

VYLUČOVÁNÍ

Ledviny:

- Párový orgán vylučování
- Schopny přefiltrovat 1700l krve/den, vyloučit 1,5l koncentrované tekutiny s odpadními látkami
- Udržují stálost vnitřního prostředí (homeostázu)

Funkce:

- Vylučují škodlivé látky (zplodiny metabolismu), cizorodé látky (léky) a látky využitelné, ale příliš koncentrované (ionty)
- Udržují stálý objem a složení extracelulární tekutiny
- Produkují hormony (renin, erythropoetin), aktivují vitamín D
- Regulují krevní tlak

Pro všechny funkce je nezbytné, aby byly ledviny bohatě prokrveny

Průtok krve ledvinami

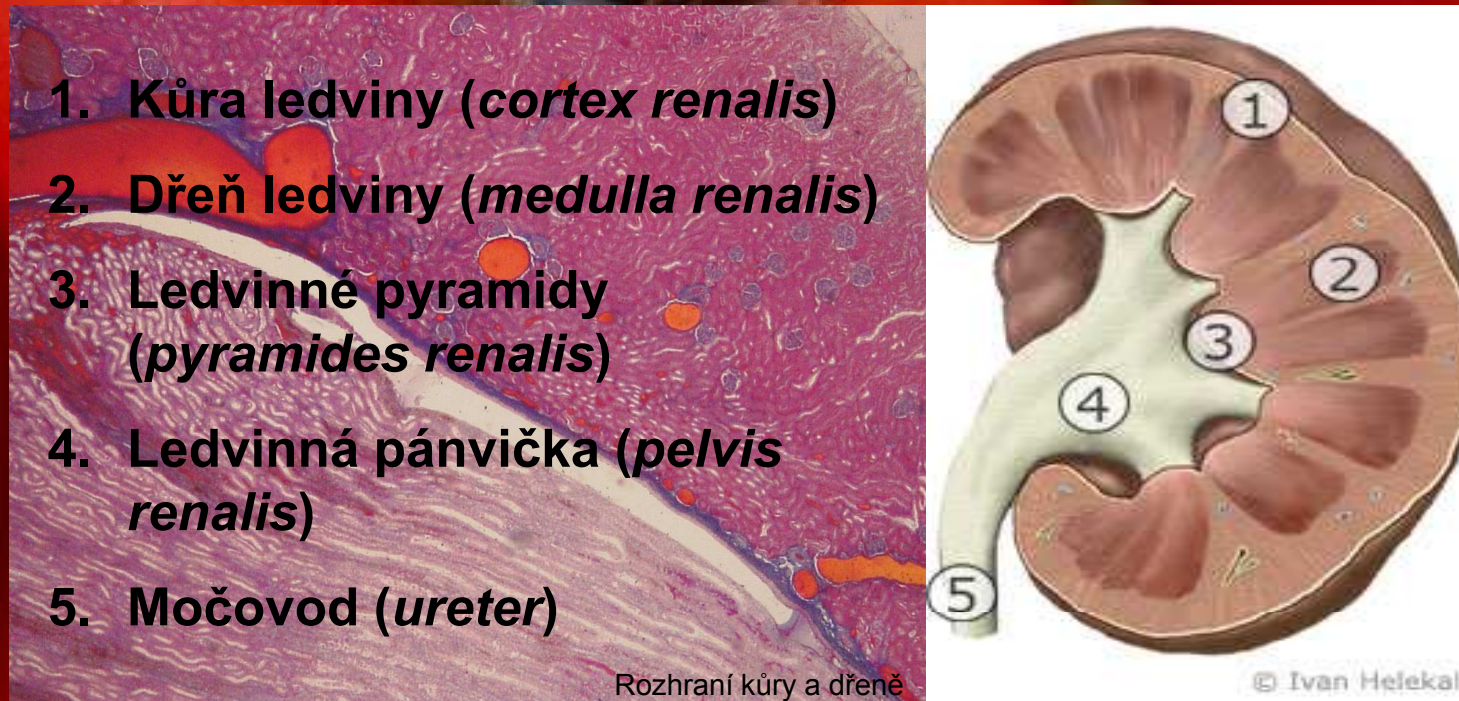
- Každá ledvina je zásobena renální artérií (*arteria renales*), která se před vstupem do ledvin dělí na 2 větve (zásobení přední a zadní části ledvin)
- Větve se v hilu znovu dělí na tepny vysílající *arteriae interlobares* probíhající mezi renálními pyramidami
- Na hranici kůry a dřeně vytvářejí interlobární tepny obloukovité *arteriae arcuatae*, z kterých pod pravými úhly vybíhají *arteriae interlobulares*
- Z interlobulárních artérií vznikají aferentní arterioly, jenž plní krví kapiláry glomerulů, těmito kapilárami prochází krev do eferentních arteriol, které se rozpadají na peritubulární kapilární pleteně zásobující proximální a distální tubuly
- Eferentní arterioly vysílají dlouhé, tenké kapilární cévy (*vasa recta*), které pronikají dřeně, zásobují dřeň kyslíkem a živinami
- Kapiláry se sbíhají do *venae stellatae*, které odtékají do interlobulárních žil
- Interlobulární žíly odvádějí krev do *venae arcuatae*, ty se slévají do *venae renales* a touto žilou ledvinu opouští

Průtok krve ledvinami

- Glomerulem, kde je relativně vysoký tlak krve řízený odporem aferentní arterioly
- Peritubulární kapilární síť, která slouží k výživě buněk kanálků a výměně látek mezi tubuly a krví

Struktura ledvin

- Makroskopicky je ledviny členěna na kůru a dřeň
- V kůře jsou uloženy glomeruly, proximální a distální tubuly
- Ve dřeni jsou viditelné Henleovy kličky a sběrací kanálky

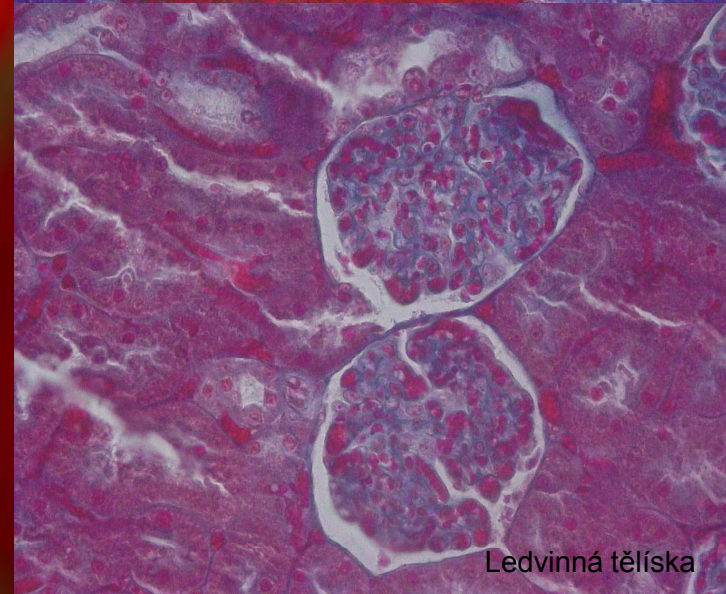
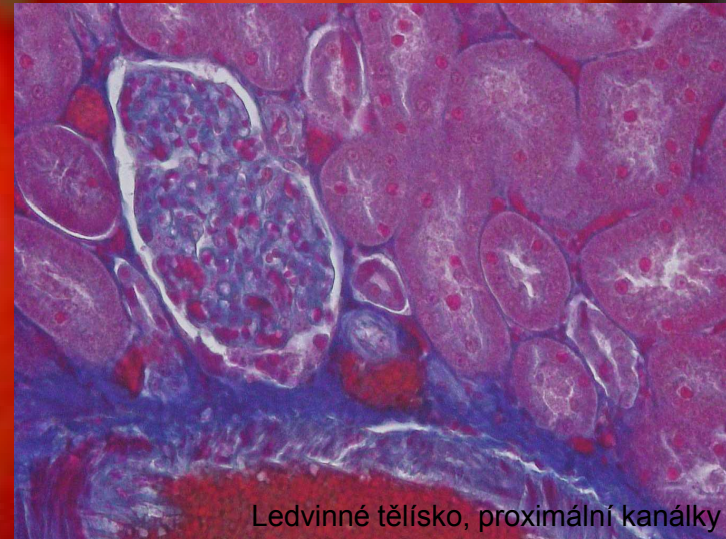


Struktura ledvin

Nefron – funkční jednotka ledviny

Segmentace nefronu:

- ledvinné tělísko
 - glomerulus
 - Bowmanovo pouzdro
- ledvinný kanálek
 - proximální – stočený
 - přímý
 - ztenčený
 - distální - přímý
 - stočený
 - spojovací
- sběrný kanálek
 - obloukovitý
 - přímý



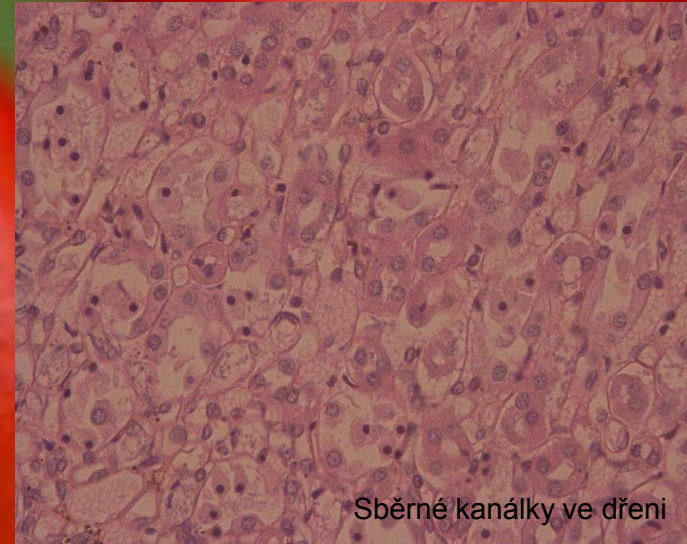
Struktura ledvin

Nefron

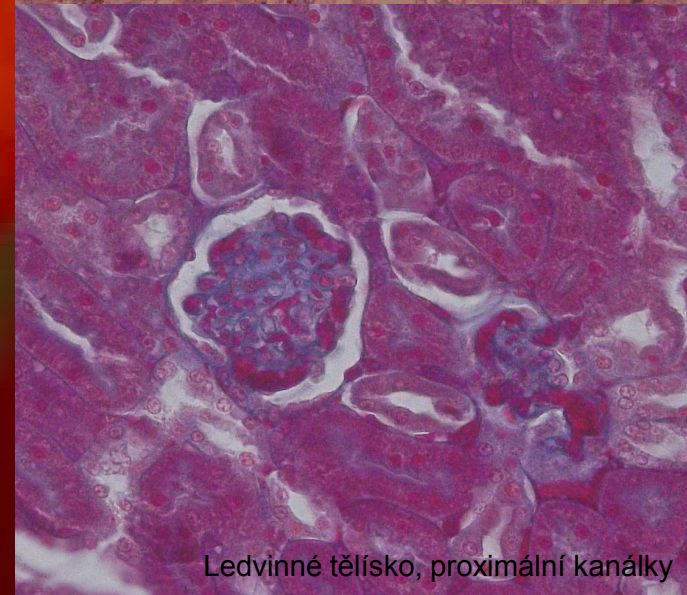
- uložen v Bowmanově pouzdře
- zevní (parietální) list – naléhá na lamina basalis, jednovrstevný, plochý epitel
- vnitřní (viscerální) list = podocyty s výběžky = pedikly

Korové – v kůře ledviny, krátké H.k.

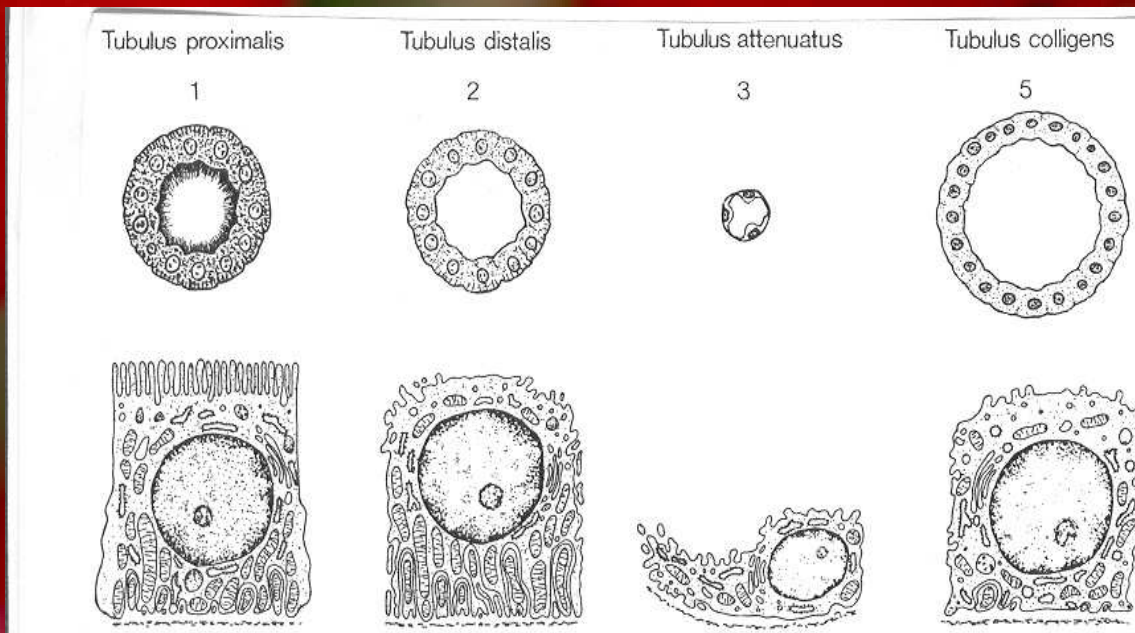
Juxtamedulární – na rozhraní kůry a dřeně, dlouhé H.k. spolu s *vasa recta* zasahující do hloubky dřeně, zásobují ji krví. Zvýšené prokrvení způsobuje pokles osmolality dřeně



Sběrné kanálky ve dřeně



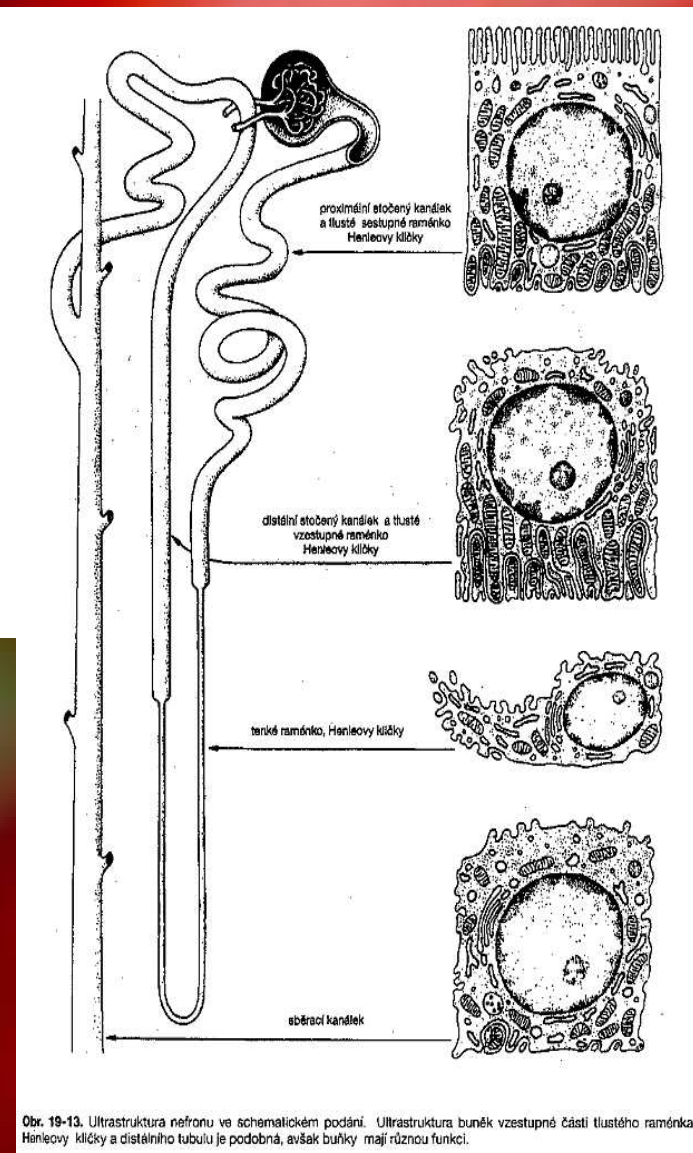
Ledvinné tělísko, proximální kanálky



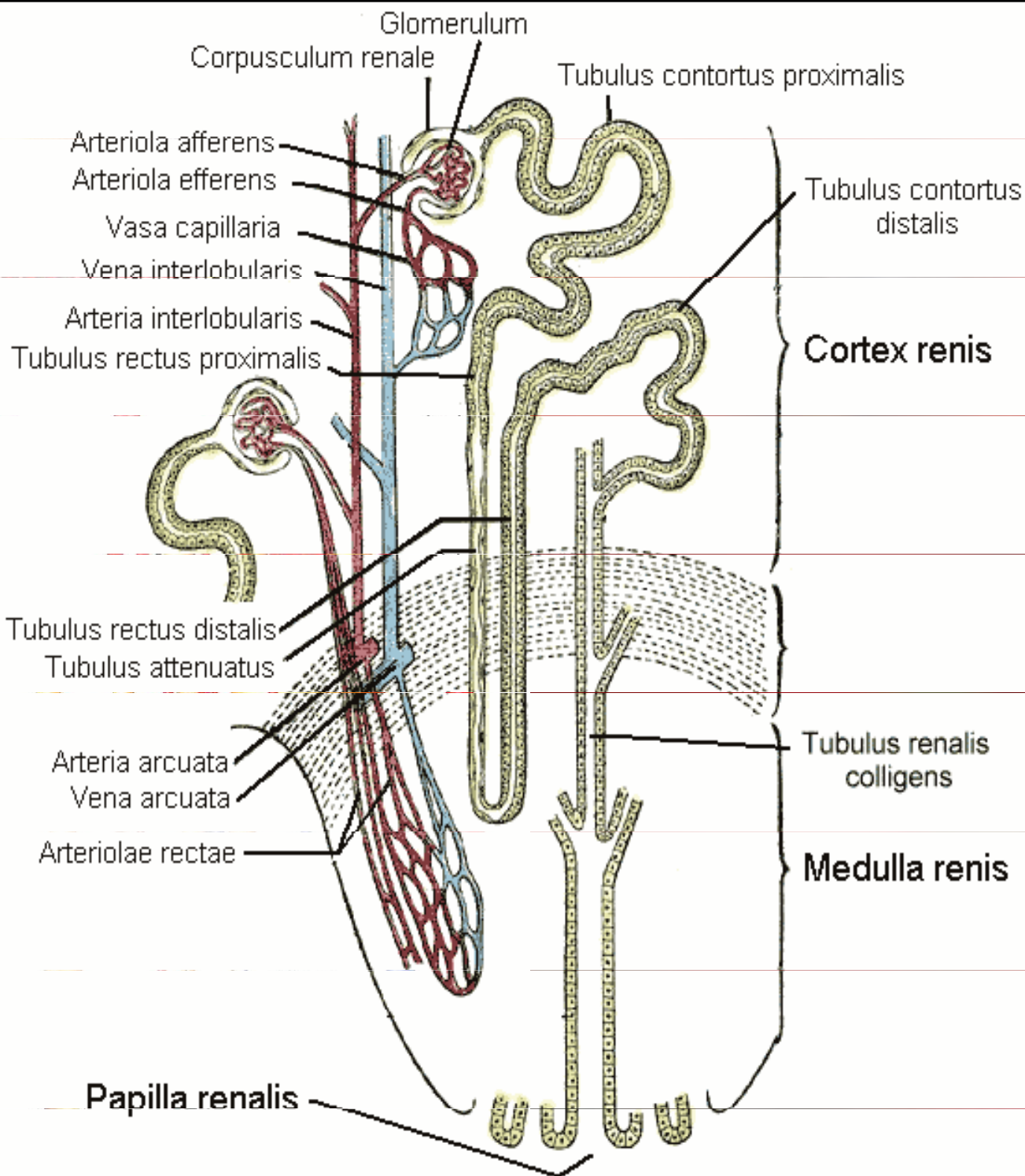
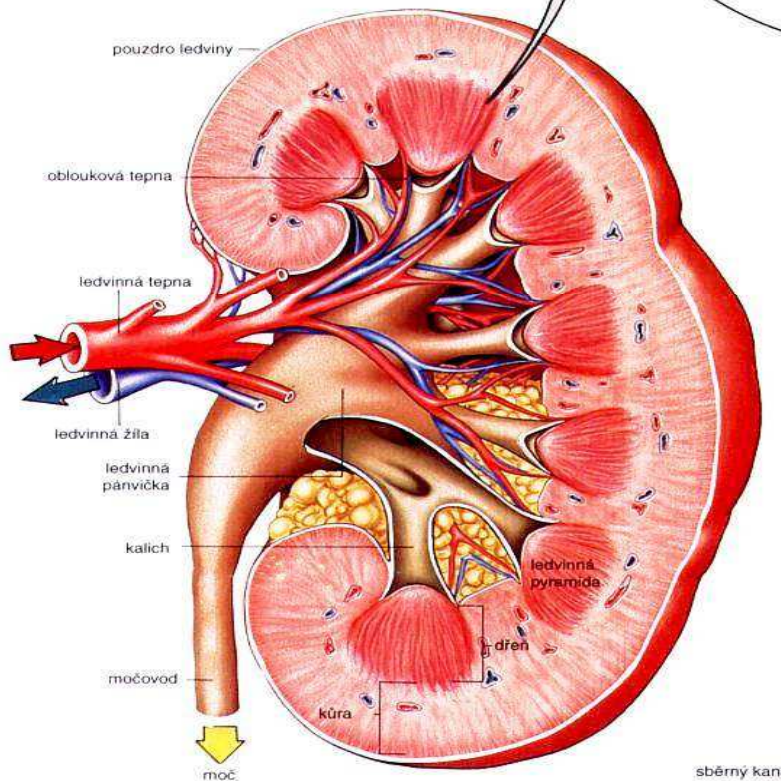
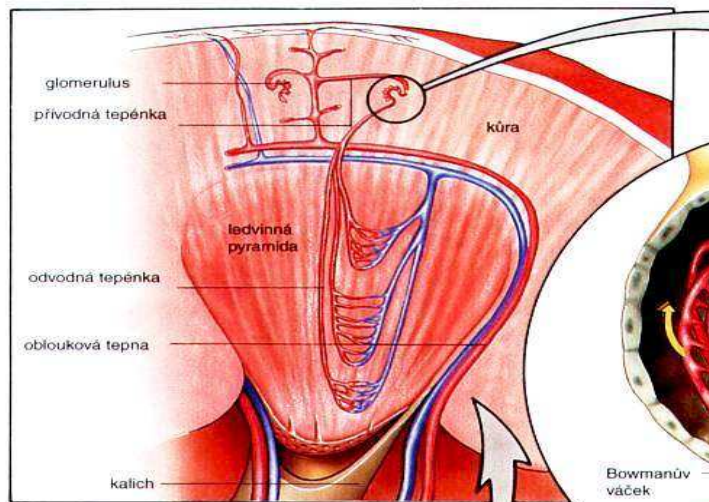
- Tubulus proximalis - kartáčový lem,
(microvilli)
- Tubulus distalis – kubický epitel,
macula densa
- Tubulus attenuatus – plochý epitel
- Tubulus conjugens – kubický epitel

→

- Tubulus colligens



Obz. 19-13. Ultrastruktura nefronu ve schematickém podání. Ultrastruktura buněk vzestupné části tlustého raménka Henleovy kličky a distálního tubulu je podobná, avšak buňky mají různou funkci.



VYLUČOVÁNÍ

Odpadní látky jsou z krve živočichů odstraňovány v **ledvinách**.

Moč se u savců tvoří třemi procesy: nejprve

- a) **filtrací** přes stěnu vlásečnic do dutiny ledvinného tubulu v **glomerulu**. Pak je tzv. primární moč v tubulu
- b) **zpětnou resorpcí** ochuzována o látky užitečné, které se vracejí do krve a
- c) **dodatečnou tubulární sekrecí** obohacována o ty odpadní látky, které neprošly filtrací.

Funkce částí nefronu

- V glomerulu díky filtračnímu tlaku vzniká z krevní plazmy glomerulární filtrát (GF) neboli primární moč. Hnací silou filtrace je efektivní filtrační tlak, který je dán tlakem krve v glomerulárních kapilárách ($\sim 48\text{mmHg}$), od kterého odečteme tlak v Bowmanově pouzdře ($\sim 13\text{mmHg}$) a onkotický tlak plazmatických bílkovin ($\sim 25\text{--}35\text{mmHg}$)
- GF odtéká do tubulů (tubulární tekutina) kde se dále upravuje
 - Některé látky se vylučují pouze glomerulární filtrací, tubulem pouze protékají (inulin, kreatinin)
 - Např. kyselina paraaminohippurová se vylučuje glomerulární filtrací a tubulární sekrecí
 - Amoniak pouze tubulární sekrecí
 - Močovina a glukóza glomerulární filtrací v kombinaci s tubulární reabsorbací

Transportní procesy v nefronu

- S glomerulárním filtrátem jsou odfiltrovány i nízkomolekulární látky rozpuštěné v plazmě (ultrafiltrát). Filtr volně propouští látky s poloměrem molekuly $r < 1,8$ nm (molekulová hmotnost $< 10\,000$ daltonů), látky s $r > 4,4$ nm (molekulová hmotnost $> 80\,000$ daltonů, např. globuliny) se normálně nefiltrují, molekuly s r mezi 1,8 nm a 4,4 nm se filtrují jen částečně, přičemž negativně nabitě částice procházejí hůře než neutrální látky se stejným r . Příčinou jsou negativně nabitě látky v glomerulárním filtru, které odpuzují anionty. Část nízkomolekulárních látek, která jsou ve vazbě na velké plazmatické bílkoviny nemůže být prakticky vůbec filtrována.
- Očišťování glomerulárního filtru od zachycených látek probíhá nejspíše fagocytózou, kterou vykonávají mezangiální makrofágy a podocyty glomerulu

Proximální tubulus

- Zpětná izoosmotická resorpce primární moči (75-80% GF)
- Vstřebává se zde voda, ionty sodíku, chloru, močovina, bikarbonáty, K, Ca, Mg, fosfáty, glukóza a AMK

Henleova klička

- Do Henleovy kličky odchází izoosmotická tekutina
- Sestupné raménko volně prostupné pro vodu a ionty
- Tlustá část vzestupného raménka pro vodu nepropustná (důležité pro vytvoření vysokého osmotického tlaku – hyperosmolarity – ve dřeni, zajištění tvorby koncentrované moči), mechanismus ke vstřebávání Na^+ a Cl^- z tubulu do intersticia
- H. kličku doprovází ve dřeni *vasa recta* → osmotická stratifikace dřene

Distální tubulus

- Z H. kličky přitéká hypotonická tekutina
- Zpětně se zde resorbuje voda na 1% původního objemu GF
- Vstřebávání Na^+ , Cl^- , bikarbonátů, fosfátů, K^+ a močoviny
- Vstřebávání aktivní, závislé na stupni hydratace organismu a osmolalitě ECT
- Vstřebávání řízeno aldosteronem (mineralokortikoid z kůry nadledvin), vazopresinem (zadní lalok hypofýzy) a atriálním natriuretickým faktorem (myokard síní) – zvyšuje vylučování sodíku

Sběrací kanálek

- Tubulární tekutina se upravuje na definitivní moč, upravuje se pH moči, což souvisí s udržováním homeostázy organismu

Vstřebávání jednotlivých látek

- **Voda** – v proximálním tubulu vstřebávána pasivně, v distálním aktivně v závislosti na ECT, v distálním tubulu a sběracím kanálku vstřebávání řízeno vazopresinem, resorbovaná voda s sebou strhává rozpuštěné látky (solvent drag)
- **Sodík** – pasivně i aktivně, zpětná resorbce regulována aldosteronem, současně s Na^+ se vstřebává voda a vylučuje K^+
- **Draslík** – v proximálním tubulu se vstřebává a v distálním tubulu a sběracím kanálku se vylučuje výměnou za resorbovaný sodík, výdej je řízen aldosteronem
- **Chlor** – kotransport s Na^+ , v proximálním tubulu i pasivně
- **Hydrogenkarbonátové ionty** (HCO^-) – vstřebávání pouze aktivně
- **Glukóza** – do určité koncentrace glukózy v krvi (ledvinový práh pro glukózu) je proximální tubulus schopen glukózu aktivně vstřebat, po přesáhnutí prahu je vyloučena s definitivní močí (glykosurie)
- **Proteiny** – denně z plazmy do GF ~ 30g, mají velkou molekulovou hmotnost na to, aby se vstřebávaly běžnými transportními mechanismy, proto jsou rozloženy na AMK a facilitovanou difúzí absorbovány do intersticiální tekutiny

Tvorba a vylučování moči

- **Definitivní moč** – produktem činnosti renálního parenchymu
- **Moč:**
 - Čirá kapalina, zbarvená urochromem
 - pH lehce kyselé (4,5 – 8)
 - Obsahuje Na, K, Cl, Ca a kreatinin, dále amylázu, kyselinu močovou, močovinu a další látky

Při normální diuréze se vyloučí za 24hod 55 – 70g pevných látek

V moči zdravého člověka nejsou bílkoviny, glukóza nebo bilirubin

Diuréza – množství moči vytvořené za 24hod (1,5 – 2l)

Oligurie – snížení množství vylučované moči

Anurie – zástava tvorby moči

Polyurie – množství vytvořené moči větší než 2l denně

Vývodné cesty močové

- U člověka nejsou schopny měnit množství a složení moči
- Slouží pouze k odvodu definitivní moči z těla

Močové cesty:

- Ledvinné kalichy
- Ledvinná pánvička, močovody (*uretery*)
- Močový měchýř
- Močová trubice (*uretra*)

Močový měchýř uzavřen dvěma svěrači, vnitřní (hladká svalovina) a zevní (příčně pruhovaná svalovina)

Močení (mikce, deurinace)

- Proces vyprazdňování močového měchýře
- Objem 200-300ml nezvyšuje tlak, 400ml vyvolá mikční reflex (sакrální mícha), maximální objem 700ml

Funkce ledvin

- **Vylučovací funkce** – do moči se ledvinami vylučují látky, kterých je v těle nadbytek (voda, NA, K, Ca, fosfáty) a zplodiny metabolismu (kys.močová, močovina, kreatinin)
- **Endokrinní funkce** – *juxtaglomerulární bky* schopné secernovat renin (vylučován jako odpověď na snížené prokrvení ledvin, na stimulaci vegetativním systémem, sníženou koncentrací Na a Cl v distálním tubulu)
systém: renin – angiotenzin – aldosteron
(regulace krevního tlaku, udržování složení krevní plazmy)
Erytropoetin – vzniká z 90 – 95% v ledvinách, reguluje tvorbu Ery
Aktivace vitamínu D – přirozený vitamín D (*cholecalciferol*) a syntetický (*ergocalciferol*) se v ledvinách přeměňují na aktivní metabolit *calcitriol*. Vitamín D podporuje vstřebávání vápníku a fosfátů ve střevě a ledvinách, podílí se na řízení metabolismu vápníku v kostech

Funkce ledvin

- **Řízení objemu krve a KT**

- zvýšený objem krve → zvýšený srdeční výdej → zvýšení arteriálního tlaku i filtračního tlaku v ledvinách → zvýšení objemu moči (tlaková diuréza) a snížení cirkulujícího objemu a tudíž i snížení arteriálního tlaku
- při zvýšeném tlaku se snižuje sekrece antidiuretického hormonu a reninu
- regulace TK i humorálními mechanismy

- **Udržování acidobazické rovnováhy**

- při *acidóze* se vylučuje větší množství H^+ než bikarbonátu, tím se snižuje acidita extracelulární tekutiny, při *alkalóze* je tomu naopak
- mechanismy pro změnu množství vylučovaného H^+ jsou komplikované, úprava acidobazické rovnováhy ledvinami nastupuje až po několika dnech, (krevní nárazníkový systém – několik sekund, dýchací systém – několik minut), regulace však možná po dlouhou dobu

Řízení činnosti ledvin

- **Řízení průtoku krve ledvinami**

- průtok krve ledvinami stabilní v rozmezí tlaku krve od 80 – 180 mmHg (10,5 – 24 kPa) aortálního tlaku
- stabilita zajištěna vazomotorickou reakcí *vas afferens* a *vas efferens*, nebo působením sympatiku – autoregulace průtoku krve ledvinami
- pokles pod dolní hranice nebo překročení horního limitu vede k nestabilitě průtoku, autoregulace selhává
- na průtok krve má vliv i juxtaglomerulární aparát systémem renin – angiotenzin (způsobuje vazodilataci *vas afferens* a vazokonstrikci *vas efferens* → zvýšení filtračního tlaku
- uplatnění systému kalikrein – kinin (vazodilatace) a prostaglandiny

Řízení činnosti ledvin

- **Řízení tubulárních procesů**
 - antidiuretický hormon (ADH) – vasopresin působí na distální tubulus a sběrací kanálek, vyplavuje se z neurohypofýzy po vzestupu osmolality krevní plazmy, což signalizuje nedostatek extracelulární tekutiny v organizmu. Po navázání na receptory se rychle zvýší zpětná resorbce vody a sníží se množství vylučované moči
 - aldosteron (mineralokortikoid z kůry nadledvin) reguluje objem ECT prostřednictvím zpětné resorbce H^+ a vylučování K^+