

Figur 161. Skematisk oversigt over fordøjelsessystemet.

Længde	pH-værdi	Passagetid i timer	Fordøjelseskana- lens afsnit	Fordøjelsessekreter	Stoffer der optages
Ca. 40 cm	Ca. 7		Mund, svælg og spiserør	Vand, mucin, amylase, lipase, lysozym og hydrogencarbonat	Alkohol
Ca. 30 cm	1-3	2-3	Mavesæk	Vand, mucin, pepsin, lipase og saltsyre	Alkohol
25-30 cm	5-7		Tyndtarm	Galde Enzymer, hydrogencarbonat	Alkohol, monosakkarider, aminosyrer, fedtsyrer, monoglycerider, fosfolipidrester, glycerol, kolesterol, vitaminer, mineraler, vand
4-5 m	Ca. 7	5-7	Tyktarm	Vand, mucin, hydrogencarbonat	
1,5 m	Ca. 7	15-20	Tyktarm	Mucin	Vitaminer, mineraler, vand, korte fedtsyrer dannet af bakterier
Samlet længde ca. 7 m		Samlet passagetid 24-30 timer	Afføring		

Fordøjelsessystemets opgaver

Det er fordøjelsessystemets opgave at optage stofferne der er nævnt i foregående afsnit, men ikke alle kan dog optages umiddelbart. Maden skal først behandles såvel mekanisk som kemisk.

Fordøjelsessystemets opgaver er derfor at:

- Findele maden mekanisk
- Nedbryde madens bestanddele kemisk ved hjælp af enzymer
- Optage de stoffer cellerne har behov for fra fordøjelseskana-

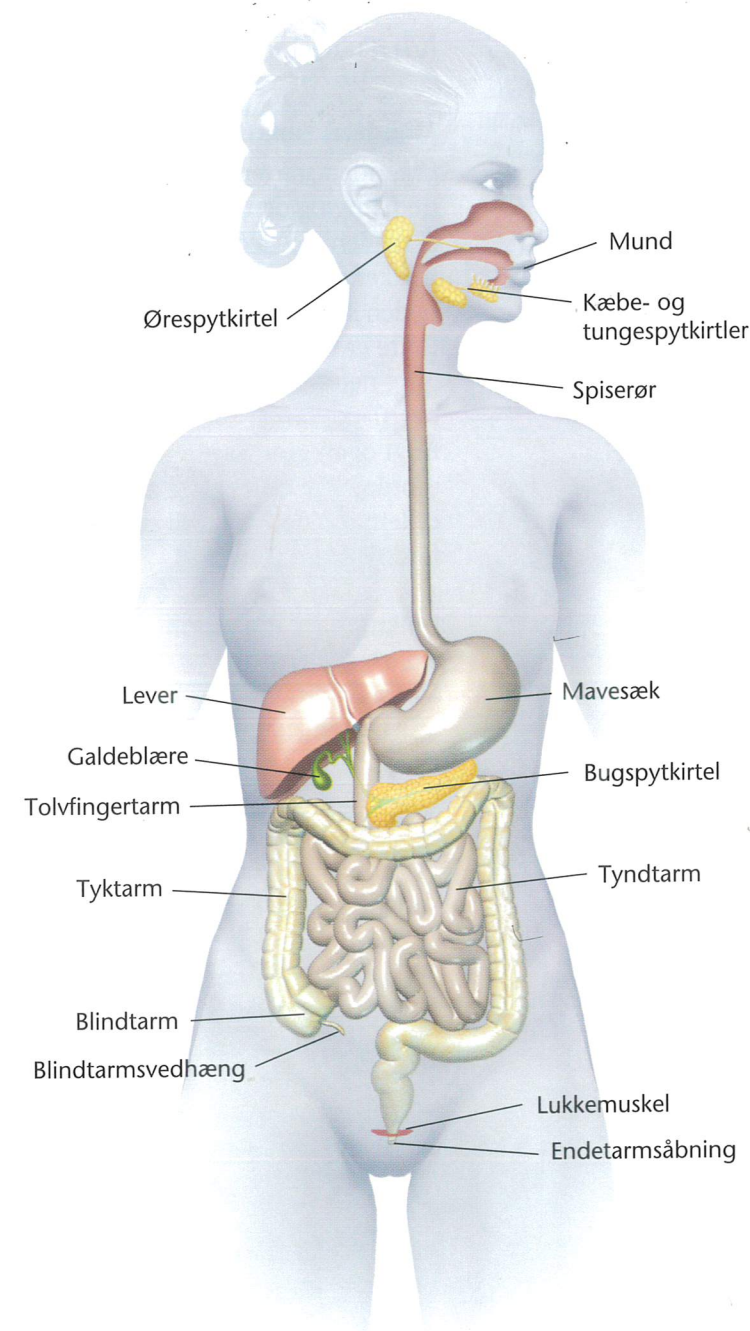
Figur 161 giver en oversigt over hvad der sker i fordøjelsessystemet.

Fordøjelsessystemets opbygning

Fordøjelsessystemet består af fordøjelseskana-len og de dertil knyttede organer – spytkirtlerne, bugspytkirtlen, leveren og galdeblæren – der via deres udførselsgange udtømmer sekreter i kanalen. Fordøjelsessystemets funktion reguleres via hormoner og via det autonome nervesystem, se side 19.

Fordøjelseskana-len er en indkrængning af kroppens ydre overflade forbundet med om-givelserne i begge ender. Det betyder at selve fordøjelseskana-len egentlig ikke hører til de indre organer, da den befinder sig uden for kroppen. Fordøjelseskana-len der starter med munden og slutter med endetarmen, er delt op i forskellige afsnit: mund, spiserør, mave-sæk, tyndtarm, tyktarm og endetarm, se figur 162.

Afsnittene der hver har deres helt speciel-le funktion i fordøjelsen af maden, er adskilt af ringmuskler. Fordøjelseskana- lens samlede længde er ca. 7 meter.



Figur 162. Fordøjelsessystemet.

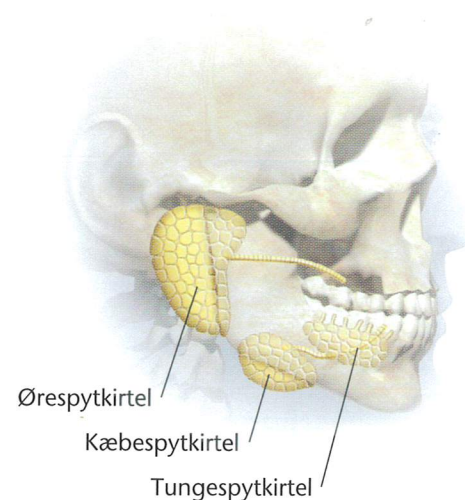
Munden og spiserøret

Mundens funktion

I munden starter både den mekaniske findeling og den kemiske nedbrydning af maden. Fortænderne skærer maden i stykker, mens kindtænderne knuser den, så den samlede overflade bliver større. Dette er vigtigt da den kemiske nedbrydning netop foregår fra madpartiklernes overflade. Det er især vigtigt at tygge frugt og rå grøntsager grundigt, så de ufordøjelige cellevægge ødelægges, og celleindholdet bliver tilgængeligt for fordøjelsesenzymerne.

I tilknytning til mundhulen findes tre store spytkirtler i hver side af munden – ørespytkirtlerne, kæbespytkirtlerne og tungespytkirtlerne, se figur 163. Disse store spytkirtler står tilsammen for omkring 90 % af spytproduktionen. Ud

Figur 163. Spytkirtlernes placering i højre side af ansigtet.



over disse store kirtler findes mange små spytkirtler i mundhulens væg. Tilsammen danner spytkirtlerne cirka 1,5 liter *spyt* i løbet af et døgn.

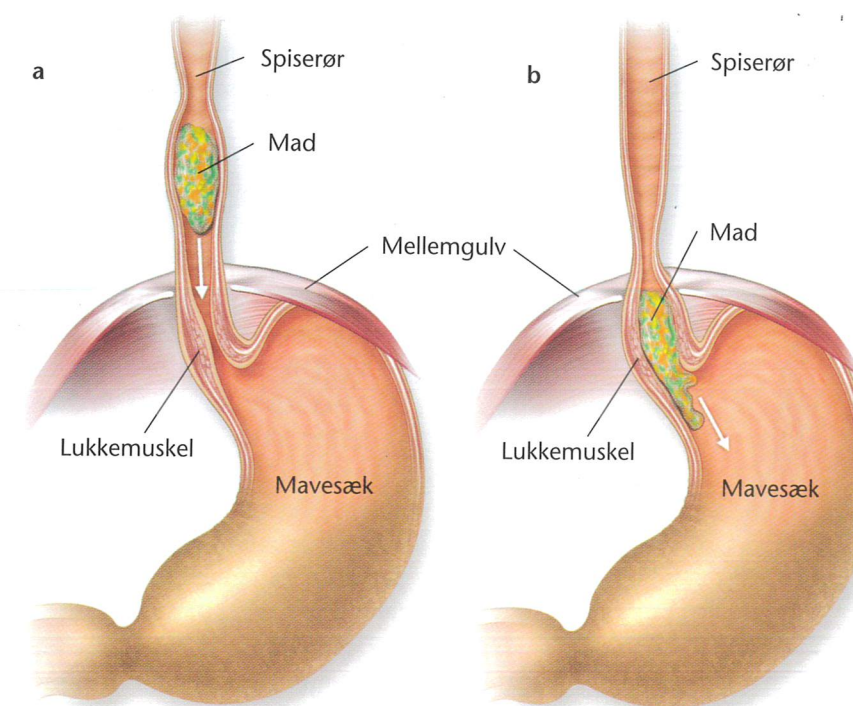
Langt det meste dannes i forbindelse med måltiderne. Spytsekretionen er meget afhængig af kroppens overordnede vandbalance. Er kroppen i vandunderskud, falder spytsekretionen – mund og svælg bliver tørre, og man føler tørst.

Over 99 % af spytet er vand, men det indeholder også en lang række andre komponenter af stor betydning. Det drejer sig blandt andet om:

- Et slimdannende glycoprotein, mucin, der letter tygning og synkning af maden
- Amylase, der er et stivelsesspaltende enzym
- Lipase, der er et fedtspaltende enzym
- Lysozym, der er et enzym som bekæmper bakterier i mundhulen sammen med antistoffer
- Hydrogencarbonat (HCO_3^-), der neutraliserer den syre som dannes af bakterier i mundhulen

Synkning

Når maden er blevet tilstrækkeligt tygget og blandet med spyt, har den fået en tyktflydende konsistens som gør den nem at synke. Synkeprocessen starter med at tungen skubber en klump tygget mad bagud i svælget. Dette udløser en række reflekser der blandt andet medfører at adgangen til luftrøret lukkes. Herefter føres maden gennem spiserøret til mavesækken ved peristaltiske muskelbevægelser, se figur 164. Musklerne i spiserørets væg består af et indre cirkulært og et ydre længdegående lag. Disse muskellag findes også i mavesækken og i tarmen.



Figur 164. Peristaltisk bevægelse i spiserøret. En kontraktion af spiserørets cirkulære muskellag bag madklumpen skubber den fremad.

Mavesækken

Den vigtigste forandring der er sket med maden, når den ankommer til mavesækken, er at den er blevet findelt ved tygning. Spyttets enzymer har på dette tidspunkt virket så kort tid at der næsten ikke er sket nogen nedbrydning af stivelse og fedt. I tom tilstand er mavesækkens rumfang kun omkring 50 mL.

Mavesækkens opbygning og funktion

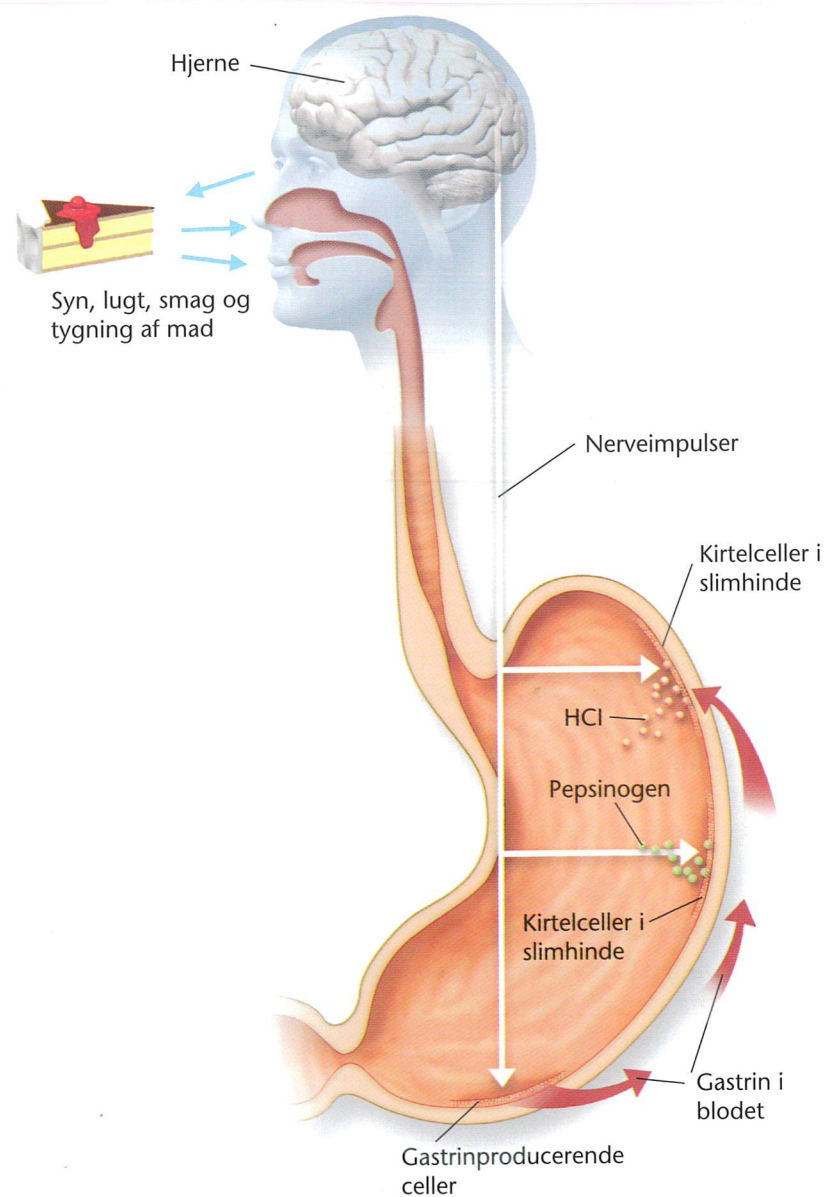
Mavesækkens væg indeholder de samme muskellag som beskrevet for spiserøret, se figur 164. De vigtigste funktioner for mavesækkens muskulatur er at:

- Regulere mavesækkens størrelse afhængig af fyldningsgraden, så den kan fungere som lager for store mængder mad under og umiddelbart efter et måltid
- Ælte maden ved hjælp af muskelsammentrækninger, så den bliver findelt og blandet med mavesaften
- Tømme maveindholdet over i tyndtarmen

Kirtelceller i mavesækkens slimhinde danner omkring 2 liter *mavesaft* i døgnet, se figur 165, næste side. Mavesaftens vigtigste bestanddele er:

- Mucin
- Pepsinogen
- Gastrisk lipase
- Saltsyre (HCl)

Figur 165. Ved synet, lugten, smagen eller blot tanken om mad udskiller mavesækken mavesaft og hormonet gastrin.



Mucin danner et beskyttende slimlag der dækker maveslimhinden og beskytter den mod syre og enzymer.

Pepsinogen er et inaktivt forstadium af det aktive proteinspaltende enzym pepsin. Enzymet dannes i den inaktive form for ikke at skade de celler der danner det.

Pepsinogen omdannes til pepsin af det sure miljø i mavesækken. Pepsin er kun aktivt ved pH under 3,5.

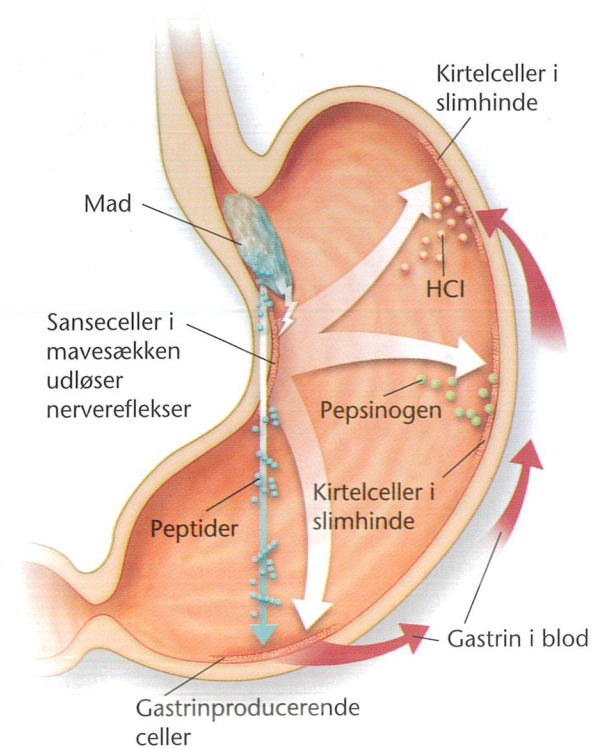
Gastrisk lipase er et fedtspaltende enzym der er aktivt i det sure miljø i mavesækken.

Saltsyrens funktioner er at aktivere pepsinogen til pepsin, at gøre maveindholdet surt, så pepsin og gastrisk lipase virker optimalt, at nedbryde bindevæv og musklevæv i maden, og endelig at dræbe de bakterier der findes i maden.

Udskillelsen af mavesaft er reguleret, så den er størst under og efter et måltid. Allerede inden maden er kommet ned i mavesækken, stimulerer synet, lugten og smagen af mad kirtelceller i mavesækken til at producere saltsyre, pepsinogen og lipase. Stimuleringen foregår direkte via nerveimpulser fra hjernen og via hormonet gastrin, som også produceres af mavesækken, se figur 165. Når maden kommer ned i mavesækken, udvides denne, og samtidig starter nedbrydningen af proteiner til peptider. Disse forandringer stimulerer til yderligere dannelse af saltsyre og enzymer, igen via nervereflekser og hormonet gastrin, se figur 166. Koffein og alkohol stimulerer også gastrindannelsen. På trods af den kraftigt øgede syredannelse i forbindelse med måltidet, er pH i mavesækken højere nu end mellem måltiderne. Det skyldes at madens proteiner og peptider er med til at dæmpe syrevirkningen.

Af figurene 165 og 166 ses at den nervebaserede stimulering til udskillelsen af saltsyre og enzymer vil falde bort, når måltidet er slut, og maden er fordøjet. Der findes dog en mere aktiv negativ feedbackmekanisme til at drosle produktionen ned, se figur 167.

Når pH-værdien i mavesækken når

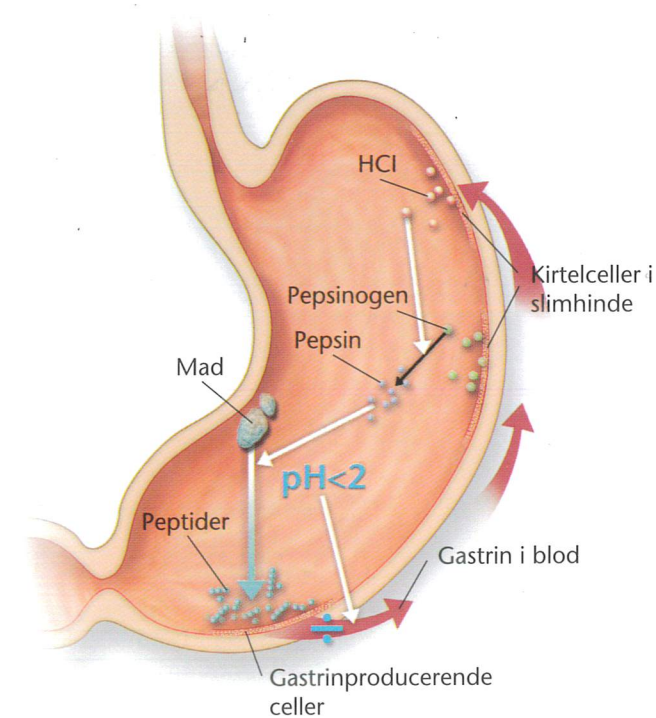


Figur 166. Madens udvidelse af mavesækken og dannelsen af peptider stimulerer til yderligere dannelse af mavesaft og gastrin.

under 2, hæmmes gastrinproduktionen hvorved den hormonelle stimulering til dannelse af mavesaft bortfalder. Denne negative feedbackmekanisme er vigtig for at undgå beskadigelser af mavesækkens slimhinde forårsaget af syren – især mellem måltiderne. Se oversigten over mavesækkens og tyndtarmens hormoner på figur 171, side 165.

Enzymernes arbejde i mavesækken

I den øverste del af mavesækken er muskelsammentrækningerne svage, og maden lægger sig lagdelt i den rækkefølge

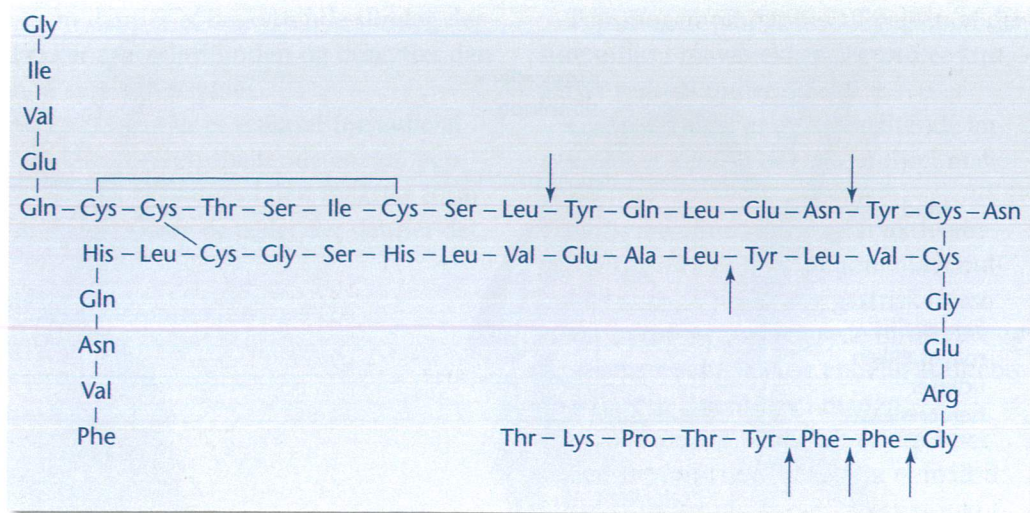


Figur 167. Negativ feedbackmekanisme der beskytter mavesækken mod for lave pH-værdier.

den er spist. Det betyder at den ikke påvirkes af mavens syre, og spyttets enzymer er derfor stadig aktive.

Muskelsammentrækningerne er kraftigst i den nederste del af mavesækken, her sker en effektiv blanding af syre, pepsin, lipase og mad. Det er derfor her pepsins spaltning af protein og lipasens spaltning af fedt foregår mest effektivt, mens spyttets enzymer ikke længere er aktive på grund af det sure miljø. Pepsin er særlig vigtigt ved nedbrydningen af det bindevæv der omgiver muskelcellerne i kød. På denne måde gør pepsin cellerne tilgængelige for den videre ned-

Figur 168. Pepsin spalter proteiners peptidbindinger ved siden af aminosyrerne tyrosin (Tyr) og phenylalanin (Phe).



brydning i tyndtarmen. Pepsin nedbryder ikke proteinerne fra en ende af, men spalter peptidbindinger ved siden af bestemte aminosyrer inde i aminosyrekæden, se figur 168. Resultatet er kortere peptidkæder.

Gastrisk lipase spalter triglycerider i mono- og diglycerider samt fede syrer, se figur 177, side 170. De fede syrer indleder emulgeringen af madens fedtpartikler, og processen fuldføres af galdesaltene i tyndtarmen, se side 170 f.

I takt med at portioner af maveindholdet lukkes over i tyndtarmen, synker maden fra den øvre del af mavesækken længere ned hvor den blandes med mavesaften. Efter 2-3 timer er mavesækkens bearbejdning af maden normalt færdig, og hele indholdet er tømt over i tyndtarmen i små portioner. Drikkevarer er dog ude af mavesækken langt hurtigere, mens fed mad hæmmer mavesækkens tømning via hormonetolecystokinin fra tolvfingertarmen, se figur 171.

Tyndtarmen

Når maveindholdet ankommer til tyndtarmen, er det en sur halvtflydende blanding hvor de største partikler nu er under 1 millimeter store. Snytamylasen har nedbrudt op til 40 % af stivelsen, mens mavesækkens pepsin kun har nedbrudt 10-15 % af madens proteiner til peptider. Lipaserne har nedbrudt 15-20 % af fedtindholdet. Endnu er ingen af de næringsstoffer, vitaminer eller mineraler kroppen har brug for, blevet optaget. Alkohol er dog i et vist omfang blevet optaget gennem mundens, spiserørets og mavesækkens slimhinder, se side 195.

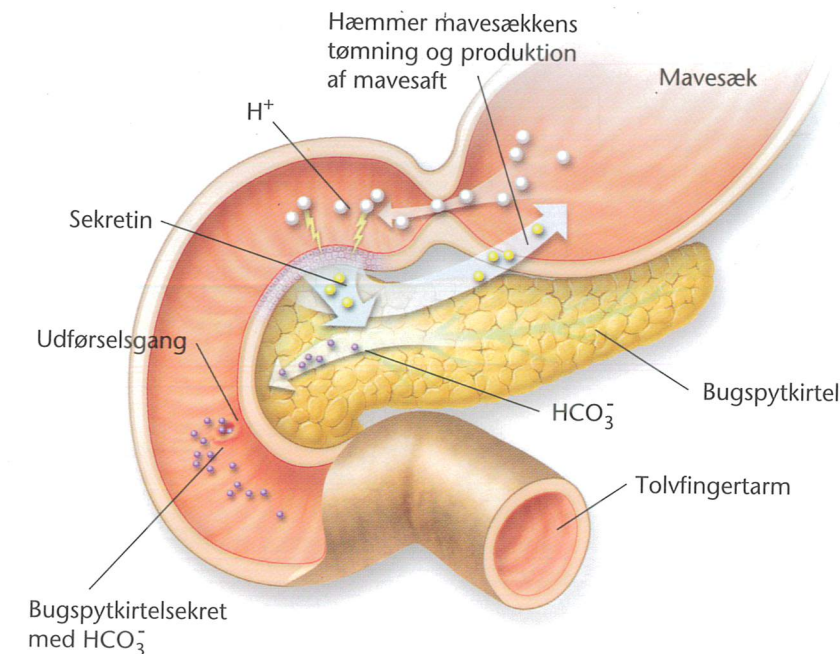
Tyndtarmens opgaver er derfor at:

- Færdiggøre nedbrydningen af maden
- Optage næringsstoffer, vitaminer og mineraler

Den endelige nedbrydning af maden sker ved hjælp af enzymer fra bugspytkirtlen, galde fra leveren og tyndtarmens egne enzymer. Enzymerne sidder i tyndtarmslimhindens cellemembraner.

Surhedsgraden, pH, i tyndtarmen er reguleret ved negativ feedback, se figur 169. Når det sure maveindhold med lavt pH lukkes ind i tyndtarmens øverste del, tolvfingertarmen, udløser det en udskillelse af hormonet sekretin fra celler i tarmvæggen, se figur 171. Sekretin stimulerer bugspytkirtlen til at udskille det basiske hydrogencarbonat, HCO_3^- . Hydrogencarbonat neutraliserer syren i tarmindholdet og får pH til at stige, herved aftager stimuleringen af de sekretinproducerende celler. Tarmindholdet i tyndtarmen er neutralt med pH tæt på 7.

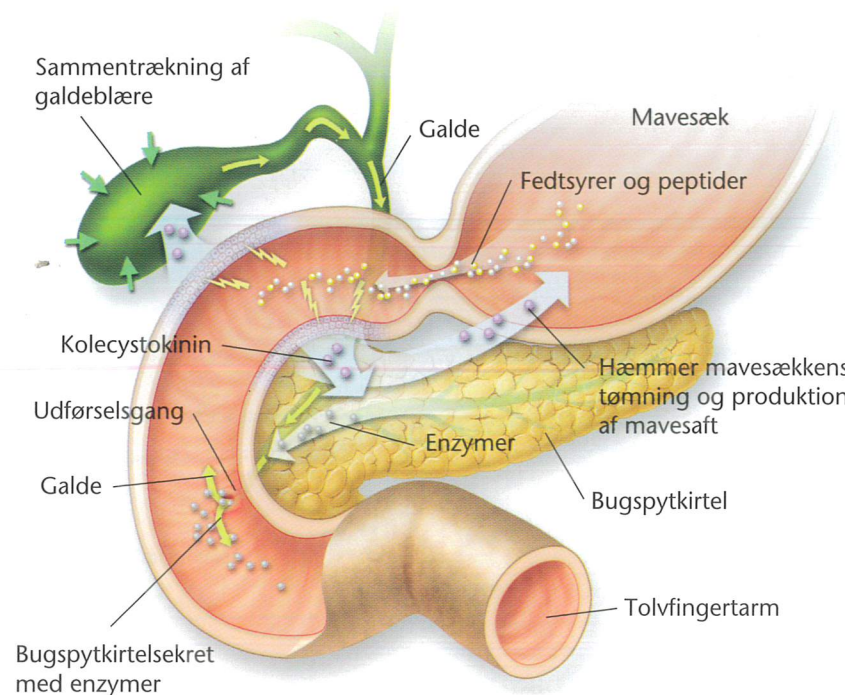
Bugspytkirtlens udskillelse af enzymer er også reguleret ved negativ feedback, se figur 170 på næste side. Fedt, aminosyrer og peptider i tolvfingertarmen udløser udskillelse af hormonetolecystokinin fra celler i tarmvæggen, se figur 171.olecystokinin stimulerer bugspytkirtlen til at udskille protein-, fedt- og kulhydratnedbrydende enzymer. Enzymudskil-



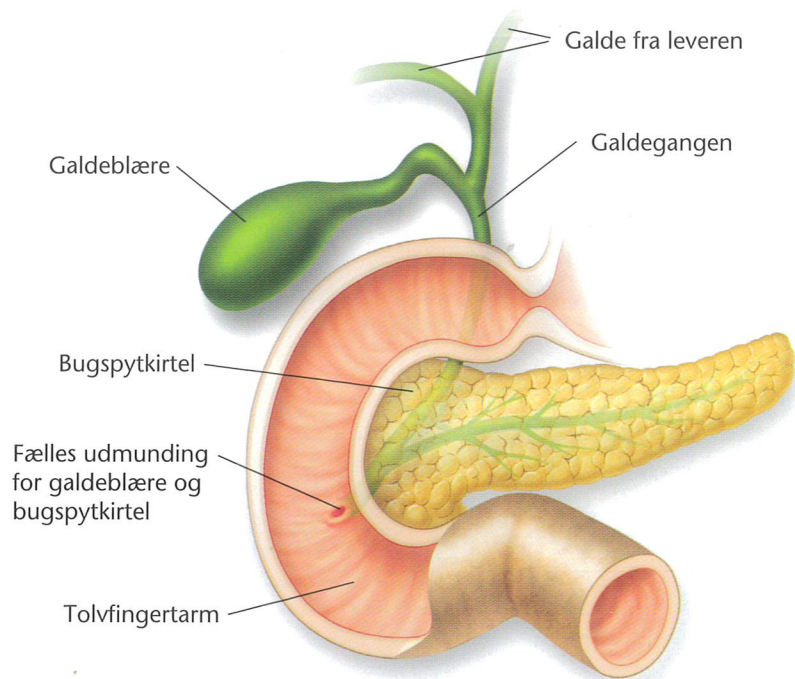
Figur 169. Hormonel regulering af bugspytkirtlens udskillelse af HCO_3^- og dermed af pH i tolvfingertarmen.

Figur 171. Oversigt over fordøjelsessystemets hormoner.

Hormon	Dannelsessted	Udskillelse stimuleres af	Udskillelse hæmmes af	Fremmer	Hæmmer
Gastrin	Celler i mavesækkens væg	Syn, lugt og smag via nerveimpulser Udspiling af mavesæk via nerve-reflekser Peptider i mavesækken	Lav pH (højt syreindhold)	Udskillelse af mavesaft med HCl og enzymer Udskillelse af HCO_3^- -holdigt bugspytt	Hæmmer ikke
Sekretin	Celler i tolvfingertarmens væg	Surt miljø i tolvfingertarmen		Udskillelse af HCO_3^- -holdigt bugspytt	Mavesækkens muskelbevægelser og dens tømning Udskillelse af mavesaft
olecystokinin	Celler i tolvfingertarmens væg	Fedtstoffer, peptider og aminosyrer i tolvfingertarm		Udskillelse af enzymholdigt bugspytt Udskillelse af galde	Mavesækkens muskelbevægelser og dens tømning Udskillelse af mavesaft



Figur 170. Hormonel regulering af bugspytkirtlens udskillelse af enzymer og af galdeblærens tømning.



Figur 172. Galdeblæren og bugspytkirtlen har en fælles udmunding i tolvfingertarmen.

lelsen fortsætter så længe der tilføres mad fra mavesækken.

Kolecystokinin stimulerer også galdeblærens sammentrækning og tømning. Figur 172 viser bugspytkirtlens og galdeblærens udmunding i tolvfingertarmen.

Bugspytkirtlen

Bugspytkirtlen er en sammensat kirtel der dels producerer hormonerne insulin og glukagon, se side 177 f, og dels bugspyt der udtømmes i tyndtarmens øverste del, tolvfingertarmen. *Bugspyt* består af det basiske hydrogencarbonat og af forskellige enzymer der katalyserer spaltningen af proteiner, fedtstoffer, polysakkarider, RNA og DNA. De proteinspaltende enzymer fra bugspytkirtlen udskilles i en inaktiv form som det var tilfældet med pepsin i mavesækken. Et af enzymerne, trypsin, udskilles som trypsinogen. Det aktiveres af et andet enzym der dannes i tolvfingertarmen. Det aktive trypsin kan herefter selv aktivere andre trypsinogenmolekyler. En selvforstærkende proces, der kaldes autokatalyse. Trypsin er et meget vigtigt enzym da det også er det, der aktiverer de øvrige proteinspaltende enzymer fra bugspytkirtlen, se figur 173. Der produceres omkring 1,5 liter bugspyt i døgnet.

Galde

Galden er en gullig væske der udskilles fra leveren, den opbevares og opkoncentreres i galdeblæren på leverens underside.

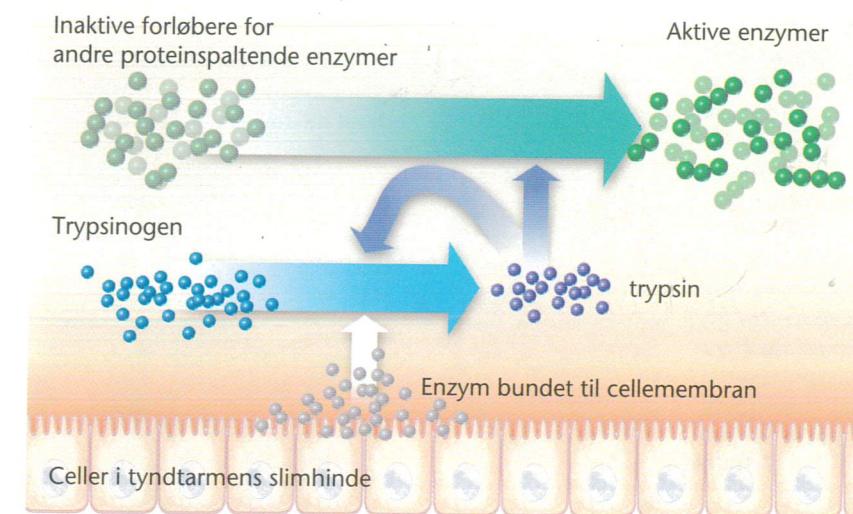
Galden består af galdefarvestoffer der stammer fra nedbrydningen af hæmoglobin, og af galdesalte. Som alle andre salte består galdesalte af en positiv og en negativ ion. I galdesaltene er den positive ion

en uorganisk metalion, fx Na^+ , mens den negative ion er en organisk ion dannet ud fra kolesterol. Galdesaltene organiske ioner har således en negativt ladet vandopløselig del, men de har også en upolar fedtopløselig del. Denne opbygning gør dem i stand til at fungere som *emulgeringsmiddel* for madens fedtindhold, se figur 178, side 171. Normalt vil fedtet i maden ikke blandes med vandet i tarmen men samles i store fedtdråber. Det er uheldigt i forbindelse med den enzymatiske nedbrydning da enzymerne angriber fra fedtdråbernes overflade. Her kommer galdesaltene til hjælp. Den fedtopløselige del af galdesaltionerne vil opløses i fedtdråbernes overflade, mens den negative vandopløselige del af ionerne vil stikke ud af fedtdråberne og give dem et vandopløseligt overfladelag. Herved er fedtdråberne gjort vandopløselige. Når fedtdråberne opsplittes i mindre dråber ved tarmens æltebevægelser, vil de ikke længere finde sammen igen da deres negative overflader frastøder hinanden. Fedtdråberne vil derfor blive opdelt i mindre og mindre dråber. Herved får de fedtnedbrydende enzymer, lipaserne, en større og større overflade at angribe på, se side 170 f.

Tyndtarmens opbygning og funktion

Tyndtarmens væg indeholder de samme muskellag som beskrevet for spiserøret og mavesækken, se figur 164, side 161. De vigtigste funktioner for tyndtarmens muskulatur er at:

- Blande tarminholdet
- Transportere tarminholdet videre ved peristaltiske bevægelser



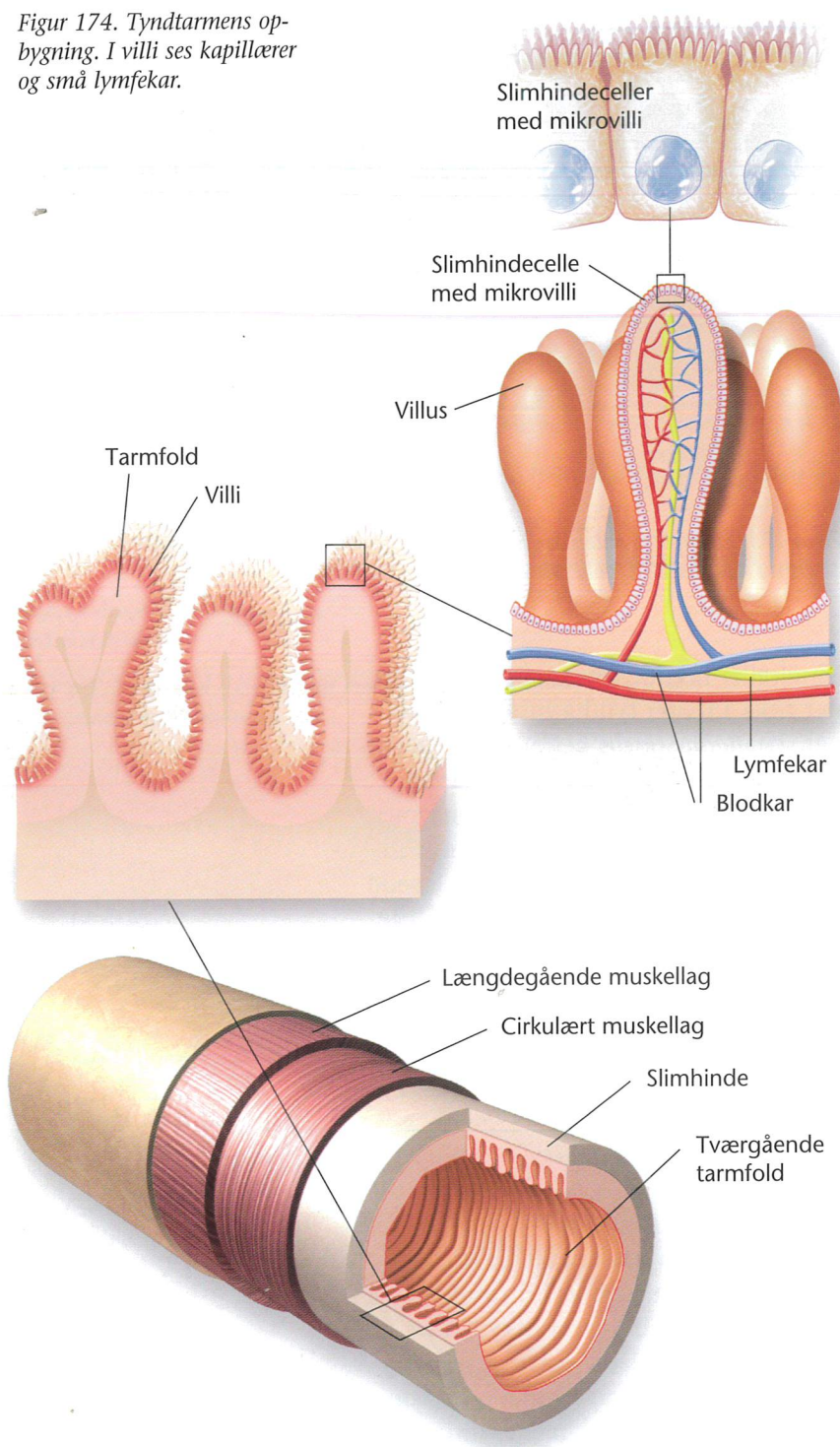
Figur 173. De proteinspaltende enzymer fra bugspytkirtlen udskilles i en inaktiv form. Trypsin spiller en vigtig rolle for aktiveringen.

Kirtelceller i tyndtarmens slimhinde danner cirka 1,0 liter tyndtarmssekret i døgnet. *Tyndtarmssekretet* består vand, mucin og ioner, hvoraf de vigtigste er Na^+ og HCO_3^- , men ingen enzymer. De enzymer tyndtarmens celler danner, er bundet til cellernes membraner. Da cellernes levetid kun er 2-3 dage, vil enzymer fra afstødte celler dog findes i tarminholdet.

I tyndtarmens første del, tolvfingertarmen, udtømmes dagligt yderligere 0,5 liter galde fra leveren og 1,5 liter sekret fra bugspytkirtlen.

Tyndtarmen er 4-5 meter lang, og for at gøre optagelsen af næringsstofferne så effektiv som mulig, er tyndtarmens indre overflade meget stor. For det første er tarmslimhinden stærkt foldet, og dernæst er folderne besat med små fingerlignende udvækster, villi eller tarmtotter. Endvidere er villis overflade dækket med celler hvis cellemembran danner en masse hårlignende udvækster, mikrovilli. Den stærkt foldede membran kaldes på grund

Figur 174. Tyndtarmens opbygning. I villi ses kapillærer og små lymfekar.



af dens udseende i mikroskop for børstesømmen, og den udgør tarmens slimhinde, se figur 174.

Hver enkelt af disse strukturer har betydning for arealforøgelsen i tyndtarmen. Var tyndtarmen blot et glat rør, ville dens samlede indre overflade være ca. 0,33 m². Tarmfolderne øger arealet til 1,0 m², mens villi og mikrovilli øger arealet til henholdsvis 10 m² og 200 m².

Den store overflade er af afgørende betydning for den effektive optagelse af næringsstofferne.

Kulhydraternes nedbrydning og optagelse

Den enzymatiske spaltning af kulhydrater i tyndtarmen foregår i to trin. Først spalter bugspytkirtelenzymet amylase de resterende 60 % af kostens polysakkarider til disakkaridet maltose. Dernæst spaltes maltosen og andre disakkarider til monosakkarider af enzymer i slimhindens cellemembraner. Maltose spaltes i to glukosemolekyler, sakkharose spaltes i et glukose- og et fruktosemolekyle, mens laktose spaltes i et glukose- og et galaktosemolekyle, se figur 154, side 150.

Optagelsen af monosakkariderne fra tarmen foregår i to trin. Først skal de fra tarmen ind i tarmslimhindens celler, og derfra skal de ud i væsvæsken. Herfra diffunderer de senere over i kapillærene. Glukose og galaktose transporteres mod deres koncentrationsgradient ind i slimhindecellerne ved at binde sig til samme transportprotein som Na⁺-ionerne. Den drivende kraft for denne transport er Na⁺-ionernes koncentrationsgradient. Koncentrationen af Na⁺-ioner er lavere i slimhindecellerne end i tarmen da ionerne pumpes aktivt ud af cellerne ved

hjælp af Na⁺/K⁺-pumper, se figur 175. På grund af de høje koncentrationer af glukose og galaktose i slimhindecellerne, er deres transport ud af cellerne en passiv faciliteret diffusion. Begge trin i optagelsen af fruktose er faciliteret diffusion. Læs evt. mere om transportprocesser side 10.

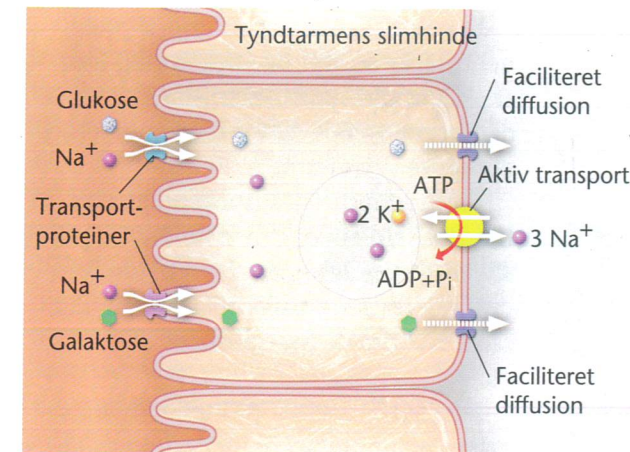
Den begrænsende faktor for fordøjelse og optagelse af maltose og sakkharose er transportmekanismerne da de enzymatiske spaltninger er meget hurtige. For laktoses vedkommende er den begrænsende faktor derimod spaltningen i glukose og galaktose.

Efter optagelsen transporteres monosakkariderne via portåren til leveren hvor galaktose og fruktose omdannes til glukose. En del af glukosen oplagres i leveren som glykogen, mens den resterende del sendes rundt i resten af kroppen. Leveren og portåresystemet er nærmere omtalt side 64.

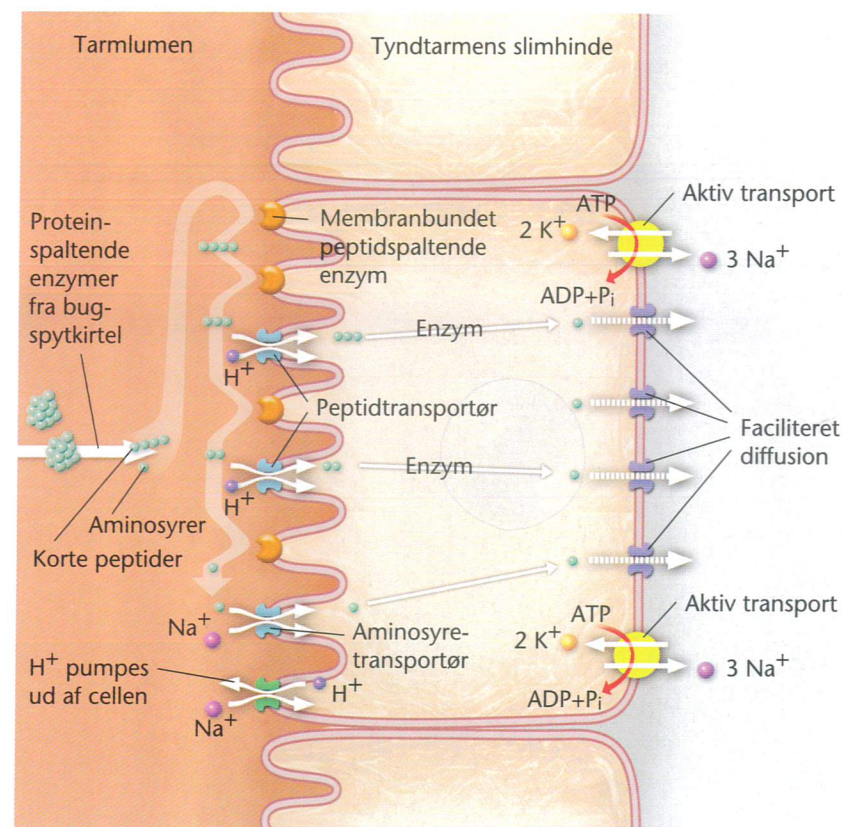
Proteinernes nedbrydning og optagelse

Den enzymatiske spaltning af peptider og proteiner i tyndtarmen foregår i flere trin. Første trin står bugspytkirtlens enzymer for, se figur 161, side 158. Resultatet er korte peptider med fire til seks aminosyrer og frie aminosyrer. De korte peptider spaltes til endnu kortere peptider med to til tre aminosyrer og til frie aminosyrer af enzymer placeret i slimhindecellernes membran. De frie aminosyrer og de ganske korte peptider optages herefter i slimhindecellerne, og her spaltes peptiderne endelig til aminosyrer.

Aminosyrernes optagelse er knyttet til Na⁺-ionernes optagelse, som det var tilfældet for blandt andet glukose. De ganske korte peptiders optagelse er knyttet til optagelse af H⁺-ioner, se figur 176.



Figur 175. Den drivende kraft til optagelsen af glukose og galaktose er den koncentrationsforskel for Na⁺-ioner som Na⁺/K⁺-pumperne opbygger. Et glukose- eller galaktosemolekyle og en Na⁺-ion binder sig til det samme transportprotein og transporteres ind i tubuluscellen.



Figur 176. Aminosyrer og små peptider binder sig til samme transportproteiner som henholdsvis Na⁺- og H⁺-ioner gør. Når Na⁺- og H⁺-ionerne herefter bevæger sig ind i cellerne med deres koncentrationsgradienter, følger aminosyrerne og peptiderne med. Na⁺-ionernes koncentrationsgradient er skabt af de aktive Na⁺/K⁺-pumper. H⁺-ionernes koncentrationsgradient er skabt ved hjælp af Na⁺-ionerne.

Den enzymatiske spaltning af proteiner foregår hurtigt og effektivt, og det er således transportmekanismerne der er den begrænsende faktor for proteinernes optagelse i tyndtarmen.

Aminosyrernes transport ud af slimhindecellerne over i væsvæsken er passiv faciliteret diffusion. Fra væsvæsken diffunderer aminosyrerne over i kapillærene hvorfra de transporteres til leveren via portåren.

Nedbrydningen af proteiner og optagelsen af aminosyrerne fra tyndtarmen er yderst effektiv. Mindre end 4 % af kostens aminosyrer kan findes i afføringen.

Fedtstoffernes nedbrydning og optagelse

Hovedparten – over 90 % – af kostens fedtstof er triglycerider, mens omkring 5 % er fosfolipider der stammer fra cellemem-

braner. Resten består bl.a. af kolesterol og de fedtopløselige vitaminer K, E, D og A, se figur 156, side 153. Et triglycerid nedbrydes til to fedtsyremolekyler og et monoglyceridmolekyle ved fraspaltning af de yderligt placerede fedtsyrer, se figur 177.

Fosfolipiderne omdannes ved fraspaltning af den ene fedtsyre.

Den enzymatiske fedt nedbrydning i tyndtarmen skyldes lipaser fra bugspytkirtlen. Da lipaserne er vandopløselige, mens madens triglycerider er fedtopløselige, finder fedt nedbrydningen sted i kontaktfladen mellem vand og fedt. Jo større kontaktflade, jo hurtigere fedt nedbrydning. Her kommer galdesaltene til hjælp. De vil som tidligere beskrevet emulgere fedtstoffet i ganske små fedtdråber (1-2 µm i diameter) med en meget stor samlet overflade, se figur 178.

Efter spaltningen af triglyceriderne og fosfolipiderne skal fedtsyrer, monoglycerid og fosfolipidrest optages via mikrovilli. De emulgerede fedtdråber som molekylerne befinder sig i, er dog for store til at komme ind mellem mikrovilli.

Galdesaltene kan imidlertid også danne ganske små miceller (20-50 nm i diameter) der kan transportere fedt nedbrydningsprodukterne fra de emulgerede fedtdråber hen til mikrovilli, se figur 178. Her diffunderer fedtsyrerne, monoglyceriderne og fosfolipidresterne passivt gennem cellemembranen ind i tarmslimhindens celler. Kolesterol transporteres også med micellerne og diffunderer ligeledes passivt ind i slimhindecellerne.

Micellerne kan optage nye fedtsyrer, monoglycerid, fosfolipidrester og kolesterol når de igen kommer i kontakt med emulgerede fedtdråber. Galdesaltenes emulgerende virkning er vigtig i hele tyndtarmen. De optages derfor først i

den sidste del af tyndtarmen hvorefter de returneres til leveren og udskilles med galden igen.

Efter optagelsen omdannes fedtsyrerne, monoglyceriderne og fosfolipidresterne igen til triglycerider og fosfolipider inde i slimhindecellerne hvor de sammen med kolesterol og protein danner kylomikroner.

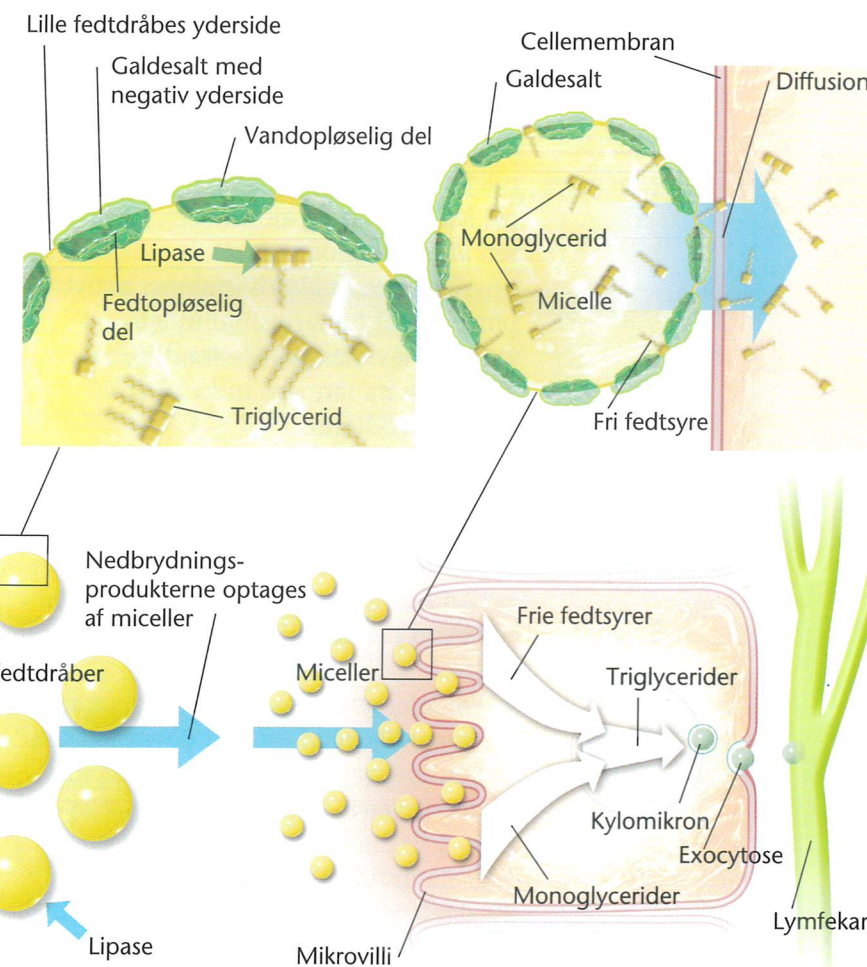
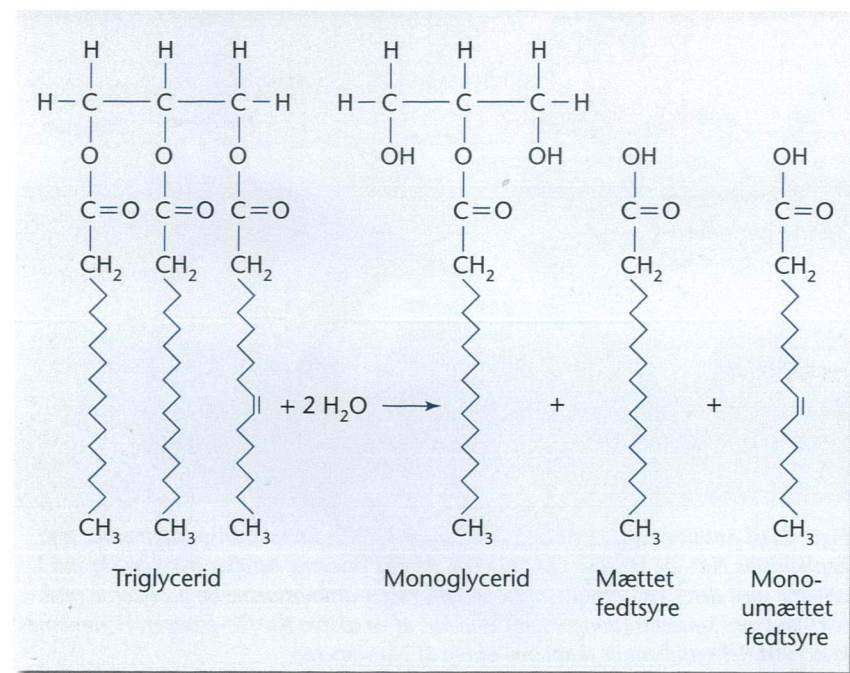
Kylomikronerne, hvis overflade er vandopløselig på grund af proteinerne, pakkes i små vesikler der er omgivet af en membran. Kylomikronerne frigives fra slimhindecellerne ved at vesiklernes membran smelter sammen med cellemembranen, en proces der kaldes exocytose. Kylomikronerne diffunderer herefter ind i lymfekapillærene, se figur 178. De er for store til at komme ind i blodkapillærene.

På denne måde kommer de optagne fedtstoffer ikke gennem leveren inden de strømmer ud i resten af kroppen. Da fedtopløselige giftstoffer optages gennem miceller og indbygges i kylomikroner sammen med de øvrige fedtstoffer, sniger de sig på denne måde i første omgang uden om leveren og dens afgiftningsmekanismer.

Den beskrevne fordøjelse og optagelse af triglycerider gælder for triglycerider med langkædede fedtsyrer, de udgør over 90 % af madens triglycerider. Kortkædede fedtsyrer (mindre end 12 C-atomer) og glycerol optages ikke i micellerne og deltager ikke i dannelsen af kylomikroner. De diffunderer direkte gennem tarmens slimhindeceller og ind i kapillærene. Herfra transporteres de til leveren via portåren. Fedtsyrerne er under transporten gjort vandopløselige ved binding til plasma-proteinet albumin.

Figur 178. Nedbrydning og optagelse af fedt. Først emulgerer galdesaltene fedtet, derefter medvirker de ved dannelsen af miceller. Kolesterol og fosfolipider er ikke medtaget på figuren, ligesom glycerols og de kortkædede fedtsyrers optagelse uden om micellerne er udeladt.

Figur 177. Når et triglycerid fraspaltes to fedtsyrer, får man et monoglycerid. Fraspaltes kun en fedtsyre, får man et diglycerid.



Optagelse af vitaminer, mineraler og vand

De fedtopløselige vitaminer optages ved passiv diffusion sammen med de øvrige fedtstoffer. De indgår også i kylomikroner og transporteres ud i kroppen via lymfen.

De vandopløselige vitaminer optages let og effektivt ved faciliteret diffusion. Dog er optagelsen af vitamin B₁₂ afhængig af intrinsic faktor, et protein der dannes i mavesækkens væg. Både fedt- og vandopløselige vitaminer ses på figur 158, side 155.

Optagelsesmekanismen for det enkelte mineral varierer ofte langs tyndtarmen. Generelt kan det dog siges at mineralerne i kosten enten optages aktivt, det gælder for eksempel jernforbindelser og calcium (Ca²⁺), eller passivt, for eksempel kalium (K⁺) og klorid (Cl⁻). Optagelsen af natriumioner (Na⁺) foregår som i nyrerne ved at Na⁺/K⁺-pumper aktivt pumper Na⁺ fra tarmslimhindens celler ud i vævsvæsken. Herfra diffunderer Na⁺-ioner fra tarmens indre og ind i slimhindecellerne.

Vand optages passivt ved osmose som en konsekvens af optagelsen af næringsstoffer og mineraler. Fordøjelseskanalen behandler dog et langt større væskevolumen end det der indtages som mad eller drikke.

Fordøjelsessystemets vandbalance ses af figur 179. Heraf fremgår det at selv om vi kun indtager 2,0 liter væske med mad og drikkevarer, så tilføres fordøjelsessystemet dagligt omkring 8,5 liter. De 6,5 liter stammer fra fordøjelsessekretterne. Pr. døgn dannes der cirka 1,5 liter spyt, 2,0 liter mavesaft, 0,5 liter galde, 1,5 liter

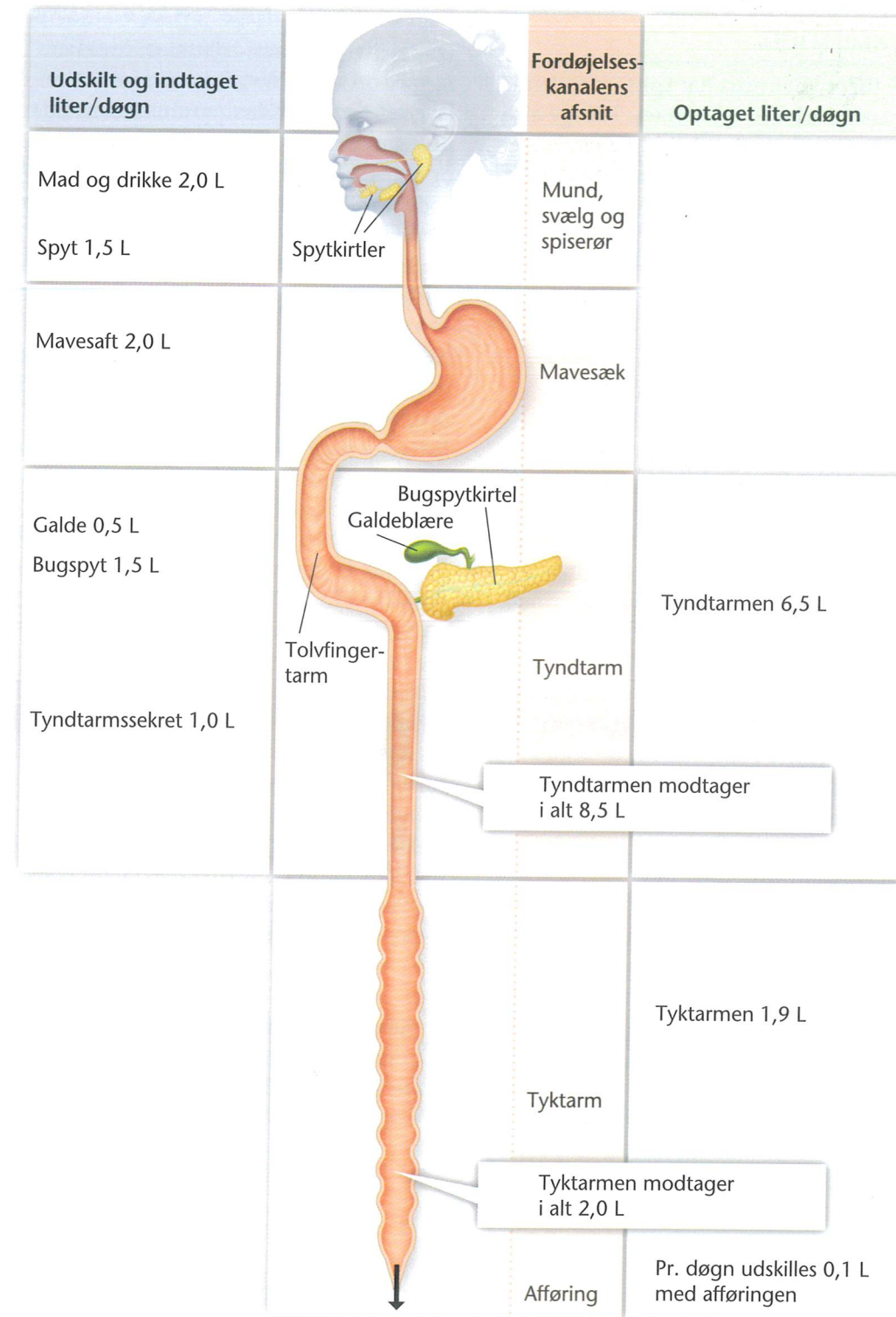
bugspyt og 1,0 liter tyndtarmssekret. Af de 8,5 liter væske tyndtarmen modtager, optager den 6,5 liter. Af de 2 liter der når til tyktarmen, optages 1,9 liter, så der kun udskilles 0,1 liter med afføringen.

Diarré

Mange bakterier og virus danner giftstoffer der stimulerer udskillelsen af fordøjelsessekreter, samtidig med at de reducerer optagelsen af væske i tarmen. Det øgede væskevolumen spiller tarmen ud hvilket øger tarmbevægelserne og dermed hastigheden af tarmindeholdets passage. Konsekvensen er hyppig, tynd afføring.

Stoffer der ikke absorberes i fordøjelsessystemet, kan som omtalt i indledningen også forårsage diarré, da de tilbageholder væske i fordøjelseskanalen på grund af osmotiske forhold. Det samme gør afføringsmidler som for eksempel magnesiumsulfat, MgSO₄.

Følelsesmæssige forhold som eksamensnervøsitet kan også forårsage diarré. Det skyldes at fordøjelsessystemets funktion i høj grad er underlagt det autonome nervesystem, se side 19. Nervøsitet forårsager en øget sekretion af væske og forøget peristaltisk aktivitet i den nederste del af tyktarmen.



Figur 179. Væskebalancen for fordøjelseskanalen. Omkring 8,5 liter væske tilføres fordøjelseskanalen med mad og drikke eller som fordøjelssevæsker. Heraf optages næsten 99 %, så der kun udskilles 0,1 liter med afføringen.