

Dr. Bódi Nikolett

Az emésztő- és a kiválasztó szervrendszer felépítése és működése

Segédlet a BSc záróvizsgára való felkészüléshez

Jelen tananyag a Szegedi Tudományegyetemen készült az Európai Unió támogatásával.

Projekt azonosító: EFOP-3.4.3-16-2016-00014



Az emésztő- és a kiválasztó szervrendszer felépítése és működése

Segédlet a BSc záróvizsgára való felkészüléshez

Készítette: Dr. Bódi Nikolett

SZTE, 2020.

Emésztő szervrendszer fő feladatai: táplálék felvétele, raktározása és továbbítása (motilitás), mirigyszekréció, emésztés (lebontás), tápanyagok felszívása (abszorpció), víz visszaszívása, salakanyagok ürítése, hormontermelés, patogének elleni védelem

Tápcsatorna főbb szakaszai (funkció és struktúra között szoros összefüggés! → különböző feladatok ellátásához eltérő szövettani felépítés!)

Szájüreg: táplálék aprítása, rágás (fogak); ízérzékelés, táplálék nyállal történő keverése (nyelv-harántcsíkt izom, többrétegű el nem szarusodó laphám borítás); emésztési folyamatok elindítása (nyál-amiláz)

- **Nyál** (napi ~1,5 l): hipoozmotikus folyadék; feladata a szájüreg nedvesen tartása, öblítése, védőbevonat képzése a fogakon, fontos a falat összetapasztásában, könnyíti a falat lenyelését; benne: víz, mucin, lizozim (antibakteriális hatás), glikoproteinek, nyál-amiláz (szénhidrát-emésztés megkezdése)

- 3 pár nagy **nyálmirigy:** fültőmirigy (gl. parotis-25%), nyelv alatti mirigy (gl. sublingualis-5%), állkapocs alatti mirigy (gl. submandibularis-70%). Szimpatikus hatásra kevés, mucinózus „védőnyál”, paraszimpatikus hatásra bőséges, serosus (emésztőenzimekben gazdag) nyál termelődik.

Garat (pharynx): bifunkcionális (szájüreggel együtt), vagyis a légutakhoz és a tápcsatornához is tartozik

Nyelőcső (oesophagus): retroperitonealis elhelyezkedés, tágulékony cső → táplálék továbbítása gyomor felé;

- többrétegű el nem szarusodó laphám borítás (endodermális eredetű hám);

- felső 1/3 részén harántcsíkt izom → nyelés akaratlagos indítása, alsó 2/3 részén simaizom → reflexes nyelés folyamata!

Gyomor: táplálék és folyadék befogadás, tárolás; örlés, keverés; továbbítás

- redőzött falában hosszanti, körkörös és ferde lefutású simaizomréteg is van → keverőmozgások!

- részei: cardia (gyomorszáj), fundus, corpus, pylorus (gyomorkapu); kis- és nagy görbület

- **Gyomorszekréció szakaszai:**

1. cephalikus fázis (teljes gyomorszekréció 10-15%-a; vagus-függő szabályozás, ingere: látás, szaglás, rágás, nyelés)

2. gasztrikus fázis (teljes gyomorszekréció >50%-a; helyi reflexek, vago-vagalís reflexek és hormonális szabályozás alatt áll, ingere a gyomorfallal feszülése és az aminosavak érzékelése)

3. intesztinalis fázis (teljes gyomorszekréció ~5%-a; duodenalis G-sejtek gasztrin felszabadulása, ami HCl szekréciót indukál a gyomorban)

- **Gyomormirigyek** → **gyomornedv** termelése, napi ~2 l → főbb összetevői: **víz és különböző ionok**, **pepszinogén** (fősejtek termelik, fehérjebontó pepszin inaktív formája), **sósav** (fedősejtek termelik, savas pH beállítása pepszinogén → pepszin átalakuláshoz, kémiai roncsolás, fertőtlenítés), **intrinsic faktor** (fedősejtek termelik, B12-vitamin abszorpciójához szükséges)

→ melléksejtek (**mucin** termelés, védelem), endokrin sejtek (**hormon** termelés, pl. gasztrin)

Vékonybél: emésztés és felszívás fő színtere!

- kefeszegélyes egyrétegű hengerhám (felszívóhám)! → villusok (bélbolyhok) felszínén több ezer mikrovillusból (mikroboholy) álló képlet → így nagyobb felületen megy végbe a felszívás
- részei: duodenum (patkóbél), jejunum (éhbél), ileum (csípőbél)
- Brunner-mirigy: duodenumban, alkalikus nyálka termelés → semlegesíti az ide kerülő savas gyomortartalmat
- Kerckring-redők: legtöbb a duodenumban és a jejunum kezdetén, felületnövelő szerep (~40%-kal)
- Peyer-plakkok: többségük az ileumban, nyiroktüszők összefüggő aggregátuma, immunológiai védelem
- Lieberkühn-kripták: egyszerű csöves bélmirigyek a villusok között, benne: enterocyták, kehelysejtek, Paneth-sejtek (antibakteriális hatású lizozim és IgA termelés), enteroendokrin sejtek, differenciálatlan őssejtek (bélhám megújulása)
- kezdeti szakaszába jut a máj és a hasnyálmirigy emésztőenzimekben gazdag váladéka is (epe és hasnyál)
- bélnedv: vékonybélhám szekréta (napi ~1 l; kriptasejtek választják el); nem tartalmaz szecernált emésztőenzimeket, izotóniás NaCl és NaHCO₃ oldatnak felel meg; szerepe a béltartalom hígítása

Vastagbél: folyadék (és elektrolit-) visszaszívás és fermentációs folyamatok fő színtere! (+salakanyagok ürítése)

- részei: vakbél (coecum), felszálló, haránt- és leszálló colon, szigmabél, végbél (rectum), végbélnyílás
- féregnyúlvány: vakbél ujjyszerű nyúlványa (vak tasak), nyirokszerv
- bélbolyhok nincsenek, Lieberkühn-kripták vannak sűrűn, a kripták hámrétegét rezorpciós sejtek és kehelysejtek (nagy számban) alkotják

Bélfal szövettani rétegei (lumen felől haladva):

1. Tunica mucosa (nyálkahártya)

- Lamina epithelialis (bélhámsejtek/enterocyták rétege; endodermális eredetű belső fedőhám)

Bélhámsejtek: fő funkciói: 1. celluláris bontás 2. reabszorpció (bolyhok felső 2/3-ban) 3. szekréció (kripták mélyén)

- apikális felszín: mikrovillusok, szerkezetüket aktin filamentumok merevítik
- laterális felszín: sejtkapcsoló struktúrák (tight junction → epithelialis barrier kialak.)
- bazális felszín: bazális membrán

- Lamina propria (nyálkahártya saját kötőszöve; laza rostos kötőszövet mobilis immunsejtekkel, erekkel, idegekkel)

- Lamina muscularis mucosae (nyálkahártya saját izomzata; segíti a mirigyváladékok kiürítését)

2. Tunica submucosa (nyálkahártya alatti kötőszövet)

3. Tunica muscularis externa (bélfal izomzata; külső hosszanti és belső körkörös lefutású simaizomrétegek → fontos a bélperisztaltikában!)

4. Tunica serosa (savós hártya) → az adventitia (tápcsatornát borító vékony kötőszövetes réteg) és a viscerális peritoneum hámrétege a legtöbb részen kapcsolódik, de pl. nyelőcsőnél csak adventitia van, mivel az retroperitonealis elhelyezkedésű.

Főbb szfinkterek → táplálék szakaszos továbbítását biztosítják (emésztési folyamatok is szakaszosak)

1. gastro-oesophagealis szfinkter (v. alsó oesophagus szfinkter): nyelőcső és gyomor között
2. pylorus szfinkter: gyomor és duodenum között
3. ileo-cecalis junkció (v. ileo-colonialis szfinkter): vékony- és vastagbél között (B₁₂ abszorpció!)

Tápcsatorna motoros funkciói

Nyelés: reflexfolyamat (garat mechanoreceptorok aktiválódása); nyúltvelőben koordinálódik; **táplálék** vagy folyadék az izomösszehúzódások által generált nyomáshullámok hatására **a nyelőcsövön keresztül** haladva **a gyomorba jut**; indítása akaratlagos, nyelési szünetben a nyelőcsövet mindkét végén egy-egy szfinkter zárja (felső és alsó oesophagus szfinkter)

Hányás: védekezési folyamat; a gyomor-bél tartalom a szájon keresztül távozik (vékonybélben egy **antiperisztaltikus hullám** indul meg a gyomor felé, minőségében vagy mennyiségében nem megfelelő táplálék, mérgező anyagok, fertőző mikroorganizmusok miatt); vegetatív tünetek előzik meg, melyet hányinger kísér; reflexközpontjai a nyúltvelőben vannak

Gyomor motoros funkciói: 1. táplálék és folyadék befogadás, tárolás (**proximális gyomor**), 2. őrlés, keverés és 3. továbbítás (**disztális gyomor**) - nyugalomban a gyomor összehúzott állapotban van (~50 ml), nagyobb térfogat befogadásához hosszúpályás vagovagalis reflexek kellene → táplálékfelvételt követően akár ~1500 ml is lehet

- nyeléskor a gyomor már reflexesen ellazul, majd tónusa fokozatosan visszaáll, s a táplálék a disztális gyomorba jut

- disztális gyomor területén: miogén tónus - **bazális elektromos ritmus (BER)** → Cajal-féle interstitialis sejtek pacemaker aktivitása, elektromos jel generálása → **gyomorperisztaltika kialakulása!** (gasztrin fokozza, kolecisztokinin mérsékli)

- a gyomor „adagoló funkcióját” a béltartalom szabályozza a duodenum felől (negatív visszacsatolás)

Vékonybél motoros funkciói:

- **Szegmentációs (keverő) mozgás** (→ béltartalom csak keveset mozdul el, csak a körkörös simaizom vesz részt benne)

- **Perisztaltikus (továbbító) mozgás**

Vastagbél motorika: bélperisztaltika lassulása, fenntartásában a **taenia coli** szerepe fontos

- **Széketürítés**: a központi és enterális idegrendszer együttesen szabályozza (székelési pozitúra, hasprés, gátizmok működése, kettős anuszfinkter/záróizomgyűrű egyidejű ellazulása); a székelési folyamat rectalis inger hiányában teljesen akaratlagos indítású is lehet; koordinációjában minden idegrendszeri szint részt vesz (agykéreg, gerincevelő)

Bélperisztaltika: a bélfal saját primer afferens neuronjai (IPAN neuronok) érzékelik a bélfal feszülését, kémiai vagy ozmotikus ingereket → interneuronok közvetítésével fel- és leszálló motoneuronok innerválják a bélfal izomzatát → az inger helyétől orálisan simaizom kontrakció (ACh szerepe!), aborális irányban simaizom relaxáció (NO szerepe!) eredményezi a béltartalom aborális irányú elmozdulását/továbbítását!

Digestív motilitás (ha van táplálék)

Interdigestív mioelektromos motilitás (ha nincs táplálék; 90-120 perces periodikusság; gyomor és vékonybél teljes ürítése, „tisztogató” funkció)

Pancreas (kettős elválasztású mirigy)

- exokrin pancreasban (90%) **pancreasnedv** termelődik (napi 1-2 l) → **emésztőenzimekben gazdag szekrétaum** (tripszin, kimotripszin, pepszin, elasztáz, karboxipeptidáz, ribonukleáz, dezoxiribonukleáz, lipáz, amiláz); duodenum területére jut

- **acinusokban** termelődnek: aktív enzimek, inaktív proenzimek (pl. tripszinogén, ez a duodenumban aktiválódik enteropeptidáz hatására, a többi proenzimet már a tripszin aktiválja) és szabályozó molekulák

- **kivezetőcsövekben**: bikarbonát- és vízelválasztás → semlegesíti a savas gyomortartalmat a duodenumban, optimális pH biztosítása

- hasnyál elválasztását a szekretin és kolecisztokinin stimulálja

Máj (legnagyobb mirigyos szervünk, legfontosabb anyagcserezabályozó és méregtelenítő szerv)

Feladatai:

- Epesav szintézis és epe szekréció
- Lipidek raktározása a benne megjelenő zsírszövetben (energiaraktár)
- Glikogénraktározás
- Plazmafehérjék és egyéb fehérjék termelése (albumin, globulinok, véralvadási faktorok)
- Toxikus melléktermékek eltávolítása, aminosavak deaminálása, alkohol lebontása
- Vitaminok és fémek (vas, réz) tárolása
- Bizonyos májsejtek pusztuló vvt-eket fagocitálnak
- Magzati élet során vérképző szervként is működik

Vérellátása:

- arteria hepatica, vena hepatica – májsejtek oxigén- és tápanyagellátását biztosítják
- **portális keringés** (vena portae hepatica-májkapuvéna!)-tápcsatorna felől hozza a felszívott tápanyagokat

Máj-sinusok: lebenyékén belül, csak endothelsejtek által határolt szövetközi „öblök”, ahol a májsejtek a vérrel intenzív kapcsolatot tudnak kialakítani

Májsejtek (hepatocita) → **Májlebenyke** (lobulus hepatis-funkcionális és morfológiai egység!!) → benne 6 db **portális triád**: arteria interlobularis, vena interlobularis, ductus interlobularis

Kupffer-sejtek: májban levő makrofágok, nyúlványaikkal az endothelsejtek közé ékelődnek, széteső vvt-eket fagocitálnak

Epe szekréció (napi ~600 ml)

- hepatocitákban epesavas sók, koleszterin, foszfolipidek, bilirubin kiválasztása; cholangiocytákban (epecsatornákat bélelő hámsejtek) elektrolitok szekretálódnak
- primer epesavak a májsejtekben koleszterinből képződnek, szekunder epesavak a bélbaktériumok hatására keletkeznek a bélben
- epehólyagban tárolódik, epevezetéken keresztül a duodenumba jut (hasnyállal együtt)
- fontos a zsírok emulgeálásában → könnyíti a zsírok bontását és felszívódását, az ADEK vitaminok abszorpciójában

Lebontás és felszívódás a tápcsatornában

- Tápanyagok bontása az emésztőcsatornába elválasztott enzimekkel (**luminalis emésztés**), majd a monomerekre való végső bontás a bélhámsejtek felszínéhez kötött enzimek segítségével (**celluláris emésztés**).
- **Felszívás** legnagyobb részben aktív transzporttal a vér- és nyirokérrendszer kapillárisaiba történik.

- **Szénhidrátok:**
 - keményítő bontása luminalisan (nyál, pancreas α -amiláz); di- és oligoszacharidok bontása monoszacharidokká (glukóz, fruktóz, galaktóz) celluláris hidrolízissel (maltáz, izomaltáz, szacharáz) történik
 - vékonybélből kizárólag **monoszacharidok** szívódnak fel (másodlagosan aktív transzport két lépésben: luminalis membrán Na^+ -glukóz-kotranszporter, basolateralis membrán GLUT-2 glukóztranszporter)
- **Fehérjék:**
 - luminalis bontással gyomornedv (pepszin), hasnyál (tripszin, kimotripszin, endo- és karboxipeptidázok) révén nagyobb részben rövid peptidok; cellulárisan főként szabad aminosavak keletkeznek (aminopeptidázok, dipeptidázok)
 - az **aminosavak**, di- és tripeptidek nagy része másodlagos aktív transzporttal jut át az enterocyták luminalis membránján (Na^+ -aminosav-kotranszporterek), basolateralis membránban facilitatív aminoavtranszporter, Na^+ -kapcsolt kotranszporterek
- **Lipidek:**
 - lebontásuk az **emulzifikálódásuktól** függ (lipidek $<1,0 \mu\text{m}$ átmérőjű cseppecskékre töredeznek, epe szerepe!), míg a felszívásuk a **micellaképződéstől** (epesavas sókból és foszfolipidekből) függ!!
 - trigliceridek enzimatis bontását a lipázok végzik (gyomornedv, hasnyál) → **szabad zsírsavak** és glicerín
 - zsírsavak az enterocyták sejtplazmájába diffundálnak, **koleszterin** – szteroid transzporterrel

Vitaminok

- **Vízoldékony vitaminok:** B vitamin család (B1, B2, B5, B6, B7, B9/folsav, B12), C-vitamin → koenzimek is; főleg egyszerű diffúzióval vagy aktív transzporttal szívódnak fel, a felesleg kiürül
- **Zsírolékony vitaminok:** A, D, E, K-vitaminok → micellákba épülve a bélből szívódnak fel, májban raktározódnak
A legtöbb vitamin a jejunumból szívódik fel, de a B12 az ileumból.

Tápcsatorna funkcióinak idegi és hormonális szabályozása

Enterális idegrendszer (10⁸ neuron ~ gerincvelő)

- **autonóm idegrendszer** 3. divíziója (szimpatikus és paraszimpatikus idegrendszer mellett), központi idegrendszertől nagy mértékben független szabályoz; az enterális ganglionokban **érző-** (IPAN neuronok!), **motoros- és interneuronok** egyaránt előfordulnak, így önálló, **lokális reflexívek** jöhetnek létre, melyek szabályozzák a motilitást (perisztaltikus reflex), mirigyszekréciót, a bélfal véráramlását, stb.
- nyelöcsőtől a belső anális záróizomig húzódik, a szövettani rétegek között szendvicsszerűen helyezkednek el az idegelemek; két nagy ganglionális plexus: 1. **plexus myentericus** (bélfal külső hosszanti és belső körkörös simaizomrétege között, **perisztaltika szabályozása!**), 2. **plexus submucosus** (submucosa rétegben, **szekretomotoros működés szabályozása!**)
- az enterális neuronok **morfológiailag, funkcionálisan és neurokémiailag** (pl. ACh, NO, VIP) is nagyon **sokfélék** lehetnek
- **központi idegrendszer:** vagus afferensek, szimpatikus és paraszimpatikus efferensek révén **kontrollálja az enterális folyamatokat**; a rágás, nyelés, nyálelválasztás és székletürítés kizárólag központi idegi szabályozás alatt áll

Hormonális szabályozás (diffúz neuroendokrin rendszer!)

- **sokféle endokrin sejtípus** (G-, D-, S-, I-, M-, P/D1-sejt, stb.), **sokféle gasztrointesztinalis hormon** (gasztrin, kolekisztokinin/CCK, motilin, vazóaktív intesztinalis polipeptid/VIP, szekretin, pancreas polipeptid, neuropeptid Y, substance P, encephalin, galanin, ghrelin, stb.)

Néhány példa: • G-sejtek → **gasztrin** → gyomor fedősejtek sósav szekrécióját serkenti

- S-sejtek → **szekretinek** (glukagon, GIP, VIP) → pancreas bikarbonát szekréció ↑, gasztrin hatás gátlása, CCK hatás fokozása
- I-sejtek → **CCK** → epehólyag kontrakció, pancreas enzimszekréció nő, Oddi-szfinkter relaxáció
- M-sejtek → **motilin** → Oddi-szfinkter és oesophagus kontrakció

Bél-agy tengely

- Bélhormonok az agyban is (pl. CCK, gasztrin, szekretin, VIP, glukagon, stb.)
- Agyhormonok a bélben is hatnak (pl. enkephalinok, szomatosztatin, substance P, CGRP)
- **Központi idegrendszer és a bélidegrendszer kétirányú kölcsönhatása/kapcsolata igazolt!!**
- Bélfloóra megváltozása/érintettsége számos betegségben (pl. diabétesz, IBD), köztük központi idegrendszert érintő neurodegeneratív betegségben is (pl. Parkinson-kór) igazolt

Bél mikrobiom jelentősége → szimbiotikus kapcsolat a bélbaktériumokkal nélkülözhetetlen az emésztési folyamatokhoz!

A különböző bélszakaszok eltérő környezetet biztosítanak a bélbaktériumoknak → disztális irányba a mikrobiom összetétele egyre változatosabb és a bélbaktériumok mennyisége is erőteljesen növekszik.

Kiválasztó szervrendszer fő feladatai: víz- és elektrolitháztartás szabályozása, vizeletkiválasztás, nitrogén anyagcsere-végtermékek kiválasztása, idegen anyagok, gyógyszerek kiválasztása, artériás vérnyomás szabályozása, sav-bázis egyensúly fenntartása (légzés mellett), endokrin funkció

Nephrogén mezoderma: teljes embrió rostro-caudalis tengelye mentén differenciálódik, a fejlődés során különböző részei aktiválódnak:

1. **Pronephros:** minden gerinces embrionális fejlődése során megjelenik, nephrogén mezoderma legrostrálisabb részén alakul ki, csak csontos halak és kétéltűek lárváiban funkcionál, átmeneti struktúra; áll: külső glomerulus, pronephros csatornák és vezeték; vezetékrendszere indukálja a mesonephros kialakulását, majd a pronephros degenerálódik is
2. **Mesonephros:** nephrogén mezoderma középső részén alakul ki, a mesonephros csatornák kapcsolódnak még néhány caudalisabban elhelyezkedő csatornával, s az így kialakuló **opisthonephros** lesz a **halak és a kétéltűek maradó veséje**
3. **Metanephros:** nephrogén mezoderma legcaudalisabb részén fejlődik ki, kialakulásával egyidejűleg a mesonephros nagy része degenerálódik; ez lesz az **amnióták maradó veséje**

Emlős vese: retroperitonealis elhelyezkedésű páros szerv; kívülről kötőszövetes tok + párnázó zsírszövet borítja (mechanikai védelem és rögzítés!) (ember: többpapillás vese)

- **velőállomány:** vesepiramisokból áll, melynek széles alapja a kéreg felé néz, a hegye (papilla) a vesekehelybe nyúlik be → vesemedence → húgyvezetőben folytatódik;
- **kéregállomány:** vesepiramisok bázisát sapkaszerűen veszi körül → **veselebeny**=egy vesepiramis és az ezt körülvevő kéregrészt együttesen

Nephron: vese működési egysége; **vesetestecske + hozzá kapcsolódó csatornarendszer + peritubuláris kapilláris hálózat** alkotja

Feladatai: **1. glomerularis ultrafiltráció** (szűrletképzés)

2. tubularis reabszorpció (víz, ionok visszaszívása a csatornarendszer különböző szakaszaiban)

3. tubularis szekréció (méreganyagok eltávolítása, pl. nitrogén-anyagcsere végtermékek)

1. **Corticalis (rövid kacsú) nephron:** glomerulusa a cortexben felületesen helyezkedik el, emberi vese nephronjainak 85%-a
2. **Juxtamedulláris (hosszú kacsú) nephron:** glomerulusa a velőállomány határán helyezkedik el, összes nephron kb. 15%-a

Vesetestecske (Malpighi-test): **glomerulus + Bowman-tok**, feladata a vér kapillárisokon keresztüli ultrafiltrációja → **SZŰRLETKÉPZÉS**

Glomerulusok: arteriolákból elágazó összetekeredett kapillárisokból álló **érgomolyagok**

- **külső glomerulus:** csak embrionális vagy lárvális korban fordul elő; az érgomolyag belóg a testüregbe, így a szűrlet a testüregbe jut, majd innen a nefrosztómán át a vesecsatornába jut
- **belső glomerulus:** kifejlett gerincesekben; dorzális testfalba ágyazódik; az érgomolyagot Bowman-tok veszi körül, a képződő szűrlet így először a tok üregébe kerül
 - **kapillárisok endotheliuma fenestrált** (60-100 nm): 5 kDa alatti molekuláris komponensek (ionok, cukrok, aminosavak, karbamid, húgysav) átjutnak, 5-70 kDa közöttiek molekulatömegük arányában egyre nehezebben, míg 70 kDa fölött (pl. vérfehérjék) egyáltalán nem jutnak át rajta

Bowman-tok:

-**parietális lemez**: egyrétegű laphám, a proximális csatorna hámfában folytatódik

-**viszcerális lemez**: ráfekszik a glomerulus kapillárisokra; falát speciális „lábak” sejtek = **podocyták** alkotják, ezek nyúlványai összekapcsolódva adják a szűrő pórusméretét → ultrafiltráció → szűrlet (elsődleges vizelet) a Bowman-tok üregébe jut, innen pedig majd a csatornarendszerbe kerül

- A glomerulusba belépő ér (**afferens arteriola**) nagyobb átmérőjű, a kilépő ér (**efferens arteriola**) pedig kisebb átmérőjű → **nyomáskülönbség biztosítja az ultrafiltrációt!** *A szűrlet napi mennyisége ~180 liter.*
A glomerulus filtrátum csaknem teljesen fehérjementes és lipidmentes plazma!!
- **GFR** (glomerulus filtrációs ráta): összes glomeruluson időegység alatt átszűrődött mennyiség (=180 liter/nap)

Kétlépcsős szűrőrendszer:

1. lépcső: glomerulus kapillárisait (fenesztrált endothelium) körülvevő **bazális membrán** molekuláris szűrőként működik
2. lépcső: Bowman-tok viszcerális lemezét alkotó **podocyták** összekapcsolódott **nyúlványai**

Szűrlet útja a csatornarendszerben: Bowman-tok üregéből → proximális kanyarulat csatorna → proximális egyenes csatorna (leszálló) → Henle-kacs → disztális egyenes (felszálló) csatorna → disztális kanyarulat csatorna → gyűjtőcsatorna...

- A szűrlet több, mint 99%-a visszaszívódik a vesecsatornában, így a **napi vizeletmennyiség ~1,5 liter.**

Proximális csatorna:

- **kefeszegélyes egyrétegű köbhám**

- sejtek apikális felszínén **mikrovillusok** → intenzív reabszorpció

- sejtek bazális részén **bazális csíkolat** (sejtmembrán-invaginációk → felületnövelés a transzportfolyamatok számára + a mitokondriumok sokasága energiát (ATP) biztosít)

- **aktív Na⁺ reabszorpció!!** (60-70%) → Na⁺ intenzív beáramlása a sejtbe a tubulus lumenéből (apikális membrántranszportereken), majd a basolateralis membránban levő Na⁺-K⁺-ATPáz a Na⁺-ot a kötőszöveti tér felé pumpálja ki
- az így kialakult Na⁺-grádiens a hajtóereje a **glükóz-, aminosav-, foszfát- és Cl⁻-reabszorpciónak** is (Na⁺-glükóz, Na⁺-aminosav és Na⁺-foszfát kotranszporter)
- **H⁺ szekréció** a sejtbe a tubulus lumenébe → a filtrált HCO₃⁻-okkal együtt szénsavat képez → csökken a tubulusfolyadék HCO₃⁻ koncentrációja → „HCO₃⁻ reabszorpció”
- ionokkal együtt **passzív víz reabszorpció** (részben paracellulárisan, részben akvaporin-1 vízcsatornán keresztül; a szűrlet víztartalmának 65-70%-a a kanyarulat részben, 15%-a az egyenes szakaszban szívódik vissza)
- kismértékű **urea reabszorpció** (mivel a vízvisszaszívás nagy mértékű, így az urea koncentráció a proximális tubulus végére magasabb, mint a szűrletben volt)
- filtrált **albumin** (csak 0,04%) **endocitózissal** jut a proximális tubulusok sejtjeibe, ott aminosavakra bomlik, majd a véráramba kerül
- **szerves kationok** (pl. kreatinin) és **anionok** (pl. para-amino-hippursav/PAH) **szekréciója** a tubuluslumenbe (ezt is a Na⁺-grádiens biztosítja)
- ammónia képzése glutaminból

Henle-kacs:

- U-formájú csatornaszakasz (hajtúkanyar)
- le- és felszálló ágai és a köztük futó vérerek egymáshoz képest nagyon szorosan helyezkednek el → **ellenáramlásos kicserélődés** anatómiai alapja! → A vese velőállományán átfolyó vér percekben belül megszüntetné az ozmotikus grádiens, ha nem létezne a másodlagos ellenáramlásos mechanizmus. Ez egy passzív folyamat, amely a vasa recta leszálló és felszálló szárában folyó folyadék ellenkező irányú áramlása következtében jön létre. A végeredmény élettani körülmények között a medulláris koncentráció-grádiens fenntartása!
- vékony leszálló szegmentum: lapos sejtek bélelik, melyeknek ~ nincs aktív transzportáló képességük
- vastag felszálló szegmentum: itt lezajló fő folyamat a **NaCl reabszorpció** (nem kíséri vízvisszaszívás!! → ok: hiányoznak a vízcsatorna fehérjék → **víz-impermeabilitás** → a tubulusfolyadék ozmotikus koncentrációja folyamatosan csökken)

Disztális csatorna:

- hámsejtjei kisebb köbhámsejtek, kefeszegély nincs, bazális csíkolat van
- **Na⁺ reabszorpció** (<5%) és Cl⁻ felvétel
- aktív **Ca²⁺-reabszorpció**

Gyűjtőcsatorna feladatai:

- Na⁺ és K⁺ kiválasztás végső szabályozása
- Vizelet végső ozmotikus koncentrációjának és térfogatának beállítása
- Sav-bázis egyensúly kialakítása
 - Gyűjtőcsatornasejtek: **Na⁺ reabszorpció** és **K⁺ szekréció**, **víz** (akvaporin-2, -3, -4 vízcsatornák) és **ureapermeabilitás** (urea transzporterek), **NH₄⁺ szekréció**
 - Köztes sejtek: **H⁺ szekréció**, **HCO₃⁻ szekréció**

Vese vérellátása

- erősen vaszkularizált szerv → a veséken percnként 1300 ml vér folyik át
- vérellátása nem egységes: a rostralis területeké jobb; a kéreg véráramlása sokkal nagyobb (92%), mint a velőé (8%); vasa recta rendszerben különösen lassú áramlási sebesség
- a vese erek beidegzése szimpatikus, noradrenerg vasoconstrictor rostok (α1 receptorok)
- **RPF** = renális plazma flow: vesén időegység alatt átáramlott plazma mennyiség (660 ml/perc)
- **RBF** = renal blood flow (renális véráramlás): vesén időegység alatt átáramlott vér mennyiség (1300 ml/perc)

Arteria renalis a vesekapun lép be, majd elágazik → **aa. interlobares** → kéreg- és velő határán ív alakban elfordulnak (**aa. arcuatae**) → kilépnek a kérget ellátó **aa. interlobulares** erek → ebből leágaznak az **afferens glomerulus arteriolák** → glomerulusból kilépő **efferens arteriolák** végig kísérik a csatornarendszert (=peritubuláris kapilláris hálózat), és biztosítják a sejtek ellátását → **arteio-venosus anasztomózisok** → **vv. interlobulares** → **vv. arcuatae** → **vv. interlobares** → **vena renalis** → szív felé

Két kapilláris hálózat:

1. Glomerulusok kapillárisai (ultrafiltráció)
2. Peritubuláris (csatornarendszert körülvevő) kapilláris hálózat (szelektív reabszorpcióban fontos)

Veseműködés követése

Clearance = az a plazma mennyiség, ami egy perc alatt megtisztul az illető anyagtól (ml/perc)

$$Cx = \frac{U \times V}{Pa}$$

U = adott anyag koncentrációja a vizeletben (mg/ml)
V = percnként elválasztott vizelet mennyisége (ml/perc)
Pa = az anyag koncentrációja a plazmában (mg/ml)

Juxtaglomeruláris apparátus

- disztális kanyarulat csatornában (ahol a disztális kanyarulat csatorna elhalad a glomerulus bejáratánál/érpólusánál) található

- **feladata:**

- vizelet Na⁺ koncentrációjának ellenőrzése
- vérnyomás szabályozása

- **részei:**

- **macula densa** sejtek: disztális tubulus falának sötétebben festődő területe, rajtuk mikrobolyhok vannak, extraglomeruláris sejtekkel szoros kapcsolatban állnak; **ozmoszenzorok**, a **tubularis NaCl koncentrációra érzékenyek** → Cl⁻ konc. növekedése ATP leadást, Cl⁻ konc. csökkenése prostaglandin és NO szintézist vált ki → juxtaglomeruláris sejtekhez diffundál → serkenti (PG, NO) vagy gátolja (adenozin) a renin szekréciót/expressziót
- **juxtaglomeruláris/granuláris (szemcsés) sejtek: renin szekréció**
(szimpatikus beidegzés, noradrenalin és adrenalin a sejtek β1 receptorait ingerelve fokozza a renin szekréciót)
- **extraglomeruláris mesangialis sejtek/lacis sejtek:** a macula densa és a renin-termelő juxtaglomeruláris sejtek között teremtenek kapcsolatot → **információ közvetítést** segítik

Renin-angiotenzin-aldoszteron rendszer

- juxtaglomerularis sejtekben **renin** szekréció → renin hatására **angiotenzinogénből angiotenzin I** hasad → tüdőben konvertáló enzim (ACE) hatására **angiotenzin I-ből angiotenzin II** alakul ki → serkenti a mellékvesekéreg **aldoszteron** termelését, ami elősegíti a **nátrium visszaszívását**, emellett **víz retenciót** is (a víz passzívan követi a nátrium mozgását) → **közvetett vérnyomásszabályozás!** + kismértékű **kálium szekréciót** is eredményez
- a renin közvetlenül is képes hatni a glomeruláris mesangialis sejtekre (myoepithelsejtek), kontrakciójuk révén az arteriola endothelsejtjeire hat → **közvetlen vérnyomásszabályozás!**

Hormonális szabályozás

- **renin, angiotenzin II, aldoszteron:** nátrium konzerválás/térfogatmegőrzés irányába ható hormonok
- **vazopresszin** (=AVP=ADH): hipotalamuszban termelődő antidiuretikus hormon → vízkonzerválás; V1 receptor (erek kontrakció) és V2 receptor (vese gyűjtőcsatorna)
- **pitvari nátriuretikus peptid** (ANP): szív termeli (receptor a glomerulusokban és a bal pitvarban); közvetlen és közvetett nátriuretikus hatás → Na⁺ ürítés fokozása; renin és vazopresszin gátlása

- **kortizol**: mellékvesekéregben termelődő glukokortikoid hormon, végső hatása a Na^+ ürítés fokozása
- **parathormon**: mellékpajzsmirigyben termelődik, Ca^{2+} reabszorpció szabályozása (növeli a vér Ca^{2+} -koncentrációját), foszfát ürítést növeli
- **kalcitonin**: pajzsmirigy parafolikuláris sejtjei termelik, vérplazma Ca^{2+} -koncentrációját csökkenti

pH szabályozása

HCO_3^- -főleg a proximális-, disztális tubulusban és a gyűjtőcsatornában

HPO_4^{2-} -főleg a disztális- és gyűjtőcsatornában

NH_4^+ -főleg a proximális és disztális csatornában

Henderson-Hasselbach egyenlet

$$\text{pH} = 6.1 + \log \left(\frac{\text{HCO}_3^-}{0.03 \times \text{pCO}_2} \right)$$

Húgyutak:

- vesemedence → húgyvezeték → húgyhólyag → húgycső
- majdnem teljesen **átmeneti hám (urothelium)** borítja: záróréteget képez a hipertóniás vizelet és a szövetek között → sejtek apikális felszínén uroplakin bevonat, gátolja a mérgező folyadékok átáramlását (szigetelés)
- ureterperisztaltika: vesemedencéből a hólyagba továbbítja a vizeletet
- uretert szimpatikus posztganglionáris rostok innerválják (α_1 -, β_2 -receptorok), de beidegzés nélkül is képes vizelettovábbító funkcióra
- urothelium speciális (legfelső) sejtjei: **ernyősejtek** → nagy méretváltozásra képesek, nagy ozmotikus nyomáskülönbséget képesek elviselni → húgyhólyag tágulékonyságát biztosítja
- **hólyag-reflex**: szabályozásának szimpatikus, paraszimpatikus és akaratlagos komponense is van (lásd: autonóm idegrendszeri működések)
- a vizelet a húgycsövön keresztül ürül a külvilágba

Vesebetegségek:

Ozmotikus diurézis, polyuria, nykturia (éjszakai vizelés), proteinuria (miko- és makroalbuminuria), uraemia (húgyvérűség), acidózis (pH 7.0-ig), alkalózis (pH 7.7-ig), centrális diabetes insipidus (nincs AVP) és renális diabetes insipidus (V2 receptor hiba), vesekő, stb.

Felhasznált/Ajánlott irodalom:

Röhlich P.: Szövettan (4. kiadás)

Fonyó A.: Az orvosi élettan tankönyve (7. kiadás)

Fekete É., Bagyánszki M.: Összehasonlító állatszervezettani előadások 1.