



# Emésztés

## Az emésztőrendszerek típusai <sup>2/23</sup>

- egysejtűekben és primitív soksejtűekben intracelluláris emésztés
- fejlett soksejtűekben extracelluláris
- igen sokféle extracelluláris emésztőrendszer található az állatvilágban, de 3 alaptípus a "reaktor" (ahol az emésztés történik) működése alapján
  - szakaszos, keveréses reaktor - vakon végződő üreg, egy adag be, ha vége az emésztésnek, salakanyag ki, újabb adag be (pl. hidra)
  - folyamatos áramlású, keveréses reaktor - folyamatos bevitel, keveredés a bentlévővel, túlfolyón kilépés (pl. kérészek bendője)
  - adag-áramlásos, keveretlen reaktor - a táplálék csőszerű reaktoron halad végig, összetétel helyfüggő (pl. gerincesek vékonybele) 


## Általános felépítés

- a bélcsatorna topológiailag külvilág
- be-, és kijáratát szfinkterek és egyéb képletek védik
- a csatornán belül a táplálék mechanikai, kémiai és bakteriális behatásoknak van kitéve
- emésztőnedvek lebontanak, tápanyagok felszívódnak, emésztethetetlen anyagok széklettel távoznak
- a tubuláris szerkezet funkcionális specializációt tesz lehetővé (pl. savas és lúgos környezet)
- a bélcsatorna részei: fejbél, előbél, középbél, végbél 


## A fejbél

- itt lép be a táplálék - evéssel és nyeléssel kapcsolatos struktúrák: szájszervek, szájüreg, garat, csőr, fog, nyelv, nyálmirigy, ha szükséges, szervek a légutak elzárására (gége)
- legtöbb soksejtűben van nyálmirigy: nyelés segítése (mucin - mukopoliszaharid)
- lehet még: enzim, toxin, véralvadásgátló (vámprók, pióca, stb.)
- nyelv a gerinchúrosoktól - táplálék aprítása, nyelés, táplálék megszerzése (hangyász, kaméleon), kemorecepció (ízlelőbimbók)
- a kígyók mintát vesznek a levegőből és a szájpadrás kemoszenzoros Jacobson szervébe törlik



## Az előbél

- legtöbb fajban nyelőcső és gyomor
- a nyelőcső a gyomorba továbbítja a táplálékot
- ritkán táplálkozókban raktározás céljából begy lehet (pióca), madarak másra is használhatják (begytej)
- az emésztés elsősorban a gyomorban és a középbélben történik
- legtöbb gerincesben pepszinogén és HCl
- egyszerű gyomor mindenevőkben és húsevőkben
- redők és gyomormirigyek 
- összetett gyomor kérődzőkben - két gyomorrész: fermentatív (bendő+recésgyomor - cellulóz) és emésztő (leveles+oltógyomor [enzimek csak itt])
- teve, láma, alpakka, vikunya hasonló gyomor
- más fajokban is van fermentáció az emésztő gyomor előtt: kenguru, tyúkalkatú madarak
- madarakban lehet előgyomor (emésztés) + zúza




## A középbél I.

- gerincesekben a vékonybél (duodenum, jejunum, ileum) alkotja, a gyomortól a pilorus választja el
- húsevőkben rövidebb, növényevőkben hosszabb - ebihalban hosszabb, mint a békában
- duodenum (tizenkétujnyi bél): nyálka és emésztőfolyadék termelés + epe és hasnyálmirigy váladék beömlése - gyomorsav semlegesítése, tápanyagok bontása
- jejunum (éhbél): emésztőnedvek + felszívás
- ileum (csípőbél): elsősorban felszívás, kevés emésztőnedv szekréció
- a vékonybéltre jellemző a nagy felületű epithelium: felület csak 0,4 m<sup>2</sup>, de cirkuláris redők, bélbolyhok, kefeszegély - 200-300 m<sup>2</sup> 

## A középbel II.

- a cirkuláris redők lassítják is a táplálék mozgását
- a bélbolyhok (kb. 1 mm) köralakú bemélyedések (Lieberkühn kripta) alján ülnek - a boholy közepén centrális nyirokér, körülötte arteriolák, kapillárisok és vénák 
- hosszanti simaizomelemek - kontrakciójuk kiüríti az ereket
- a hám főként enterocitákból áll (3-6 napig élnek, a kriptákban termelődnek - citosztatikum kezelés), ezeken kefeszegély (kb. 1  $\mu$  hosszú, 0,1  $\mu$  széles, 200.000/mm<sup>2</sup>); szoros illeszkedés, dezmoszóma 
- a kefeszegély felszínén glikokalix: hidrolázok (glikoproteinek) és lumináris transzporterek, belsejében aktin - a sejtek bázisán aktív Na-pumpa és különféle transzporterek
- enterociták között elszórtan mucin termelő sejtek

## Az utóbél

- az emésztetlen maradékokat tárolja - só- és vízvisszaszívás
- gerincesekben a vékonybél végső szakasza és a vastagbél végzi ezt a funkciót
- sok növényevőben a fermentáció helye az utóbél
  - vastagbél (adag-áramlásos reaktor - ló, zebra, elefánt, rinocérosz, szirén, stb.)
  - vakbél (folyamatos áramlású keveréses reaktor - kisebb állatok, pl. nyúl, sok rágcsáló, koala, oposzum, stb 
- a vastagbél a kloákába (nyálkahal, cápa, rája, kétéltűek, hüllők, madarak és néhány emlős), vagy a végbélbe torkollik, majd székelés során az anuson keresztül jut a külvilágba a széklet
- a székelés és vizelés magatartási kontroll alatt áll - "körbevizelni a szobát" 
- a gerincesek bélcsatornájának áttekintése 



## A bélcsatorna motilitása I.

9/23

- a bélcsatorna összehúzóási és béltartalom (chymus) továbbítási képessége a motilitás
- szerepe:
  - a táplálék továbbítása a felvételtől a székelésig
  - a táplálék őrlése és dagasztása, hogy az elkeveredjen az emésztőnedvekkel, és oldható formába kerüljön
  - a béltartalom keverése, hogy az epitélium mindig friss résszel érintkezzen
- kizárólag izmok biztosítják a gerincesekben (főleg sima) és ízeltlábúakban (harántcsikolt), egyéb gerinctelenekben vagy csak csillók, vagy izmok és csillók együtt
- a tápcsatorna kezdeti szakaszában (szájüreg, garat, nyelőcső felső harmada) harántcsikolt izom, a végbél külső záróizma is - nagyrészt akaratlagos működtetés, másutt enterális idegrendszer

## A bélcsatorna motilitása II.

10/23

- gerincesekben a bélcsatorna rétegei: serosa, hosszanti és körkörös izomréteg, submucosa, a nyálkahártya saját izomzata, lamina propria, epitélium 
- két alapvető mozgásforma: perisztaltikus hullám (hosszanti és körkörös izmok) és szegmentáló mozgás (körkörös izmok) 
- a nyelés bonyolult reflexfolyamat; nyelőcső felső 6-8 cm-je vázizom, alsó 10-12 cm-je simaizom, köztük átmeneti zóna; alul, fölül funkcionális szfinkter
- a nyelv a szájpadláshoz nyomja a falatot, száj zárt - a légyszájpad elzárja az orrgaratot, a falat a garatba kerül - mechanoreceptorok a szájpadban és a garatban: megállíthatatlanul megindul a nyelés
- légutak elzáródása, perisztaltikus hullám, szfinkterek ellazulása a kellő időpontban

## A bélcsatorna motilitása III.

11/23


- hányás - bonyolult reflex folyamat, légzőizmok is segítik - vékonybélből fordított perisztaltika belégző izmok aktiválódnak - negatív mellúri nyomás, hasizmok kontrakciója - nagy nyomás különbség - alsó nyelőcső szfinkter ellazul
- a nyelőcsőbe jutó béltartalom öklendezéskor visszalép, hányáskor kilégző izmok aktiválódnak, felső szfinkter ellazul
- három központ a nyúltvelőben: centrális hányás (öklendezés nélkül), öklendezés (hányás nélkül), kemoreceptív triggerzóna
- ingerek: direkt (agyhártya gyulladás, undor), kémiai (apomorfin, mustáros víz), mechanikai (hátsó garatfal), zsigeri (hashártya, méh, vesemedence, here), egyensúlyszerv
- reflux - a cardia rosszul zár, savas gyomortartalom visszajut a nyelőcsőbe - gyulladást, rákot okozhat
- regurgitáció: kérődzőkben - gyomortartalom visszafolyik a szájba hányás nélkül

## A bélcsatorna motilitása IV.



12/23

- a gyomor részlegesen zárt kontrakciós gyűrű mellett végez perisztaltikát - keverés, de ez nem teljes - patkánykísérlet különböző színű táplálékokkal
- vékonybél - körülírt tágítás hatására perisztaltika
- bélezáródás - mechanikai ok (tumor), fiziológiás ok (szimpatikus hiperaktivitás - hashártya izgalom miatt) - mechanizmus nem teljesen tiszta
- a vastagbél víz és elektrolit visszaszívás után eltávolítja a székletet
- evést követően disztális elmozdulás a vastagbélben, tömegperisztaltika is lehet - csecsemők gyakran evés+székletürítés
- belső és külső szfinkter - vegetatív és akaratlagos szabályozás
- a székletürítés bonyolult, összehangolt művelet: testtartás, hasprés, gátizmok, szfinkterek

## A bélműködés szabályozása I. <sup>13/23</sup>

- **belső kontrol:** a bél simaizomzata képes elektromos aktivitás generálására - ritmikus hypo-, és repolarizáció, Ca-spike-ot és kontrakciót válthat ki; nyújtás, béltartalom kémiai ingere befolyásolja 
- **külső kontrol:** enterális idegrendszer, központi idegrendszer, lokális peptid hormonok
- **enterális idegrendszer**
  - mienterikus (Auerbach) és szubmukózális (Meissner) ideghálózat
  - lokális reflexívek
  - érzőneuronok: mechano-, kemo-, és ozmoreceptorok információit továbbítják - substance-P
  - interneuronok: n-Ach serkentő, enkefalinerg, szomatosztatinerg gátló
  - végrehajtó neuronok: kolokalizált Ach és tachikinin (pl. substance-P) - serkentő, mirigyeken VIP is; VIP, NO, ATP - gátló - morfin ezeket gátolja, tartós kontrakció, obstipáció




## A bélműködés szabályozása II. <sup>14/23</sup>

- **központi idegrendszer**
  - paraszimpatikus beidegzés: főként enterális idegrendszerre interneuronjaira hat - serkentő 
  - kisebb részben végrehajtó neuronokon - gyomorműködés, szfinkter ellazítás (pl. nyelőcső)
  - szimpatikus beidegzés: főleg vazomotor hatás
  - enterális idegrendszer sejtjein  $\alpha_2$ -receptoron át poszt-, és preszinaptikus gátlás
  - közvetlen serkentő  $\alpha_1$  hatás szfinktereken
- **lokális peptidhormonok**
  - bizonyítottan hormonok: szekretin, gasztrin, CCK, glükózdependens inzulinotróp peptid - sok más jelölt
  - igazoláshoz hormonszint mérés, bejuttatás (fiziológias vs. farmakológiai koncentráció), antagonisták
  - gasztrin és CCK C-terminális 5 as-e azonos, mindkettő több hosszúságban is hat - gasztrin család
  - szekretin, GIP, glükagon, VIP - szekretin család
  - hormontermelő sejtek közvetlenül érzékelik a béltartalom pH-ját és összetételét
  - egyeseknél bizonyítottan idegi szabályozás is van 

## Gasztrointesztinális hormonok



sejt	hormon	inger	gyomor	epe	hasnyálmirigy
G	gasztrin	peptidek as-ak a gyomorban	HCl termelés, mozgás nő		
CCK	kolecisztokinin	zsír, fehérje a vékonybélben	mozgás, ürülés csökken	epehólyag ürülés	enzimtermelés fokozódik
S	szekretin	sav a vékonybélben	ürülés csökken		kivezetőcső HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> leadás fokozódik
GIP	glukózdependes inzulinotróp peptid	szénhidrát a vékonybélben	HCl termelés, ürülés csökken		

## A szekréciós működés

- **háromféle szekréció típus:**
  - szekréciós-reszorpciós típus - fehérje, víz, elektrolitok szekréciója az acinusban, visszaszívás a kivezetőcsőben, pl. nyálmirigy
  - szekvenciális szekréciós típus - fehérje szekréció az acinusokban, víz és elektrolitok a kivezetőcsőben, pl. hasnyálmirigy, máj
  - párhuzamos szekréció - pl. gyomor, fősejtek: pepszinogén, fedő-, vagy parietális sejtek: HCl, intrinszik faktor, mellék-, vagy felületi sejtek: mucin és HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>
- naponta 5-6 l emésztőnedv 
- nyáltermelés
  - 3 pár nagy nyálmirigy: gl. parotis, submandibularis, sublingualis + sok kicsi a szájüregben
  - funkció: nedvesen tartás (szájszárazság - szomjúság), mucin, lizozim, IgA, öblítés (dog-breath), amiláz 
  - szerózus és mucinózus acinus sejtek
  - NaCl visszaszívás miatt a nyál hipozmótikus 
  - főként paraszimpatikus beidegzés, szimpatikus hatásra sűrű, viszkózus nyál
  - feltétlen és feltételes reflexek - trombitás és citrom



## A gyomor szekréción működése

- a gyomorban párhuzamos emésztőnedv szekréción folyik, továbbá a G-sejtek gasztrint termelnek
- a nedv savas és izomtónikus
- a savas pH funkciója: pepszin optimuma, táplálék kémiai megtámadása (denaturálás), baktériumok elpusztítása
- a fedősejtek membránja mély betüremkedéseket (canaliculus) hoz létre, itt vannak a H-K-ATPáz molekulák -  $10^6$  koncentrációgradienst hoznak létre - ez a rekord ( $\text{Cl}^-$  és  $\text{K}^+$  csatornán át lép ki)
- a  $\text{H}^+$  forrása  $\text{CO}_2$  és víz (szénsavanhidrát,  $\text{HCO}_3^- / \text{Cl}^-$  csere) 
- serkentés: vagus (m-ACh), gasztrin, hisztamin
- kefalikus, gasztrikus, intesztinális fázis
- gátlás: sósavszint, 10 C-nél hosszabb zsírsavak a vékonybélben
- fősejtek szekréciónjának fokozása n-ACh, sósav 

## A hasnyálmirigy szekréciónja

- nélkülözhetetlen az emésztéshez
- szekvenciális szekréción - acinus sejtek: aktív enzimek ( $\alpha$ -amiláz, lipáz, DNáz, RNáz), proenzimek (tripszinogén, kimotripszinogén, prokarboxipeptidázok, profoszfólipáz, stb.); kivezetőcső: nagy mennyiségű, magas  $\text{HCO}_3^-$  tartalmú (lúgos) váladék
- $\text{CO}_2$  -  $\text{HCO}_3^-$  és  $\text{H}^+$  (szénsavanhidrát),  $\text{Na}^+ / \text{H}^+$  antiporter,  $\text{Na}^+$ -pumpa, apikálisan  $\text{HCO}_3^-$  leadás
- Vater-papilla csúcsán az epevezetékekkel együtt szájadzik a bélbe
- enteropeptidáz (enterokináz) aktiválja a tripszint, az pedig az összes többit (van tripszinhibitor) - gyulladás során korán aktiválódhat - nekrozis - halál
- acinus sejtek aktiválása: CCK, m-ACh, VIP, szekretin - utóbbi serkenti a  $\text{HCO}_3^-$  szekréción

## A máj működése

- szekréciós (epesavas sók) és exkréciós (bilirubin, koleszterin, mérgek, gyógyszerek, hormonok, stb.) működés
- parenchyma sejtek (75%) és epecsatornák hámsajtjei (25%) termelik, utóbbiak az elektrolitokat adják le
- szinuszoidok nagy pórusú endotellel, köztük egy sejtsoros parenchyma lemez - összefekvő májsejtek között epecanaliculus, két oldalán szoros illeszkedés - sérülése esetén sárgaság
- epehólyagban koncentrálódik az epe, naponta 3-szor 20-30 ml ürül
- a bélbe kerülő epesavas sók 95%-a visszaszívódik
- a bilirubin sterkobilinné alakul a bélben - széklet barna színe

## Lebontás és felszívódás I.

- a bejutó szénhidrát teljesen lebomlik és felszívódik, a fehérjék és zsírok több, mint 90%-a
- szénhidrátok és fehérjék emésztése kétlépcsős a bélhámsejtek felszínén lévő enzimek (oligoszacharidázok, exopeptidázok) fejezik be a lumenális emésztést
- a felszívást nagyrészt a  $\text{Na}^+$  gradiense működteti
  - bazolaterális  $\text{Na}^+$ -pumpa
- szénhidrátok:
  - $\alpha$ -amilázok az 1-4 kötést bontják, 1-6-ot nem
  - nem bontják a laktóz  $\beta$ -galatozid kötését sem, csak a  $\beta$ -galatozidáz - hiányában laktózintolerancia
  - glukóz és galaktóz  $\text{Na}^+$  kotranszporttal, fruktóz GLUT-5-el - lassabb, mert nem közvetett aktív transzport
  - bazolaterális membránon GLUT-2 viszi át mindet
  - a növényi rostok egy részét a baktériumok bontják, de ez nem hasznosítható, és gázfejlődéssel jár


## Lebontás és felszívódás II.

21/23


- **fehérjék:**
  - endopeptidázok (pepszin, tripszin, kimotripszin, elasztáz) és exopeptidázok (karboxipeptidázok) liminálisan aminosavakra és kisebb peptidekre bontják
  - bélhámsejtek felszínén sokféle membránpeptidáz
  - átjutás aminosav (70-75%) és di-, illetve tripeptid (25-30%) formájában legnagyobb részt csoportspecifikus Na<sup>+</sup> kotranszporterekkel, kisebb részben facilitatív transzporterekkel
  - bazolaterálisan facilitatív transzporterek
- **B<sub>12</sub>-vitamin:**
  - fehérjéhez kötődve szívódik fel, ezért került ide
  - szükséglet napi 1-2 mikrogram - májban több éves tartalék
  - gyomorban R-proteinhez kapcsolódik, duodenumban R lebomlik, ellenálló intrinszik faktorhoz kapcsolódik
  - ileumban receptor indukálta endocitózis, vérben transzkobalamin II szállítja
  - vészes vérszegénység főleg intrinszik faktor hiányában

## Lebontás és felszívódás III.

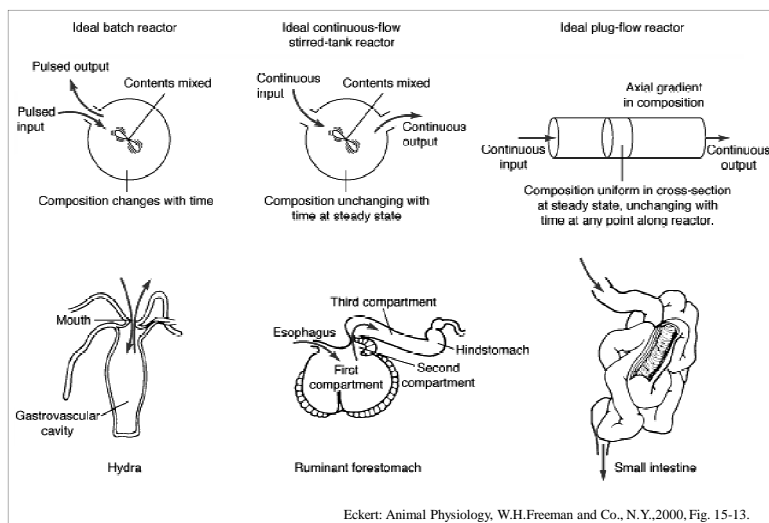
22/23

- **lipidek:**
  - vízben nem oldódnak, bontás csak lipid-víz határfelületen lehetséges micellák az epesavas sók segítségével
  - legfontosabb a hasnyálmirigy lipáza, általában csak 1,3 zsírsav hasítást végez
  - a micellákból a zsírsavak, 2-monogliceridek a bélhám sejtbe lépnek
  - ugyancsak a micellákban oldódnak, és onnan szívódnak fel a zsírolékony vitaminok (DEKA) - epesavas sók hiányában véralvadás zavar K-vitamin hiány miatt
  - a sejtben a zsírok újraszintetizálódnak (ER) és lipoproteineket alkotnak - ezekben trigliceridek, foszfolipidek, koleszterin és észterei, valamint apoproteinek vannak
  - sűrűség szerint VLDL, LDL, HDL lipoproteinek vannak
    - a legnagyobbak a kilomikronok
  - a Golgiból exocitózis útján a nyirokerekekbe jutnak 
  - lipoproteinek a májban is keletkeznek

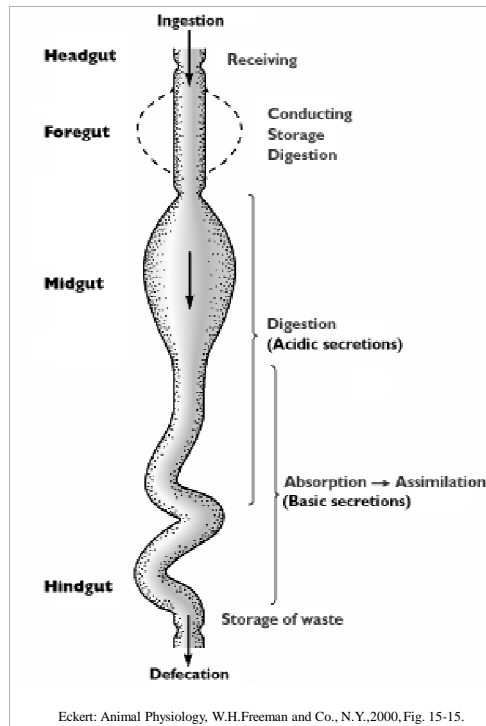
## Lebontás és felszívódás IV.

- **kalcium:**
  - részben paracellulárisan, nagyobb részt azonban aktív transzporttal szívódik fel
  - szabályozás: kalcitriol (1,25-dihidroxi-D<sub>3</sub>-vitamin)
  - bejutás ismeretlen módon - kalciumkötő fehérje - aktív transzport bazolaterálisan; a vitamin főleg a kötőfehérje mennyiségét növeli
- **vas:**
  - az enterocitában ferritin formájában tárolódik, a vérben transferrinhez kötődik - ha az enterocita telített, nem vesz fel több vasat
  - férfiaknak napi 1, nőknek (menstruáció) 2-3 mg vas kell - a veszteséget a lelökődő enterociták okozzák
- **víz és NaCl:**
  - a bazolaterális Na<sup>+</sup>-pumpa hajtja a Na<sup>+</sup> felvételt - apikálisan Na<sup>+</sup> csatorna - mennyiségét az aldosteron szabályozza
  - Cl<sup>-</sup> és víz passzívan követi 

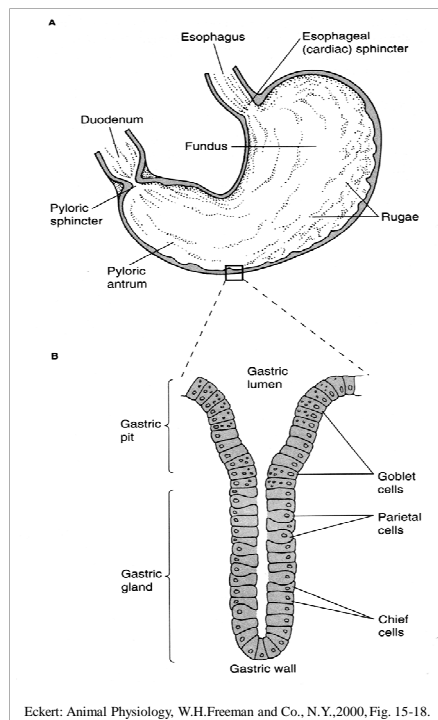
## Reaktor típusok



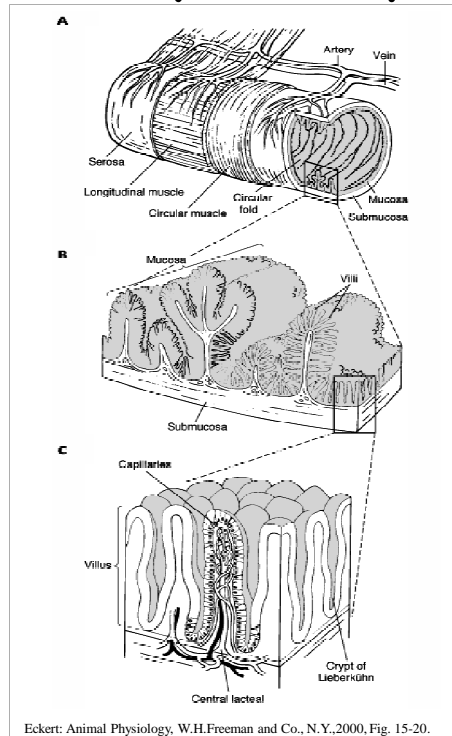
# A bélcsatorna részei



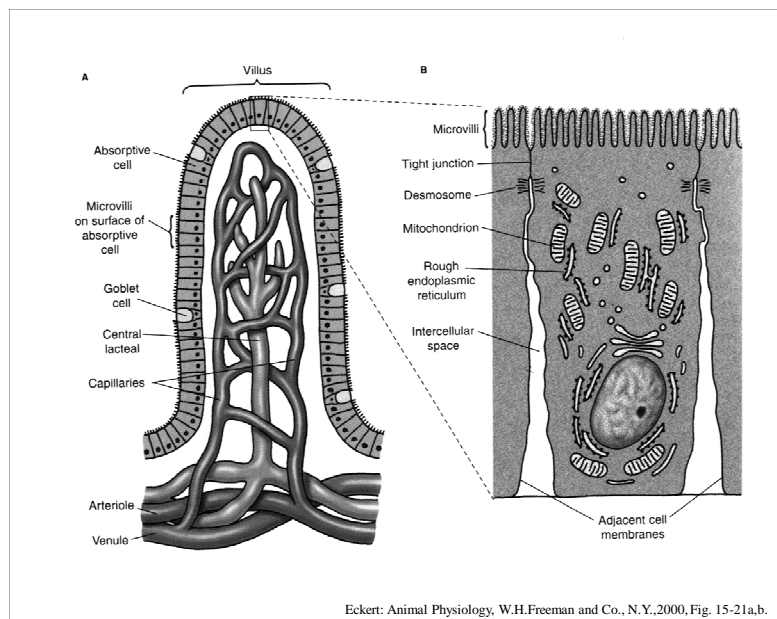
# Az egyszerű gyomor



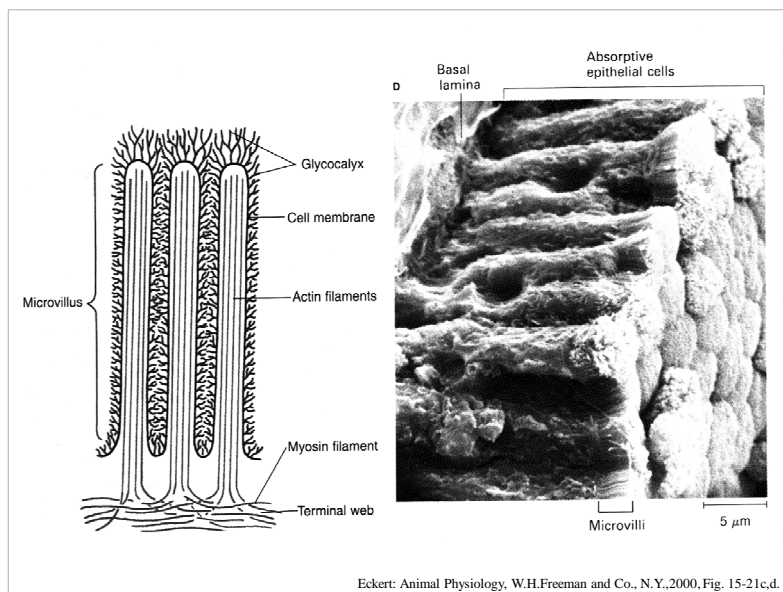
# A vékonybél felépítése



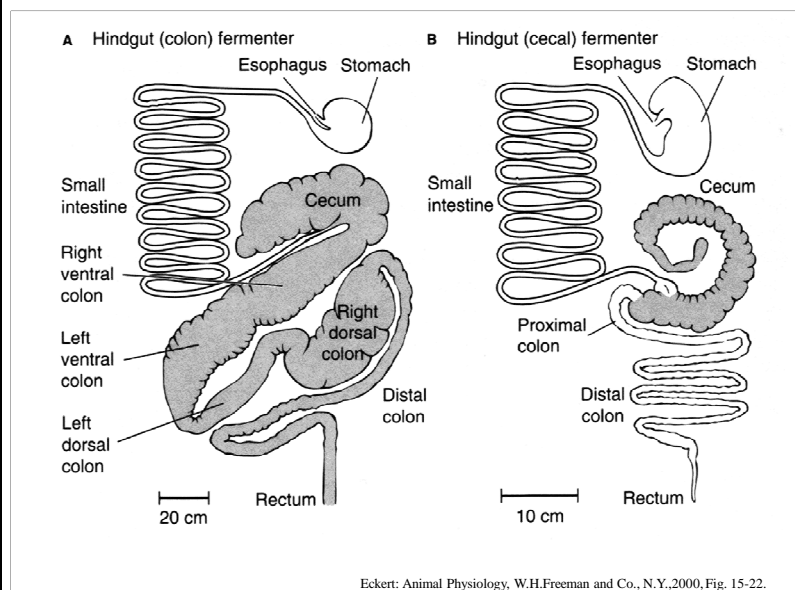
# A bélboly szerkezete



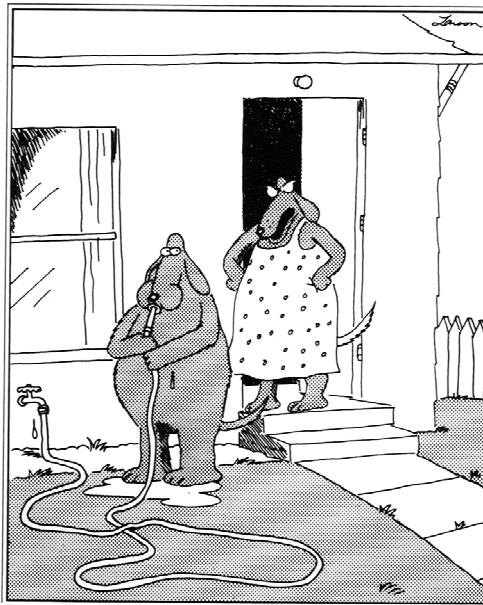
# A kefeszegély



# A fermentáció helye



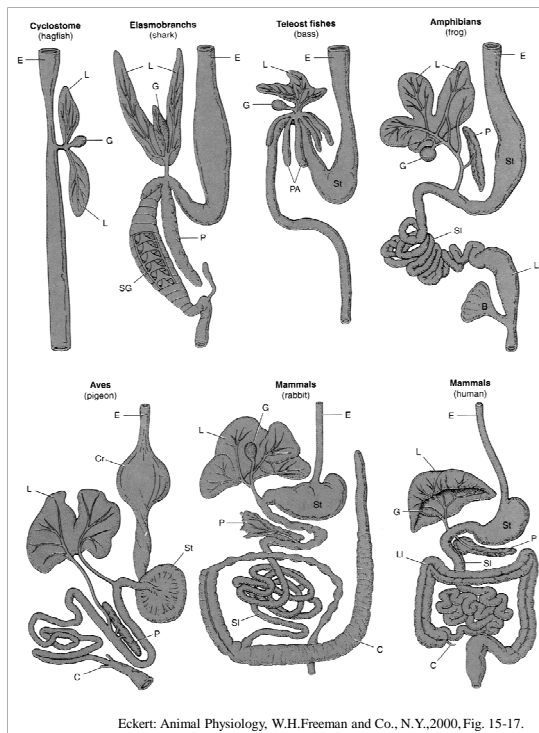
# Magatartási kontroll



"So! Planning on roaming the neighborhood with some of your buddies today?"

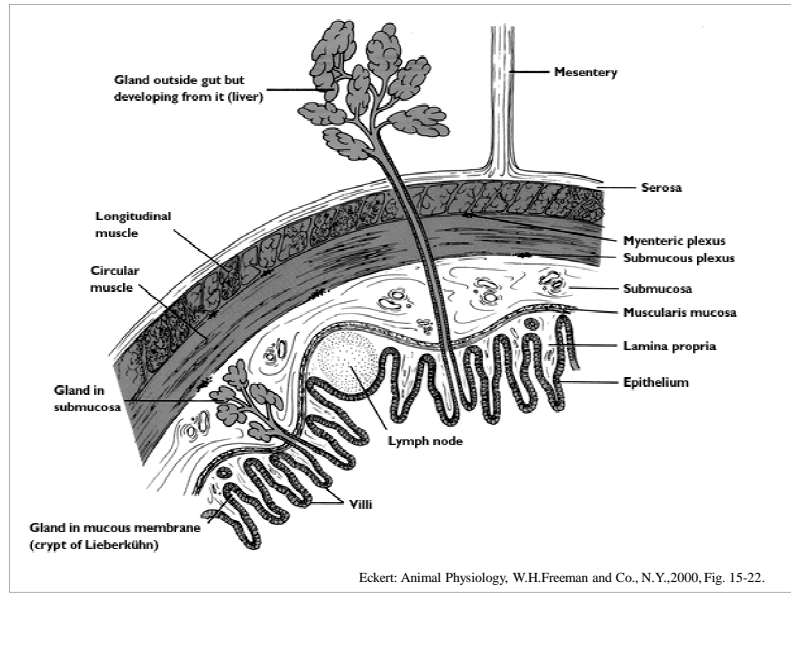
The Far Side Gallery 3, G.Larson, Andrews and McMeel, Kansas City, 1994, p..21.

# Gerinces emésztőrendszerek

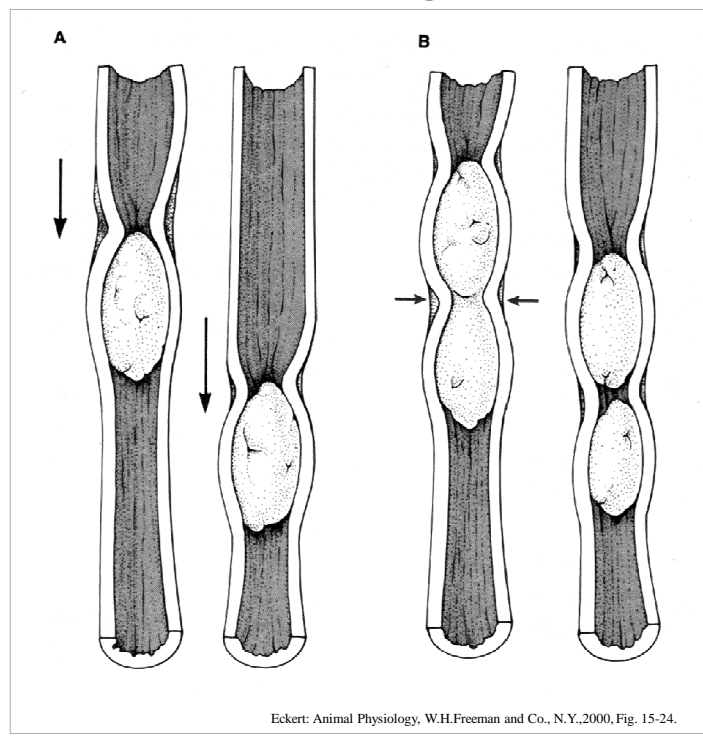




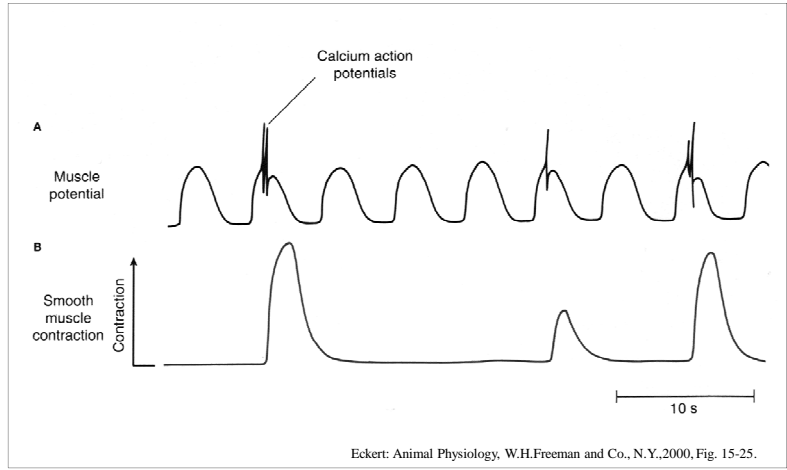
## A tápcsatorna keresztmetszete



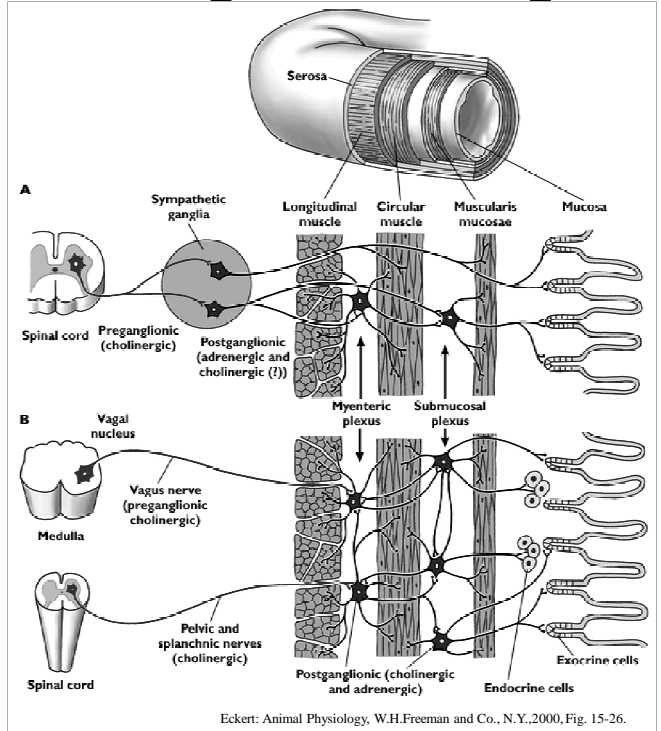
## A bél mozgásai



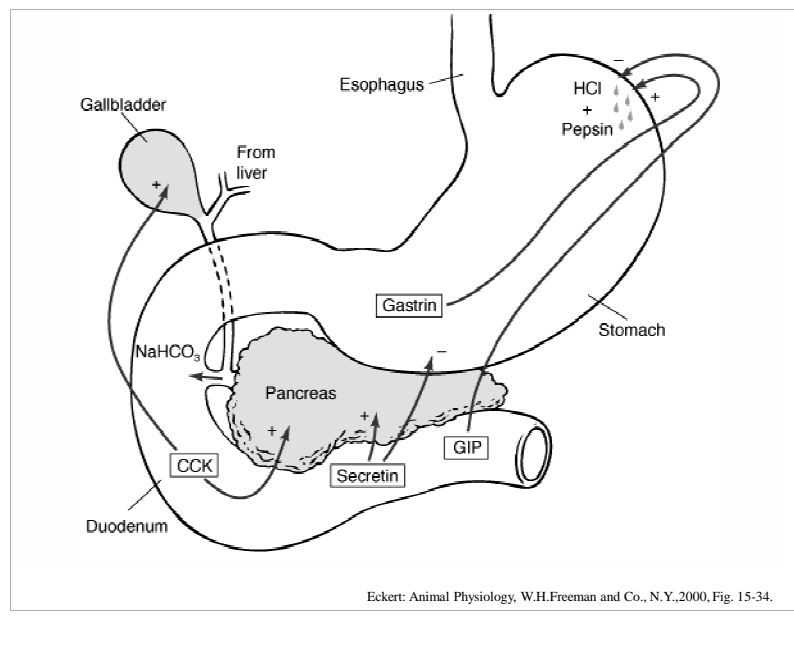
# Bazális elektromos ritmus



# A bél vegetatív beidegzése



## Gasztrointesztinális hormonok



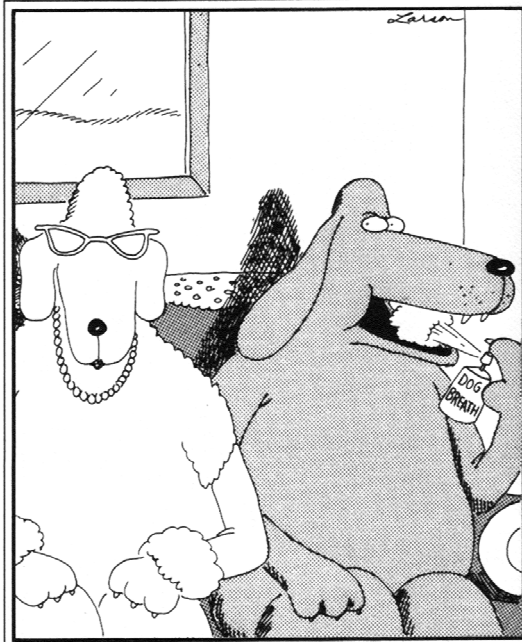
## A bélcsatorna emésztőnedvei

Region	Secretion	Daily amount (L)	pH	Composition*
Buccal cavity				
Salivary glands	Saliva	1+	6.5	Amylase, bicarbonate
Esophagus				
Stomach	Gastric juice	1-3	1.5	Pepsinogen, HCl, rennin in infants, "intrinsic factor"
Pancreas	Pancreatic juice	1	7-8	Trypsinogen, chymotrypsinogen, carboxy- and aminopeptidase, lipase, amylase, maltase, nucleases, bicarbonate
Gall-bladder	Bile	1	7-8	Fats and fatty acids, bile salts and pigments, cholesterol
Duodenum	'Succus entericus'	1	7-8	Enterokinase, carboxy- and aminopeptidases, maltase, lactase, sucrase, lipase, nucleases
Jejunum				
Ileum				
Cecum				
Colon				
Rectum				

\*Excluding mucus and water, which together make up some 95% of the actual secretion.

Eckert: Animal Physiology, W.H.Freeman and Co., N.Y.,2000, Fig. 15-29.

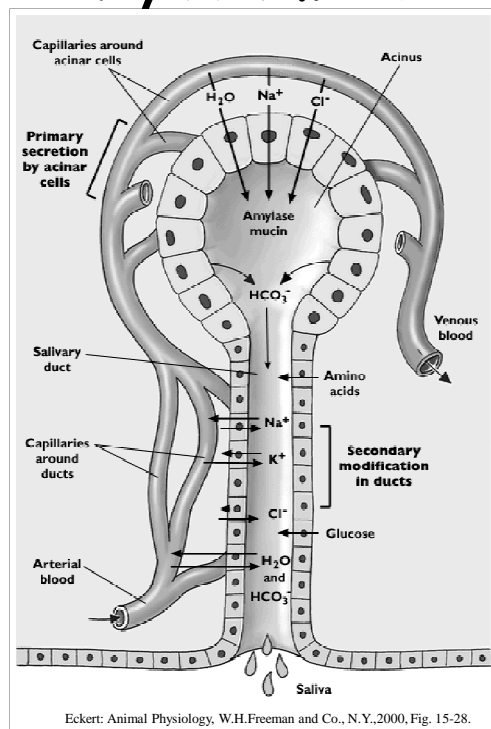
# A nyál öblítő funkciója



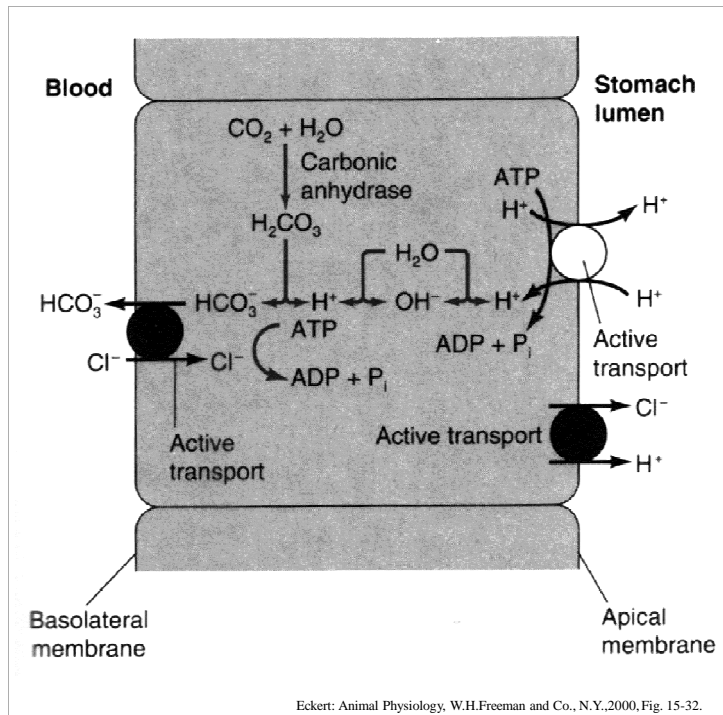
Rusty makes his move.

The Far Side Gallery 3, G.Larson, Andrews and McMeel, Kansas City, 1994, p.24.

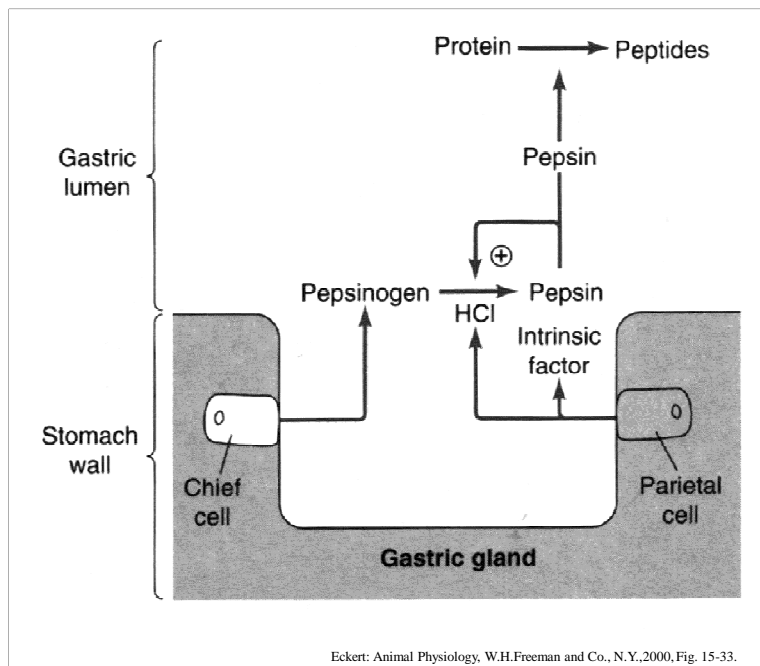
# Nyáltermelés



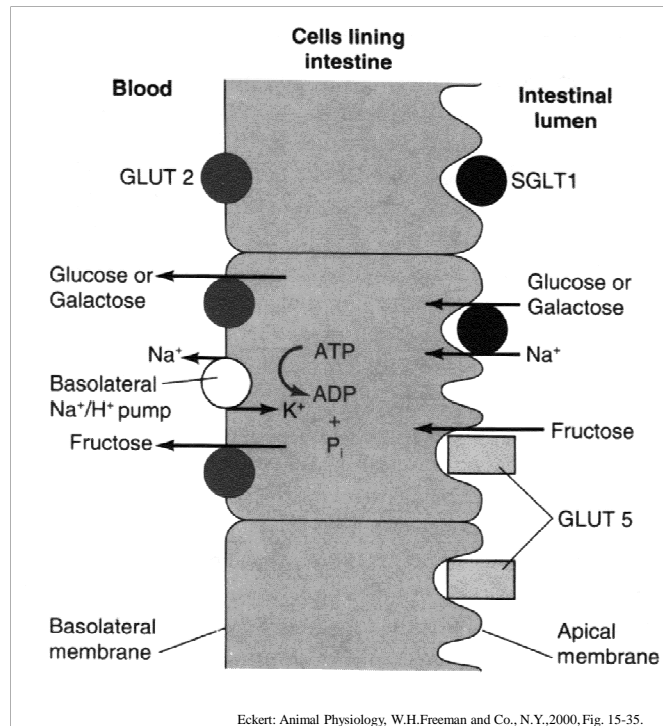
## HCl szekréció a gyomorban



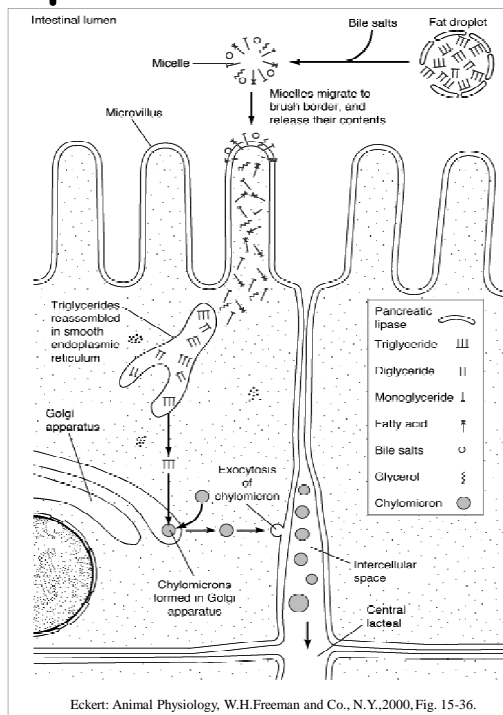
## Pepszinszekréció a gyomorban



# Cukor felvétel a bélben



# Lipidfelvétel a bélben



# Folyadékegyensúly a bélben

