

# Nefron

Nefron je základní stavební a funkční jednotka ledvin. Jeho základem je **Malpighiho tělísko** (corpusculum renale) a klubko kapilár (**glomerulus**). Každá ledvina obsahuje asi 1–1,5 miliónů nefronů.

Rozlišujeme 2 typy nefronů:

- **Kortikální nefrony** – uložené v ledvinné kůře, mají krátkou Henleovu kličku, která nezasahuje hluboko do dřene.
- **Juxtamedulární nefrony** – glomerulus je na hranici mezi kůrou a dřeni, dlouhá Henleova klička zasahuje až k papilám. Vas efferens tvoří síť okolo Henleovy kličky – tzv. **vasa recta**.

## Corpusculum renale (renis)

Základním útvarem je **Malpighiho tělísko**. Má kulovitý tvar o velikosti asi 200–300  $\mu\text{m}$ .

## Capsula glomeruli (Bowmanovo pouzdro)

Jedná se o slepý konec renálního tubulu, do kterého je vložený **glomerulus**.

Skládá se z **vnějšího listu**, což je jedna vrstva epitelových buněk s tenkou laminou basalis, buňky plynule přecházejí do buněk stěny ledvinného kanálku. Druhou částí je **vnitřní list**, který přiléhá na kapiláry glomerulu a je složený ze speciálních buněk **podocytů**. Podocyty jsou rozvětvené do početných výběžků (pedikly), kterými obepínají stěny kapilár. Pedikly sousedních podocytů do sebe zapadají, přičemž mezi sebou vytvářejí mikrošterbiny. Ve šterbinách se nachází tenká membrána, která slouží jako hlavní složka **selektivního filtračního systému**.

## Glomerulus

Obsahuje asi 30 kliček kapilár, které se sbírají do **arteriola efferens**. Mezi endotelovými buňkami kapilár jsou jemné póry. Povrch kapilár tvoří bazální membrána (vznikla splynutím endotelu kapilár a podocytů), která se dělí na tři vrstvy: prostřední *lamina densa* mezi dvěma *laminae rarae*. Tato membrána slouží jako **selektivní filtr** ultrafiltrace.

Další součástí glomerulu jsou **mesangiální buňky**. Soubor těchto buněk se nazývá mesangium a tvoří asi 1/3 buněk glomerulu. Tvoří výztuž a oporu kapilár. Schopností kontrakce mohou **regulovat velikost filtrační plochy**. Zároveň mají důležitou **sekreční funkci** (produkce proteinů, bioaktivních peptidů, imunomodulačních peptidů, proteáz, endotelinu, reninu, prostaglandinů atd.).

## Glomerulární filtrace

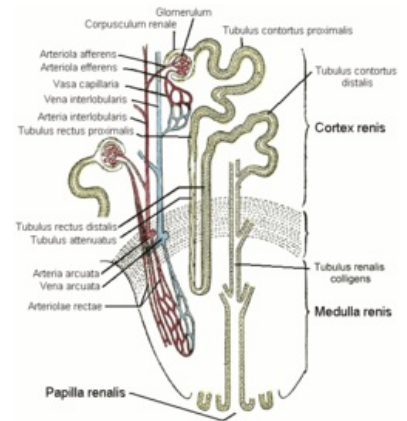
Ovlivněna počtem glomerulů (v každé ledvině cca 1 milion), velikostí filtrační plochy (řízena mesangiálními buňkami), permeabilitou glomerulárních kapilár a gradienty filtračních tlaků.

Glomerulární filtrace probíhá přes kapilární filtr, který se skládá z endotelu kapilár, bazální membrány (proteoglykany, kolagen IV.) a výběžků podocytů. Celková filtrační plocha člověka bývá cca **1,5  $\text{m}^2$** . Procesem ultrafiltrace vzniká primární moč. Jedná se o filtraci krve z kapilár (cca 170–200 litrů za 24 hodin), přebytečná tekutina (99 %) se v tubulárním systému ledvin zpětně resorbuje i spolu s důležitými živinami (glukóza, aminokyseliny, malé proteiny, inulin, kreatinin) a ionty.

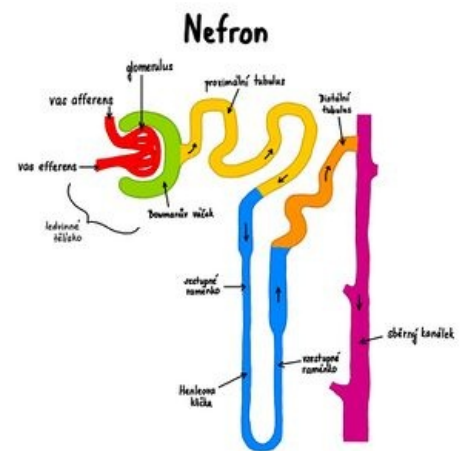
## Efektivní filtrační tlak ( $FT_{(ef)}$ )

$$FT_{(ef)} = TK - (T_{onk} + T_{bp}) = 1.3 \text{ kPa (10 mmHg)}$$

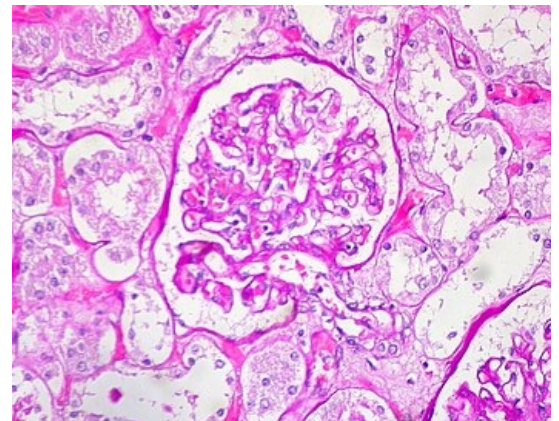
$T_{onk}$  je **onkotický tlak**, který postupně narůstá v délce kapiláry, dokud nedojde k zastavení filtrace.  $T_{bp}$  značí **hydrostatický tlak** Bowmanova pouzdra, což je tlak intersticia. Tzv. **kritický uzavírací tlak** nastane tehdy, když klesne tlak ve vas afferens pod 5 kPa, čímž dojde k zastavení filtrace.



Stavba nefronu



Nefron



Glomerulus v histologickém obraze

V klinické praxi nejvíce ovlivňují glomerulární filtraci změny krevního tlaku a hypoproteinémie (např. onemocnění jater).

## Proximální tubulus

Jedná se 15 mm dlouhou část tubulárního aparátu. Dělí se na dvě části – *pars contorta* a *pars recta*. Obě jsou tvořené jednovrstevným kubickým epitelem, který má na svém lumenálním povrchu kartáčový lem vysokých mikrokldů. V apikální části se nacházejí *tight junctions* a v bazální části *invaginace*.

Zpětně se zde resorbuje **67 % vody** (*obligátní resorpce* – nezávislá na hydrataci organismu), **100 % glukózy**, **aminokyselin** a **většina organických látek** a velké množství iontů a dalších látek ( $\text{Na}^+$  a  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ , močovina, laktát atd.), vzhledem k tomu, že se většinou jedná o aktivní transport, nacházíme zde velké množství mitochondrií (↑ potřeba ATP). V proximálním tubulu dochází také k amoniogenezi a exkreci  $\text{H}^+$ , které ovlivňují metabolickou rovnováhu. Výsledkem všech procesů je **vstřebání 2/3 vody a resorbovaných látek**, moč která vytéká z proximálního tubulu je vždy izotonická.

Jako **bezprahové látky** (kreatinin, inulin) označujeme ty, pro které je stěna proximálního tubulu nepropustná (nedochází ke zpětnému vstřebávání). Z toho důvodu jsou vhodnými markery pro přesnou hodnotu glomerulární filtrace.



## Henleova klička

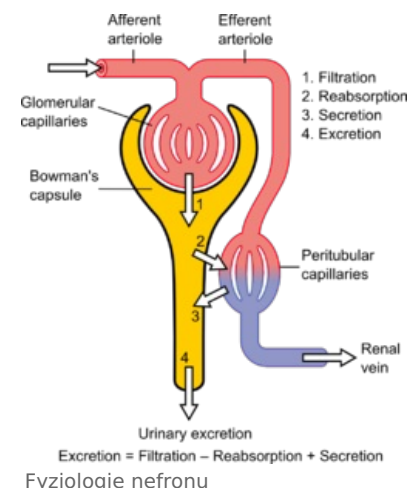
Henleova klička je tvořena sestupným raménkem a vzestupným raménkem. Průměr tubulů se v průběhu rozděluje na tenký a tlustý segment. Epitel je tvořen kubickými buňkami s velkým množstvím mitochondrií a hlubokými invaginacemi.

Dochází zde ke zpětné resorpci 25 % solutů ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  a  $\text{HCO}_3^-$ ), a to **pouze v tlustém segmentu**. Zpětná resorpce  $\text{Na}^+$  je stimulována aldosteronem. Voda se resorbuje z 15 % pouze **v sestupném raménku** (vzestupné je pro vodu nepropustné). Toto oddělení je významné pro regulaci **koncentrace moči**. Proces, kterým koncentrace probíhá se nazývá protiproudový multiplikační systém.

Glomerulus

## Distální tubulus

Buňky epitelu jsou podobné těm v proximálním tubulu, liší se sníženým množstvím mikrokldů a mělčími invaginacemi. Moč procházející tímto úsekem je hypotonická (aktivní výstup iontů z distálního tubulu a tlustého segmentu Henleovy kličky). Samotný tubulus je pro vodu nepropustný, tudíž je ovlivňován plazmatickou koncentrací antidiuretického hormonu (*fakultativní resorpce*). Vlivem antidiuretického hormonu dojde ke zvýšení počtu otevřených akvaporinů v apikální membráně. Z iontů se zde resorbuje především  $\text{NaCl}$ . Výsledkem je další pokles osmolarity tubulární tekutiny.



## Sběrací kanálky

Sběrací kanálky zahrnují *tubulus colligens* a *ductus papillaris*.

Tubuly jsou tvořeny dvěma typy buněk. **Hlavní buňky** jsou zodpovědné za resorpci  $\text{Na}^+$ , sekreci  $\text{K}^+$  iontů (sodno-draselná pumpa). Druhým typem buněk jsou tzv. vmezeřené buňky, které secernují významné ionty pro regulaci acidobazické rovnováhy ( $\text{H}^+$  nebo  $\text{HCO}_3^-$ ).

Resorpce vody je, stejně jako v distálním tubulu, ovlivněná plazmatickou koncentrací ADH. Resorpční mechanismus je také ovlivněn atriálním natriuretickým faktorem (produkovaný kardiomyocyty), který velmi účinně inhibuje resorpci  $\text{Na}^+$  a  $\text{Cl}^-$  (↑ objemu moči). Podnětem pro sekreci ANF je zvýšená náplň srdečních síní.

## Odkazy

### Související články

- Ledvina (histologický preparát)
- Ledviny
- Funkce ledvin v udržování acidobazické rovnováhy
- Protiproudový multiplikační systém

### Externí odkazy

- The Nephron Information Centre (<http://www.nephron.com/>)

- Nephron, Wikipedia (<https://en.wikipedia.org/wiki/Nephron>)

## **Použitá literatura**

- ČIHÁK, Radomír. *Anatomie 1*. 2. vydání. Praha : Grada Publishing, a.s., 2008. 516 s. sv. 1. ISBN 80-7169-970-5.
- GANONG, William F.. *Přehled lékařské fyziologie*. 20. vydání. Praha 5 : Galén, 2005. sv. 1. ISBN 80-7262-311-7.
- TROJAN, Stanislav a Miloš LANGMEIER. *Lékařská fyziologie*. 4. vydání. Praha : Grada Publishing, a.s., 2003. 722 s. sv. 1. ISBN 80-247-0512-5.
- KITTNAR, Otomar, et al. *Lékařská fyziologie*. 1. vydání. Praha : Grada Publishing, a.s., 2011. 800 s. ISBN 978-80-247-3068-4.