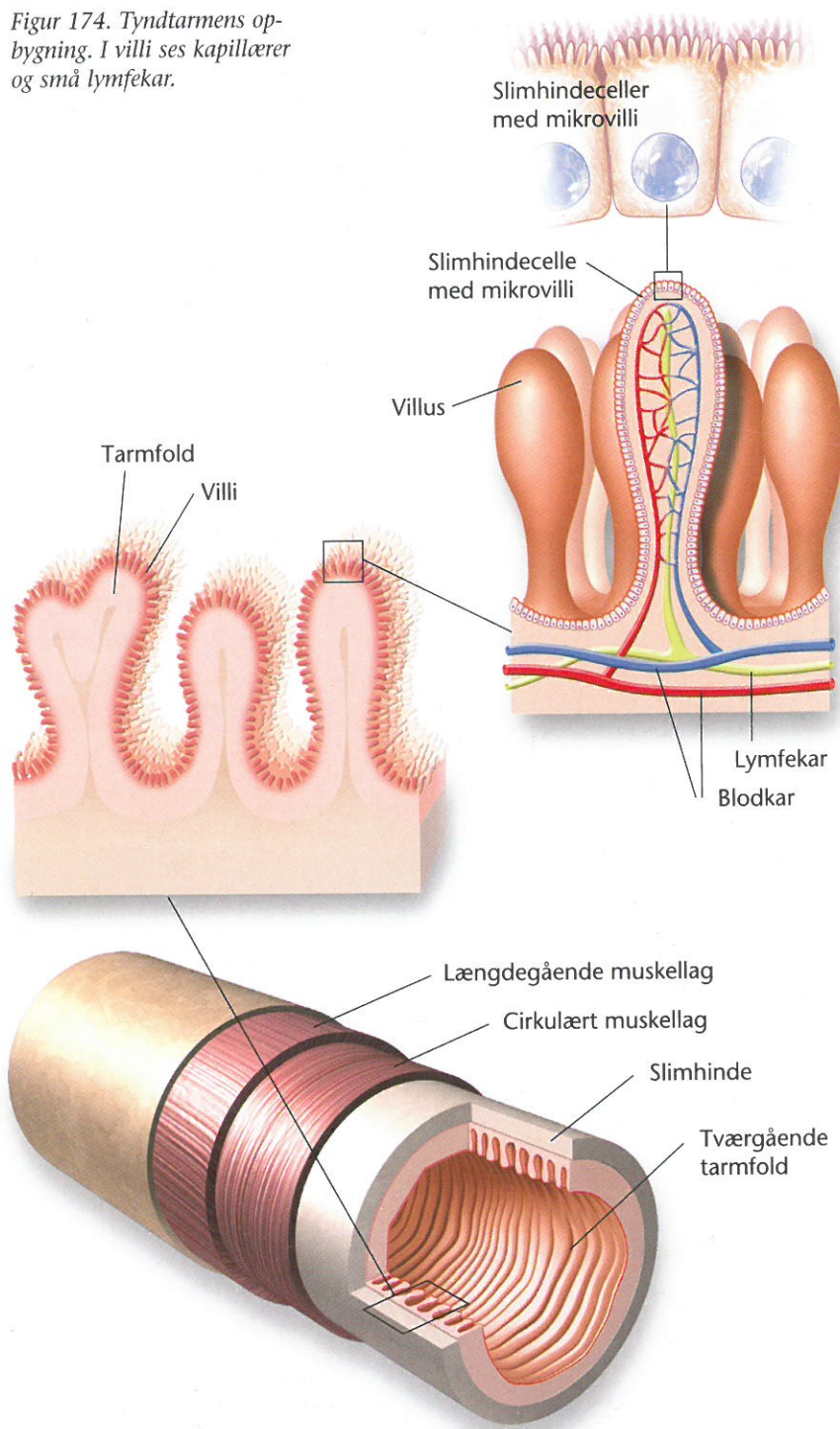


Figur 174. Tyndtarmens opbygning. I villi ses kapillærer og små lymfekar.



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, sakkarose 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

for bør-
nens slim-

ter har be-
yndtarmen.
r, ville dens
ca. 0,33
til 1,0 m²,
realet til

gørende
optagelse af

kulhydra-
in. Først
mylase
polysak-
e. Dernæst
kkarider
i slimhin-
spaltes i
e spaltes i
kyle, mens
et galakto-
150.

derne fra
skal de fra
celler, og
1. Herfra
pillererne.
teres mod
nd i slim-
til samme
erne. Den
port er
radient.
er lavere
en da io-
erne 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 optagel-
sen af fruktose er faciliteret diffusion. Læs
evt. mere om transportprocesser side 10.

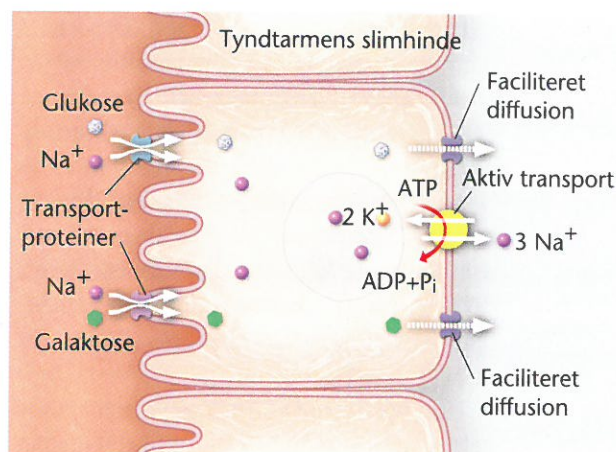
Den begrænsende faktor for fordøjelse
og optagelse af maltose og sakkarose er
transportmekanismene da de enzymatiske
spaltninger er meget hurtige. For lak-
toses vedkommende er den begrænsende
faktor derimod spaltningen i glukose og
galaktose.

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

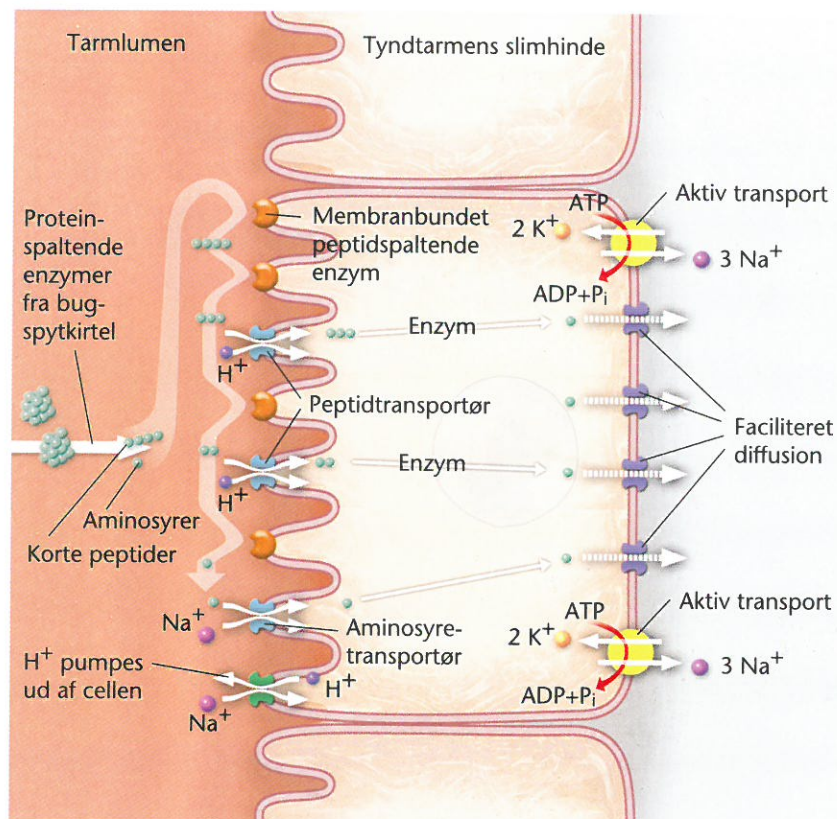
Proteinernes nedbrydning og optagelse

Den enzymatiske spaltning af peptider
og proteiner i tyndtarmen foregår i flere
trin. Første trin står bugspytkirtlens en-
zymer for, se figur 161, side 158. Resul-
tatet er korte peptider med fire til seks
aminosyrer og frie aminosyrer. De korte
peptider spaltes til endnu kortere pepti-
der med to til tre aminosyrer og til frie
aminosyrer af enzymer placeret i slimhin-
decellerens membran. De frie aminosyrer
og de ganske korte peptider optages her-
efter i slimhindecellerne, og her spaltes
peptiderne endelig til aminosyrer.

Aminosyrernes optagelse er knyttet til
Na⁺-ionernes optagelse, som det var til-
fældet for blandt andet glukose. De gan-
ske 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.

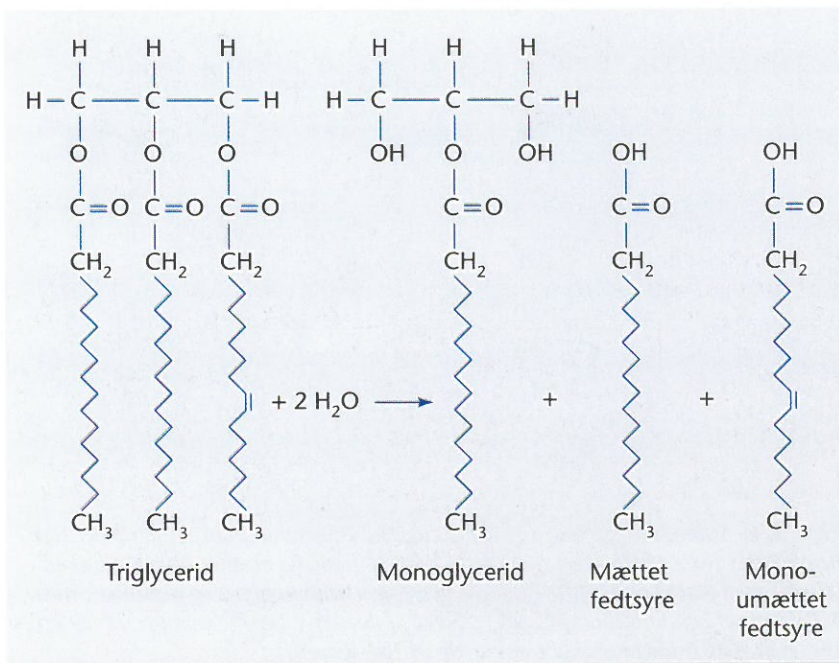
Aminosyrernes transport ud af slimhindecellerne over i vævsvæsken er passiv faciliteret diffusion. Fra vævsvæsken diffunderer aminosyrerne over i kapillærene hvorfra de transporteres til leveren via portåren.

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-

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



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 fedtnedbrydning i tyndtarmen skyldes lipaser fra bugspytkirtlen. Da lipaserne er vandopløselige, mens madens triglycerider er fedtopløselige, finder fedtnedbrydningen sted i kontaktfladen mellem vand og fedt. Jo større kontaktflade, jo hurtigere fedtnedbrydning. 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 fedtnedbrydningsprodukterne 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. Galdesaltene emulgerende virkning er vigtig i hele tyndtarmen. De optages derfor først i

erol og
og A,
d ned-
et mo-
ng af de
r 177.
raspalt-

ing i
gspyt-
selige,
opløse-
ed i
dt. Jo
edt-
altene
krevet
fedt-
n meget
.
erne og
oglyce-
mikro-
m mole-
tore til

så
nm i
ftned-
lgerede
gur 178.
oglyce-
vt gen-
limhin-
es også
elede

syrer,
kole-
akt med
nes
rele
rst 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 lymfekapillærerne, se figur 178. De er for store til at komme ind i blodkapillærerne.

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 kapillærerne. 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.

