



# **Sindirim Fizyolojisi – II**

**Beslenme ve Diyetetik Bölümü**

**2017-2018 Öğretim Yılı**

AÜTF Fizyoloji Anabilim Dalı

Arş.Gör.Dr. Fırat AKAT

[akatfirat@gmail.com](mailto:akatfirat@gmail.com)



[https://twitter.com/Cld\\_Brnrd](https://twitter.com/Cld_Brnrd)

# Ders Planı

## 1. Sindirim ve Emilim

- a) Karbonhidratların Sindirim ve Emilimi
- b) Proteinlerin Sindirim ve Emilimi
- c) Yağların Sindirim ve Emilimi

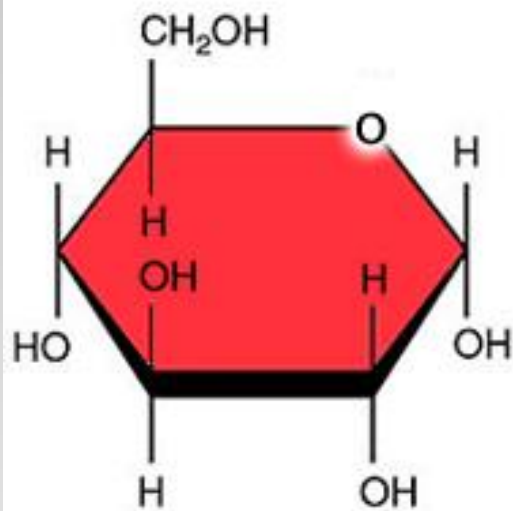
# Karbonhidratların Sindirim ve Emilimi



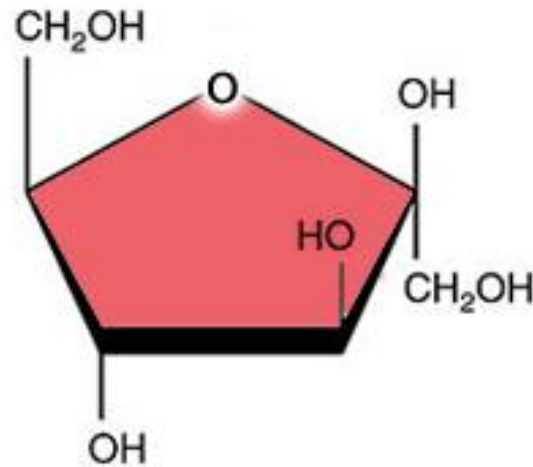
# Karbonhidratların Sindirimi

- Karbonhidratlar; karbon (C), hidrojen (H) ve oksijen (O) atomlarından oluşan kompleks biyomoleküllerdir.
  - Hidrojen ile oksijen atomunun oranı 2:1'dir. Yani genel formülü  $C_m (H_2O)_n$  şeklinde ifade edilebilir.
  - Yukarıda verilen formül bir monosakkaritin formülüdür.
- Kendisi de bir monosakkarit olan glikozun formülü  $C_6H_{12}O_6$ 'dır
- Karbonhidratlar yerine "sakkaritler" terimi de kullanılır. Sakkaritler dörde ayrılır:
  - Monosakkaritler (Glikoz, fruktoz, galaktoz vb.)
  - Disakkaritler (Maltoz, Laktoz, Sükroz vb.)
  - Oligosakkaritler (Maltodekstin vb.)
  - Polisakkaritler (Nişasta, Selüloz Glikojen, Kitin vb.)

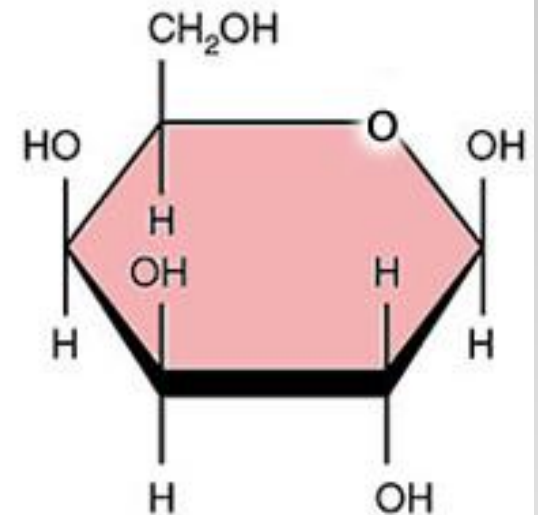
# Monosakkaritler



**Glukoz**



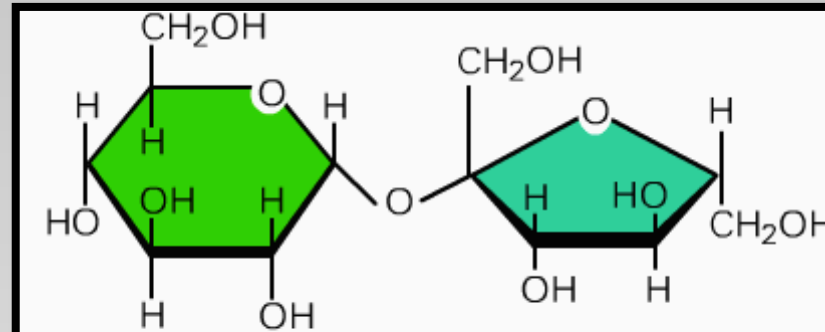
**Fruktoz**



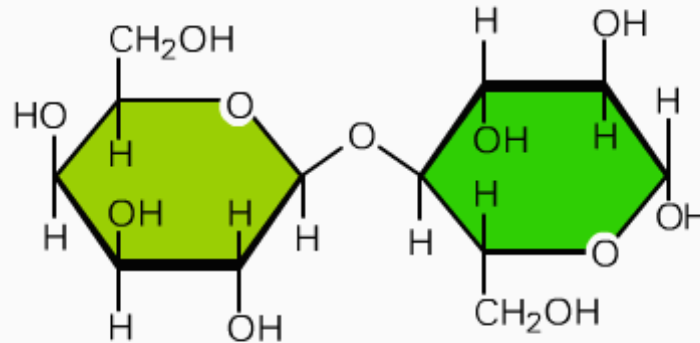
**Galaktoz**

# Disakkaritler

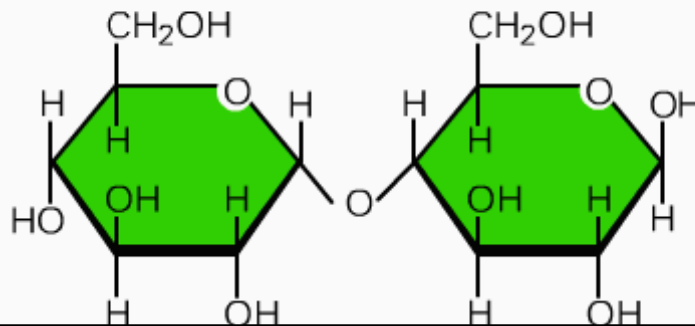
**Sükroz (Sakkaroz)**  
**= Glukoz + Fruktoz**



**Laktoz = Galaktoz + Glukoz**



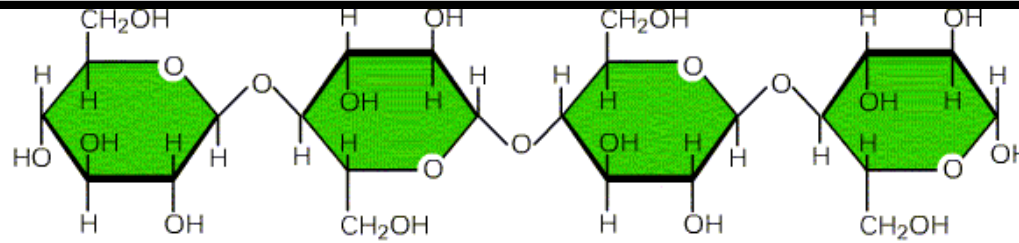
**Maltoz = Glukoz + Glukoz**



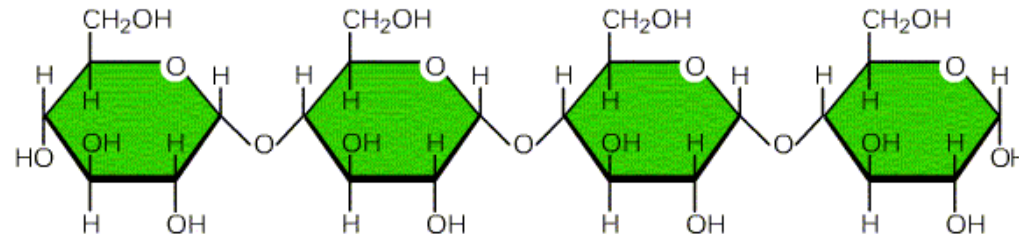


# Polisakkaritler

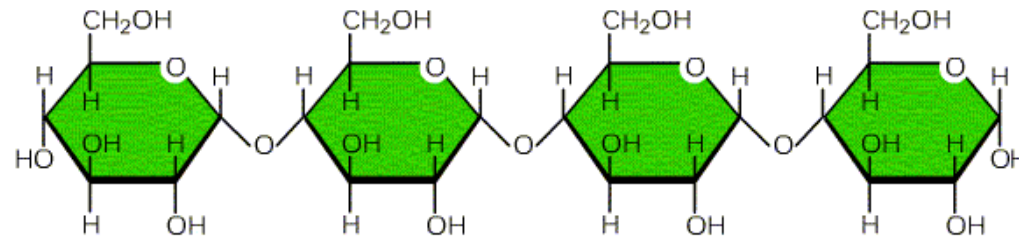
Sellüloz



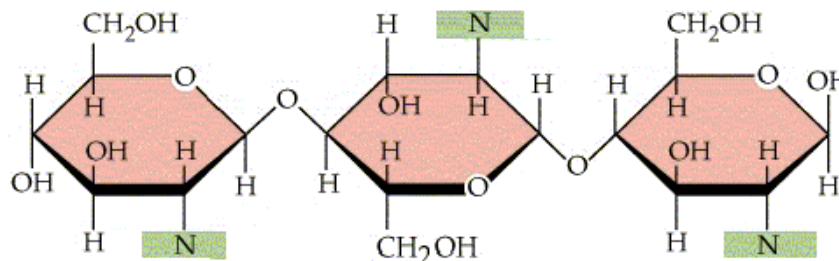
Nişasta



Glikojen



Kitin



# Yapım ve Yıkım

- Diyetle alınan karbonhidratların neredeyse tamamı polisakkarit veya disakkarit formundadır.
  - Sükroz (sofra şekeri)
  - Laktoz (süt şekeri)
  - Nişasta (bitkisel)
- Sellüloz sindirilemez. Değişmeden atılır.
- Emilmeden önce monomerlerine ayrılması gerekir. Bu işleme hidroliz adı verilir.
- Hidroliz işlemi bir molekül suyun yapıya katılarak monosakkaritler arasındaki "glikozit bağlarını" yıkması ile gerçekleşir.
- Hidroliz işleminin tersi dehidrasyon olarak adlandırılır.



# Karbonhidratların Sindirimi

- Ağızda başlar.
  - Tükürük içerisinde bulunan pityalin ( $\alpha$ -amilaz enzimi) nişastayı parçalar.
  - Sürenin kısalığı nedeniyle yıkım ağızda tamamlanamaz (Nişastanın %5'i parçanabilir).
  - Midede amilaz pH nedeniyle çalışmaz hale gelir. Karbonhidrat sindirimi durur (1 saat içinde durur o sürede %30-40 sindirilir).

# Karbonhidratların Sindirimi

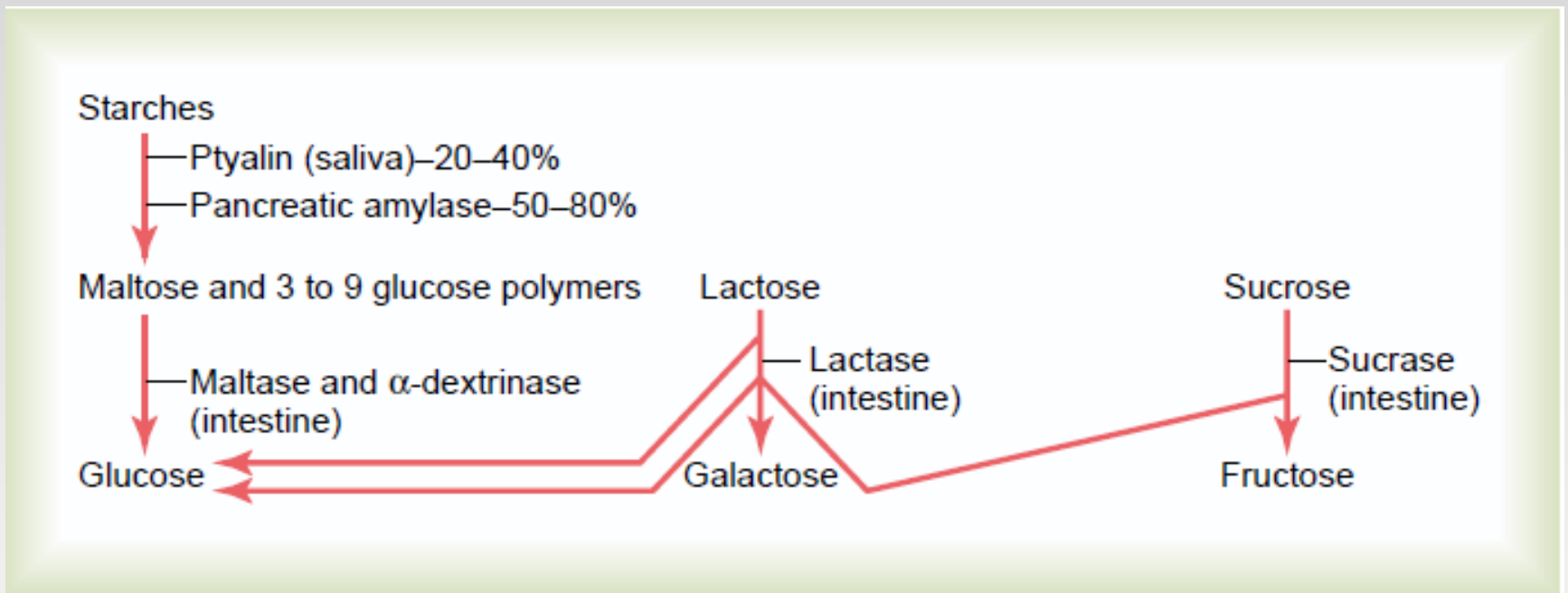
- İnce bağırsakta devam eder.
  - Pankreatik amilaz (pityaline benzer ama daha güçlü bir enzimdir).
  - Mide içeriği duodenuma geçtikten 15-30 dakika içerisinde tüm karbonhidrat içeriği sindirilmiş olur.
  - Sindirilmiş olmak = maltoz veya diğer küçük glukoz polimerlerine yıkılmış olur.

# Karbonhidratların Sindirimi

- Disakkaritlerin Yıkımı:
  - Enterosit zarında bulunan dört tane enzim (Fırça kenar sakkaridazları):
    - Laktaz
    - Sükraz
    - Maltaz
    - $\alpha$ -dekstrinaz
  - Bu enzimler disakkaritleri monosakkaritlere yıkar.

# Karbonhidratların Sindirimi

- Klasik bir diyetle oluşan son ürün (alınan besin nişasta ağırlıklı olduğu için):
  - % 80 glukoz
  - %10 galaktoz ve fruktoz



# Karbonhidratların Emilimi

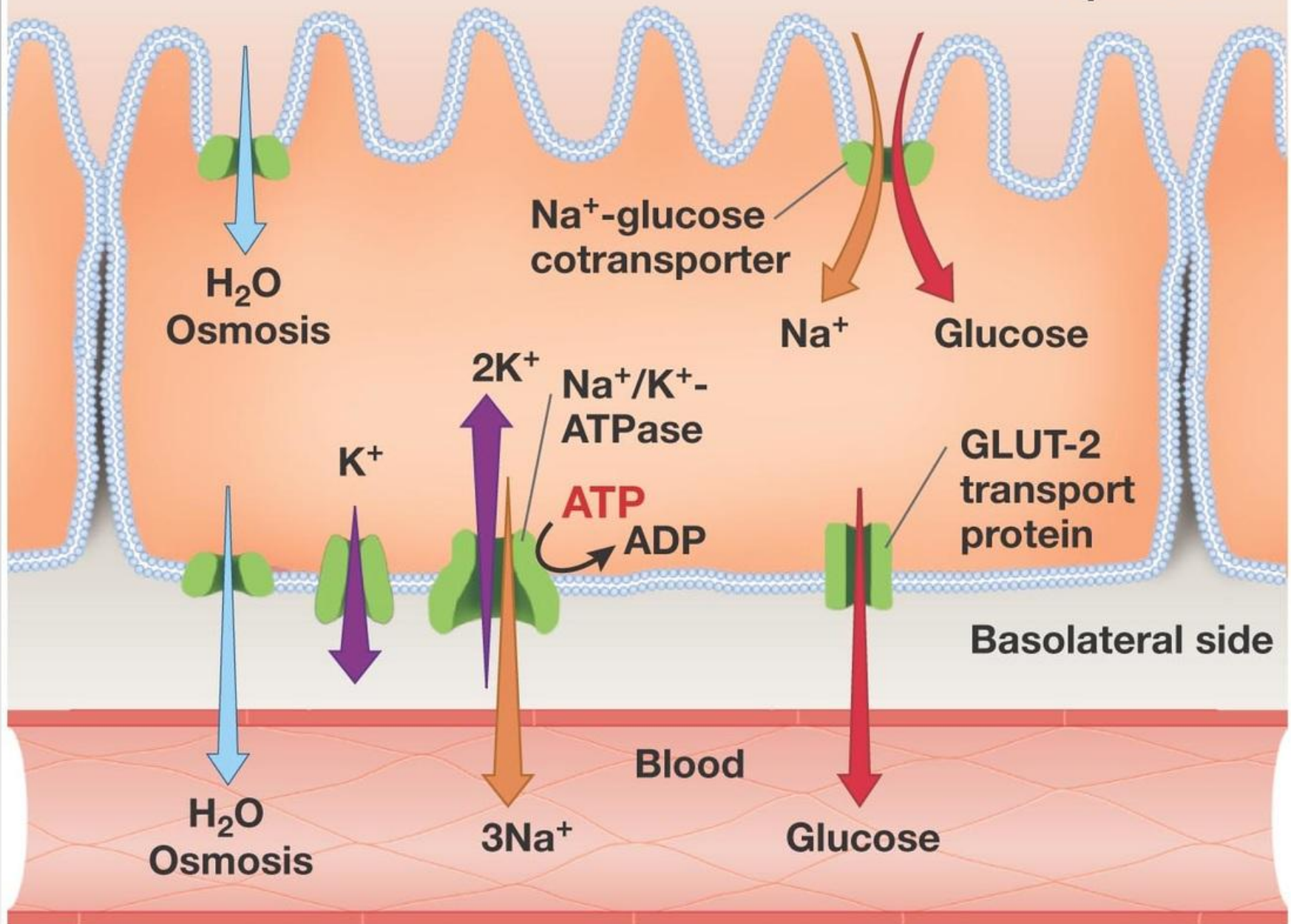
- Duodenum ve üst jejunum şekerlerin en çok emildiği bölgelerdir.
- Alt jejunum ve ileumda emilim daha azdır.
- Diyetteki tüm karbonhidratlar monosakkarit formunda emilir (%80 glukoz).
  - Tüm glukoz, Na<sup>+</sup>-Glukoz kotransportu ile enterosit içerisine girer (SGLT).
  - Galaktoz hücre içerisine aynı mekanizma ile girer.
  - Fruktoz **GLUT5** adındaki taşıyıcı protein yardımı ile kolaylaştırılmış diffüzyon ile hücre içerisine girer.

# Karbonhidratların Emilimi

- $\text{Na}^+$  elektrokimyasal gradyenti,  $\text{Na}^+$ - $\text{K}^+$  pompası ile oluşturulur.
- Glukoz ve galaktoz bağırsak epitel hücrelerinin bazal lateral zarından **GLUT2** taşıyıcısı ile kolaylaştırılmış diffüzyon yoluyla dışarı çıkarlar.
- Fruktozun epitel hücrelerinin bazolateral kenarından dışarı çıkışı **GLUT2** ile olur.

Lumen of small intestine

Apical side





# Karbonhidrat Emilim Bozuklukları

## Laktoz İntoleransı

- Duodenum ve jejunumun fırçamsı kenarında laktaz enzimi eksikliğinden kaynaklanır.
- Emilmeyen laktoz kolondaki bakterilerin aktivitesini arttırır. Kolon hareketleri ve gaz oluşumu artar.

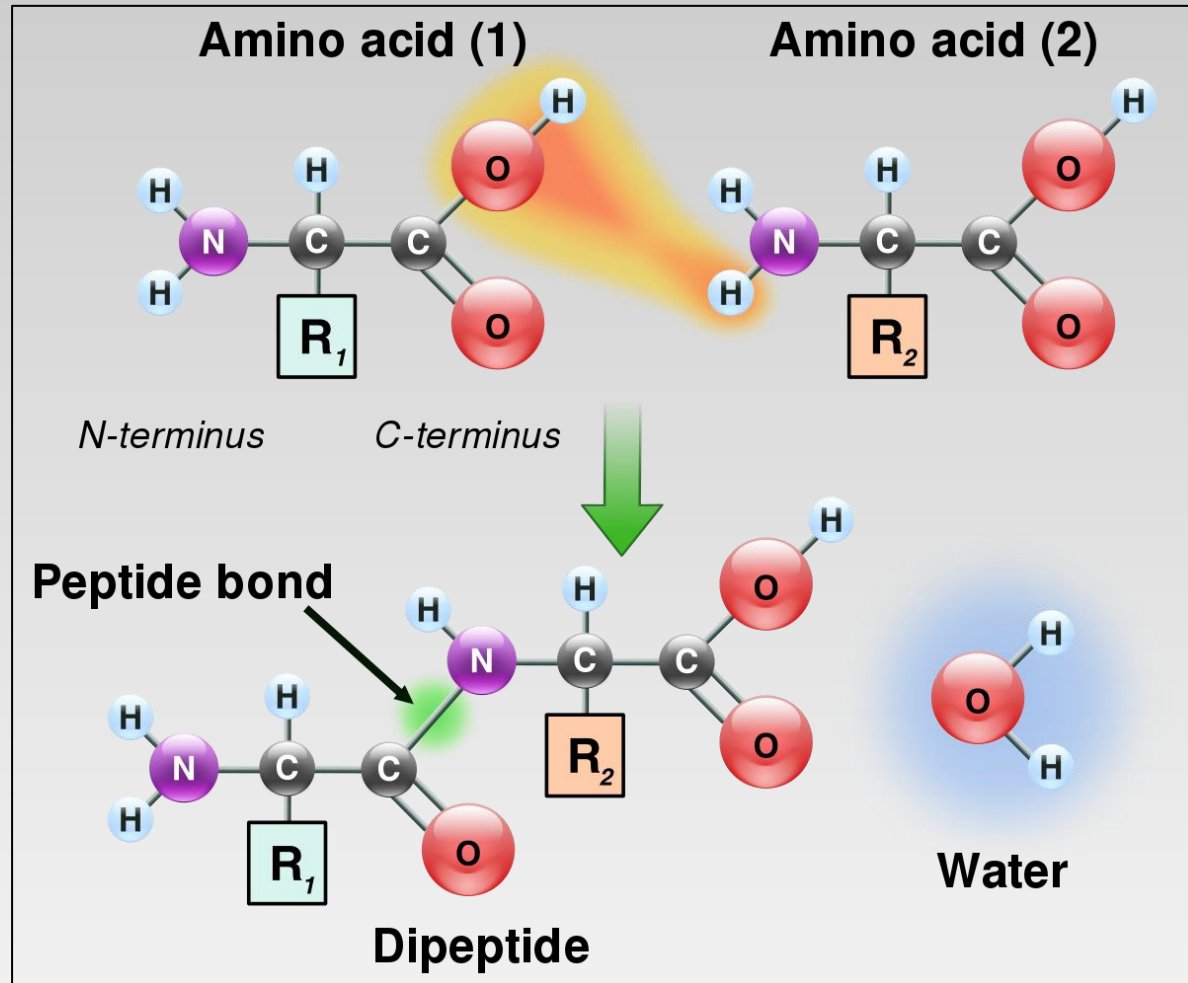
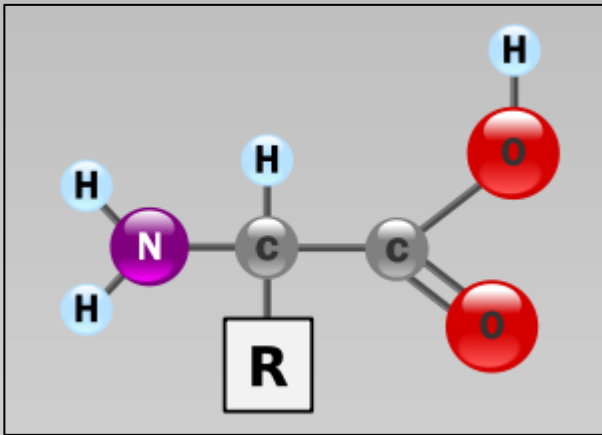
# Proteinlerin Sindirim ve Emilimi



# Proteinlerin Yapısı

- Proteinler birbirlerine **peptid bağları** ile bağlanmış amino asit zincirlerinden oluşan büyük biyomoleküllerdir.
- Amino asitler amino ( $-NH_2$ ) , karboksil ( $-COOH$ ) uçları (=fonksiyonel grupları) ve bir adet R (=özgünlüğü sağlayan parça) ucu olan organik bileşiklerdir.
- Genetik kodumuz tarafından tanınarak protein sentezine katılabilen 20 adet amino asit bulunmaktadır.

# Amino asitlerin yapısı ve peptid bağlarının oluşumu



# Diyetteki Amino Asitler

- Protein sindirimi vücudun amino asit ihtiyacını karşılamaya yöneliktir.
- **“Esansiyel (temel) amino asitler”** organizmanın kendi içinde sentezleyemediği (=dışarıdan alması gereken amino asitler olarak tanımlanır)
  - İnsanlar için (9 adet); fenilalanin, valin, treonin, triptofan, metionin, lösin, izölösin, lizin ve histidin amino asitleri esansiyeldir .
- **“Şartlı esansiyel amino asitler”** ise organizmanın sentezleyebildiği ancak çeşitli patolojik durumlarda sentezi duran amino asitler olarak tanımlanır (=sen yine de al bulunsun amino asitleri).
  - İnsanlar için (6 Adet): arjinin, sistein, glisin, glutamin, prolin ve tirozin amino asitleri şartlı esansiyeldir.
- **“Esansiyel olmayan (=Non-Esansiyel) amino asitler”** ise organizmanın her durumda sentezleyebildiği amino asitlerdir.
  - İnsanlar için (5 Adet): Alanin, aspartik asit, asparajin, glutamik asit ve serin.

# Diyetteki Proteinler

- Protein zincirinin uzunluğu 20-30 aminoasitten fazladır. Kısa zincirler protein değil **peptid** veya **oligopeptid** olarak adlandırılır.
- Aminoasit >> Dipeptit >> Polipeptit (Pepton) >> Protein
- Primer yapı / Sekonder yapı / Tersiyer yapı

# Proteinlerin Sindirimi

- Emilim için peptid bağlarının yıkımı gerekir. Yıkım hidroliz işlemi ile gerçekleşir.
- Proteinleri yıkan enzimlere (hidroliz işlemi hızlandırarak) “**proteolitik**” (lisis=yıkmak) enzimler denilir.
- Proteolitik enzimler sekretuar hücreye zarar vermemek adına inaktif formda salgılanır, görev yerinde aktive olurlar. Enzimin inaktif formuna “zimojen” adı verilir.



# Proteinlerin Sindirimi

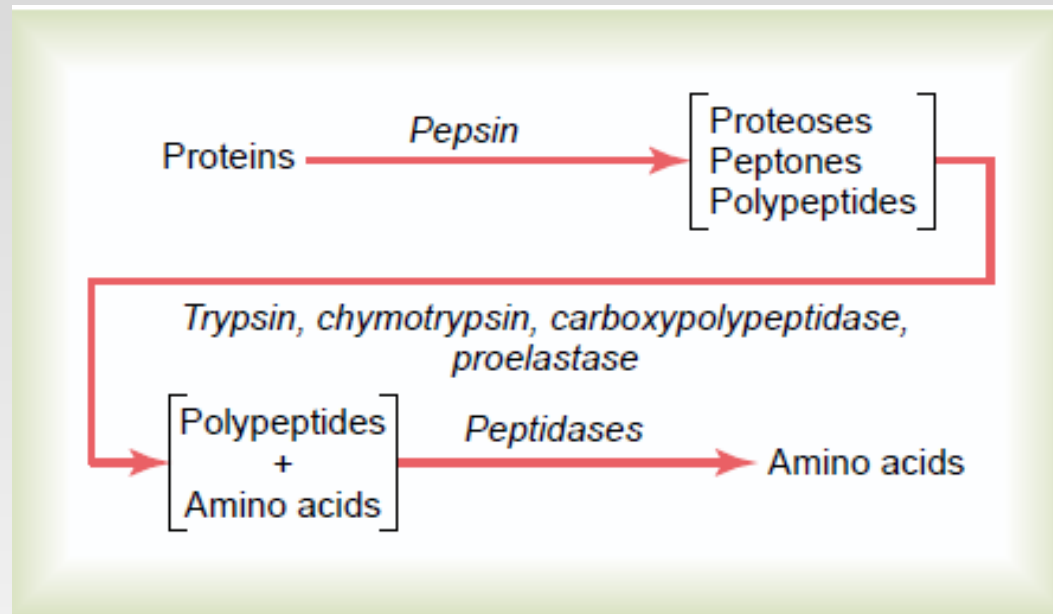
- Midede başlar;
- **“Pepsin”**, en önemli protein sindirim enzimidir. Düşük pH’da aktiftir (pH 2-3).
  - Theodor Schwann tarafından 1836 yılında keşfedilmiştir. Sindirimin yunanca karşılığından türetilmiştir.
  - **“Şef Hücreler”** tarafından pepsinojen formunda salgılanır. Mide asidinde aktive olur.
  - Pepsi ismini sindirim enzimi “pepsin”den alır.
- **Asit (HCl) Salgısı:** Parietal (Oksintik) Hücrelerden salgılanır.
- Diyetle alınan proteinlerin önemli bir bölümü iskelet kası dokusudur.
  - Proteinin sindiriminde en önemli basamak dokuyu saran kollajenin yıkılmasıdır. Bu sayede diğer sindirim enzimleri kasın içerisine nüfuz edebilir.
  - Pepsin protein sindiriminin %10-20 kadarını gerçekleştirmekle birlikte kollajen yıkımını sağladığı için önemlidir.

# Proteinlerin Sindirimi

- İnce bağırsakta devam eder:
  - Protein sindiriminin büyük bir bölümü ince bağırsaklarda (duodenum ve jejunum) gerçekleşir.
  - Pankreas kökenli proteolitik enzimler:
    - Tripsin
    - Kimotripsin
    - Karboksipeptidaz
    - Proelastaz
  - Enterokinaz (enteropeptidaz) enzimi ne yapar?
  - Bu enzimler proteinleri dipeptit ve tripeptidlere yıkar.

# Proteinlerin Sindirimi

- Son aşama yine ince bağırsakta (Duo ve Jej);
  - Oluşan dipeptit ve tripeptitler enterosit zarında bulunan çeşitli tipteki peptidazlar tarafından aminoasitlere yıkılır.

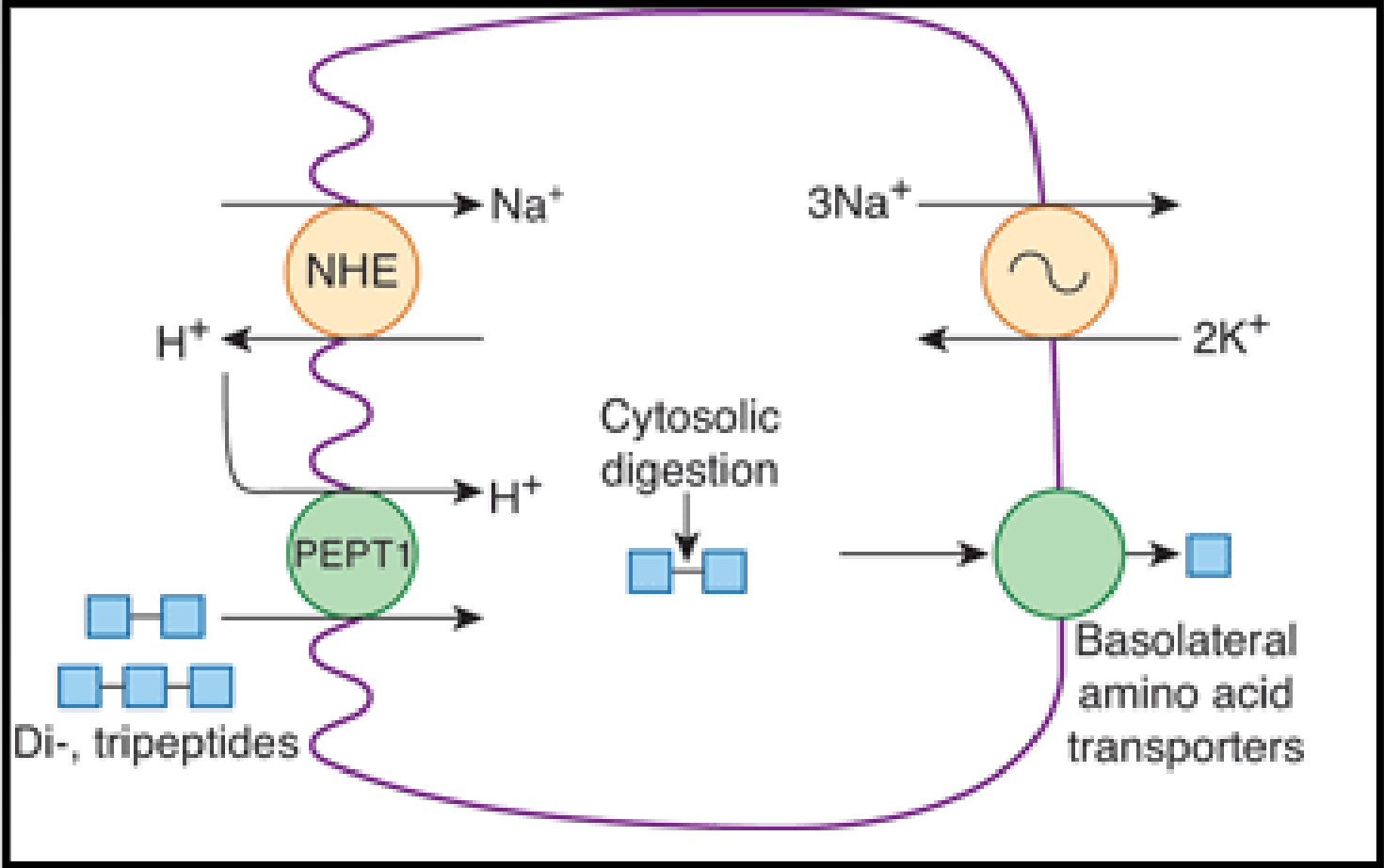


# Proteinlerin Emilimi

- Proteinler lüminal membranlardan;
  - Dipeptid, tripeptid ve serbest amino asit formunda geçer.
- Emilim için gereken enerjinin büyük bir bölümü sodyum ko-transport mekanizmasından gelir (Na<sup>+</sup>-Glukoz gibi).
- Bazı aminoasitler hücreye kolaylaştırılmış diffüzyon (=taşıyıcı proteinler) ile alınır.

# Proteinlerin Emilimi

- Plazma zarının lümen tarafındaki  $\text{Na}^+$ - $\text{H}^+$  değiştiricisi, fırçamsı kenar yüzeyinde asidik bir ortam yaratır.
- Bu ortam küçük peptidlerin emilimini kolaylaştırır.
- Dipeptidlerin ve tripeptidlerin emiliminde jejunum, ileuma göre daha etkilidir.



Küçük Peptitlerin Emilimi  
Na<sup>+</sup> – H<sup>+</sup> karşı taşıyıcısı

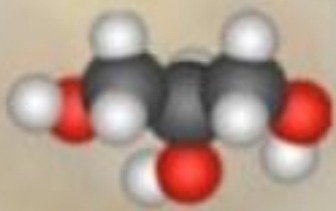
# Yağların Sindirim ve Emilimi





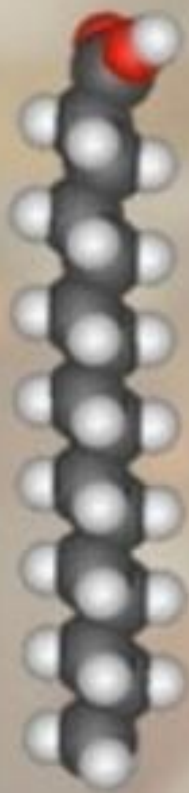
# Yağların Sindirimi

- Diyetteki yağların neredeyse hepsi trigliseritlerden oluşur.
  - Düşük oranda fosfolipitler, kolestrol ve kolesterol esterleri var.
- Trigliseritler bir gliserol molekülüne bağlı üç adet yağ asidinden oluşmaktadır (Triaçilgliserol).
- Yağ asitleri arasındaki bağlara “**ester bağları**” ismi verilir. Bağların yıkılması işlemine hidroliz adı verilir.



Glycerol

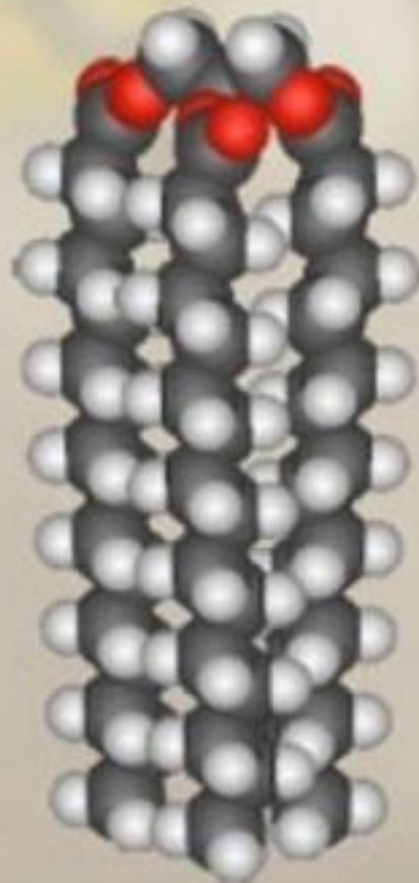
+



3 fatty acids



Triglyceride

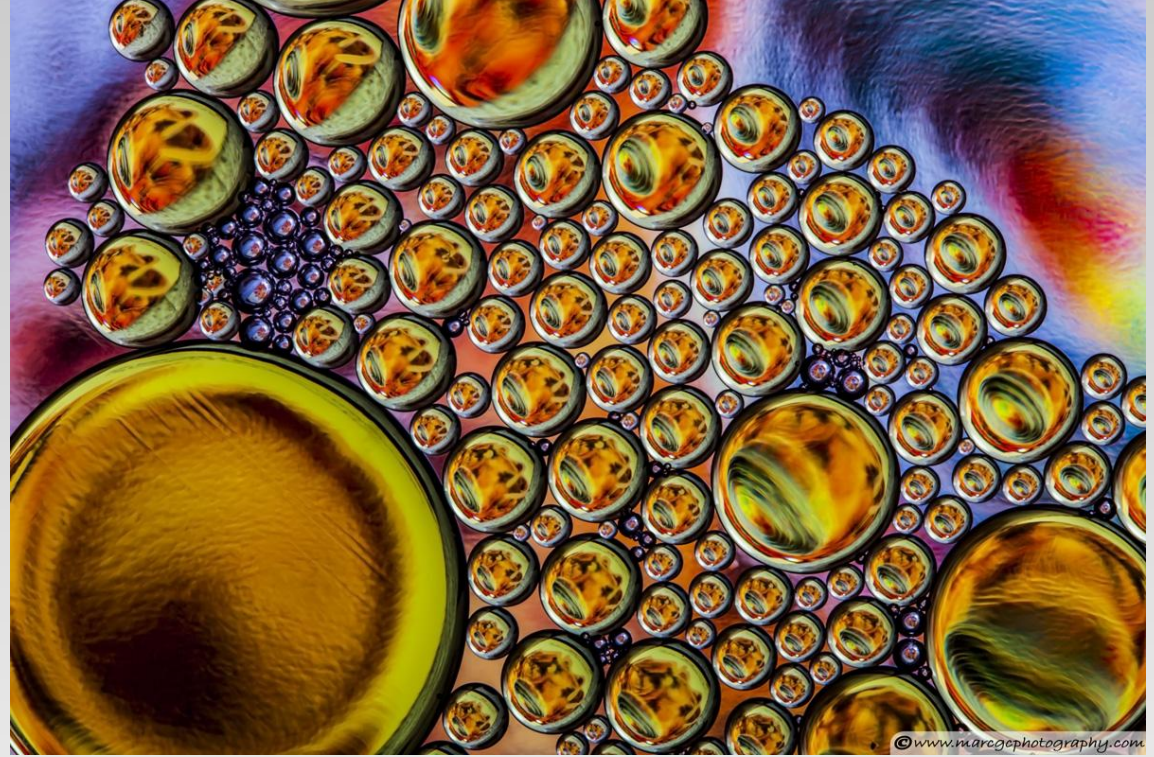


# Yağların Sindirimi

- Ağızda başlar.
  - Lingual lipaz enzimi ile başlar. Midede kısa bir süre devam eder.
  - Ancak yağ sindiriminin %10'undan azına karşılık geldiği için genellikle önemsenmez  
*(Karbonhidratlar kadar fazla değil o nedenle yoktur bile denilir).*

# Yağların Sindirimi

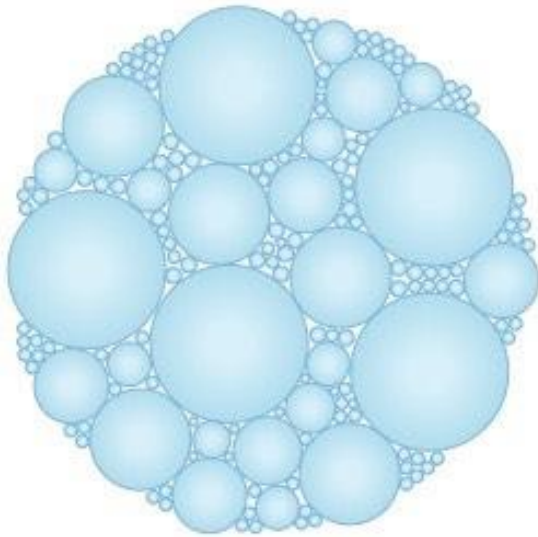
- İnce bağırsakta devam eder;
- Yağ sindiriminin ilk ve en önemli basamağı “**emülsifikasyon**” işlemidir:
  - Yağ damlalarının küçük damlacıklara bölünmesi işlemidir.
- Yağ sindiren enzimler suda çözünen enzimlerdir. Yağ damlacıklarının sadece yüzeyine etki edebilirler (=yağ damlacığının içine giremezler).
  - Emülsifikasyon işlemi enzimle etkileşen yağ damlası yüzeyini arttırır (Yüzey alanı ↑ Sindirim hızı ↑).
- Emülsifikasyon işlemi “safra asitleri” ve “lesitin” tarafından gerçekleştirilir (*Karaciğerden kaynaklı*).



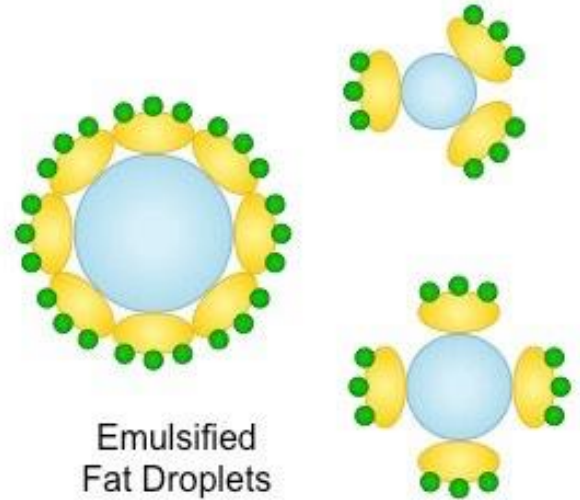
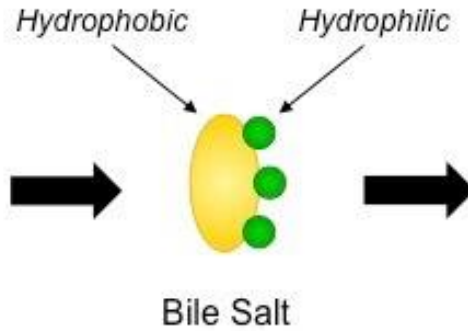
# Yağ-Su Etkileşimi ve Emülsifikasyon



# Emülsifikasyon İşlemi



Fat Globule



Emulsified  
Fat Droplets

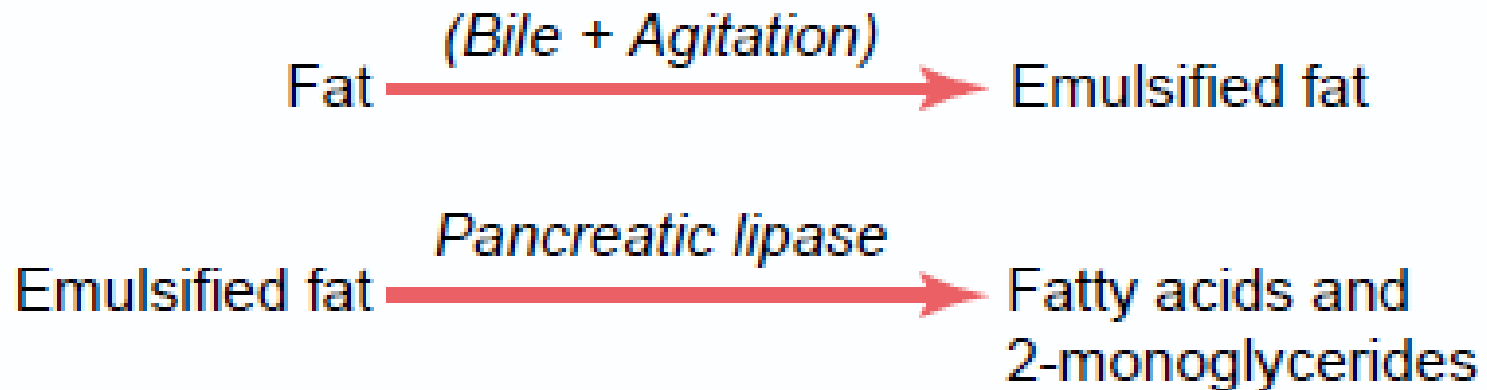
# Yağların Sindirimi

- İnce bağırsakta devam eder;
  - Yağ sindiriminde en önemli enzim pankreatik lipaz enzimidir.
  - Pankreatik lipaz bir dakikadan daha az bir sürede ulaşabildiği tüm trigliseritleri parçalar.
  - İnce bağırsaklarda bulunan enterik lipaz da sindirim faaliyetine katılmakla birlikte pankreatik lipazın çok gerisinde kalır.



# Yağların Sindirimi

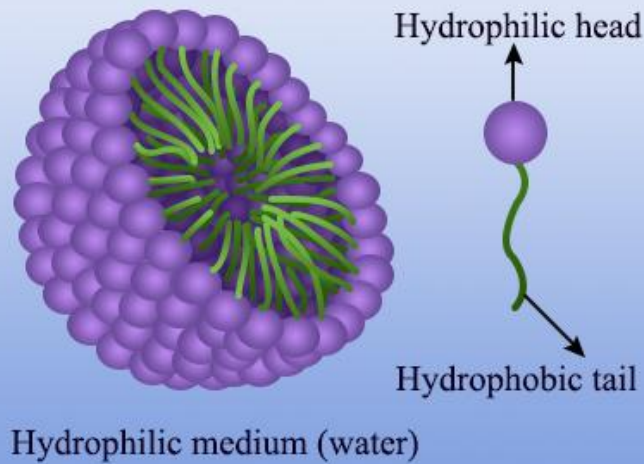
- Yağ Sindiriminin Son Ürünleri:
  - Serbest yağ asitleri ve 2-monogliseritlerdir.



# Yağların Sindirimi

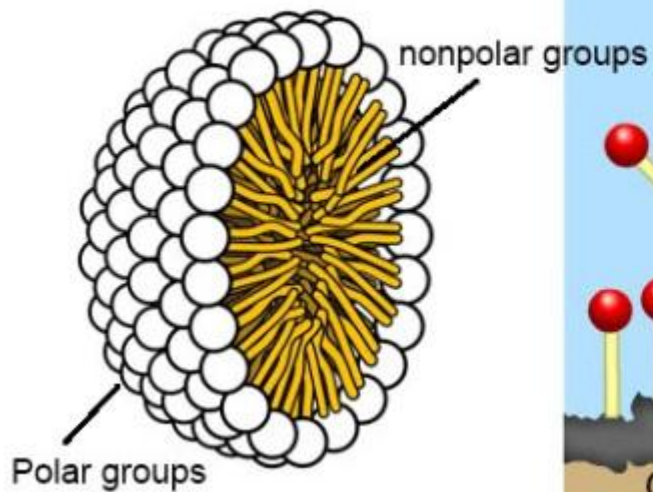
- Safra tuzlarının son görevi;
  - Trigliserit hidrolizi son derece hızlı tersinir (=geri dönüşlü) bir tepkimedir.
  - Geri dönüşü önlemek için safra tuzları yıkılan monogliseritleri hızla yağ damlalarından uzaklaştırır.
  - Safra tuzları monogliseritlere bağlanarak “**miçel**” adı verilen suda çözünebilir yapıları oluşturur.
  - Miçel yapısı monogliseritlerin fırça kenar hücrelerinin zarına kadar rahat taşınmalarını sağlar.
  - Safra tuzları tekrar tekrar kullanılabilir.

# Micelle



Buzzle.com

## Cross section of soap micelle



## Micelle formation

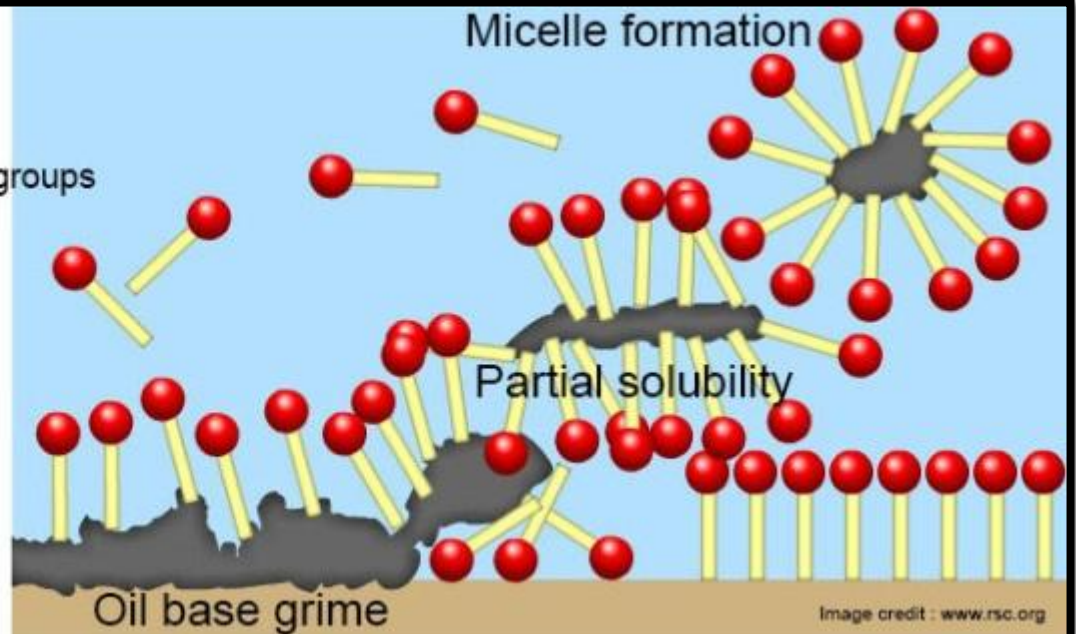
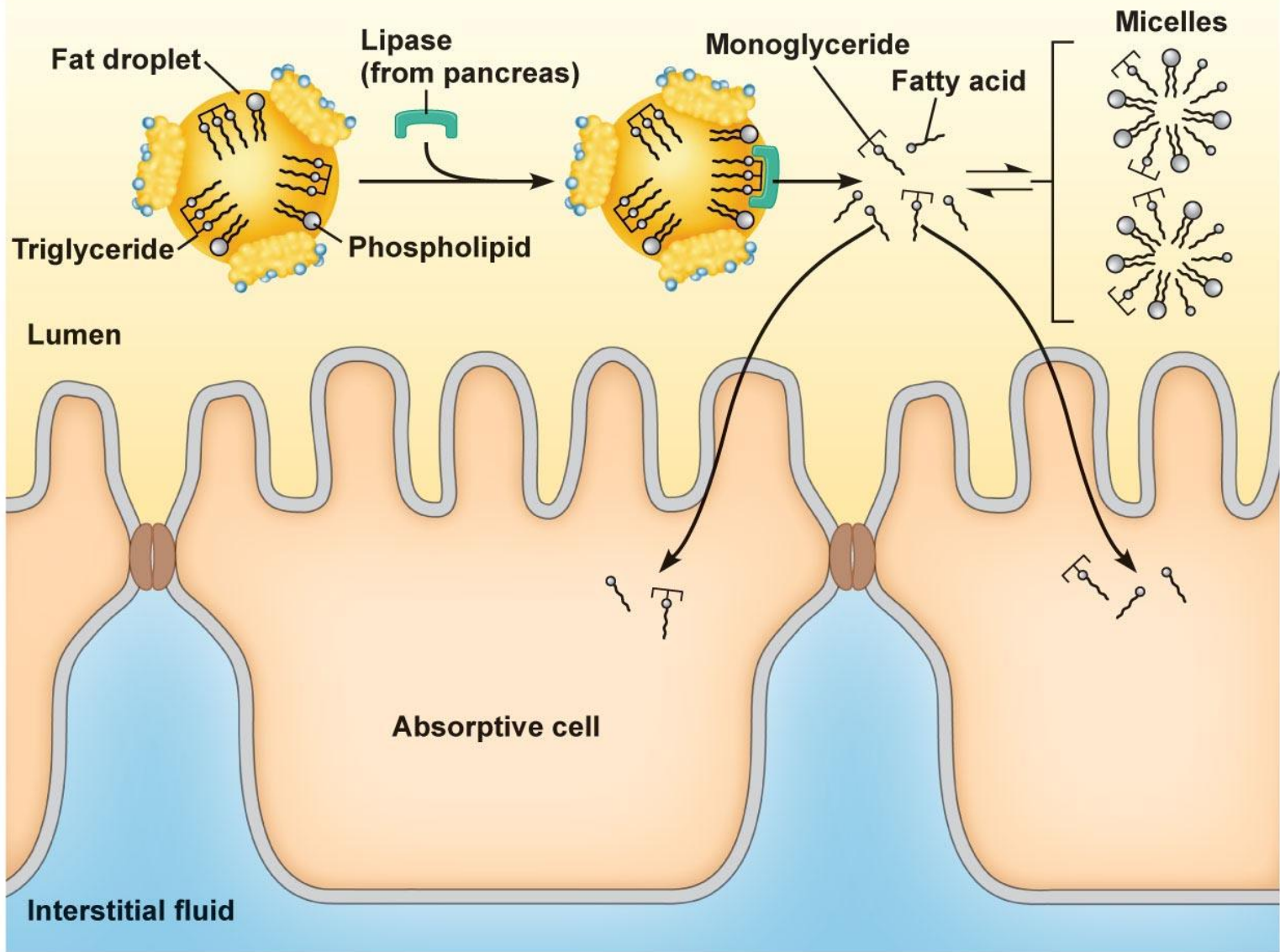


Image credit : www.rsc.org



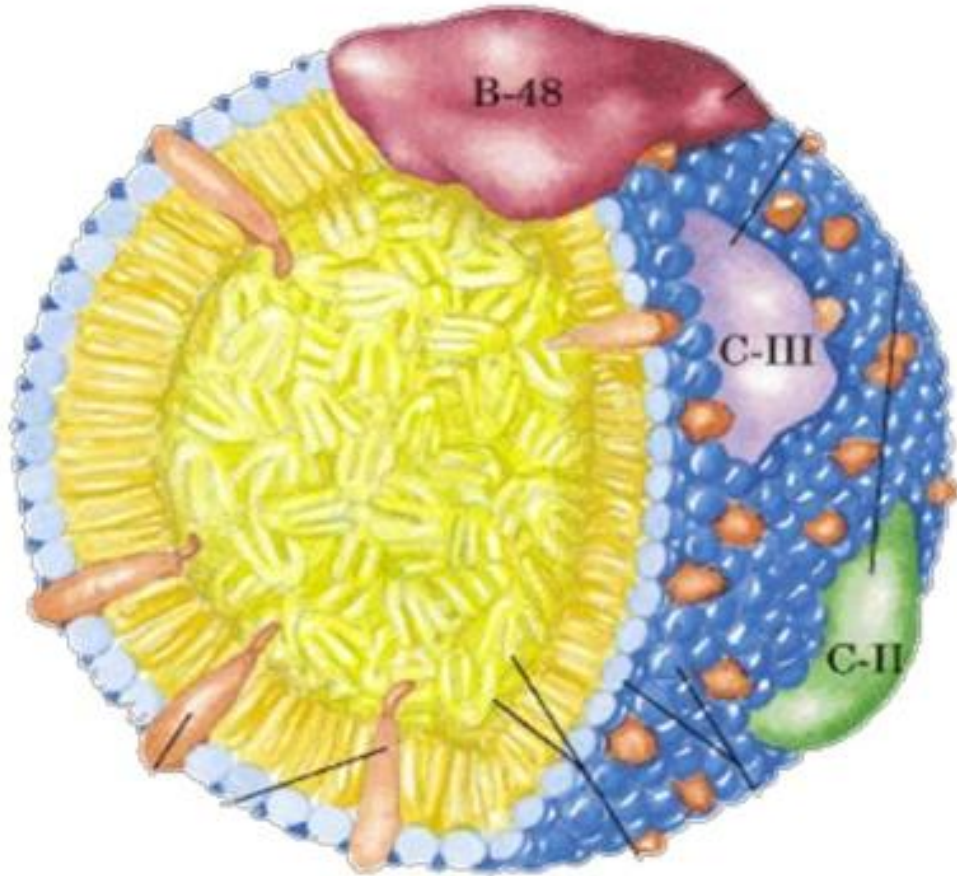
# Yağların Sindirimi

- Kolesterol esterlerinin ve fosfolipitlerin sindirimi;
  - Tıpkı trigliseritler gibi, iki lipaz tarafından gerçekleşir (pankreatik ve enterik lipaz). + Kolesterol ester hidrolaz enzimi,
  - Fosfolipitler fosfolipaz A2 enzimi tarafından sindirilir.

# Yağların Emilimi

- Monogliseritler ve serbest yağ asitleri miçellerden çıkıp epitel hücrelerine girer.
- Miçeller varken yağların %97'si emilir, miçeller yokken emilim %40-50'ye kadar düşebilir.
- Epitel hücrelerine girdikten sonra yağ asitleri hücrenin düz endoplazmik retikulumuna girer. Çoğu trigliseritlere çevrilir ve şilomikronlar ile lenf dolaşımına katılır.
- Yağların emilimi sırasıyla
  - Duodenum > Jejunum > İleum





- Size: 0.1–1  $\mu\text{m}$
- Average composition
  - TG (84%)
  - Cholesterol (2%)
  - Ester Cholesterol (4%)
  - Phospholipid (8%)
  - Apo lipoproteins (2%)

## Şilomikronun Yapısı

# Kanda Şilomikronlar

- Besin alımından bir saat sonra plazmadaki şilomikron konsantrasyonları hızla artar (plazmanın %1-2'si).
- Büyük hacimli şilomikronlar plazmanın sarı bulanık renkte görünmesine neden olabilir. Bu tip plazmalara veya serumlara **lipemik** plazma/serum adı verilir.
- Şilomikronların yarı ömrü bir saatten kısadır. Bu nedenle bir saat sonra plazma tekrar berraklaşır.





**NORMAL**



**HEMOLYTIC**



**ICTERIC**



**LIPEMIC**

# Kanda Şilomikronlar

- Besin alımından bir saat sonra plazmadaki şilomikron konsantrasyonları hızla artar (plazmanın %1-2'si).
- Büyük hacimli şilomikronlar plazmanın sarı bulanık renkte görünmesine neden olabilir. Bu tip plazmalara veya serumlara **lipemik** plazma/serum adı verilir.
- Şilomikronların yarı ömrü bir saatten kısadır. Bu nedenle bir saat sonra plazma tekrar berraklaşır.

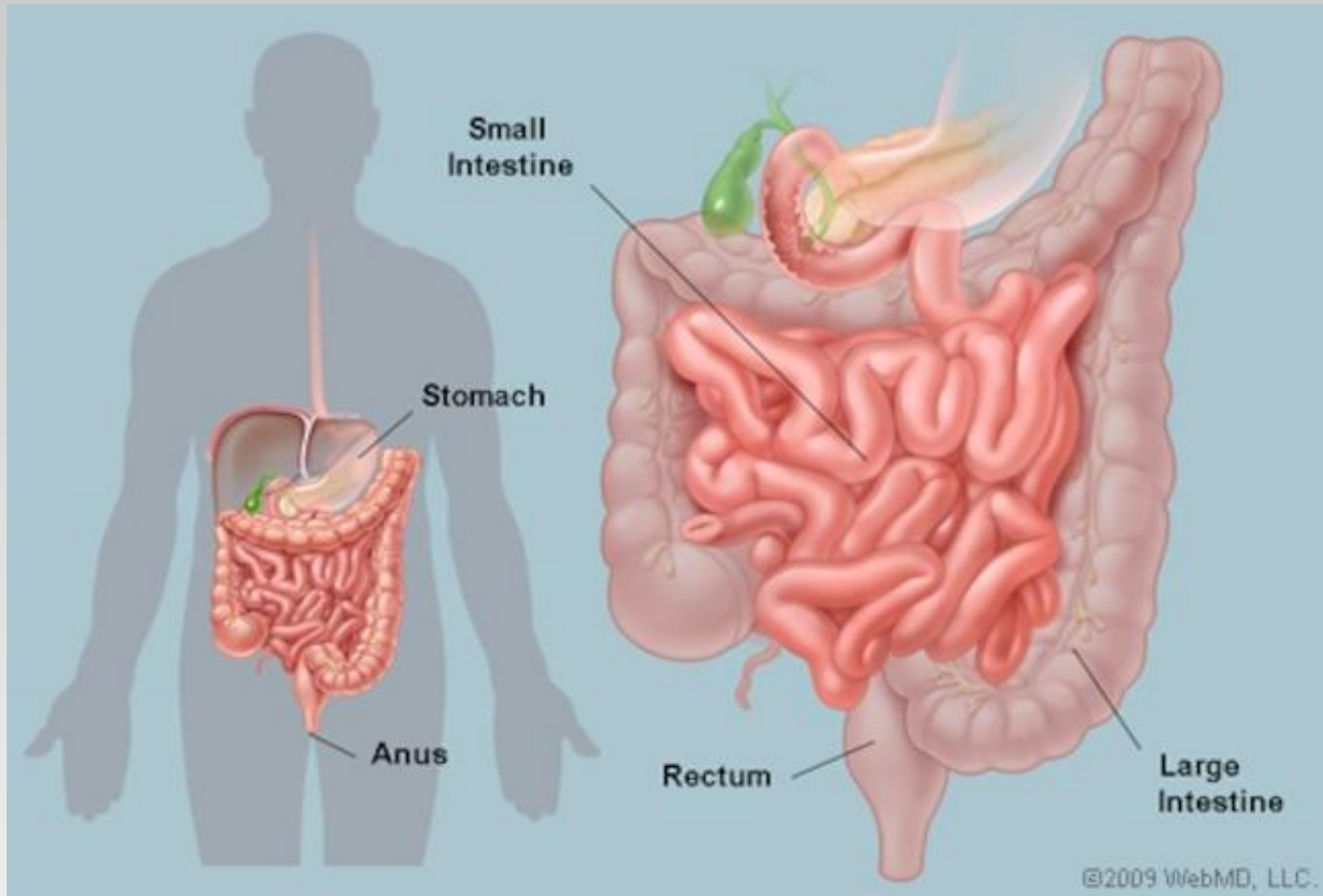
# Şilomikronlardan Depoya

- Şilomikronların içerisinde bulunan trigliseritler, lipoprotein lipaz enzimi tarafından parçalanır. Bu enzim kapiller endotelde bulunur.
- Kapiller endotel ile temas eden şilomikronların içindeki trigliseritler yıkılır açığa serbest yağ asitleri ve gliserol çıkar.
- Açığa çıkan yağ asitleri özellikle adipoz doku ve karaciğer dokusuna girer.
- Hücre içerisine girince yağ asitleri tekrar trigliseride çevrilerek depolanır.

# Depodan İhtiyaca

- Adipoz dokuda depolanmış olan yağın kullanılması gerektiğinde çoğunlukla ;
  - Serbest yağ asidi formunda hedef dokuya taşınır.
- Adipoz dokuyu terkeden yağ asitleri plazma proteinlerinden albümine bağlanarak taşınır.
- Bağlanmayı yapan yağ asitlerine serbest yağ asidi veya esterlenmemiş yağ asidi adı verilir. Normaldeki plazma konsantrasyonları 15 mg/dl civarındadır. Tüm dolaşım sisteminde 0,45 gr.

# Emilimin Anatomik Temeli



# Emilimin Anatomik Temeli

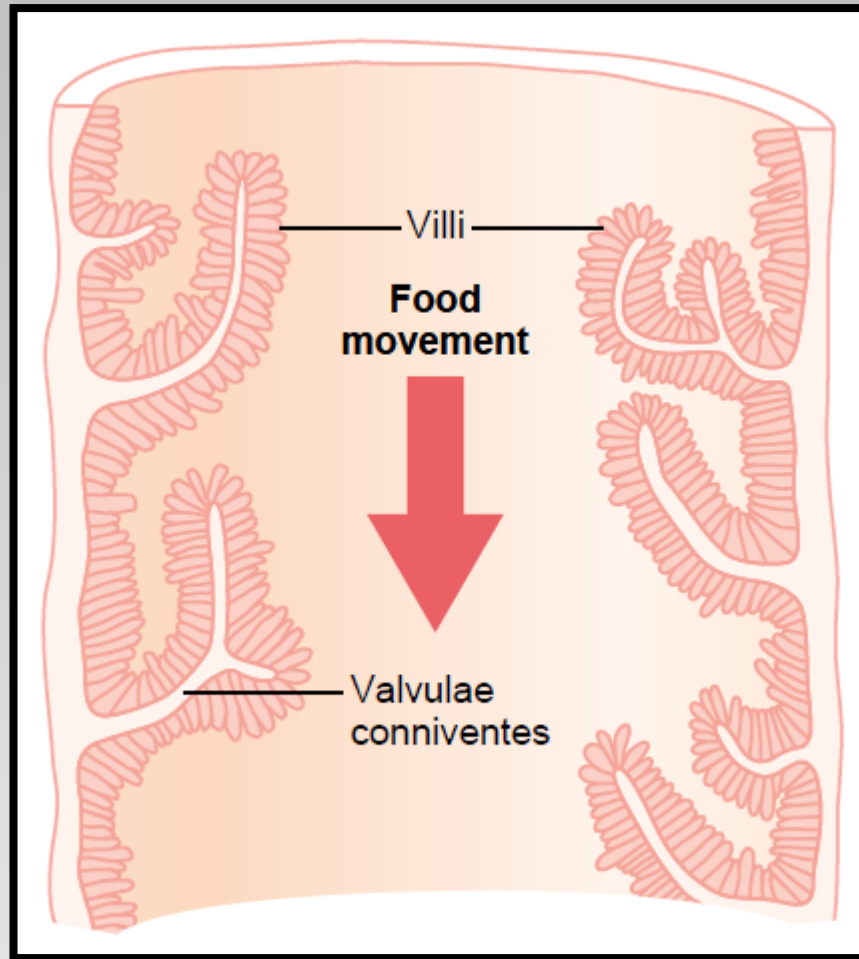
## Mide

- Mide iyi bir emilim bölgesi değildir:
  - Villus içermez.
  - Epitel hücreleri arasında sıkı bağlantı vardır.
- Alkol, aspirin ve yağda eriyen bazı ilaçlar mideden emilebilir.

# Emilimin Anatomik Temeli

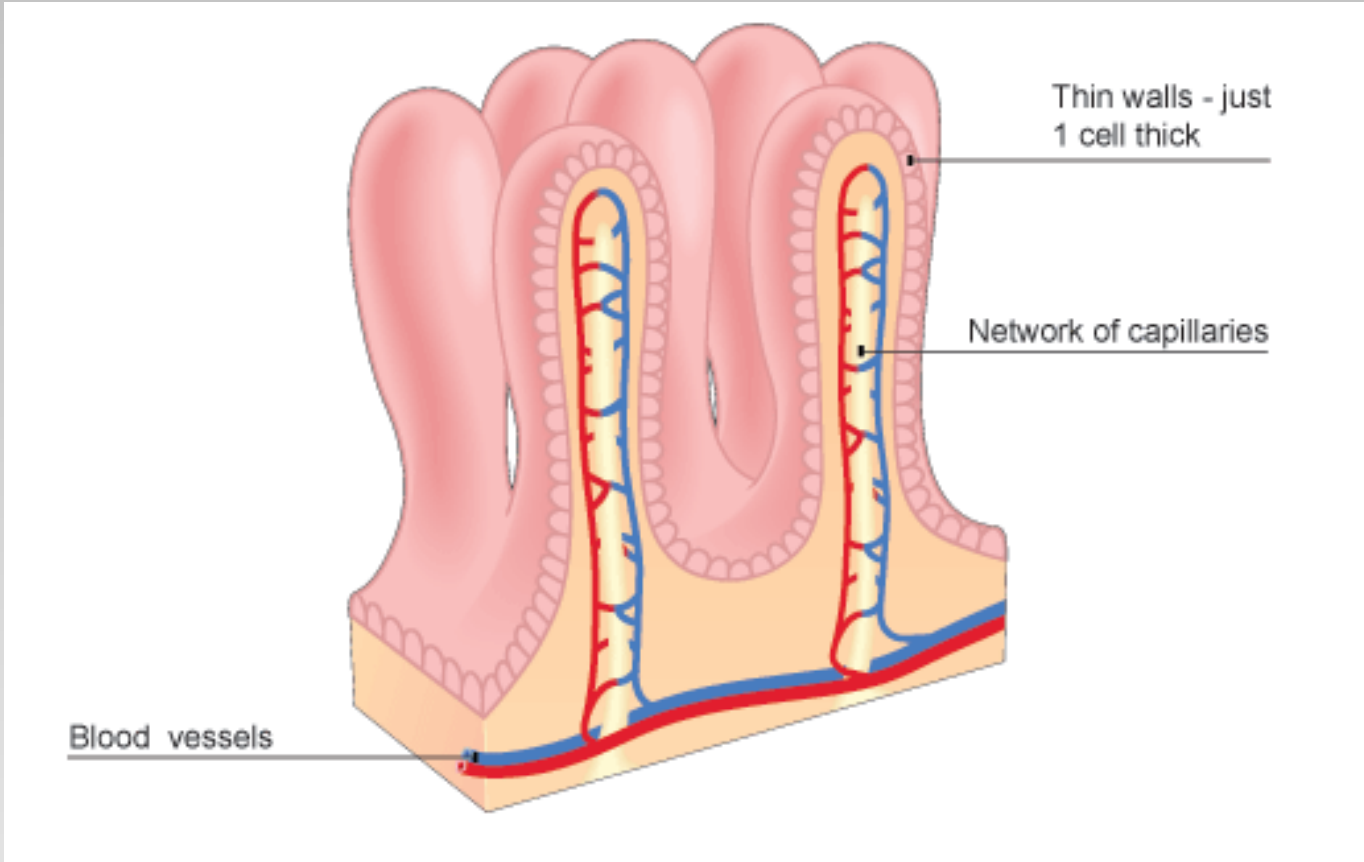
## İnce Bağırsak

- **Kercking Kıvrımları:** Emilim yüzeyi x 3
- **Villus:**
  - Fırçamsı kenarı oluşturur.
  - Distale doğru seyrekleşir.
  - Emilim yüzeyi x 10
- **Mikrovillüs:** Emilim yüzeyi x 20

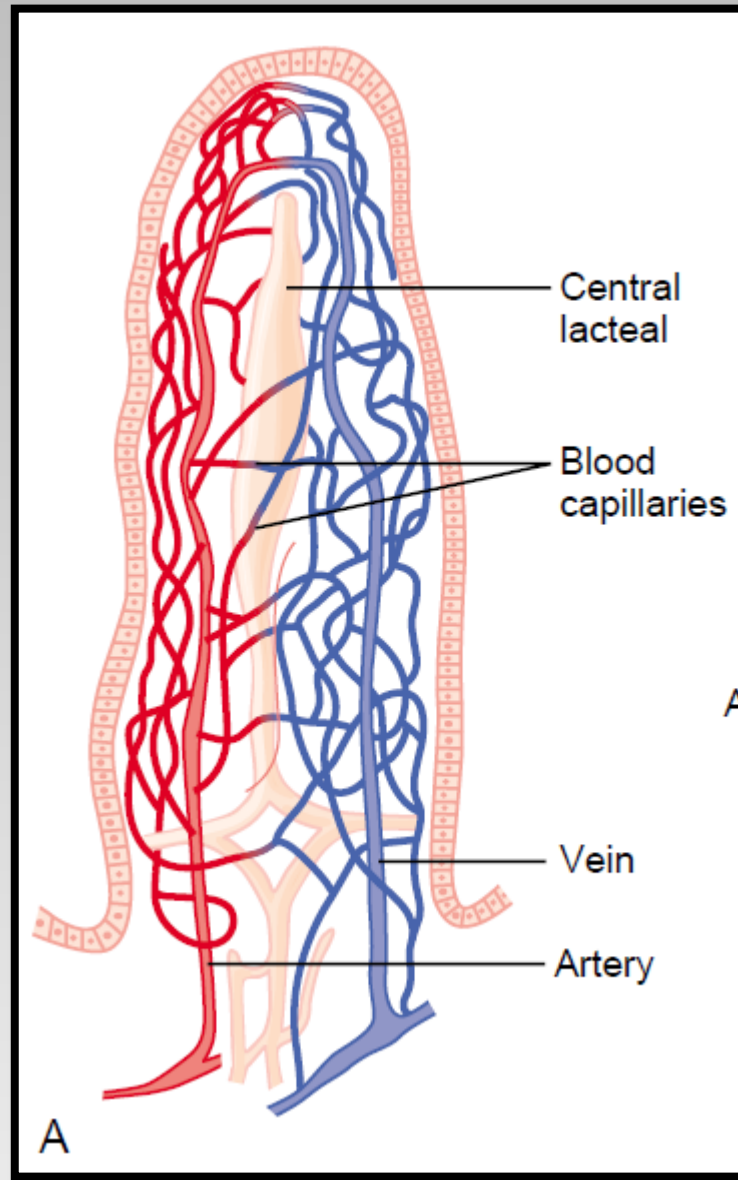


Kercking Kivrımları (*valvulae conniventes*)

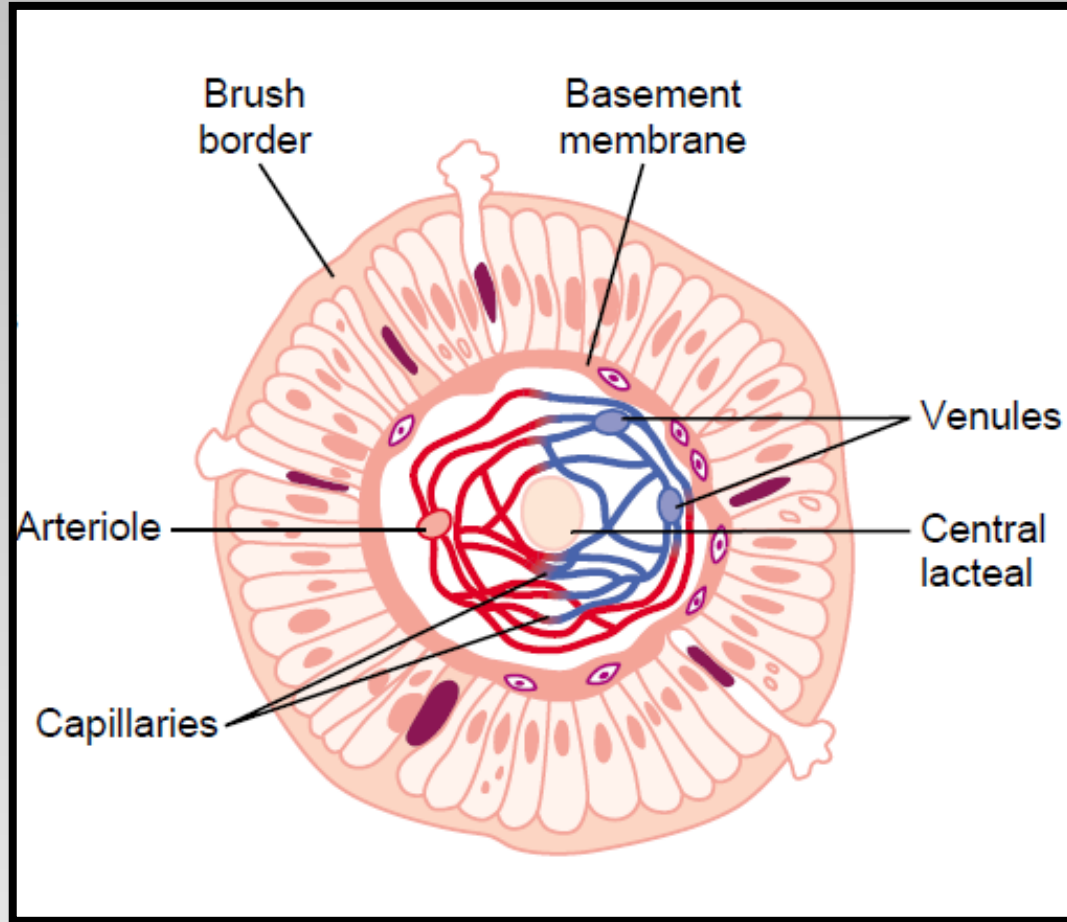




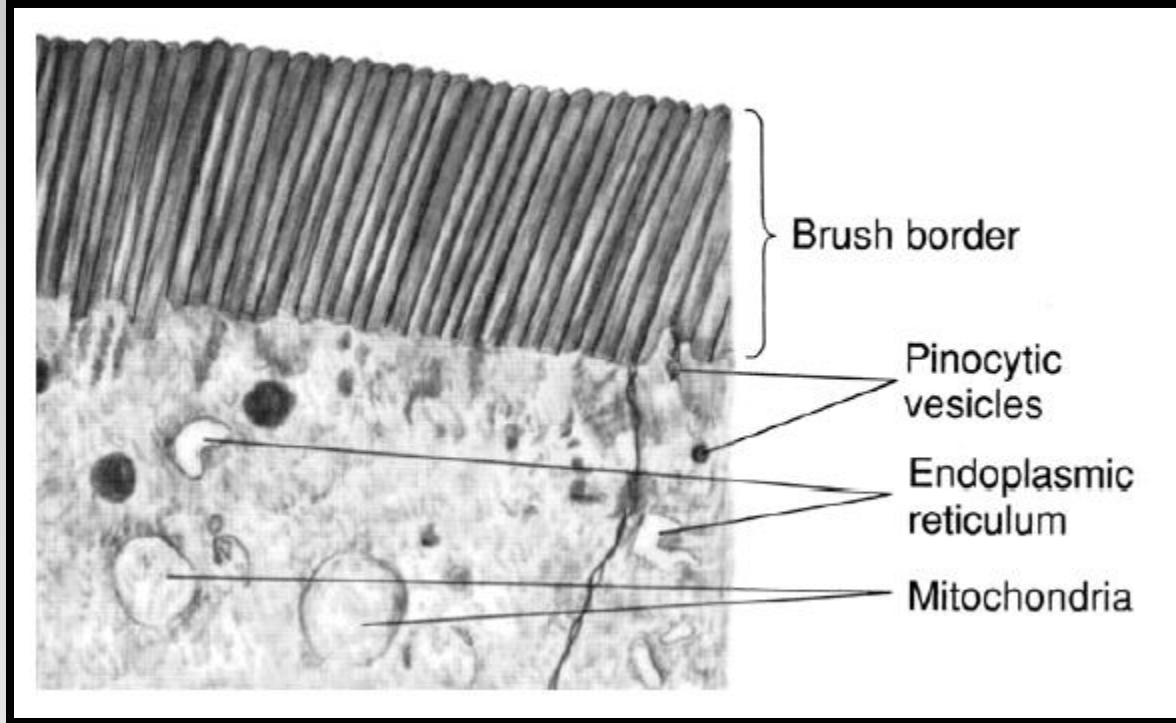
Villüs Yapısı



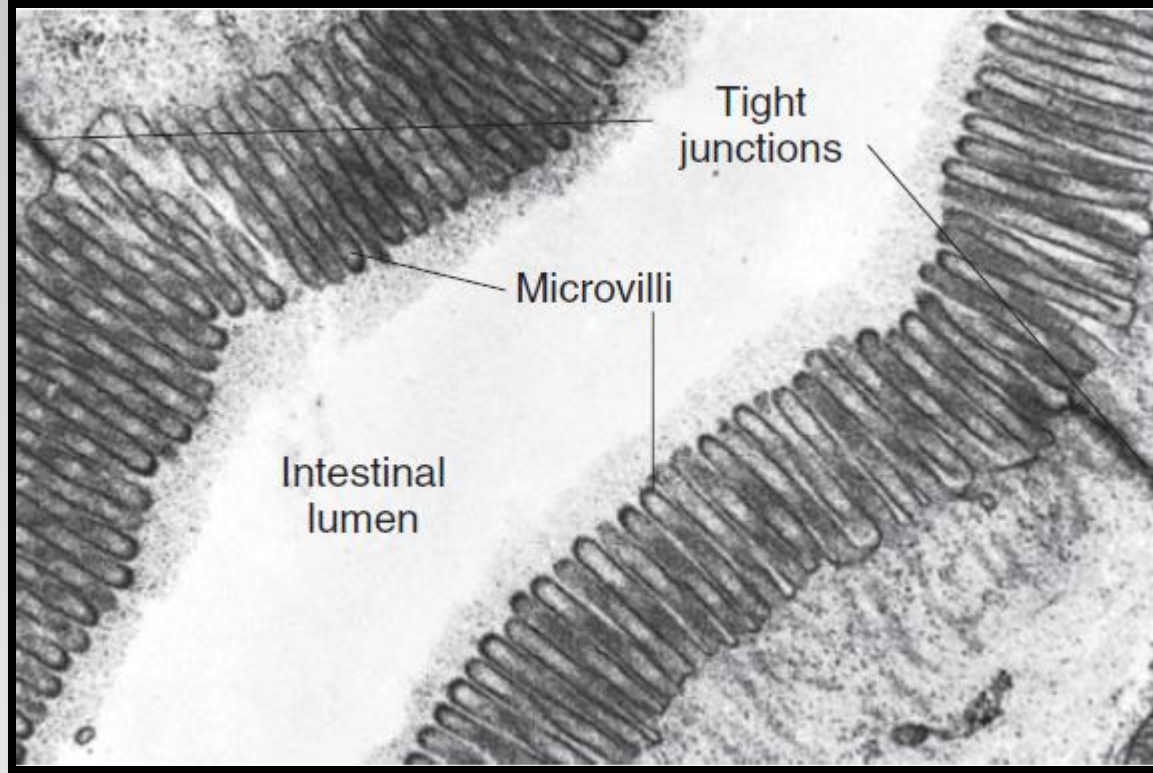
Villüs yapısının enine kesiti



Villüs yapısının dikine kesiti



Fırçamsı kenar (brush border) yapısı-I



Fırçamsı kenar (brush border) yapısı-I/

# Emilimin Anatomik Temeli

## İnce Bağırsak

- Sonuç olarak Kerckring kıvrımları, villüs ve mikrovillüsler sayesinde mukozanın emilim yüzeyi tüm ince bağırsakta 250 m<sup>2</sup> dir.
- Ayrıca fırçamsı kenarın mikrovillusları içinde paralel uzayan aktin filamentleri, mikrovillusları hareket ettirerek içeriğin karışımını sağlar.

# Kolonda Emilim

- İleoçekal valvülden kolona günde yaklaşık 1500 ml kimüs geçişi gerçekleşir. Emilim sonrasında feçes içerisinde yaklaşık 100 ml su kalır.
- Emilim kolonun proksimal bölümünde daha fazladır. Distal kolon ise daha çok feçesin depolanması ile görevlidir.



Emilen Madde	İnce Bağırsak			Kolon
	Üst	Orta	Son	
Şekerler (glukoz, galaktoz vb.)	++	+++	++	0
Amino Asitler	++	++	++	0
Vitaminler (B12 hariç)	+++	++	0	0
Uzun zincir yağ asitleri	+++	++	+	0
Safra Asitleri	+	+	+++	0
Vitamin B12	0	+	+++	0
Na <sup>+</sup>	+++	++	+++	+++
K <sup>+</sup>	+	+	+	Sekrete edilir
Ca <sup>+2</sup>	+++	++	+	?
Fe <sup>+2</sup>	+++	+	+	?
Cl <sup>-</sup>	+++	++	+	+
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	++	+	0	?

**Teşekkürler...**