutiny proximálního tubulu jsou organické látky transportovány do buněk epitelu sekundárním aktivním kotransportem energií  $\text{Na}^+$  gradientu. Do intersticia projdou usnadněnou difúzí.





# Proximální tubulus.

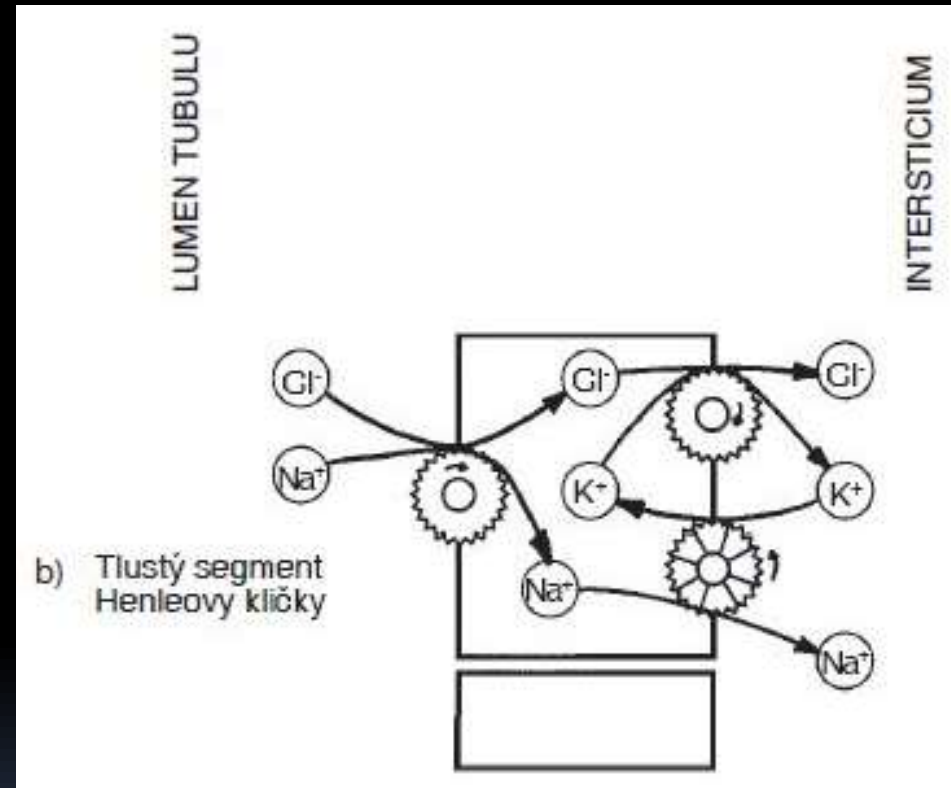
Užitečné peptidy se resorbují sekundárním aktivním transportem nebo endocytózou.



# Tlustý segment Henleovy kličky

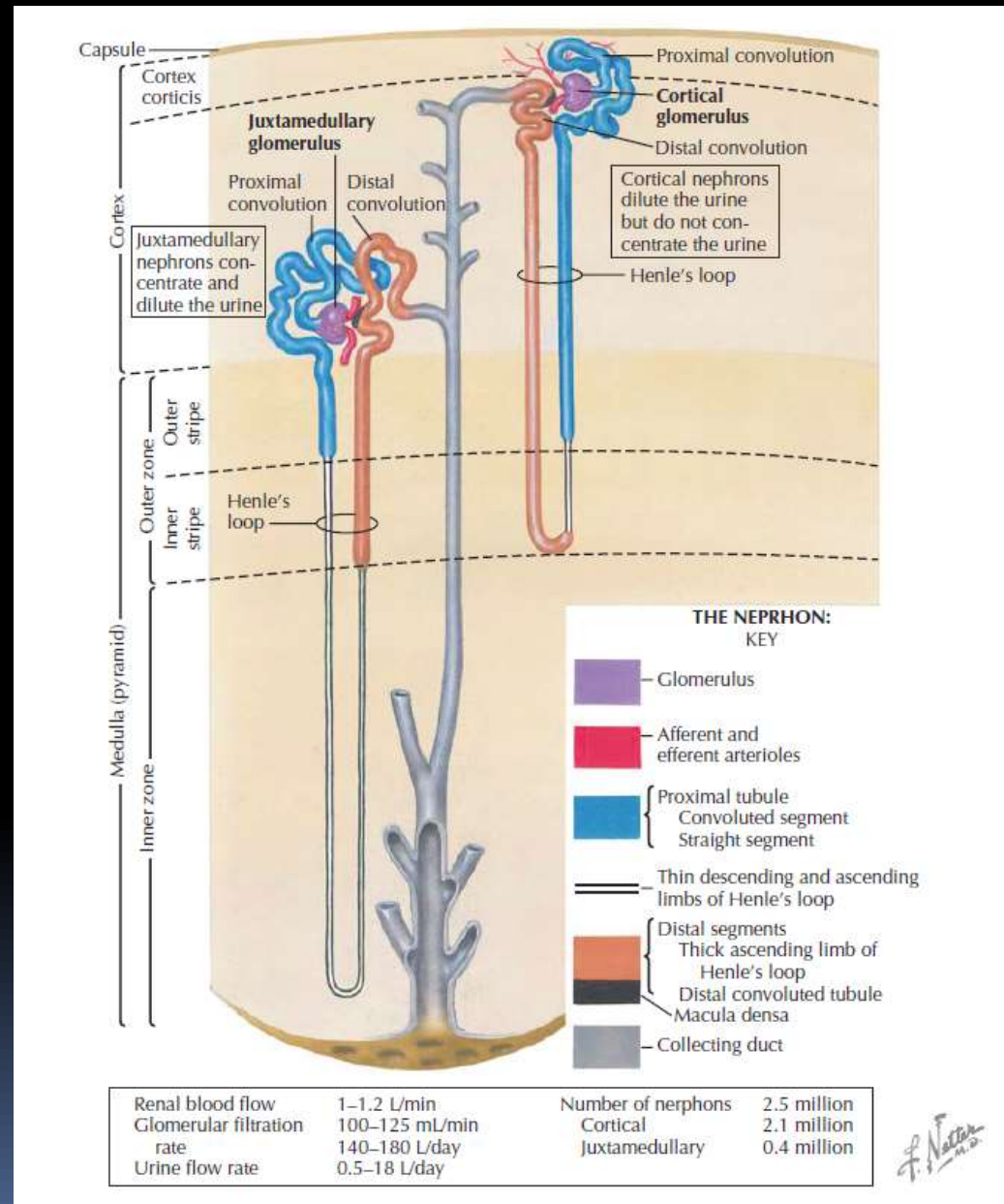
Úkol: vytvořit hypertonickou dřeň.

V tlustém segmentu Henleovy kličky se do intersticia dřeně přečerpávají  $\text{Na}^+$  a  $\text{Cl}^-$ . (Kolo s výztuží = aktivní transport).

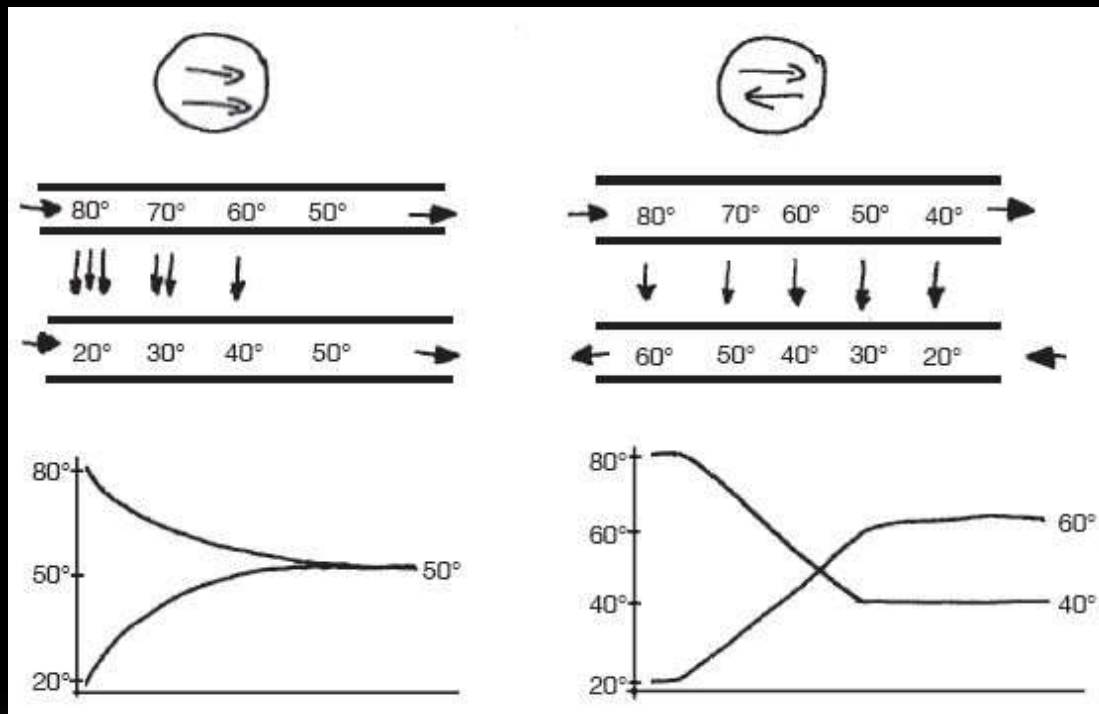


# Dva druhy glomerulů podle potřeby šetřit vodou.

U člověka připadá sedm kortikálních nefronů na jeden juxtamedulární. Převaha juxtamedulárních nefronů je u živočichů, kteří žijí v pouštních a suchých oblastech a musí dobře hospodařit s vodou.



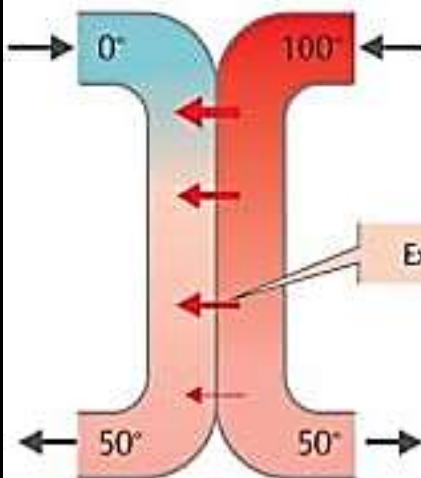
# Jak oddělit hypertonickou dřev od kůry? Protiproudý multiplikační systém



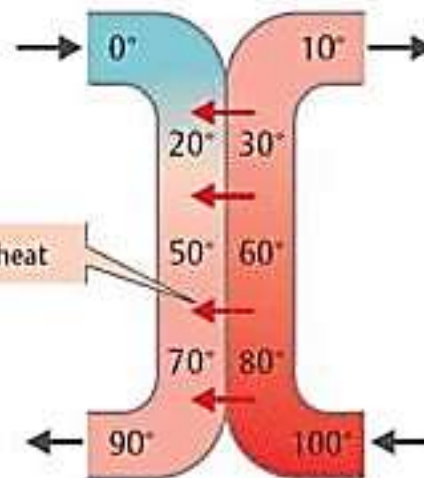
Obr. 14.9: Srovnání stejnosměrné a protiproudé výměny na příkladě teplot. Zatímco při stejnosměrné gradient klesá, až se výsledná teplota ustálí na průměru, při protiproudé výměně je gradient po celé délce konstantní a výměna tepla je účinnější.

# Jak oddělit hypertonickou dřeň od kůry? Protiproudý multiplikační systém

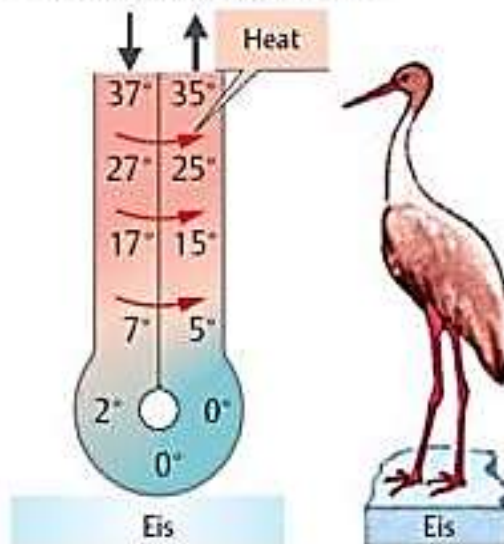
## A. Countercurrent systems



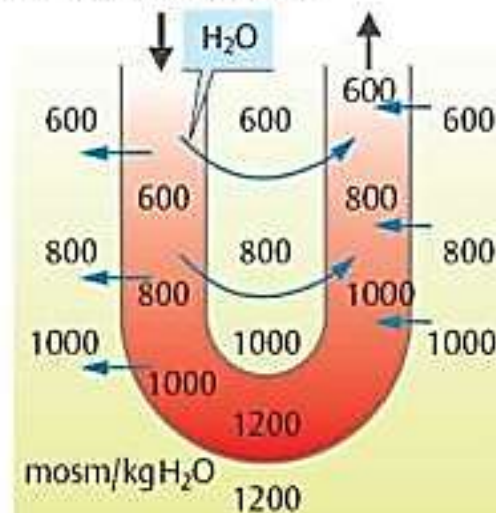
1 Simple exchange system



2 Countercurrent exchange



3 Countercurrent exchange (heat) in loop

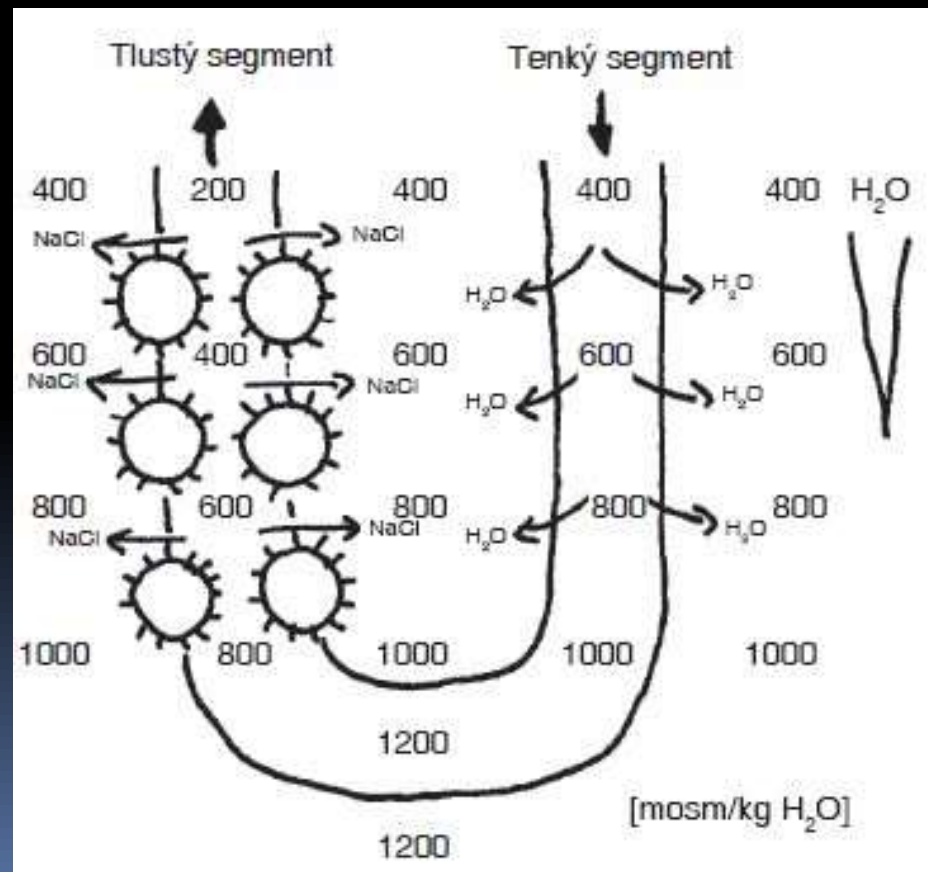


4 Countercurrent exchange (water) in loop (e.g. vasa recta)



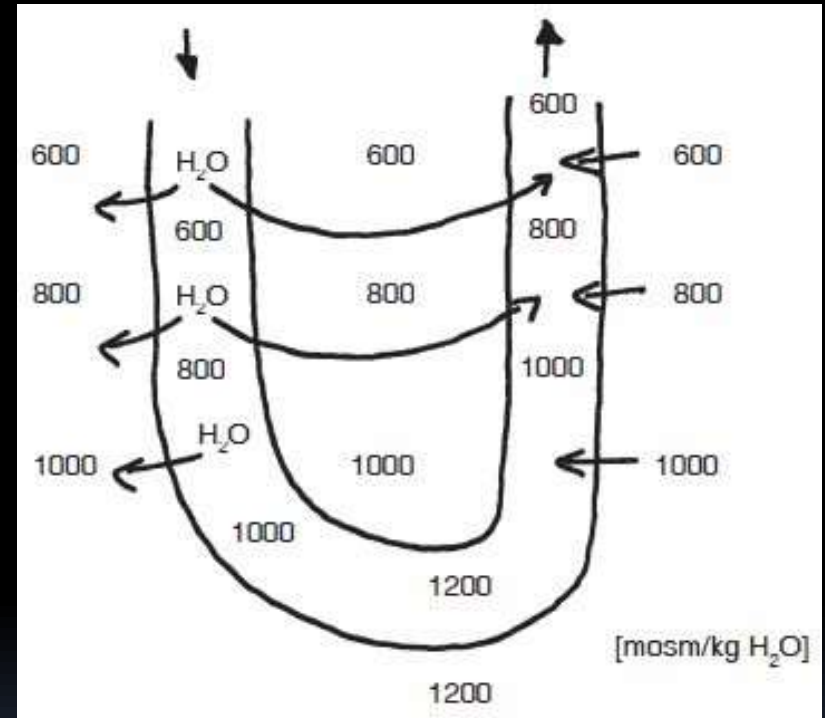
# Multiplikační systém tvoří hypertonickou dřeň.

Aktivní protiproudá multiplikace v Henleově kličce (HK). V tlustém segmentu HK jsou čerpány do dřevě ionty  $\text{Na}^+$  a  $\text{Cl}^-$ . Pro vodu je však epitel nepropustný. Voda přicházející tenkým segmentem je zkratkami strhávána do intersticia a osmolalita roste s tím víc, čím je klička delší. Dřeň ledvin je proto hyperosmotická.



# Multiplikační systém tvoří hypertonickou dřeň.

Protiproudá výměna vody ve *vasa recta*. Dřeň ledvin je zásobena krví cévou *vasa recta*. Voda přicházející s krví neproniká až do dřene a nesnižuje její osmolalitu, protože uniká zkratkami z přírodního do odvodného raménka. Regulací prokrvení lze regulovat i osmotickou savost dřene a tím i množství moče.



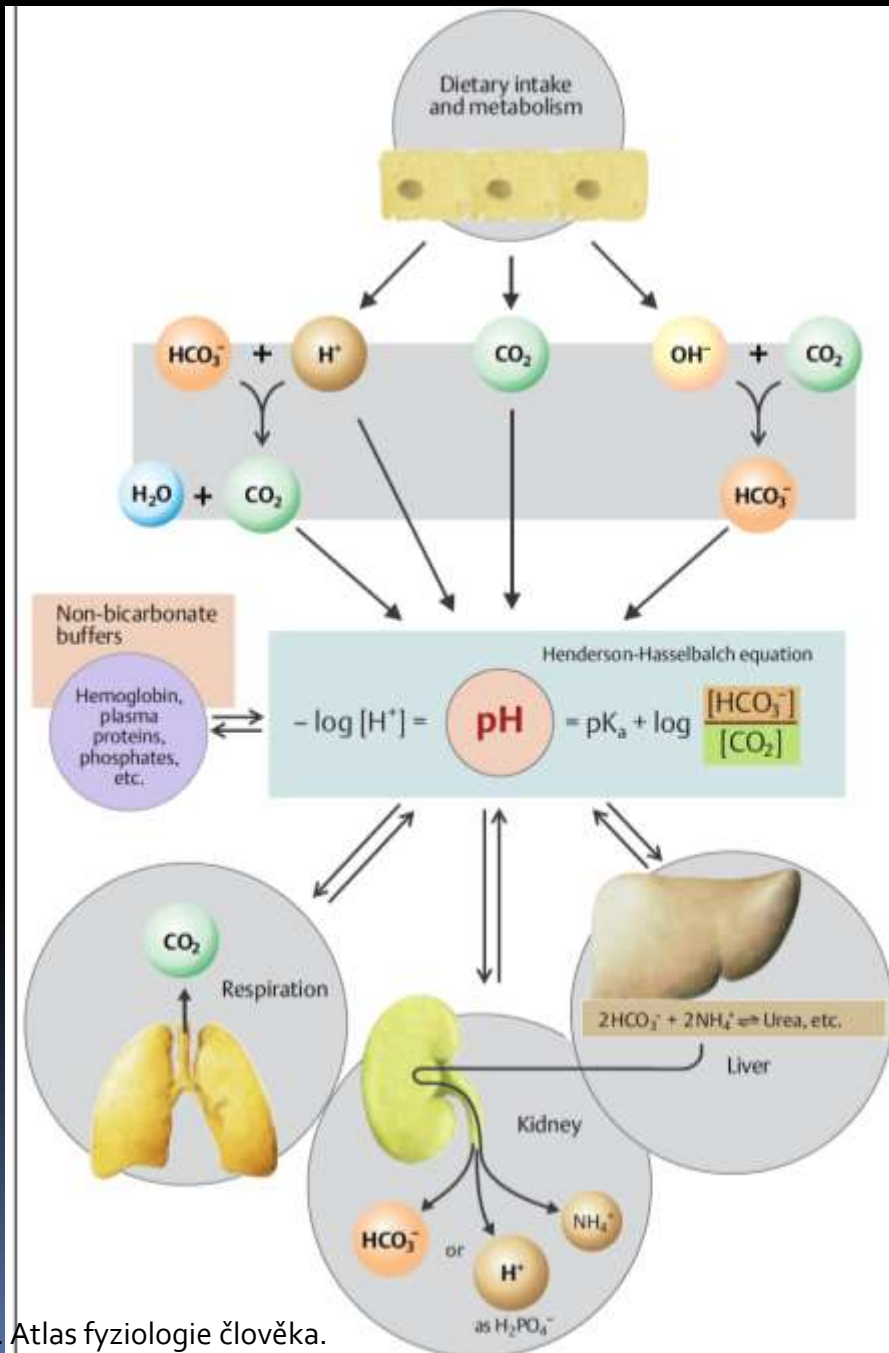
# Ledviny a acidobazická rovnováha

Spolu s plícemi tvoří otevřený systém regulující pH (7,4).

Výkyvy ohrožují membránovou propustnost, distribuci elektrolytů.

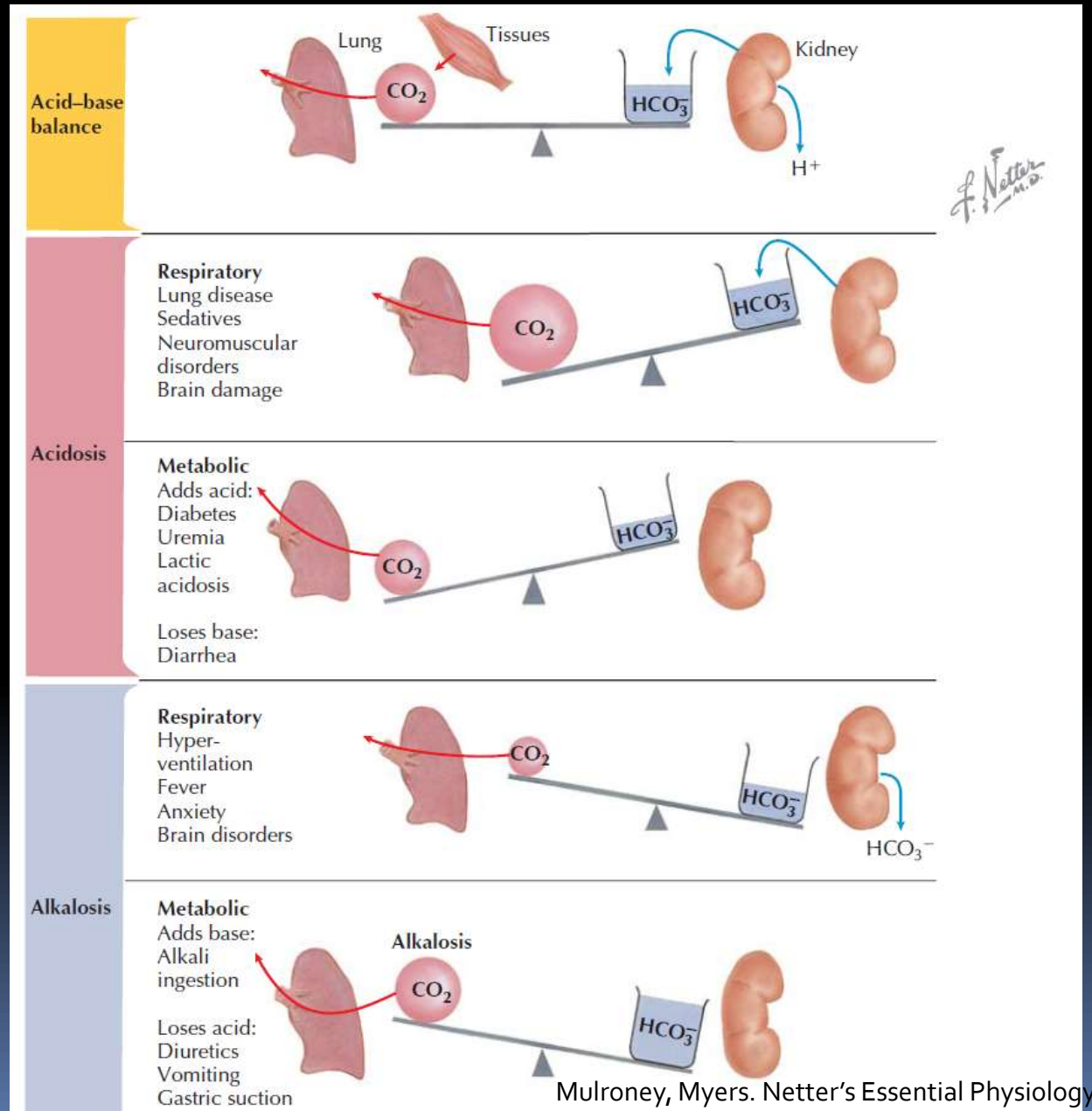
CO<sub>2</sub>/HCO<sub>3</sub> systém

Ledviny regulují výdej HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, H<sup>+</sup> a NH<sub>4</sub><sup>+</sup> iontů.



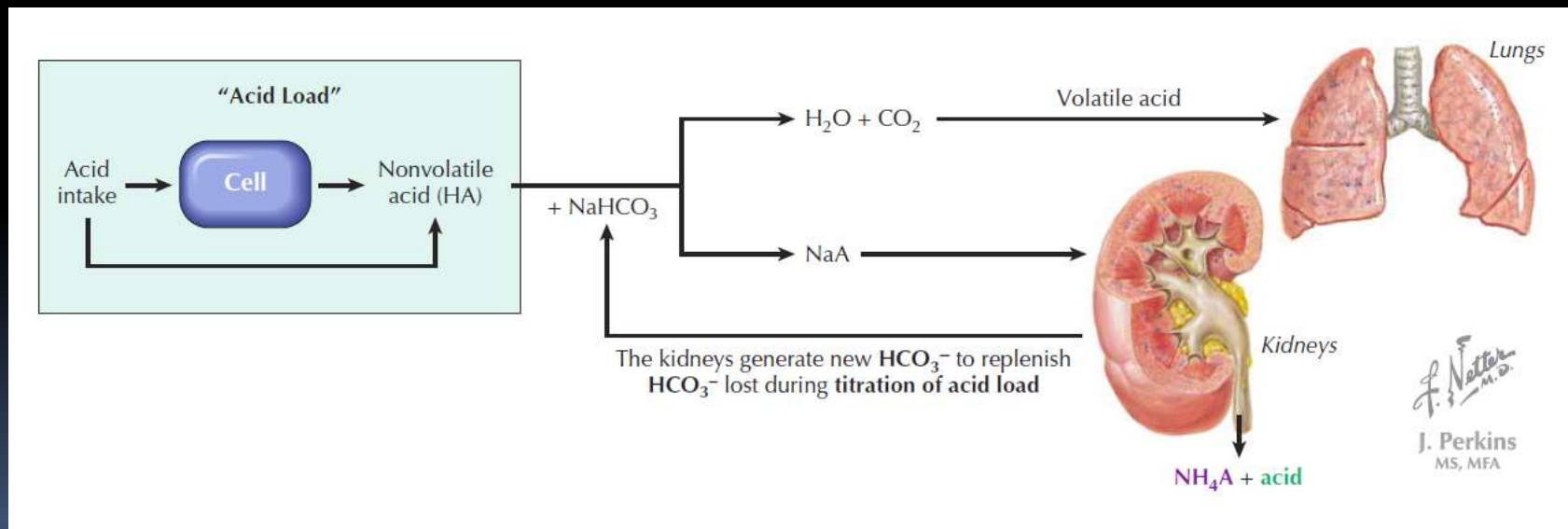
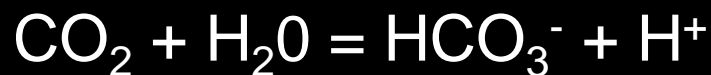
# Ledviny a acidobazická rovnováha

Acidóza a alkalóza:  
Metabolické a  
dýchací příčiny.  
Ledviny a plíce  
regulují hladiny  
 $\text{CO}_2$  a  $\text{HCO}_3^-$



# Ledviny a acidobazická rovnováha

Při acidóze nastupuje renální kompenzace. Ledviny exkretují větší množství  $\text{H}^+$  (a  $\text{NH}_4^+$ ) a více  $\text{HCO}_3^-$  se vrátí z filtrátu do krve. To umožní větší titraci kyselin a větší výdej  $\text{CO}_2$  plícemi.

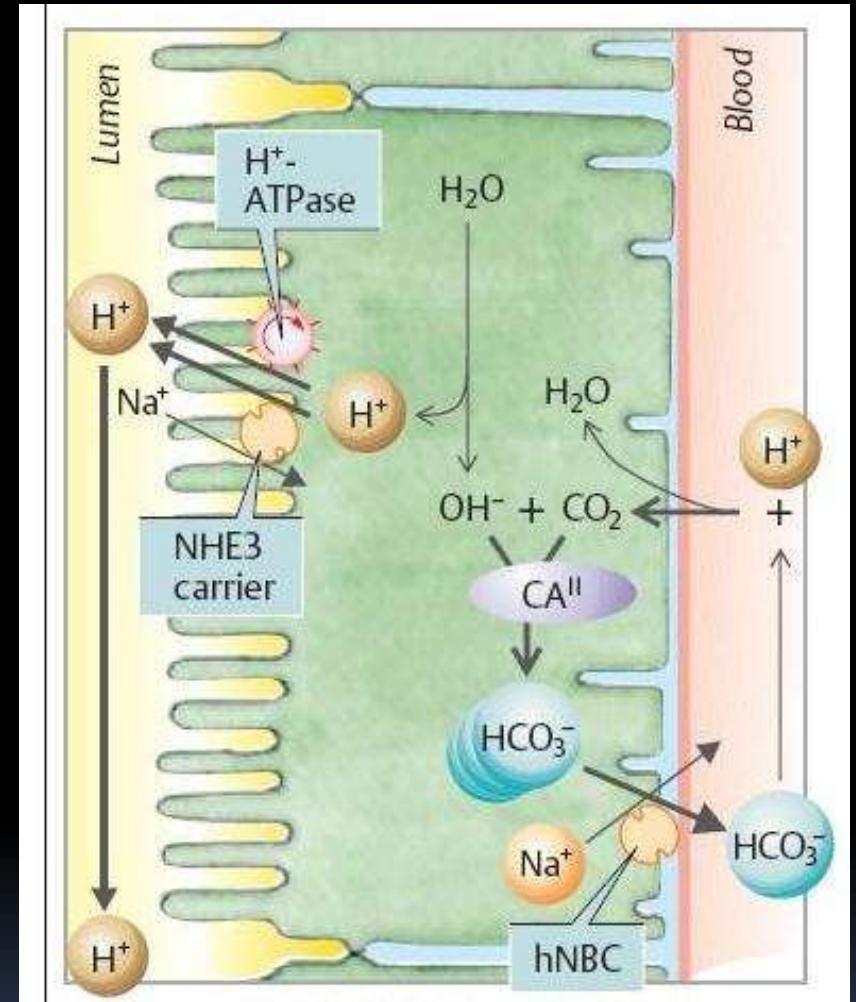
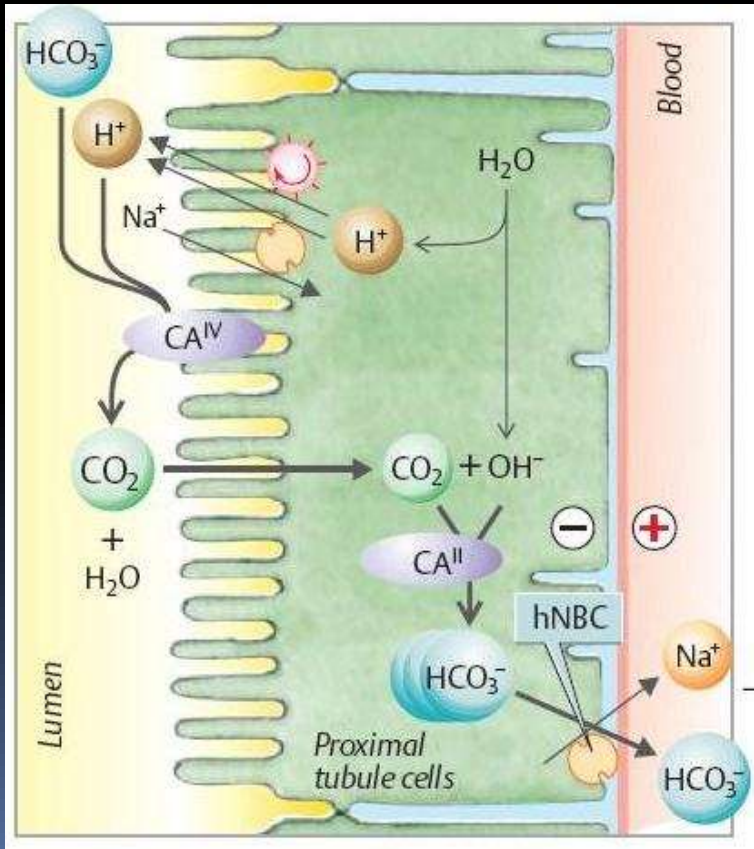




# Ledviny a acidobazická rovnováha

V proximálním tubulu antiport  $H^+$  a  $Na^+$ .

Při acidóze: se víc  $HCO_3^-$  vrátí z filtrátu do krve.



A více  $H^+$  se vyloučí do filtrátu.

# Hormonální regulace tvorby moči .

a) Řízení renální hemodynamiky – hormonálně a nervově

[Demonstrační úlohy z fyziologie](https://is.muni.cz/auth/el/1431/jaro2010/Bi6790c/um/fyziologie/ch09s02.html)

<https://is.muni.cz/auth/el/1431/jaro2010/Bi6790c/um/fyziologie/ch09s02.html>

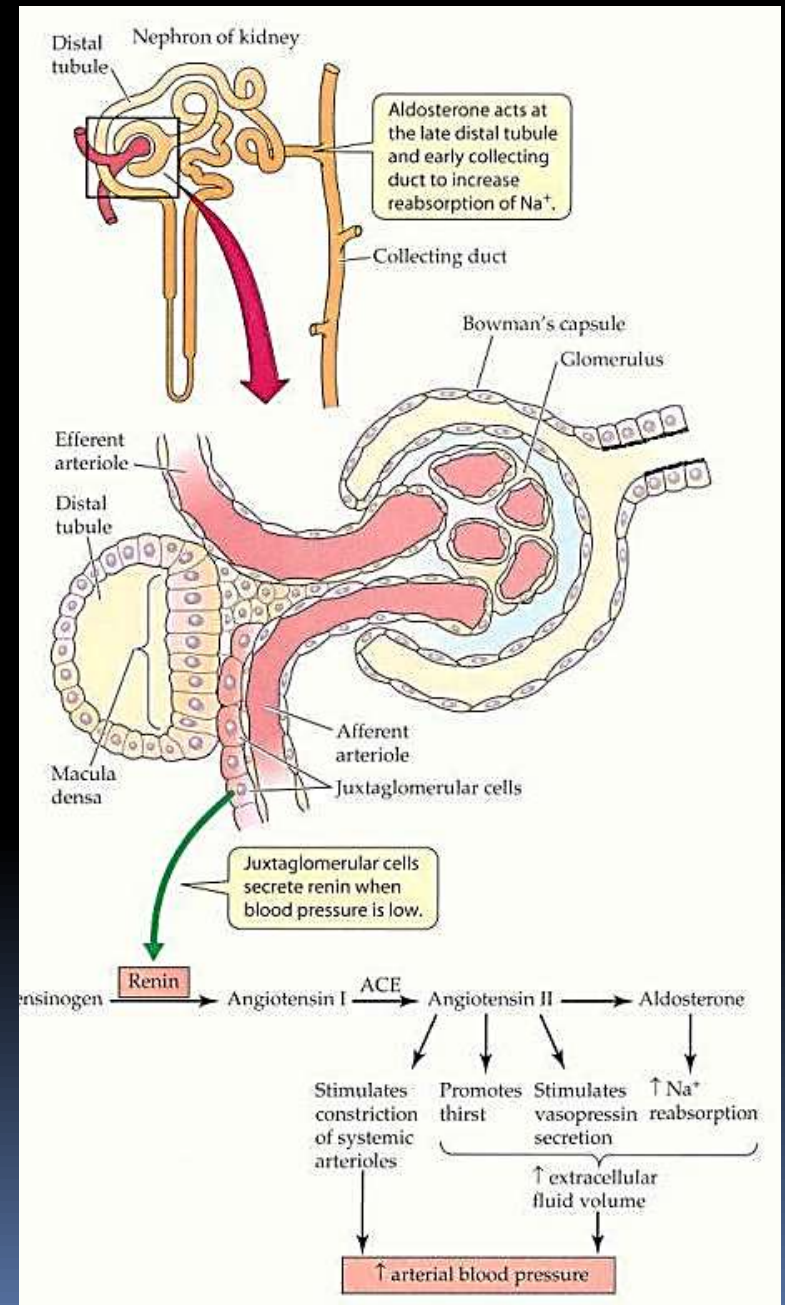
b) Řízení tubulárních procesů - zejména hormonálně: ADH (Vasopresin), Aldosteron

# Juxtamedulární aparát a regulace tvorby moči.

Juxtaglomerulární  
bb. monitorují NaCl v  
distálním tubulu a  
regulují tvorbu moči.

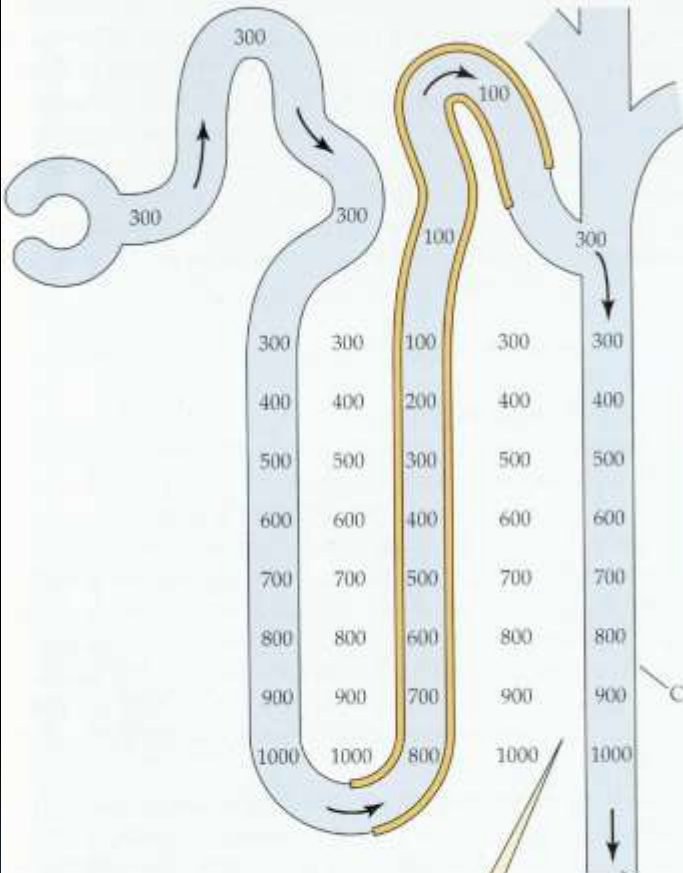
Renin – angiotensin -  
aldosteron

Řídí osmolalitu, regulují  
objem a tlak krve.



# Hormonální regulace tvorby moči - ADH

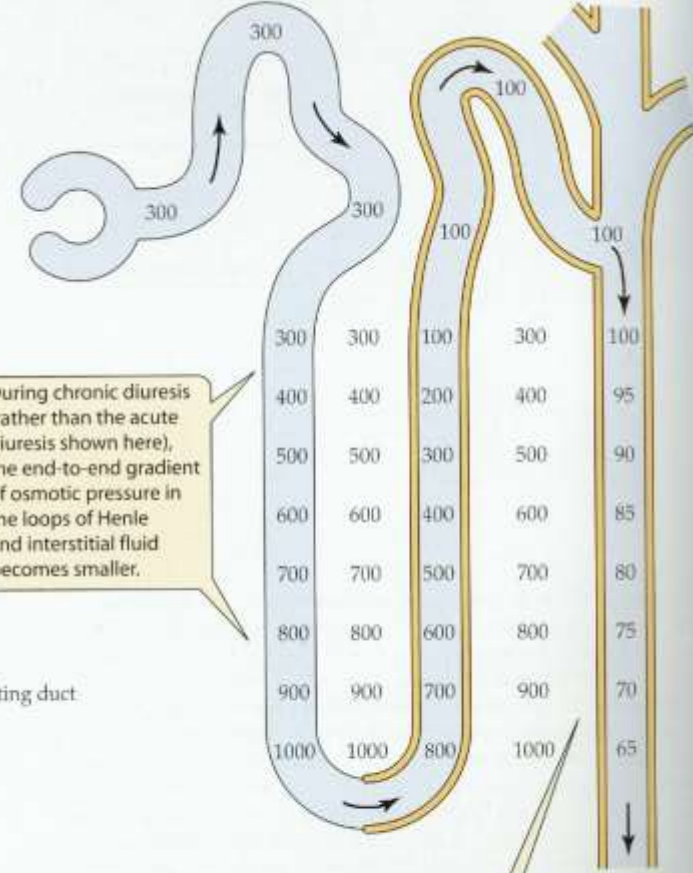
(a) Antidiuresis: kidney producing concentrated urine



In the kidney producing concentrated urine, the epithelial wall of the collecting ducts is freely permeable to water. Thus the tubular fluid comes to osmotic equilibrium with the gradient of increasing concentration in the medullary interstitial fluid.

Discharge of fluid from collecting duct to renal pelvis

(b) Diuresis: kidney producing dilute urine



During chronic diuresis (rather than the acute diuresis shown here), the end-to-end gradient of osmotic pressure in the loops of Henle and interstitial fluid becomes smaller.

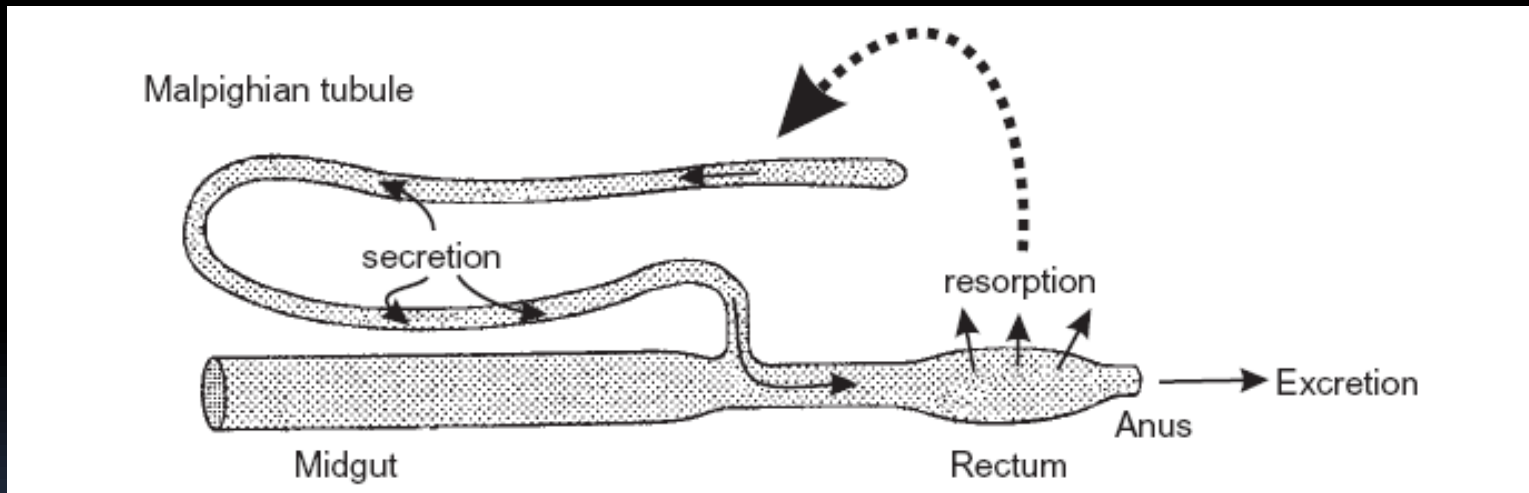
In the kidney producing dilute urine, the epithelial wall of the collecting ducts is poorly permeable to water. Thus the tubular fluid is osmotically isolated from the medullary interstitial fluid and becomes ever-more dilute as NaCl is reabsorbed along the length of the collecting ducts.



## Tubulární orgány: Tvorba a úprava primárního filtrátu.

Malpighické trubice hmyzu – jiná varianta tubulárního vylučování. Proud vody hnaný osmotickým gradientem – ne hydrostatickým tlakem – otevřený cévní sst.

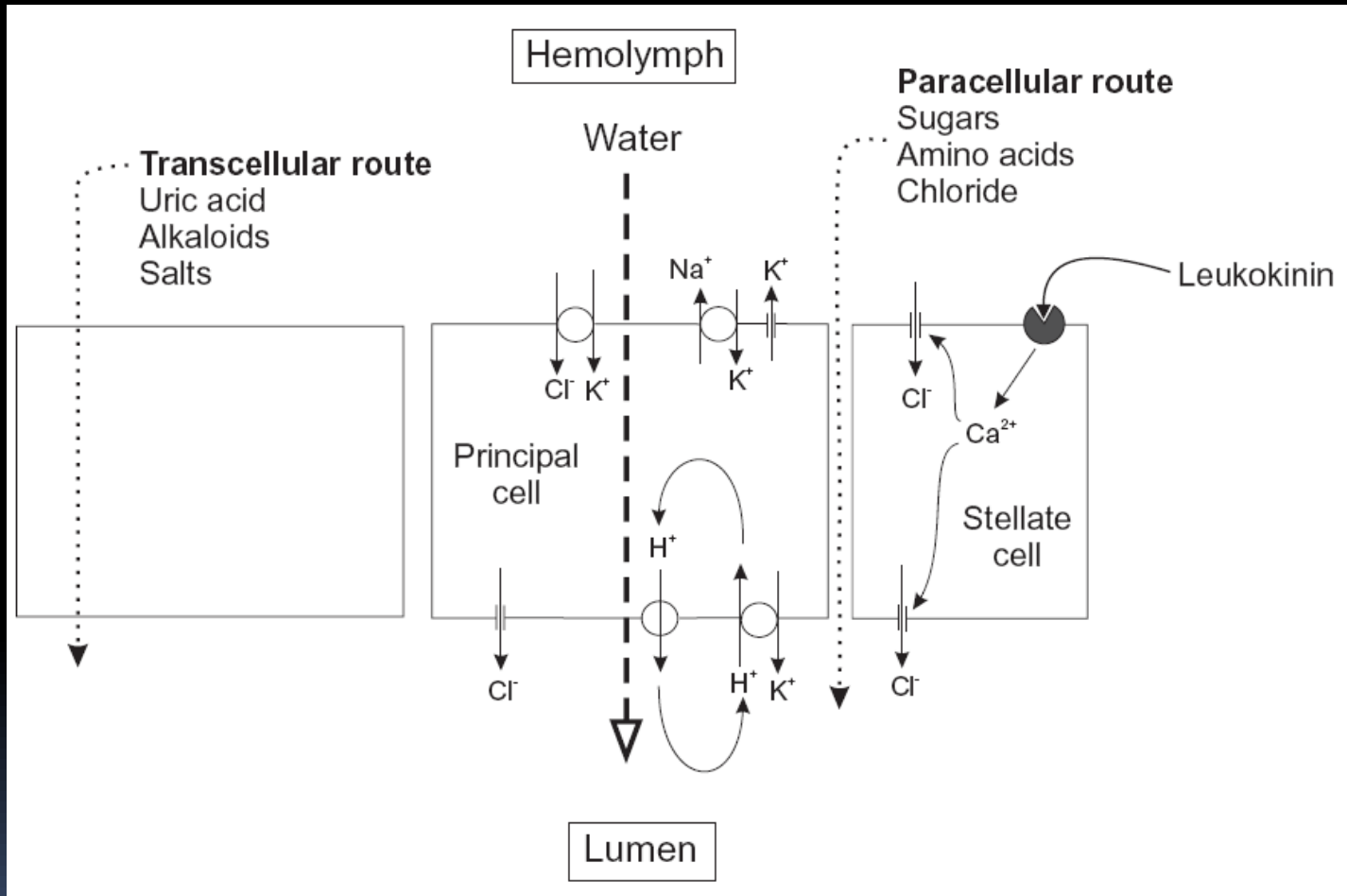
Napojují se na střevo a spolu s rektum mimořádně výkonný systém šetřící vodu.



# Malpigické trubice: Tvorba primárního filtrátu.

Filtrát vstupuje do tubulu jak paracelulárním tak transcelulárním transportem.

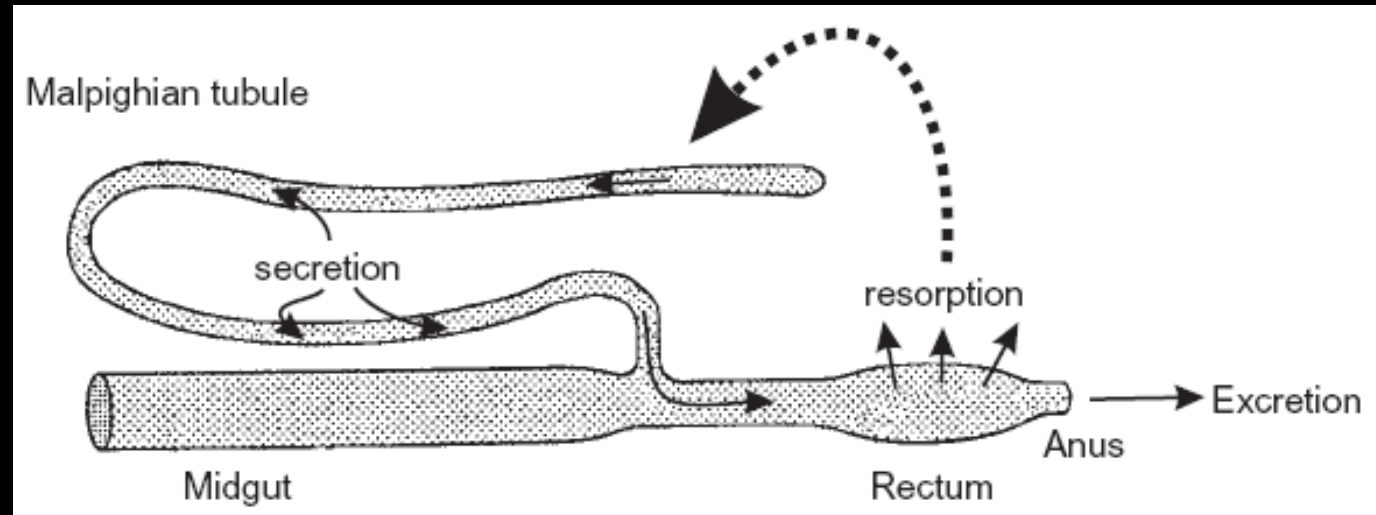
Tok iontů doprovází voda strhávající rozpuštěné látky



# Malpighické trubice: Úprava primárního filtrátu.

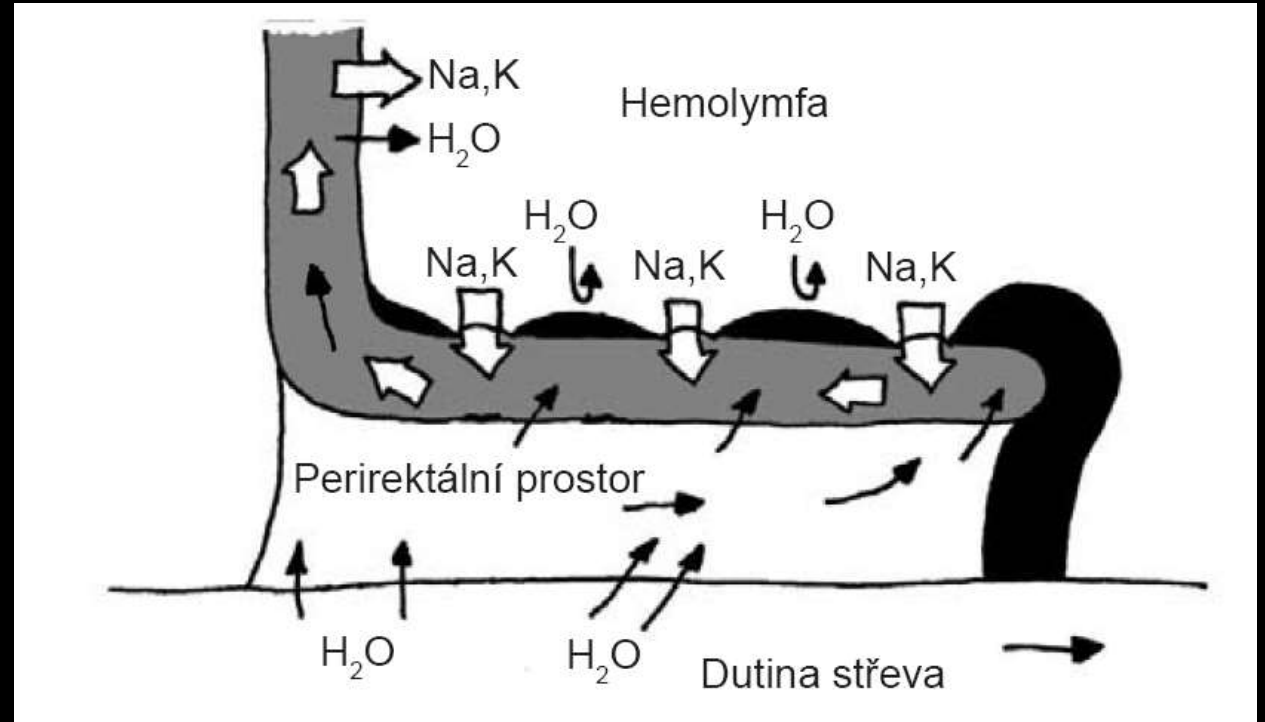
Filtrát vstupuje do tubulu jak paracelulárním tak transcelulárním transportem.

Průchodem tubulem a zejména rektem se upravuje a zahušťuje.



# Malpighické trubice: Úprava primárního filtrátu.

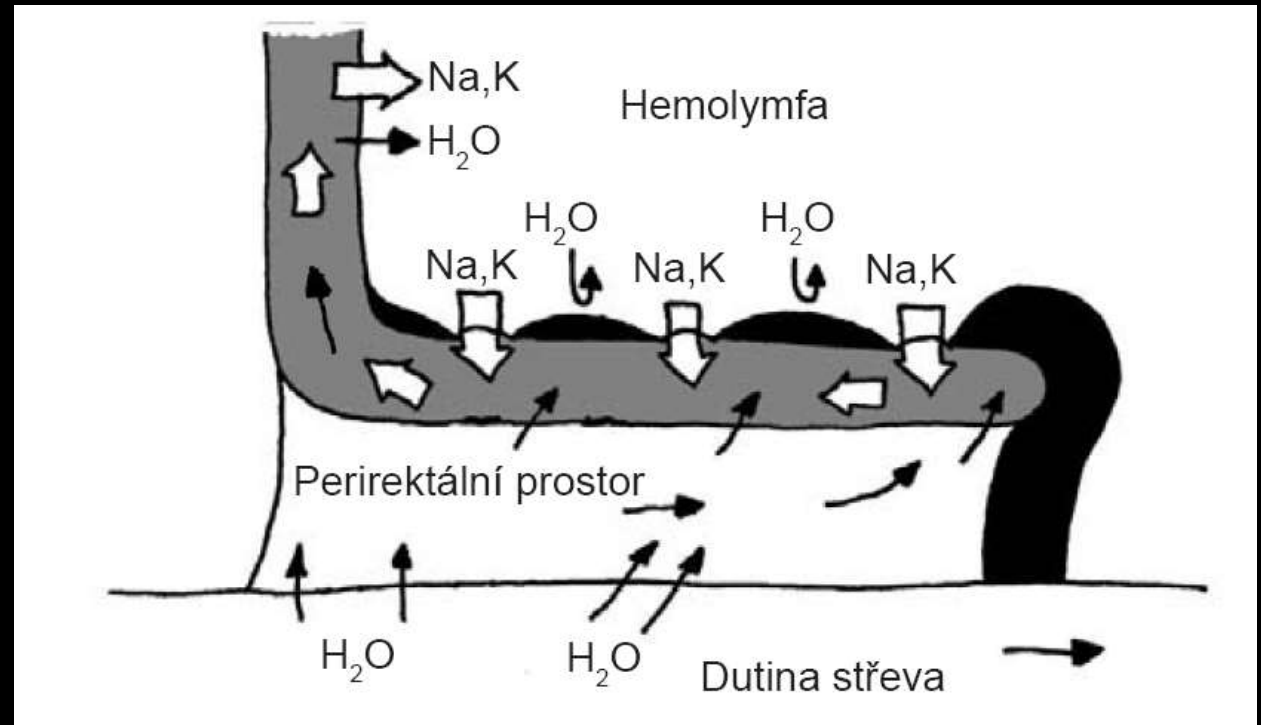
Protiproudý systém připraví hyperosmotické prostředí, do kterého se voda vrací a zůstává v těle. Výkaly zcela suché.



Resorbce vody probíhá až do třikrát vyšší rektální koncentrace iontů než je v hemolymfě. Pohyb vody přitom není způsoben hydrostatickým tlakem a děje se bez čistého toku iontů do hemolymfy.



# Malpigické trubice: Úprava primárního filtrátu.

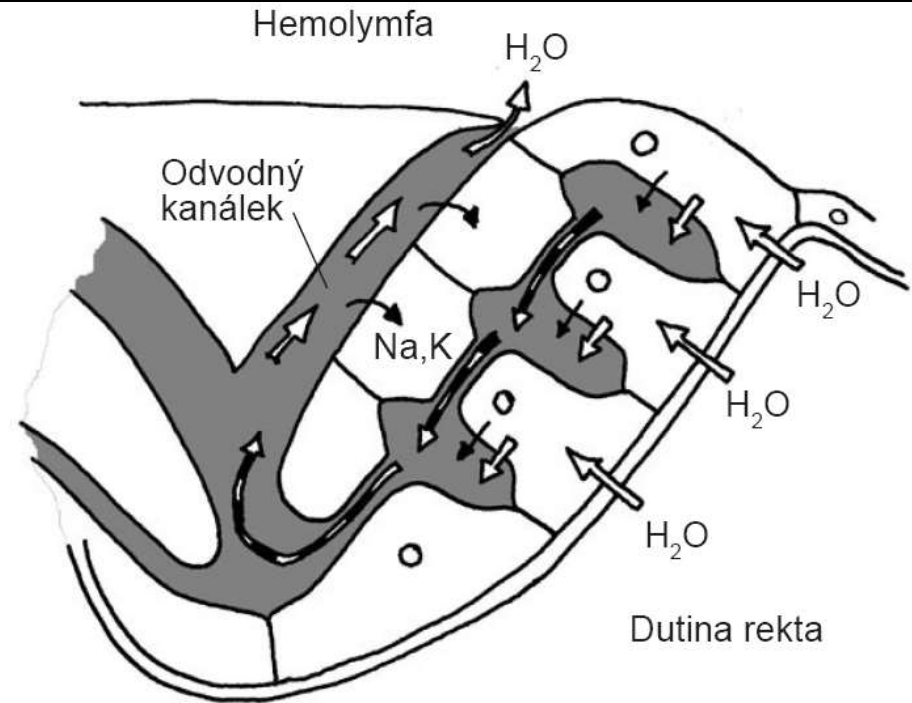


Kryptonefridiální komplex je tvořen konci malpigických tubulů přiloženými ke střevu. Opačné proudy ve střevě a v tubulu si vyměňují vodu. Ta je z rekta nasávána do perirektálního prostoru hyperosmotickým prostředím, odtud pokračuje tubulem do hemolymfy. Soli jsou čerpány zpět do tubulu – jejich cirkulace je uzavřená. Voda však následovat nemůže – epitel komplexu je pro ni nepropustný.



# Rektální papily

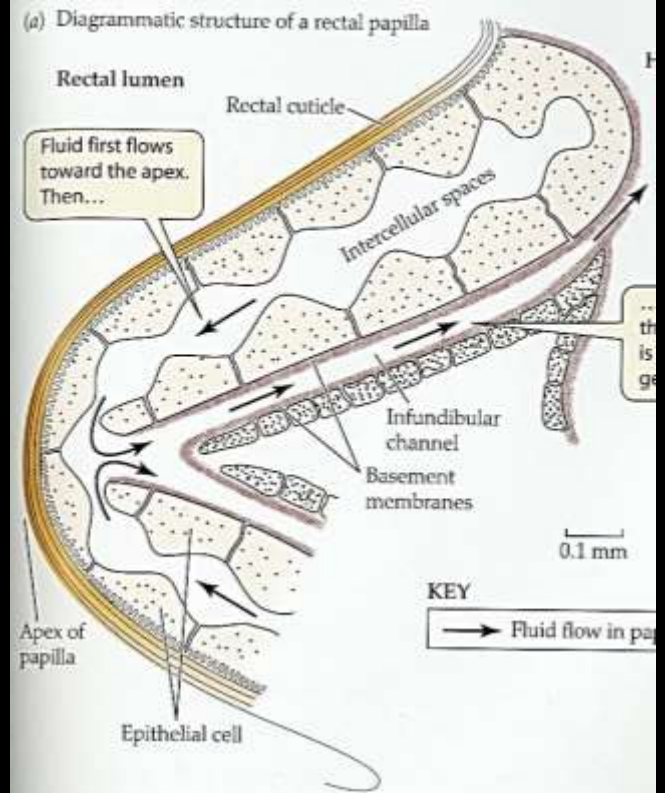
Podobný systém uzavřené cirkulace solí táhnoucí proud vody ze střeva do hemolymfy



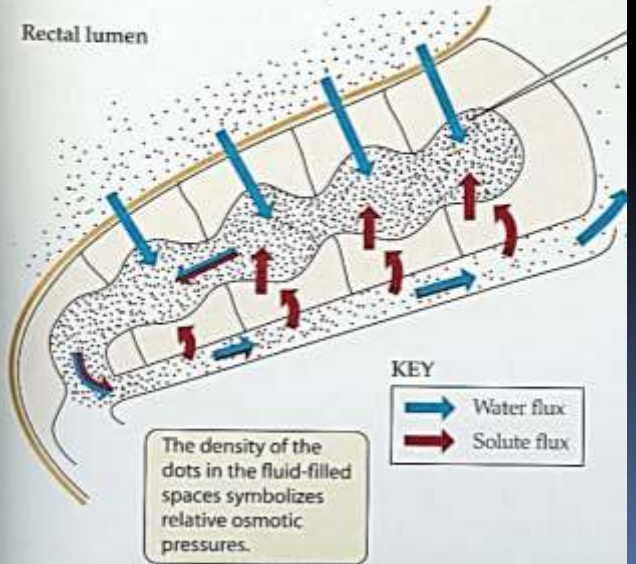
Obr. 14.10. Rektální papila much. Systémem dutin v papile cirkulují ionty v uzavřeném cyklu – tenké šipky. Vysoká osmolalita prostředí vysává vodu z rekta – bílé šipky. Voda však neprojde, na rozdíl od solí, zpět epitelem odvodného kanálku a proudí do hemolymfy. Zpětnému toku vody brání systém zátkovek (není zakreslen).

# Rektální papily

Soli cirkulují, voda protéká jednosměrně.



(b) Proposed processes of water absorption from the rectal lumen



## Shrnutí

Koncentrace všech látek je třeba držet v limitech.  
Velký objem filtrátu i zpětné resorbce: Jednodušší je transportovat zpět známé látky, než všechny neznámé ven.  
Problém vzniku hypertonické moči: voda teče jen po koncentračním (nebo tlakovém) spádu.  
Protiproudá výměna umožňuje udržet strmý gradient osmolality od kůry ke dřeni.