

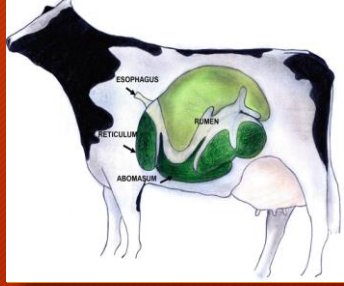
Sindirim Fizyolojisi

Prof. Dr. Hakan ÖZTÜRK

Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Fizyoloji Anabilim Dalı



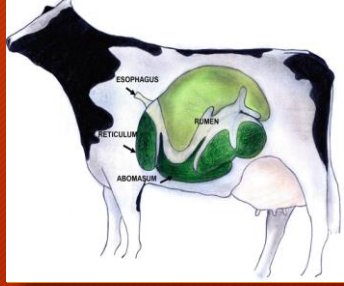
Besin Alımı, Çiğneme ve Yutma



- Tüm evcil memelilerde dudaklar, dişler ve dil, gıda alımında merkezi organlardır. Ancak gıda alımı hayvan türleri arasında önemli farklılıklar gösterir.
- Atlar yemlikten beslendiklerinde, yem esas olarak iyi hareket edebilen dudaklar tarafından alınır. Merada otlamada ise üst ve alt kesici dişlerin otu tabanından koparmasına izin vermek için dudaklar geri çekilir.



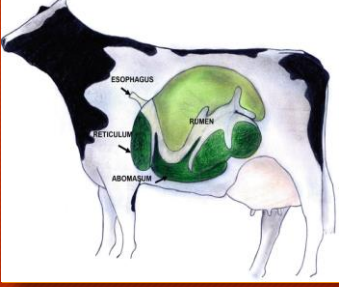
Besin Alımı, Çiğneme ve Yutma



- Buna karşın sığır ve koyunlarda dudaklar nispeten daha az hareketlidir. Bu hayvanlarda küçük ot demetleri uzun, ince ve hareketli dil ile kavranır, boyuna doğru olan kafa hareketleriyle koparılır.
- Domuzlar, doğada burunları ile zeminı kazarlar ve öne doğru sivrilmiş alt dudaklarıyla besini ağız boşluğuna



Besin Alımı, Çiğneme ve Yutma



- Karnivorlar gıda alımında öncelikle dişlerini kullanır, bu sırada genellikle ön ayaklar besinin fiksasyonunu sağlar. Serbest ve hareketli dil uçlarını kaşık formuna getirerek sıvıları alırken, diğer tüm memeliler inspirasyon ve dil kasılmasıyla emme gücü yaratıp sıvıları ağız boşluğuna naklederler.



Besin Alımı, Çiğneme ve Yutma



- Çiğneme sürecinde lokma küçük parçalara ayrılır ve tükürük ile ıslatılarak yutulabilir en iyi forma getirilir. Çiğneme yoğunluğu türden türe değişir ve yemin yapısından etkilenir. Karnivorlarda alınan besin daha az çiğnenirken, herbivorlarda besinin çiğnenmesi daha uzun bir süreci kapsar. Ruminantlarda her lokma için yaklaşık 60 saniye süren ruminasyon fazı mevcuttur.
- Çiğneme sırasında çene hareketleri karnivor ve omnivorlarda ağırlıklı olarak vertikal düzlemde yapılırken, herbivorlarda horizontal düzlemde ve genellikle sadece çenenin bir tarafında çiğneme tarzında olur.

Besin Alımı, Çiğneme ve Yutma



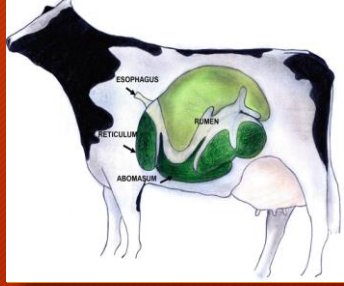
- Çiğnenmiş ve tükürük ile karıştırılmış lokmanın yutulması, ağız boşluğu ve yutaktaki yapıların karmaşık bir prosesidir, istemli ve refleksif kısımlardan oluşur.
- İstemli kısımda, lokma ağız ve dil hareketleri sayesinde yaklaşık olarak ortada, dil ve sert damak arasında konumlandırılır. Bu durumda, ağız boşluğunun gerisi ve farinks bölgesindeki mukozada bulunan reseptörler besin ile uyarılır. Reseptörlerce alınan uyarılar aksiyon potansiyellerine dönüştürülür ve N. vagus, N. glossopharyngeus ve N. trigeminus'un afferent lifleriyle yutma merkezine iletilir. Yutma merkezi, 4. beyin ventrikülünün tabanında bir grup nöron tarafından oluşturulmuştur.

Besin Alımı, Çiğneme ve Yutma



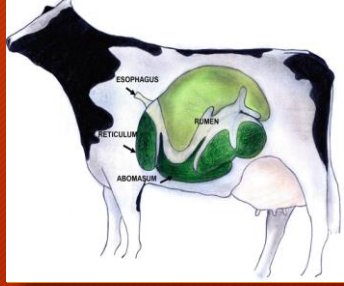
- Bu nöronların uyarılmasından sonra yutmanın refleksif kısmı V., IX., X., XI ve XII. kraniyal sinirlerin motorik dalları üzerinden kontrol edilir, bu sinirlerin efferent dalları dil, ağız boşluğu, yutak ve gırtlak kaslarını innerve eder.
- Yutmanın refleks kısmının başlangıcında, yumuşak damağın arka farinks duvarına sıkıca kaldırılması ve larinksin farinkse olan açıklığının kısmen kapatılmasıyla ağız boşluğu öncelikle nazofarinks ve trake yönlerine kapatılır. Aynı zamanda ses tellerinin kaudal sonlanmalarının yapışık olduğu arytenoid kıkırdaklar larinks kaslarının kasılmasıyla birbirine yaklaştırılır.

Besin Alımı, Çiğneme ve Yutma



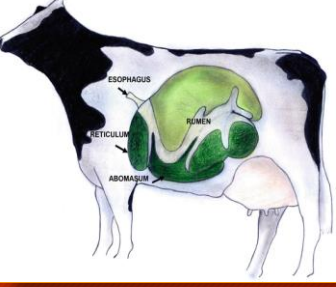
- Bu aşamada, solunum kısa bir süreliğine inhibe edilir. Bir sonraki aşamada, lokma ağız boşluğundan kranial özofagusun sonuna nakledilir. Bu işleme M. myohyoideus ve M. hyoglossus kasılmaları aracılık eder. M. myohyoideus kasılmasıyla dil sert damağa doğru bastırılırken, M. hyoglossus kasılmasıyla geriye doğru çekilir. Kapanan yutak boşluğundaki hacim azalması intrafarengeal basınçta artışa ve farinks ile özofagus arasındaki geçiş bölgesinde gevşemeye neden olur. Bu bölge, yüksek dinlenme tonusu ile karakterize bir sfinkter mekanizmasıyla kontrol edilir. Gevşeme, tonik kasılmanın inhibisyonu ile sağlanır.
- İnsanlarda, sfinkterin gevşemesi yutmanın başlangıcından yaklaşık 0,2-0,3 sn. sonra başlar ve yaklaşık 0,5-1,2 sn. sürer. Bu işlemlerden kaynaklanan kraniokaudal yöndeki basınç gradyanı nedeniyle lokma sfinkter bölgesinden geçer ve başlangıç gevşemesiyle özofagusun kranial kısmına ulaşır.

Besin Alımı, Çiğneme ve Yutma



- Özofagusun kranialinden başlayarak kaudale ilerleyen peristaltik bir dalga oluşur. Sfinkter bölgesindeki dinlenme tonusunu aşan başka bir kasılma da bu peristaltik dalgaya eşlik eder. Lokma özofagustan nakledildikten sonra dinlenme tonusuna geri dönülür.
- Yutmayla indüklenen primer peristaltik dalga, özofagusun direkt lokal stimülasyonu ile oluşabilen olası sekonder peristaltik dalgadan ayırt edilmelidir.
- Özofagus kasılmalarını musküler duvar katmanı sağlar. Çoğu evcil memeli hayvanda özofagusun yapısındaki sirküler ve longitudinal kas telleri çizgili kas yapısındayken, atlar ve kedilerde özofagusun kaudal kısmının duvarı düz kas liflerinden oluşur.
- Özofagusun kranial bölgesi N. reccurens, kaudal bölgesi ise torakal vagus dalları tarafından inerve edilir. Özofagusta lokmanın ilerleyiş hızı köpekte yaklaşık 5 cm/sn kadardır. Buna göre lokma 4-5 saniyede yemek borusundan nakledilir.

Besin Alımı, Çiğneme ve Yutma

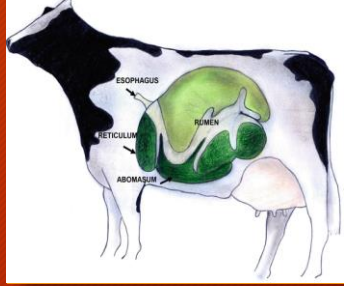


KISACA

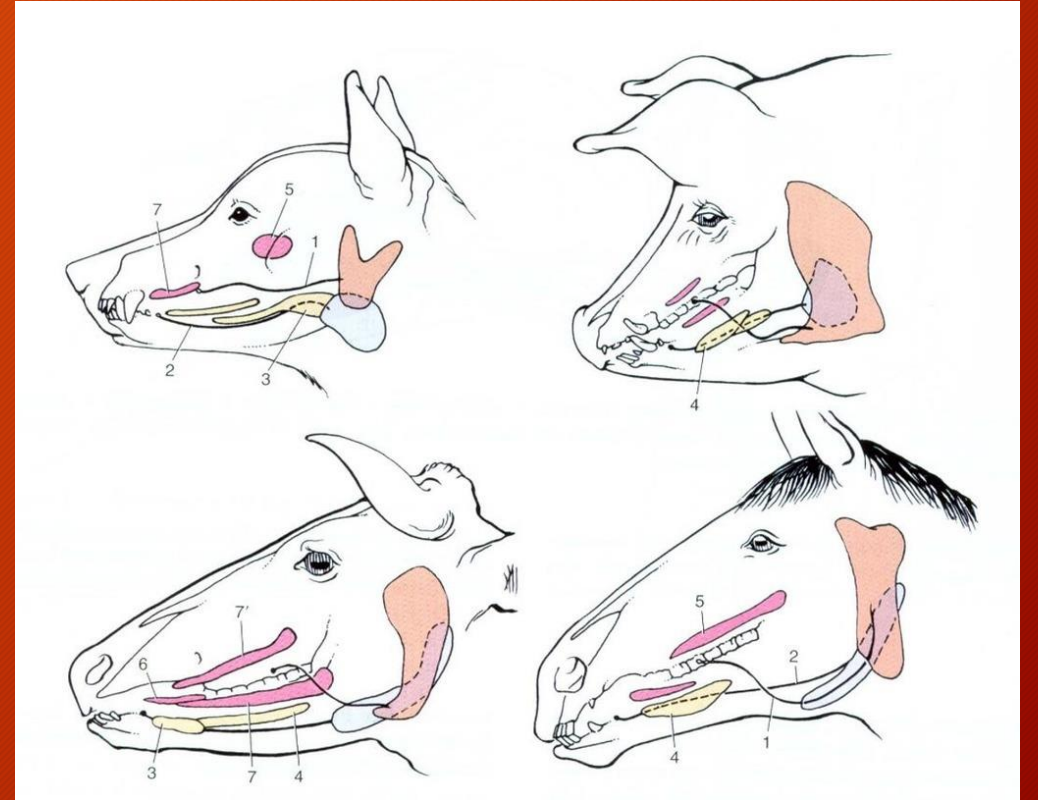
- Yutma eylemi, istemli ve istemsiz bölümlerden oluşan ve sinir sistemince düzenlenen çok karmaşık bir olaydır.



Tükürük Sekresyonu



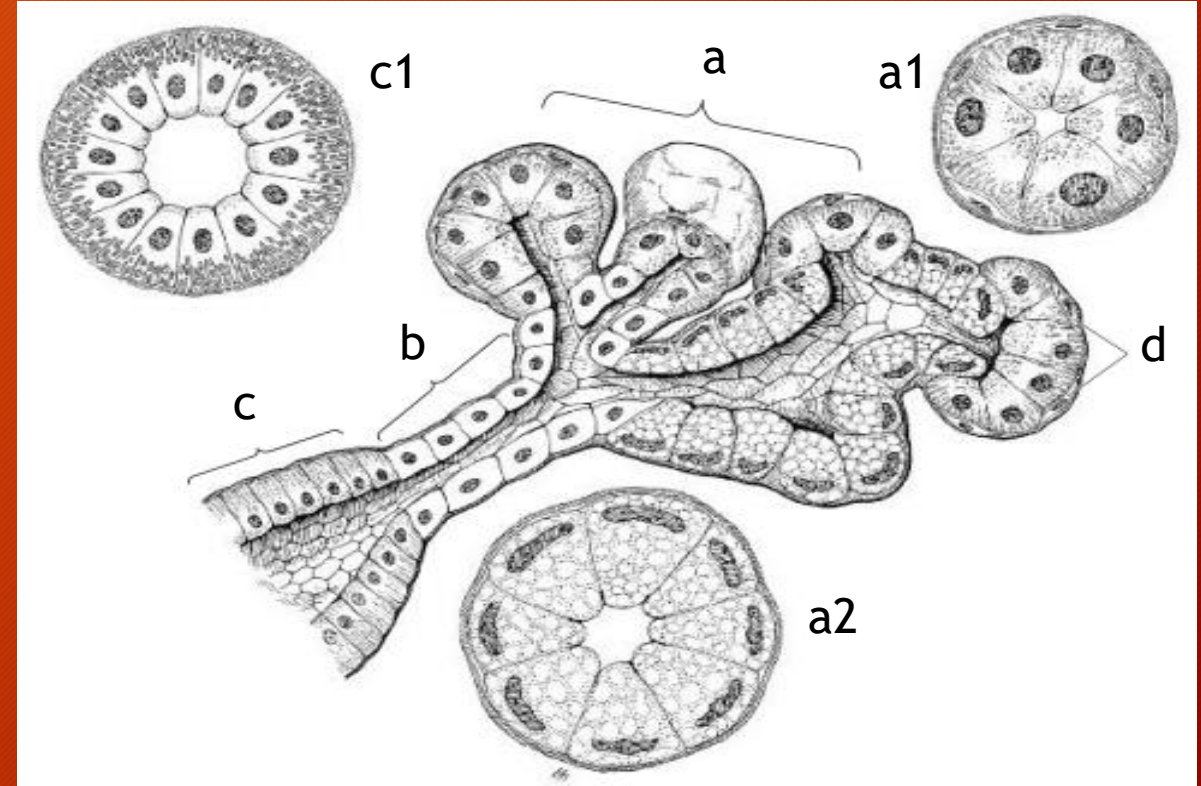
Tükürük bezlerinin seröz, müköz veya seromüköz salgılarının karışımından oluşan tükürük, ağızdaki ve ruminantların önmidelerindeki sindirim olaylarında birçok işlevi olan bir sindirim salgısıdır. Memelilerde, her biri çift olarak bulunan kulak altı (patotis), mandibular (submaksillar) ve dilaltı bezleri ana tükürük bezleridir. Bu bezlerin salgılarına çok sayıda küçük tükürük bezlerinin (ventral yanak bezleri, damak-, yanak-, farinks- ve dudak bezleri) salgısı da ilave edilir.



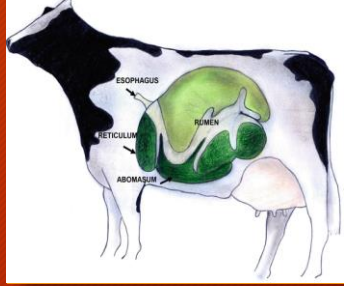
Tükürük Sekresyonu



- Serömüköz bir bezin histolojik yapısı:
- **a Bezin uç kısmı (Asinüs)**
 - a1 Seröz asinüs hücreleri
 - a2 Muköz asinüs hücreleri
- **b İnterkalar kanal**
- **c Çizgili kanal**
 - c1 Çizgili kanal hücreleri
- **d Miyoepitel hücreler**

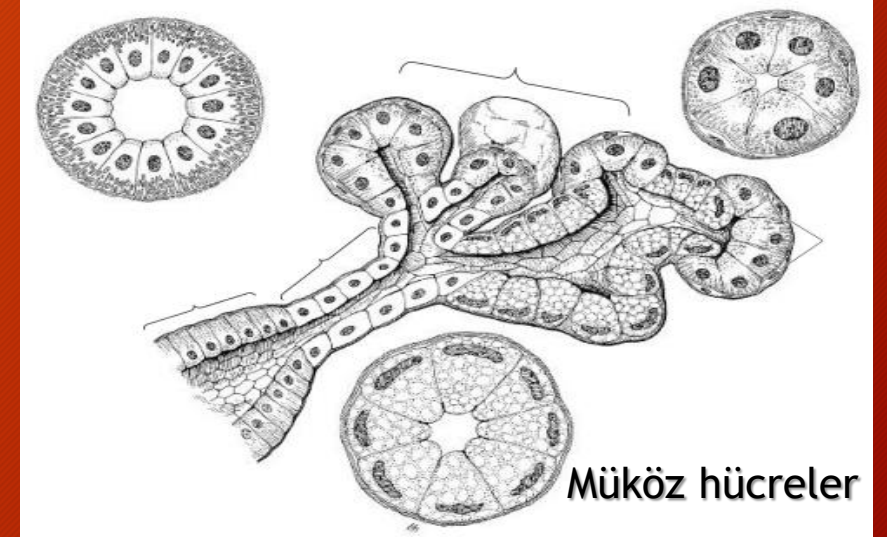


Tükürük Sekresyonu



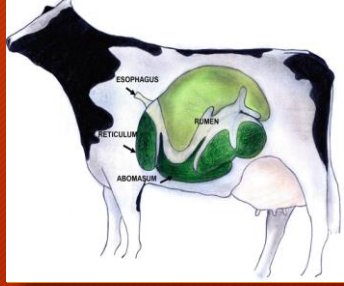
Salgı bezinin asinüsü seröz ve müköz hücrelerden oluşmuştur. Bu hücreler morfolojik farklılıklar gösterir. Seröz hücreler piramit şeklindedir, yuvarlak çekirdekleri merkezi olarak yerleşmiştir ve hücrenin bazal bölgesinde çok sayıda granüllü endoplazmik retikulum bulunur. Buna karşın müköz hücrelerin çekirdekleri basıktır ve bazal bölgeye yakın yerleşmiştir. Müköz hücreler, hücre içine dağılmış çok sayıda salgı granülleri içerir. Salgı bezlerinin asinüsleri, sepet hücreleri olarak da isimlendirilen miyoepitel hücreleriyle dışarıdan kısmen sarılmıştır. Miyoepitel hücreler, iskeletinde aktin ve miyozin miyofilamentlerinin olduğu değişikliğe uğramış kasılabilir epitel hücreleridir. Gap junction'lar komşu miyoepitel hücrelerini birbirlerine bağlar. Asinellere, asinus hücrelerinin rejeneratif bölgesi olan interkalar kanal bağlıdır. Bunu ruminantlarda kısmen oluşmuş çizgili kanal takip eder.

Seröz hücreler



Müköz hücreler

Tükürüğün Görevleri



- Tükürüğün çok çeşitli görevleri vardır. Bunlar, primer sindirim fizyolojisi fonksiyonları ve sekonder fonksiyonlar olarak ikiye ayrılır.
- Birinci grupta, tüm memeliler için geçerli olan ağız mukozası ve dişleri kuruma, asitliğe karşı koruma, lokmanın ıslatılması ve kayganlığının artırılmasıyla yutmanın kolaylaştırılması, insan ve domuz gibi bazı türlerde karbonhidratların enzimatik sindiriminin başlatılması bulunur. Ruminantlarda, tükürükle birlikte büyük miktarda fosfat, bikarbonat ve ürenin salgılanması suretiyle rumen pH'sının düzenlenmesi ve azot metabolizmasında rol oynama tükürüğün diğer sindirim fizyolojisi fonksiyonları arasındadır.
- Sekonder tükürük fonksiyonlarının olduğu grupta ise tükürüğün bakterisidal etkileri, bazı hayvanlarda soluma yoluyla termoregülasyona katılma ve yine bazı türlerde savunma davranışlarına aracılık etme bulunmaktadır.

Salgı Miktarı ve Tükürüğün Bileşimi



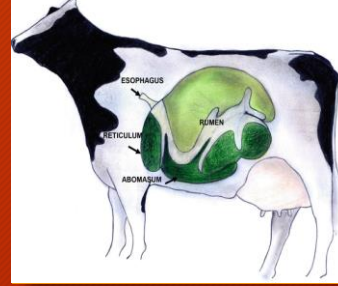
- Tükürük, esas olarak H_2O , elektrolitler ve müsenden oluşmuş renksiz, hafif yanardöner bir sıvıdır. Kulakaltı ve ventral yanak bezleri dışındaki diğer tükürük bezlerinin sürekli salgı yapmaması nedeniyle günlük salgılanan tükürük miktarı sabit değildir. Tükürük üretimi türler arasında büyük farklar gösterir. Etçillerde günlük sadece 0,1-0,2 l tükürük salgılanırken, sığırdaki günlük tükürük hacmi 250 l'ye kadar olabilir. Diğer evcil memelilerde salgılanan tükürük miktarı bu ekstrem değerler arasında yer alır.
- Ortalama olarak tükürüğün yaklaşık %90'ı Glandula parotis ve Glandula mandibularis bezlerinin salgılarından oluşur. Geri kalan %10'luk kısmın ise yarısı sublingual bezler diğer yarısı ise öteki küçük tükürük bezleri tarafından oluşturulur.

Salgı Miktarı ve Tükürüğün Bileşimi

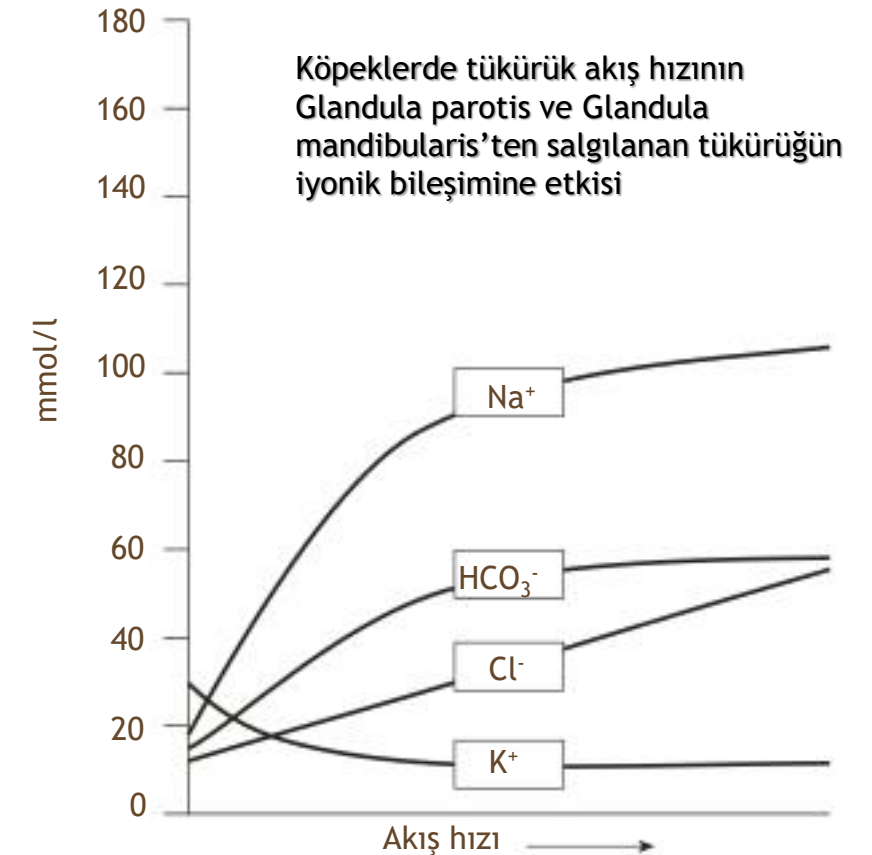


Tür	Tükürük hacmi (l · gün ⁻¹)
İnsan	1-1,5
Karnivorlar	0,1-0,2
Domuz	1-1,5
Koyun	6-16
Sığır	60-250
At	5-10

Salgı Miktarı ve Tükürüğün Bileşimi



- Seröz, müköz ve serömüköz gibi farklı salgı özelliklerinin fizyolojik önemi tam olarak bilinmemektedir. Muhtemelen seröz salgılar öncelikle tamponlamada, müköz ve serömüköz salgılar ise mukozayı korumada görevlidir.
- Geviş getirmeyen hayvanlarda bazal salgılama hızında tükürüğün ozmolaritesi $60-80 \text{ mOsmol} \cdot \text{l}^{-1}$ kadardır (hipotonik). Tükürük $10-30 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ değerleri arasında Na^+ , K^+ , Cl^- ve HCO_3^- ile az miktarda H_2PO_4^- içermekte olup, pH'sı 7,4'tür. Salgılanma hızının uyarılması Na^+ , Cl^- ve HCO_3^- konsantrasyonlarını artırmakta, K^+ konsantrasyonunda ise küçük değişimler meydana getirerek tükürüğü izotonik değerlere yaklaştırmaktadır.



Salgı Miktarı ve Tükürüğün Bileşimi



Geviş getirenler ve getirmeyenlerde, bazal ve uyarılmış koşullarda ortalama Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- ve fosfat miktarları ($\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$).

	Geviş getirmeyenler		Gevişenler
	Bazal	Uyarılmış	
Na^+	10	100	160
K^+	10	10	5
Cl^-	10	40	15
HCO_3^-	5	60	90-140
Fosfat	İz miktarda	İz miktarda	5-35

Salgı Miktarı ve Tükürüğün Bileşimi



- Elektrolitler yanında tükürük ayrıca azotlu bileşikleri de içerir, bunlar arasında ruminantların tükürüğündeki üre %80 ile en büyük paya sahiptir. Geviş getirenlerin tükürüğündeki üre konsantrasyonu plazma üre konsantrasyonunun %50-65'i kadardır. Üre salgılanmasının fizyolojik önemi, ürenin önmidelere geri gönderilmesi ve burada mikrobiyel üreazlarla hızla parçalanarak açığa çıkan amonyağın mikrobiyel protein sentezinde tekrar kullanılmasıdır. Yani tükürükle üre salgılanması ruminohepatik azot döngüsünün bir parçasıdır.
- Domuz, tavşan ve sıçanda amilazlar, buzağıda ise lipaz tükürükte bulunan proteinlerdir. Ayrıca tükürükte iz miktarda lizozim, laktoferrin ve immunoglobulinler de bulunmaktadır.

Tükürük Sekresyonunun Hücresel Mekanizması



- Tükürük üretim süreci tükürük bezlerinin iki bölgesinde şekillenir. Bezin asini denenen son bölümünde bileşimi plazmaya benzeyen primer tükürük yapılır.
- Çizgili ve interkalar kanallarında ise çeşitli modifikasyonlar sonucu (Na^+ ve Cl^- geri emilir, K^+ ve HCO_3^- sekrete edilir) sekonder tükürük denenen asıl tükürük meydana getirilir.
- HCO_3^- ağızdaki mikroorganizmaların ürettiği asitleri nötralize eder. Ruminantlarda çizgili kanallar kısmen gelişmiştir.

Tükürük Salgılanmasının Kontrolü



- Tükürük bezlerinin inervasyonu, N. facialis ile N. glossopharyngeus'un parasempatik telleri ve ilk üç torakal segmentten çıkan sempatik sinir telleri tarafından sağlanır.
- Parasempatik tellerin stimülasyonu muskarinerjik reseptörler (M_3) aracılığıyla vazodilatasyona yol açar. Bu vazodilatasyon, kısmen direkt kısmen de indirekt olarak vazoaaktif maddeler (bradikinin) üzerinden gerçekleştirilir ve sonuçta tükürük salgınımında, özellikle de parotis bezinin sekresyonunda belirgin bir artış meydana gelir.

Tükürük Salgılanmasının Kontrolü

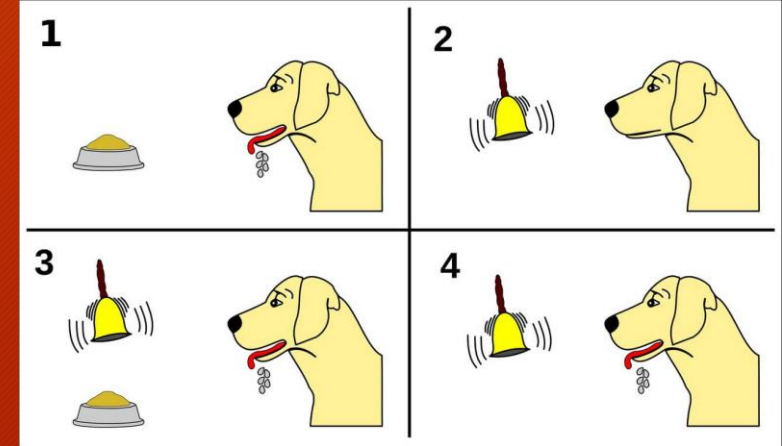


- Asetilkolinden başka örneğin VIP gibi diğer neurotransmitterlerin de önemli olabileceği düşünülmektedir. Monogastrik türler ve ruminantlarda asetilkolinin etkilerine ikincil haberci sistemi olarak sitozolik Ca^{2+} konsantrasyonundaki değişimler aracılık etmektedir.
- Sempatik uyarı vazokonstriksiyona ve tükürük sekresyonunda azalmaya yol açar. Bu etkiler α_1 -reseptörler ve intraselüller kalsiyum aracılığıyla gerçekleştirilir. Sempatik etki altında tükürüğün protein ve müsin içeriği artar. Bu duruma, sempatik efferent tellerin α_1 -reseptörler üzerinden sepet hücrelerinde oluşturduğu tonus artışı da dâhil olur.

Tükürük Salgılanmasının Kontrolü



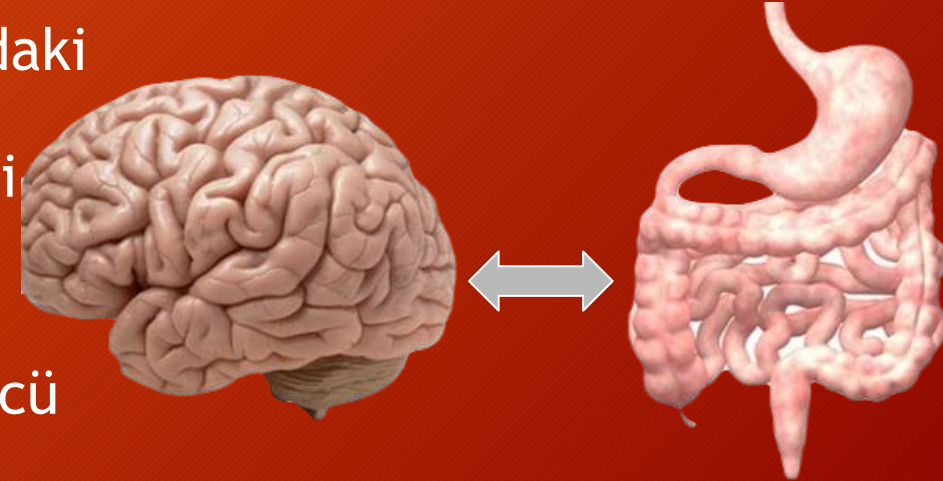
- Tükürük salgılanmasının refleksif kontrolünde şartsız ve şartlı refleksler rol oynar.
- Şartsız refleksler ağız boşluğu, özofagus ve retikülorumen bölgelerinde lokalize olan kemo- ve mekanoreseptörler yardımıyla başlatılır. Kemoreseptörler özellikle önmide içeriğindeki pH değişikliklerinden, mekanoreseptörler ise yemin yapısından etkilenir.
- Şartlı reflekslerin tükürük salgısının uyarıcısı olduğuna dair kanıt, Pawlow'un köpekler üzerinde yaptığı zil sesinden sonra besin verilmesi ile ilgili klasik deneylerine dayandırılmaktadır. Pawlow, belli bir eğitim döneminden sonra besin verilmemesine rağmen akustik uyarıyı duyan hayvanlarda tükürük salgısının arttığını belirlemiştir. Bu araştırmalar sayesinde ilk kez merkezi sinir sisteminin refleks yolla sindirim fonksiyonlarını etkileyebildiği kanıtlanmıştır.



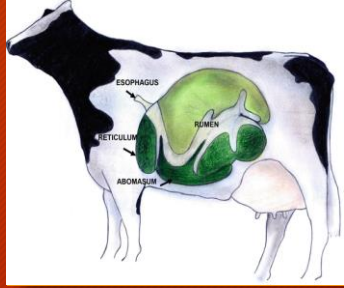
Enterik Sinir Sistemi ve Gastrointestinal Sistemin İnervasyonu



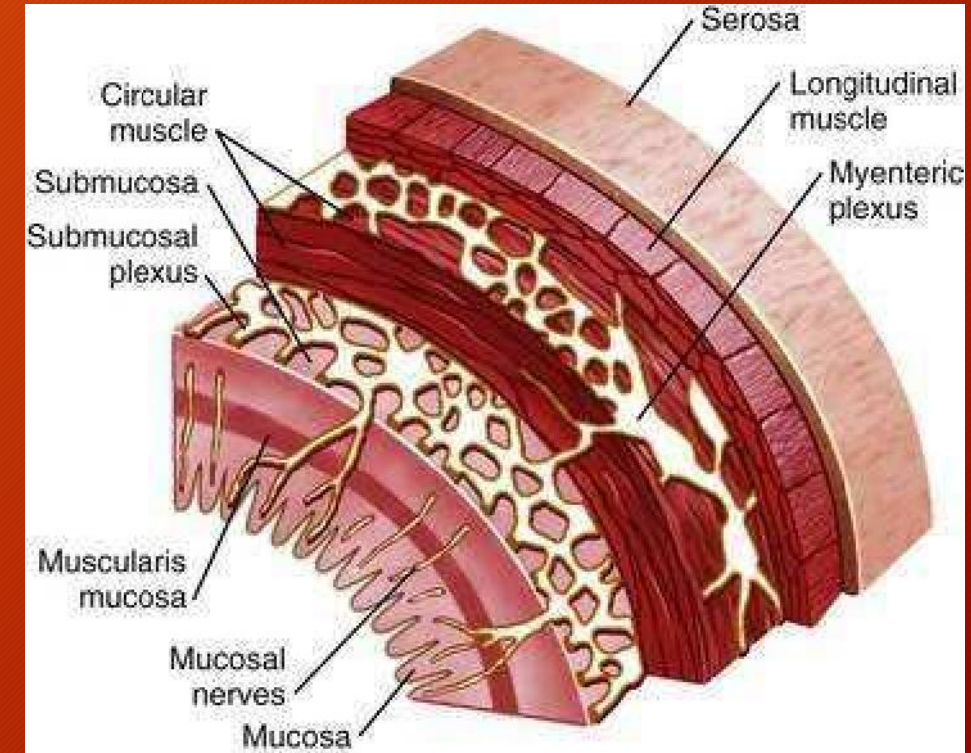
- Enterik sinir sistemi refleksler oluşturabilir ve bu sayede ekstrinsik inervasyondan bağımsız olarak çoğu bağırsak fonksiyonunu kontrol eder.
- Ekstrinsik sinirlerin görevi bağırsak bölümleri arasındaki koordinasyonu sağlamak ve sindirim kanalının aktiviteleriyle diğer organ sistemlerinin aktivitelerini birbirine uyumlu hale getirmektir.
- Enterik sinir sistemi sempatik ve parasempatik sinir sisteminin yanında otonom sinir sisteminin ayrı üçüncü bir bölümü olarak kabul edilir. Enterik sinir sistemi yaklaşık 100 milyon enterik sinir hücre gövdesini içerir. Bu sayı neredeyse omurilikteki sinir hücrelerinin toplamı kadardır (vücudun ikinci beyni) !!!



Enterik Sinir Sistemi



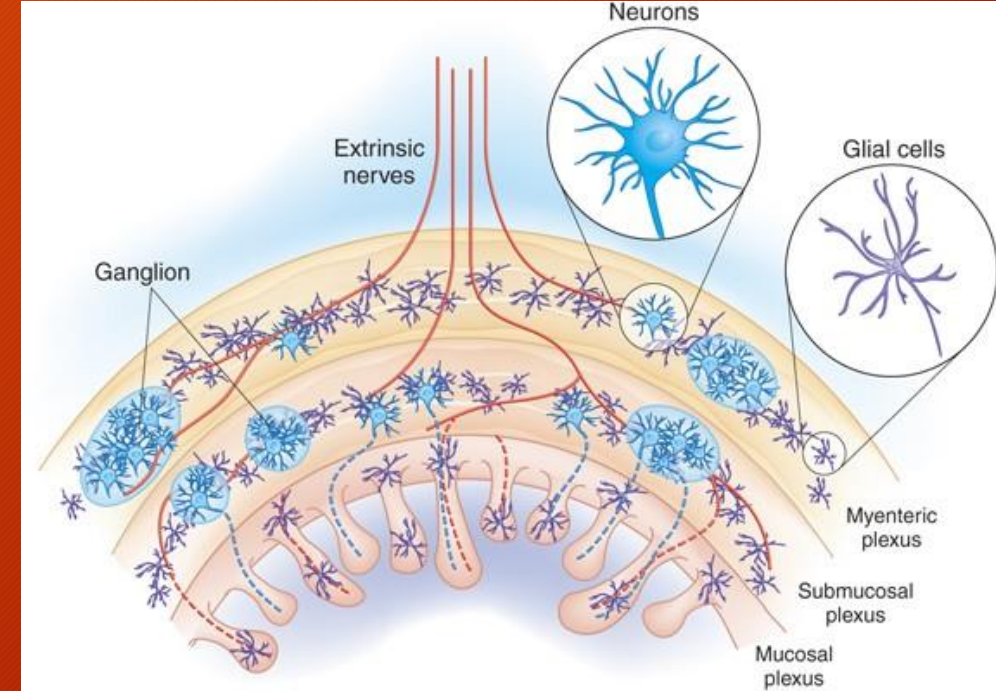
- Enterik sinir sistemi tüm mide-bağırsak sisteminin duvarına yerleşmiş ve özofagustan rektuma kadar uzanan bir ağ gibi yayılmıştır. Hem anatomik hem de fonksiyonel olarak enterik sinir sistemi iki bölüme ayrılır. Bunlardan pleksus miyenterikus longitudinal ve sirküler kas katmanları arasında yer alırken, pleksus submukosus lumene daha yakın, mukoza ve sirküler kaslar arasında bulunur.



Enterik Sinir Sistemi



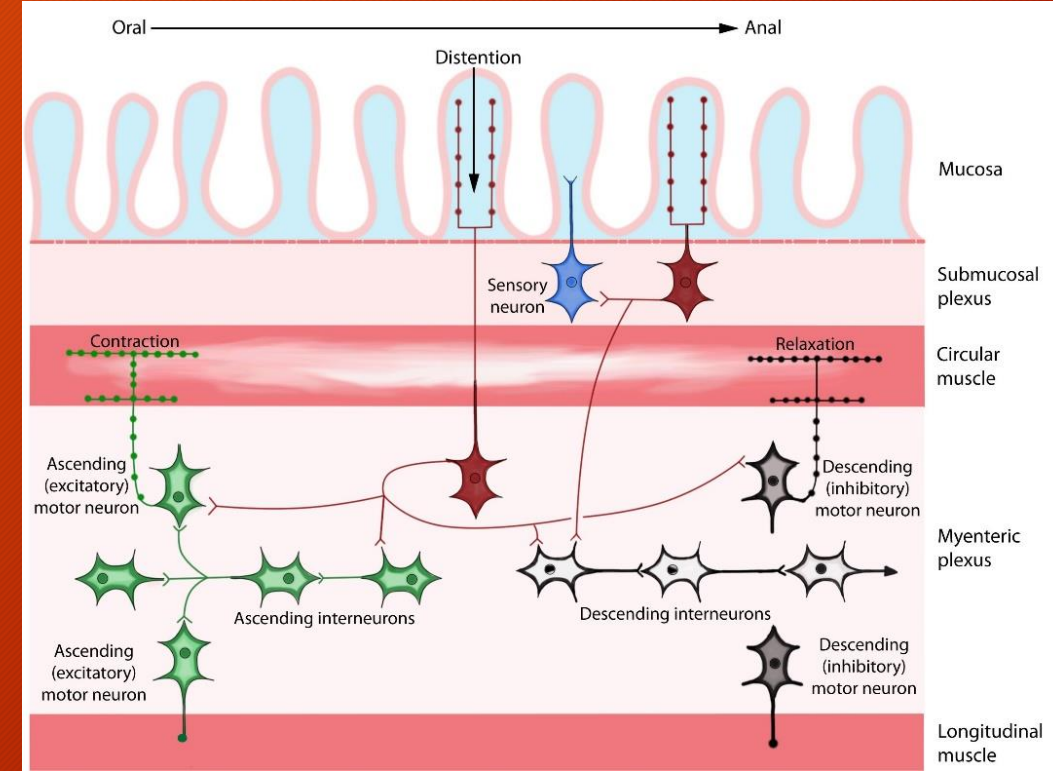
- Her iki pleksus da gangliyonlardan oluşmuştur. Bu gangliyonlarda sinir hücre gövdeleri ve sinir hücrelerinin aksonları olan intergangliyonik lif demetleri bulunur.
- Pleksus miyenterikus'un asıl görevi kasların aktivitesini kontrol etmektir. Pleksus submukosus ise temel olarak sekresyon ve emilim gibi çeşitli mukoza fonksiyonlarını düzenler. Her iki pleksus da kan akımının düzenlenmesinde ve enterik sinir sisteminin kendi içindeki iletişimde rol oynar. Sinir hücreleri arasındaki iletişim ve efektörlerin kontrolü, uyarıcı ve baskılayıcı nörotransmittlerlerin salınımıyla sağlanır.



Enterik Sinir Sistemi



Bağırsakların çeşitli fonksiyonlarını düzenleyebilmek için enterik sinir sisteminde fonksiyonel olarak farklı hücre tipleri bulunur. Merkezi sinir sistemine benzer şekilde, enterik sinir sistemi de sensorik nöronlara, internöronlara ve motor nöronlara sahiptir. Bu nöron tipleri bağırsağa etki eden uyarımlara uygun şekilde sabit programlarla (refleks devreleri) çalıştırılır.



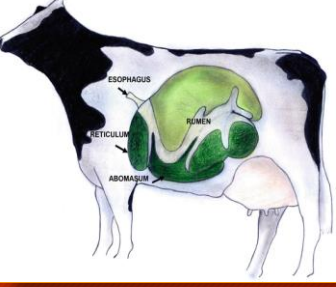
Enterik Sinir Sistemi



Ek Bilgi: Nörokimyasal Kodlama

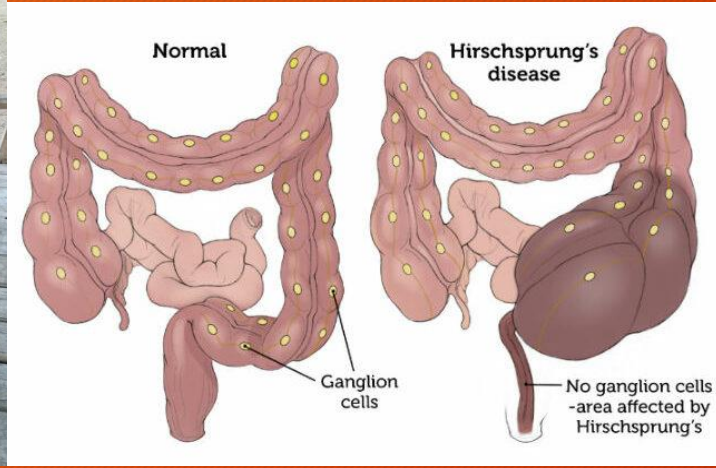
Prensip olarak enterik sinir sistemi MSS’de bulunan neredeyse bütün nörotransmitterleri sentezleyebilir. Enterik sinir sisteminin kendi içindeki iletişimde ve efektör sistemlerin kontrolünde yaklaşık 25 farklı transmitter madde görev yapar. Enterik sinir hücreleri genellikle sadece bir transmitteri değil, belirli bir transmitter madde kombinasyonunu sentezler. Bölgeye ve türe göre nörokimyasal kod, yani sinir hücrelerince sentezlenen transmitter kombinasyonu her bir hücre tipi için karakteristiktir. Karakteristik koda göre bugüne kadar sensorik nöron, internöron veya motor nöron olarak fonksiyon gören 30 farklı enterik sinir hücre popülasyonu belirlenmiştir.

Kasların Kontrolü



Enterik sinir sistemi bağırsak kaslarının çalışmasını lokal reflekslerle düzenler. Bu olayı özellikle miyenterik pleksusun sinir hücreleri gerçekleştirir. Bağırsak bölümleri arasındaki koordinasyon ise merkezi sinir sistemi bölümlerinin kontrolü altındadır. Miyenterik sinir hücrelerince bağırsak kaslarının lokal kontrolü, koordine bağırsak motilitesi için elzemdir. Bu durum özellikle fetal gelişim sırasında miyenterik pleksusun bir bölümünün tam olarak şekillenmediği hastalarda bariz şekilde görülmektedir. Böyle bir **aganglionoz** (miyenterik pleksusta sinir hücre gövdelerinin olmaması), kimusun ileri yönlü transportunda çok ciddi bozukluklara neden olmaktadır.

Kasların Kontrolü

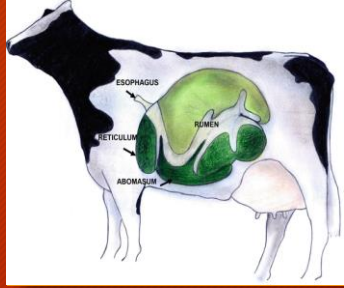


Ölümcül Beyaz Tay Sendromu insanlarda görülen Morbus Hirschsprung olarak bilinen aganglionezisin belirli formlarına karşılık gelir.



Ölümcül Beyaz Taylar (Lethal white foals): Miyenterik pleksustaki aganglionezisin yeni doğarlarda kimusun tranportunda ciddi problemlere neden olmaktadır. Bu tarz bir aganglionezisin hem insanlar hem de evcil memeli hayvanlarda bilinmektedir. Bununla ilgili olarak atlarda Ölümcül Beyaz Tay Sendromu (Lethal-White-Foal-Syndrome) isimli bir hastalık görülür. Bu hastalık genetik bir defekt sonucu oluşmakta ve benekli bir post görünümüyle karakterize olup sonraki nesillere aktarılmaktadır. Homozigot taylar benekli olmayıp tamamen beyazdır ve doğumu izleyen birkaç gün içerisinde bağırsak tıkanması sonucu ölürlür.

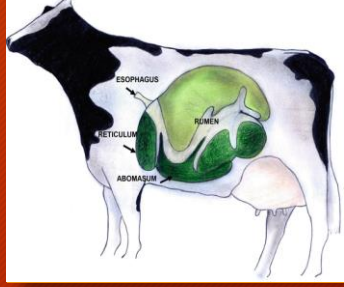
Kasların Kontrolü



- Enterik sinir sistemi tarafından kontrol edilen bağırsak içeriğinin ileri yönlü transportu **peristaltik refleks** olarak isimlendirilir. Peristaltik refleksin primer uyarıcısı bağırsak duvarının gerilmesidir. Bu gerilme, mekanik uyarılara duyarlı miyenterik sinir hücreleri tarafından algılanır. Bu hücreler kas katmanlarındaki duvar geriliminin artması ve/veya epitel üzerindeki sürtünme kuvvetinin yükselmesiyle uyarılırlar.
- Aktive olan miyenterik pleksusun sensörük sinir hücreleri diğer sinir hücresi popülasyonlarını da uyarır. Burada iki fonksiyonel grup öne çıkmaktadır: kas motonöronları ve internöronlar.

Kasların Kontrolü

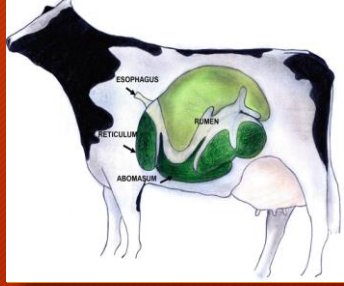
- Kas motonöronları longitudinal ve sirküler kasları inerve eder. Longitudinal kasları kontrol eden motonöronların aktivasyonu fizyolojik olarak longitudinal kasların kasılmasına ve bağırsağın ilgili bölümünün kısalmasına neden olur. Sirküler kasların kas motonöronlarınca kontrol edilmesi bilhassa peristaltik refleksin işleyişi açısından çok önemlidir.



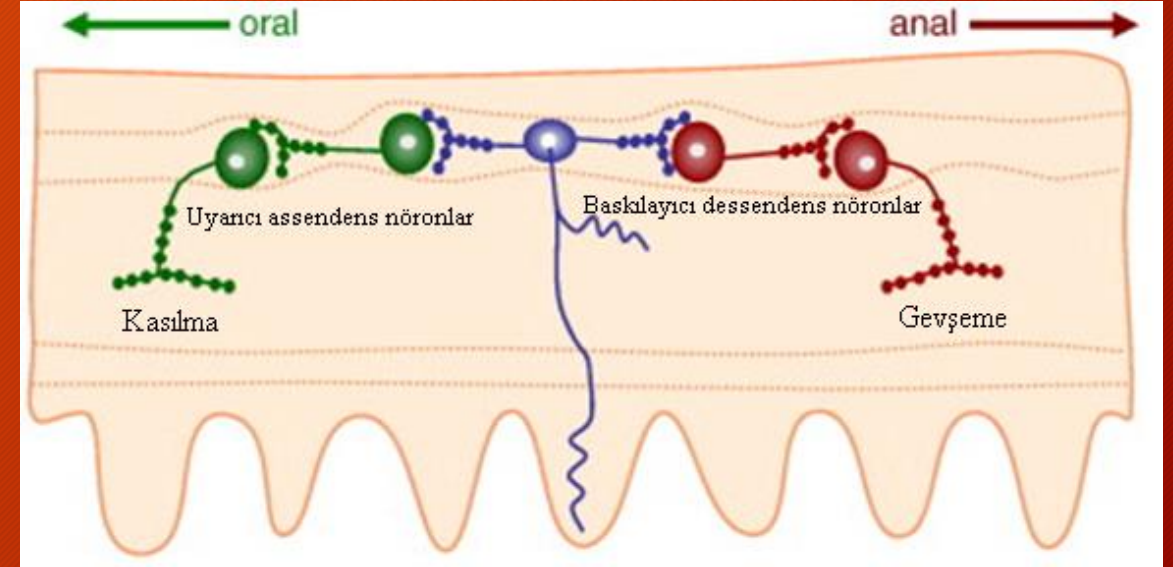
**This action is called
"peristalsis"**



Kasların Kontrolü



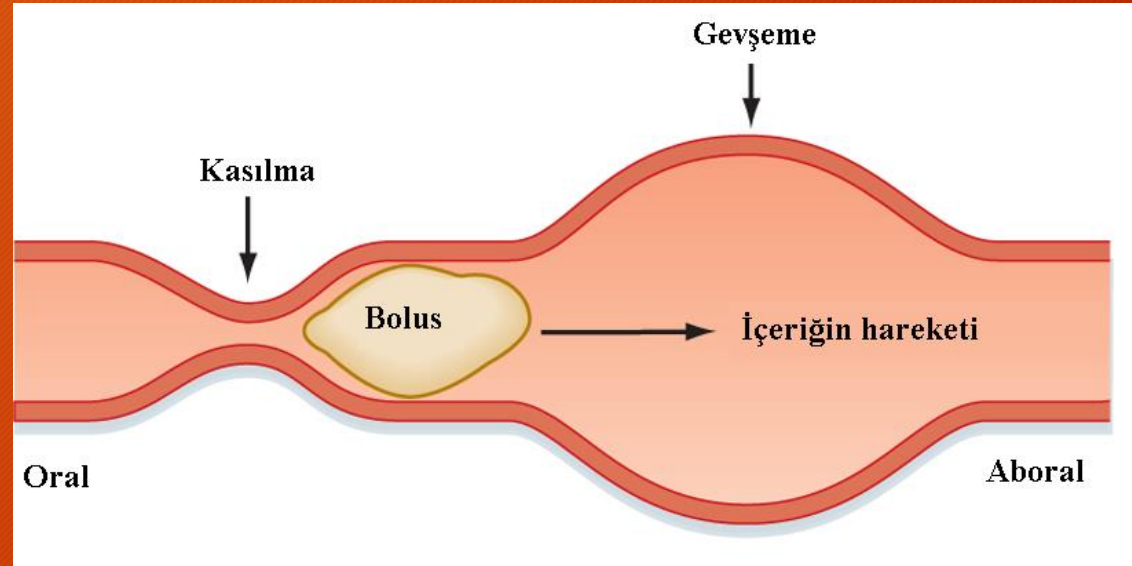
- Mide-bağırsak sistemindeki sirküler kasları kontrol eden kas motonöronları bağırsak duvarında özel bir yerleşim sergiler. Sinir hücresi gövdeleri miyenterik pleksusta bulunurken, sinir aksonları inerve ettikleri kaslara gitmektedir. Kasları stimüle edip kasılmasına yol açan motonöronlar oral yönde uzanan aksonlara sahiptir (assendens nöronlar). Sirküler kasları baskılayan nöronların aksonu ise aboral (anal) yönde uzanırlar (dessendens nöronlar). Aksonların bu şekilde düzenlenmesi nöronların polarize projeksiyonu olarak adlandırılır.



Kasların Kontrolü



- Polarize projeksiyon sayesinde assendens ve dessendens nöronlar lokal bir uyarı sonrasında oral yönlü uyarılarla sirküler kasları kasılmaya, aboral yönlü uyarılarla da kasları gevşemeye sevk eder. Bunun sonucunda bağırsak içeriği aboral yönde ilerletilir.

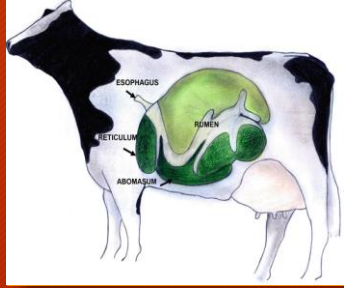


Kasların Kontrolü

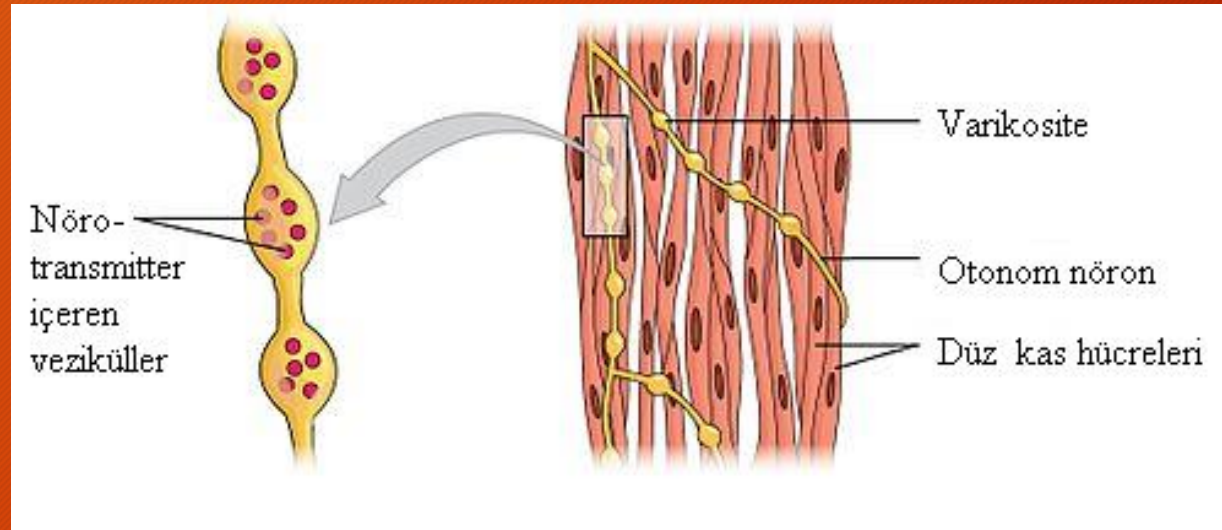


- Uyarının tarif edildiği şekilde “işlemesi” için aslında sadece sensörük (duyusal) nöronlar ve kas motonöronları gereklidir. Buna rağmen miyenterik pleksusta çok sayıda internöronlar da bulunur, bunlar çeşitli işlevleri yerine getirirler. Internöronlar, ilaveten daha fazla kas motonöronlarını aktive ederek peristaltik refleksin daha da güçlendirilmesine hizmet ederler. Ayrıca assendens ve dessendens sinir hücreleriyle birlikte internöron devreleri sayesinde itici peristaltik esnasında kimusun “gelişi” için hazırlık yapılır. Böylece daha beslenme sırasında lokal devreler harekete geçirilir ve kimusun ileri yönlü transportu kolaylaştırılır.

Kasların Kontrolü



- Yukarıda tarif edilen kontrol mekanizmaları enterik sinir hücrelerinin kendi aralarındaki ve kas dokusuyla olan sıkı iletişime bağlıdır. Otonom sinir sisteminin diğer bölümlerinde olduğu gibi enterik sinir hücreleri de klasik sinapslar yapmazlar, burada akson terminallerinde varikositeler bulunur. Uyarıcı nöronların tahminen en önemli transmitteri asetilkolindir.

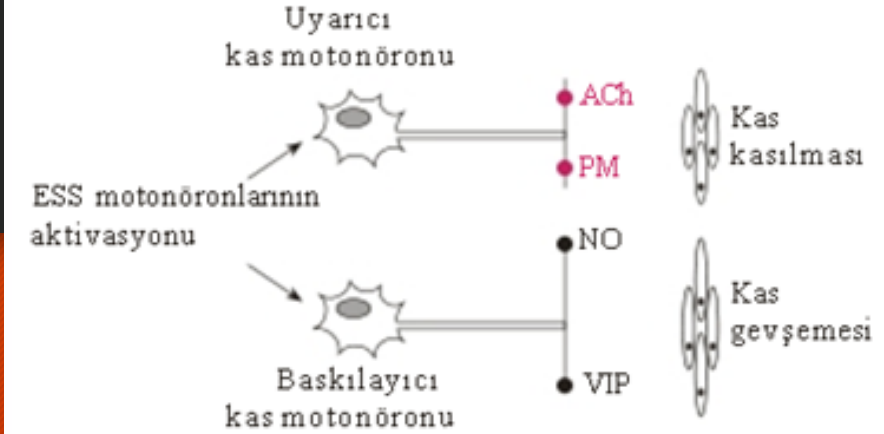


Kasların Kontrolü

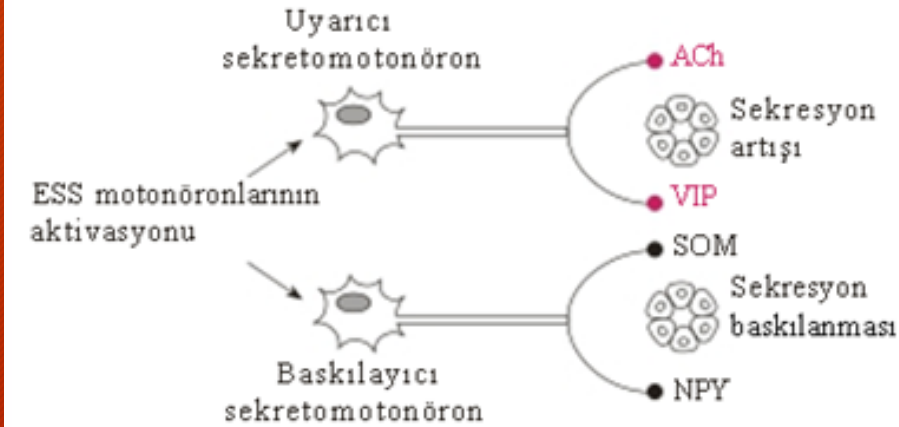
- Kas motonöronları pleksus miyenterikus'ta, sekretomotonöronlar pleksus submukosus'ta, vazomotonöronlar ise her iki pleksusta bulunur.
- Baskılayıcı veya uyarıcı motonöronların aktivasyonu, kaslar (I), mukoza (II) veya kan damarları (III) gibi efektör sistemlerde değişikliklere yol açar.

ACh = Asetilkolin; ESS = Enterik Sinir Sistemi; NO = Azot monooksit; NPY = Nöropeptit Y; SOM = Somatostatin; PM = P maddesi; VIP = Vazoaktif İntestinal Peptit.

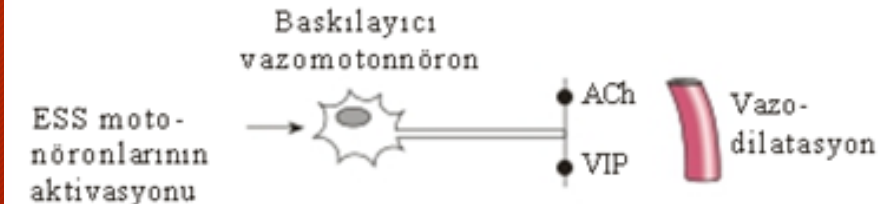
I. Motilitenin Düzenlenmesi



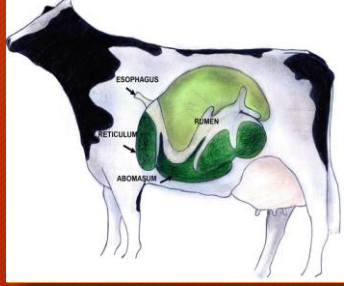
II. Sekresyonun Düzenlenmesi



III. Kan Akımının Düzenlenmesi



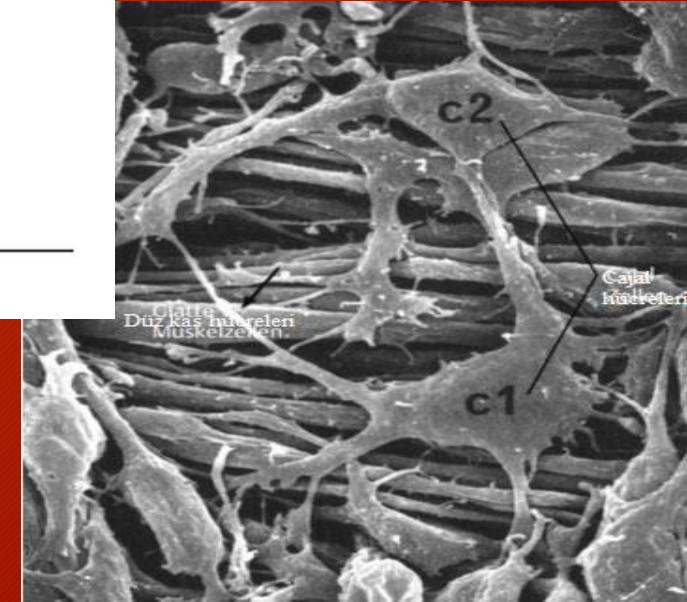
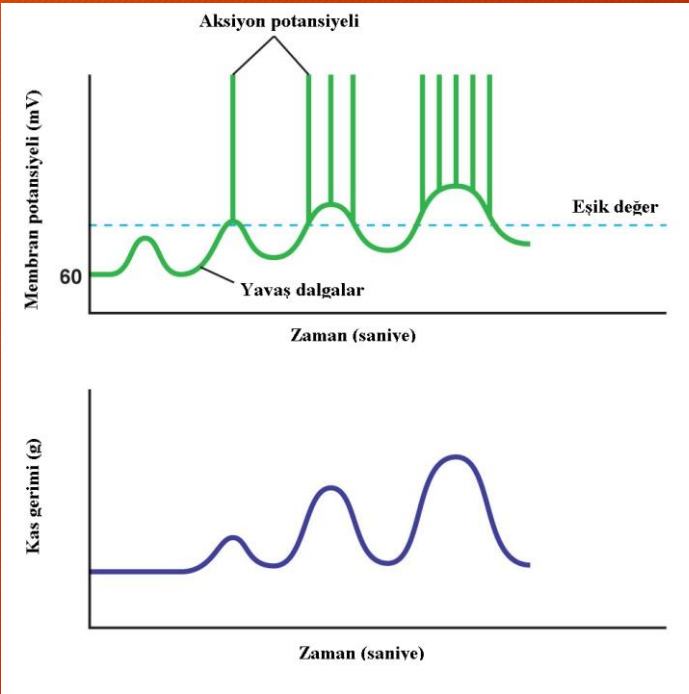
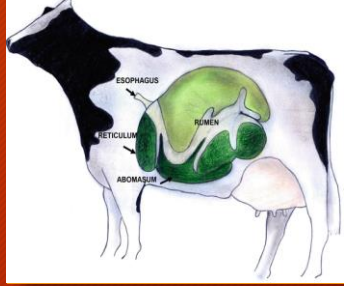
Kasların Kontrolü



- Asetilkolin, sensörük nöronlar, uyarıcı internöronlar ve uyarıcı (assendens) kas motonöronları tarafından sentezlenir. Asetilkolin bağırsak kaslarındaki Tip 3 muskarinerjik reseptörlere (M_3) ve enterik sinir hücrelerindeki nikotinerjik reseptörlere bağlanır.
- Enterik sinir sistemindeki baskılayıcı (dessendens) kas motonöronları transmitter olarak sıklıkla azot monooksiti (NO) kullanır.
- Asetilkolin ve NO'nun yanı sıra enterik sinir hücrelerinin geneli daha birçok ko-transmitteri de sentezler. Bu transmitterler söz konusu sinir hücrelerinin aktivasyonu sırasında muhakkak primer transmitterlerle (asetilkolin veya NO) birlikte doğrudan salgılanmak zorunda değildir. Genellikle kotransmitterlerin salınımı için primer transmitterlerin (örneğin asetilkolin veya NO) salınımına göre nöronların daha güçlü aktive edilmesi (daha yüksek frekanslı aksiyon potansiyelleri) gerekir.

Kasların Kontrolü

- Bağırsaktaki kas hücreleri, kas motonöronlarının bütün önemli transmitterleri için reseptörlere sahip olsa da, bağırsak hareketlerini etkileyecek yegâne hedef değildirler.
- Cajal İntersitisyel Hücreleri (ICC) de miyenterik sinir hücrelerinden etkilenir. Uyarıcı transmitterlerin etkisiyle bu hücrelerin maksimal depolarizasyonu, ritmik yavaş dalgaların aksiyon potansiyeli oluşturacak eşik değere ulaşmasını sağlar. Bağırsak kaslarının kasılması sıklıkla “anahtar noktası” olan ICC üzerinden kontrol edilir ve bu nedenle yavaş dalgaların ritmini takip eder.
- Tarif edilen peristaltik refleks, bağırsağın her yerinde bulunan sensörük sinir hücrelerinin, kas motonöronlarının (ve internöronların) birbirine bağlanması esasına dayanır.
- Peristaltik refleksin işleyişi, motor sinir sistemindeki hareket programlarına (koşma, atlama, vb.) benzer şekilde hafızaya alınmış bir hareket programının işletilmesi olarak düşünülebilir.

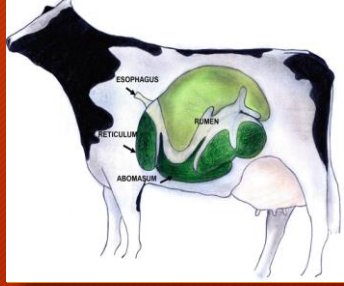


Kasların Kontrolü



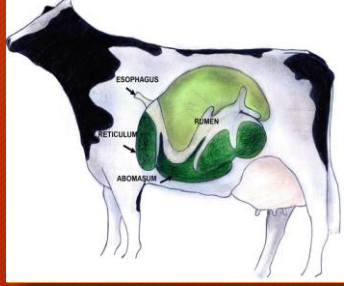
- Peristaltik refleksten başka diğer programlarda vardır. Bu programlar bağırsaktaki lokal olaylara uygun şekilde işletilir, örneğin segmentasyon kasılmalarını başlatıcı program.
- Segmentasyon ve itici peristaltik arasında karar vermede enterik sinir sistemindeki sensörük sinir hücrelerinin modülasyon yeteneği önemli rol oynar. Mekanosensitif sinir hücreleri yanında enterik sinir sisteminde kemosensitif sinir hücreleri de vardır. Bunlar bağırsak lümenindeki besin maddelerine duyarlıdırlar. Bu sinir hücreleri genellikle direkt besin maddeleri tarafından değil, mukozada bulunan enteroendokrin hücrelerin salgıladığı hormon niteliğindeki maddeler tarafından uyarılır. Bu maddelere örnek olarak serotonin (5-HT = 5-hidroksitriptamin) ve kolesistokinin (CCK) verilebilir.

Kasların Kontrolü

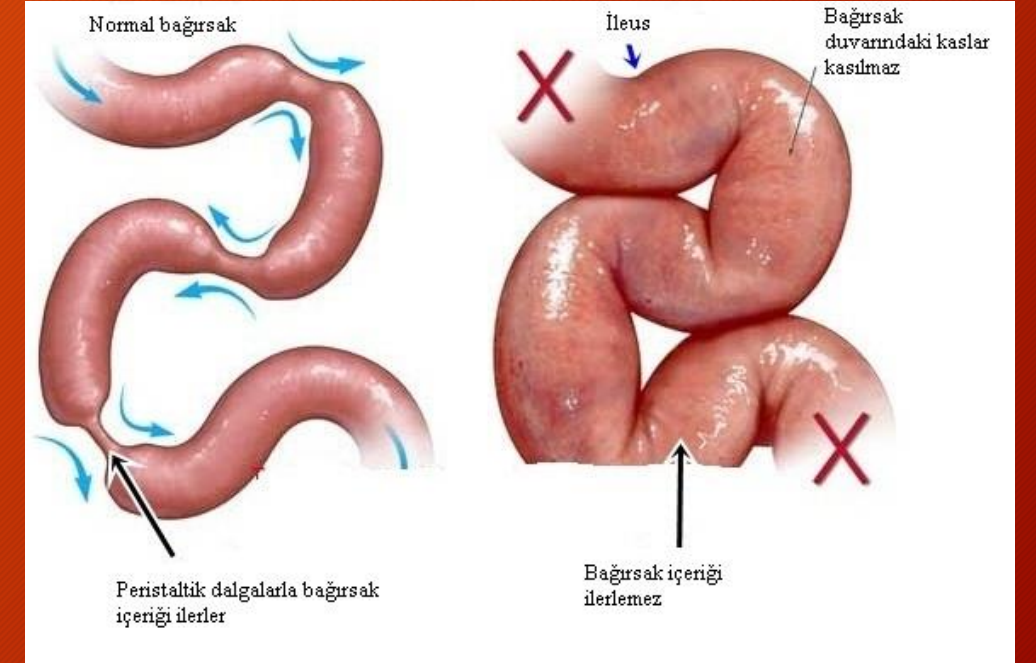


- “Segmentasyon” veya “itici peristaltik” programının başlatılıp başlatılmayacağı bağırsak lümenindeki besin maddelerinin mevcudiyetine bağlıdır. Fazla miktarda besin mevcudiyetinde mekanik uyarılara rağmen (bağırsak duvarının gerilmesi) itici peristaltik programı başlatılmaz.
- Kimusun ileri transportunun engellenmesi, tahminen serbestlenen medyatörler (örneğin 5-HT veya CCK) üzerinden inhibitörük sinir hücrelerinin uyarılmasına ve bu hücrelerin kasları baskılamasına bağlı olarak oluşmaktadır.
- Besin madde arzına bağlı olarak bağırsak içeriğinin ilerletilmesi ve karıştırılması arasındaki koordinasyon, kimusun çok hızlı nakledilmemesine ve besin maddelerinin yıkımlanması ile emilimi için yeterince zaman olmasına imkân sağlar. Buna karşın kimusun düşük kalori içermesi çok daha hızlı nakledilmesine neden olur.

Kasların Kontrolü

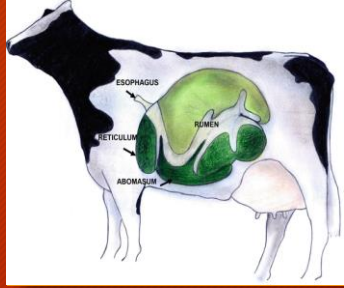


- **Postoperatif ileus:** Peristaltik refleksin başlatılmasında, kas tonusunun refleksif yükselmesi sayesinde gerilmenin olduğu yerde artmış bir duvar gerginliğinin yaratılması çok önemlidir. Bununla birlikte, inhibitör sistemin patolojik hiperaktivitesi bağırsağı atonik hale getirecek kadar gevşetebilir. Ekstrem durumlarda peristaltik refleks başlatılamaz ve bağırsaklar tamamen paralize olur. Çünkü böyle durumlarda reseptörler bağırsaktaki şiddetli gerilimi bile kaydedemez. Bu olaya postoperatif ileus örnek gösterilebilir.



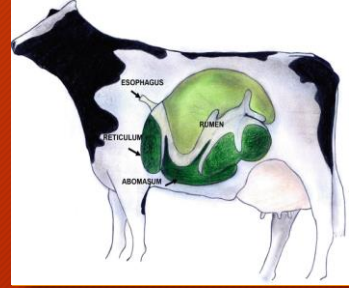
- Karında gerginlik
- Bağırsak seslerinin yokluğu
- Ağrı
- 1-3 gün içinde kendiliğinden geçer

Kasların Kontrolü

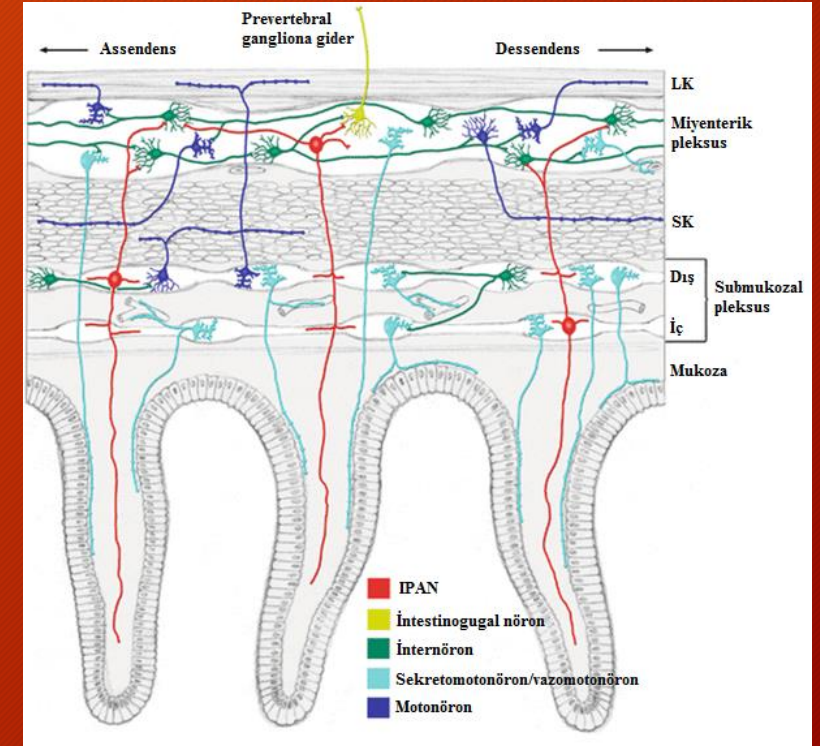


- Postoperatif ileusta, inhibitör enterik sinir hücrelerinin orantısız yüksek aktivitesi veya aşırı sempatik tonus nedeniyle bağırsak atonisi oluşur. İnhibitör sistemin bu şekilde aşırı aktivasyonu cerrahi operasyonlar sırasında bağırsağın mekanik olarak manipülasyonu nedeniyle tetiklenebilir.
- Enterik immun sistemin aktive olarak olaya eşlik etmesiyle semptomlar daha da kötüleşir.
- Diğer yandan, uyarıcı sistemin patolojik hiperaktivitesi ise hızlandırılmış transporta yol açar ve ishale sebebiyet verebilir.

Epitel Fonksiyonlarının Düzenlenmesi



- Epitel fonksiyonlarının enterik sinir sistemi tarafından kontrolünde esas olarak submukozal pleksustaki sinir hücreleri sorumludur. Bu sinir hücreleri bir taraftan epiteli inerve eder, diğer taraftan da miyenterik sinir hücreleriyle sıkı iletişim içindedir. Böylece motilite, sekresyon ve rezorpsiyon olayları birbirleriyle koordineli şekilde işler. Epiteli direkt inerve eden sinir hücreleri sekretomotoronlar olarak isimlendirilir. Bunun dışında miyenterik pleksustakine benzer şekilde submukozal pleksusta da kısmen her iki pleksusu birbirine bağlayan sensörük (IPAN) sinir hücreleri ve internöronlar vardır.



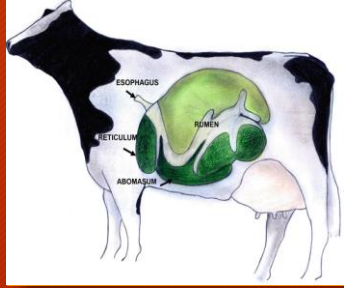
IPAN: İntrinsik primer afferent nöron

Epitel Fonksiyonlarının Düzenlenmesi

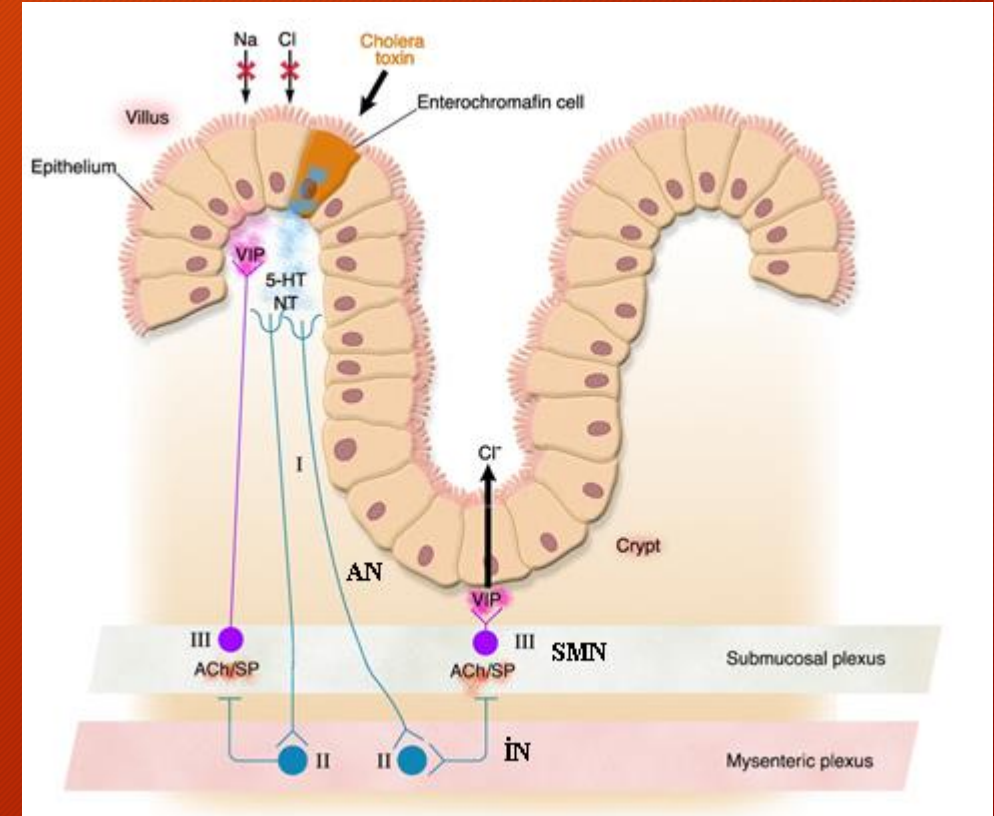


- Kas motonöronlarında olduğu gibi sekretomotonöronlar da hedef dokularını (epitel) baskılayıcı ve uyarıcı nörotransmitterler üzerinden kontrol eder.
- Burada en önemli nörotransmitterler asetilkolin ve VIP'tir. Her iki nörotransmitter de epitel üzerine uyarıcıdır, prosekretorik etki yapar, yani bağırsak lumenine klor iyonlarının sekresyonunu artırır, bunu su sekresyonu izler.
- VIP, düz kaslara inhibitorik etki yapan önemli bir transmitter olmasına rağmen, epitel üzerinde düz kaslardakinden tamamen farklı bir işleve sahiptir. Asetilkolin ve VIP farklı mekanizmalarla klor sekresyonunu stimüle eder.
- Asetilkolin, öncelikle epitel üzerindeki M3-reseptörlerine bağlanır ve hücre içi kalsiyum konsantrasyonunu yükseltir. VIP'in spesifik reseptörlerine bağlanması ise hücre içi cAMP düzeyi yükselir.
- Prosekretorik transmitterler dışında sekresyonu baskılayan transmitter maddeler de vardır. Nöropeptit Y (NPY) ve somatostatin bunlara örnektir.

Epitel Fonksiyonlarının Düzenlenmesi



- Sekretomotoronörönlarnn aktivasyonu farklı yollarla başlatılabilir. Burada luminal besin maddelerine cevaben bağırsak epitelindeki nöroendokrin hücrelerin salgıladığı medyatörler önemli rol oynar. Ancak peristaltik refleksin oluşmasına neden olan mekanik uyarılar da epitelde sekresyon artışına neden olabilmektedir.
- Ayrıca bakteriyel veya viral toksinlerin yanı sıra çeşitli yangı medyatörleri de sekretomotoronörönlarnn aktivasyonuna yol açar. Bu tarz patofizyolojik koşullarda sinir sonlanmalarından fazla miktarda VIP salgılanır. Bu durum güçlü bir sekresyon yanıtına neden olur ve sonuçta bağırsak lumenindeki etkenlerin seyreltilmesi sağlanır.

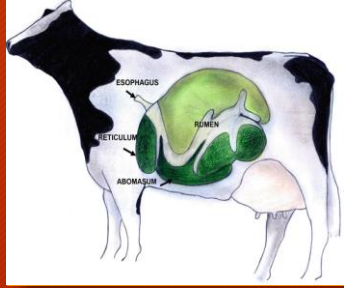


Epitel Fonksiyonlarının Düzenlenmesi



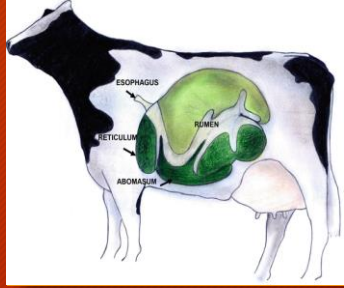
- Sekresyon artışına paralel olarak epitelde lokal kan akımı da artar. Bu durum yüksek bir metabolizmaya sahip epitelin gereksinim duyduğu maddelerin teminini sağlar. Lokal vazodilatasyondan submukozal pleksustaki vazodilatatör nöronlar sorumludur. Sekretomotor nöronlarda olduğu gibi vazodilatatör nöronlarda da bir grup nöron asetilkolini, diğer bir grup ise VIP'i nörotransmitter olarak kullanır.
- Vazomotor fonksiyonun lokal kontrolünde enterik sinir sisteminin yanı sıra otonom afferentler ile de bağırsaktaki vazomotor fonksiyon kontrol edilir.

Nöro-İmmun Etkileşim



- Bağırsak epiteli organizmanın dış dünyayla olan en büyük temas yüzeyini oluşturur. Buna bağlı olarak yüksek bir antijen istilasına maruz kalır. Bağırsaklar muazzam bir bağışıklık sistemine sahiptir. Bu sistem enterik sinir sistemi ve otonom sinir sisteminin diğer bölümleriyle sıkı ilişki içerisinde. Enterik sinir sistemi ve bağırsak immun sistemi arasındaki bu ilişki sayesinde lokal savunma mekanizması güçlendirilir ve antijen istilalarına karşı intestinal bariyerin stabilitesi korunur.
- Antijenler, bağırsak immun sistemine ait hücreleri aktive eder. Bu immun hücreler histamin, prostaglandinler veya lökotrienler gibi prosekretorik etki yapan medyatörleri salgılar. Bu medyatörler ise epitel hücrelerini doğrudan uyarır ya da enterik sekretomotoronları aktive ederek direkt etkiyi güçlendirir. Bu olaylara paralel olarak miyenterik pleksustaki kas motoronları da stimüle edilir.

Nöro-İmmun Etkileşim



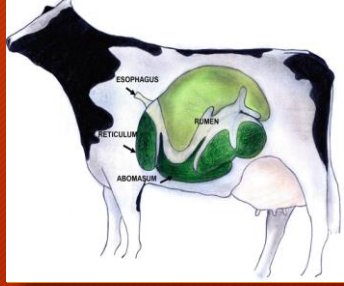
- Bu işlemlerin fonksiyonel önemi, antijenler tarafından tetiklenen sekresyon artışına bağlı olarak luminal toksinlerin fazlaca seyreltilmesi ve artan motiliteyle bağırsaktan hızla atılmasının sağlanmasıdır. Birçok bakteri toksininin enterotoksik etkisi nöro-immun etkileşimin aşırı aktive edilmesine dayanır.
- Kolera toksininin, *Clostridium defficile*-Toksin A'nın, *Escherichia coli* ve *Salmonella typhimurium*'un termostabil toksinlerinin prosekretorik ve motiliteyi artırıcı etkilerinin kısmen enterik sinir sistemi üzerinden olduğu iyi bilinmektedir. Bu kaskadın primer tetikleyicileri savunma mekanizması sürecinde lokal olarak salgılanan yangı medyatörleridir. Buna ilaveten bakteriyel enterotoksinler dokulardaki cAMP ve/veya cGMP düzeylerini yükselterek enterokromafin hücrelerden büyük miktarlarda serotonin salgılanmasına yol açarlar. Serotonin ise prosekretorik etkili enterik yolları aktive eder.

Merkezi Sinir Sistemi ve Enterik Sinir Sistemi Arasındaki Etkileşimler

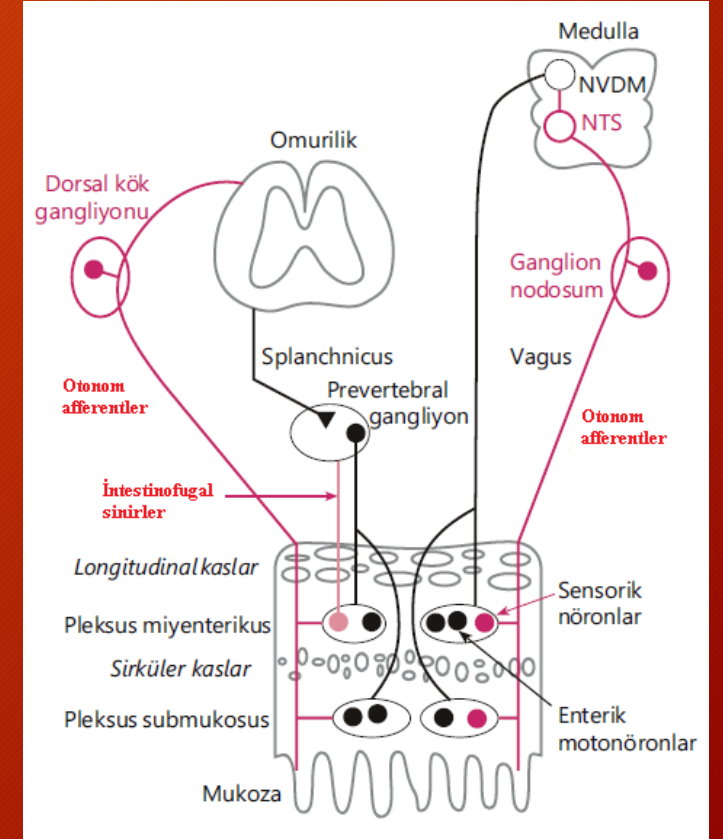


- Enterik sinir sistemi, bağırsak kaslarının ve epitelinin işlevlerini lokal olarak bağımsız bir şekilde düzenleyebilir. Ancak enterik sinir sisteminin sensörük sinir hücreleri sadece küçük bir bağırsak bölümünden bilgiler aldığı için, enterik sinir sistemi birbirinden uzak bağırsak alanlarının aktivitesini koordine edemez veya sindirim sisteminin aktivitesini tüm organizmadaki duruma göre ayarlayamaz. Bu işlevler beyinle bağlantılı olan ve diğer organ sistemlerinden de bilgiler alan otonom sinir sisteminin bölümleri tarafından (sempatik, parasempatik, otonom afferentler) yerine getirilir. Üst merkezlerce gerçekleştirilen regülasyona tipik örnek, egzersiz sırasında yüksek sempatik tonus nedeniyle mide-bağırsak sistemindeki düşük aktivitedir.

Merkezi Sinir Sistemi ve Enterik Sinir Sistemi Arasındaki Etkileşimler



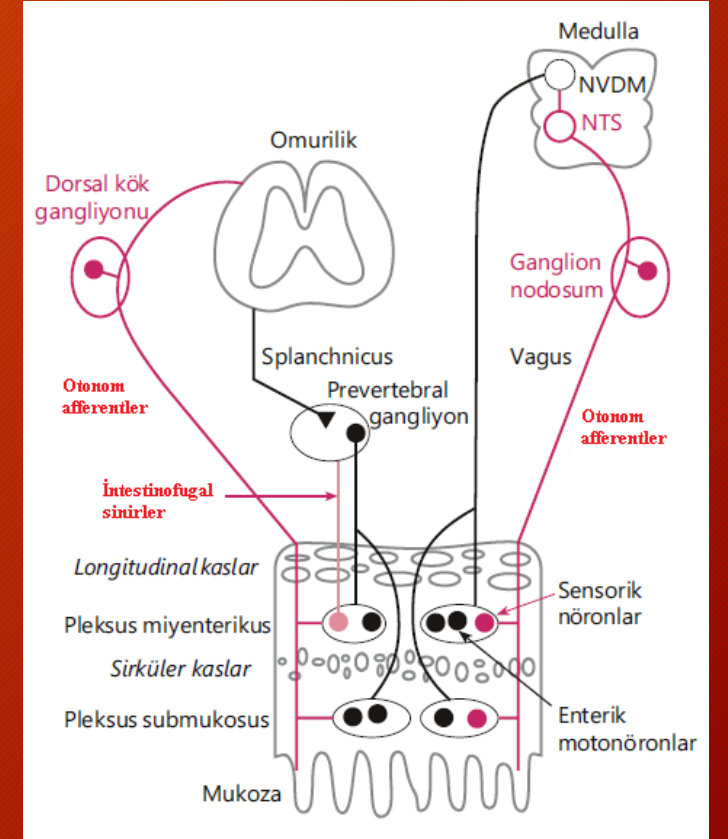
- Gastrointestinal sistemden alınan bilgiler otonom afferentler aracılığıyla merkezi sinir sistemine ulaştırılır. Alınan bilgilere örnek olarak çeşitli besinlerin luminal konsantrasyonu, luminal pH, ozmolarite ve mide-bağırsak sistemindeki duvar geriminin derecesi verilebilir.
- Otonom afferentler Nervus vagus veya Nervus splanchnicus ile taşınır. Nervus vagus ile taşınan otonom afferentler hücre gövdeleri Ganglion nodosum'da bulunan bipolar sensörük nöronlardır. Bipolar sinir hücrelerinin merkezi sonlanmaları Nucleus tractus solitarii'ye (NTS) ulaşır ve burada bu "vagal afferentlerin" ilk ara bağlantısı şekillenir. NTS sinir hücreleri, Nervus vagus'un dorsal motor çekirdeğinin (NVDM) yakınlarına projekte olur ve orada efferent vagal liflerle bağlantı kurarlar.



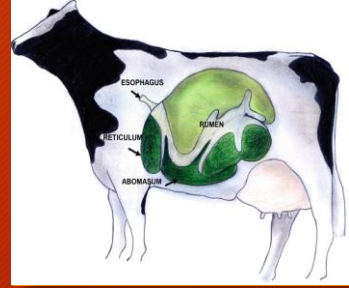
Merkezi Sinir Sistemi ve Enterik Sinir Sistemi Arasındaki Etkileşimler



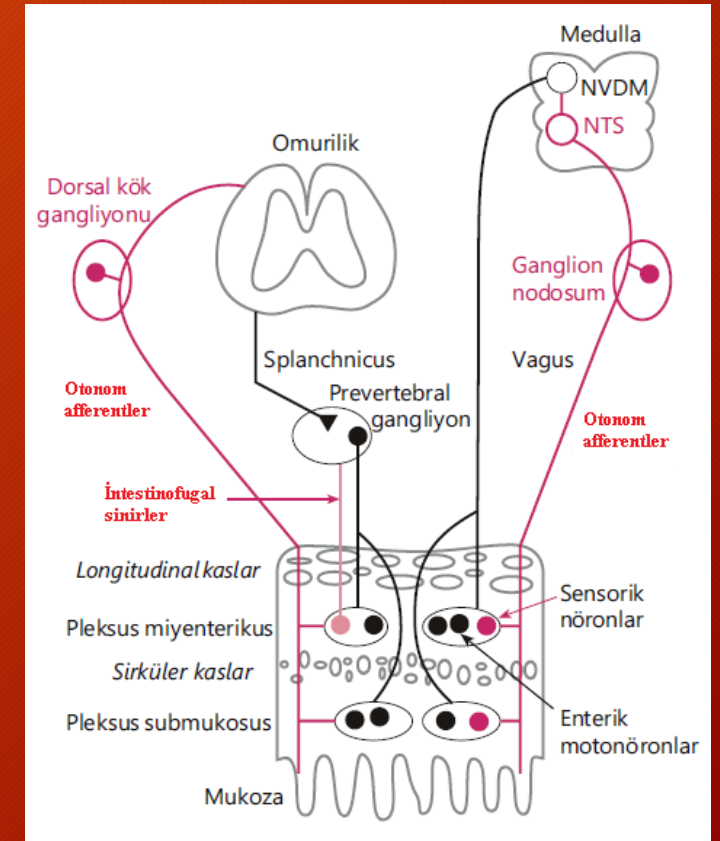
- Otonom afferent sinir liflerinin diğer bir bölümü sempatik bir sinir olan Nervus splanchnicus ile taşınır. Sensörük sinir hücreleri dorsal kök gangliyonunda bulunur. Dorsal kök ganglion hücrelerinin merkezi uçları omurilikte sonlanır. Oradan da talamik bölgelere projekte olurlar. Bu sensörük sinir liflerinin efferent motor uzantıları ise yine Nervus splanchnicus ile taşınır.
- Otonom afferentlere ek olarak, enterik sinir sisteminde aksonları bağırsaktan prevertebral sempatik ganglionlara doğru giden sensörük sinir hücreleri de vardır. Bu sinir hücrelerine intestinofugal nöronlar denir. Bunlar bilhassa kolon ve rektumdaki mekanik uyarıların alınmasında önem taşırlar.



Merkezi Sinir Sistemi ve Enterik Sinir Sistemi Arasındaki Etkileşimler



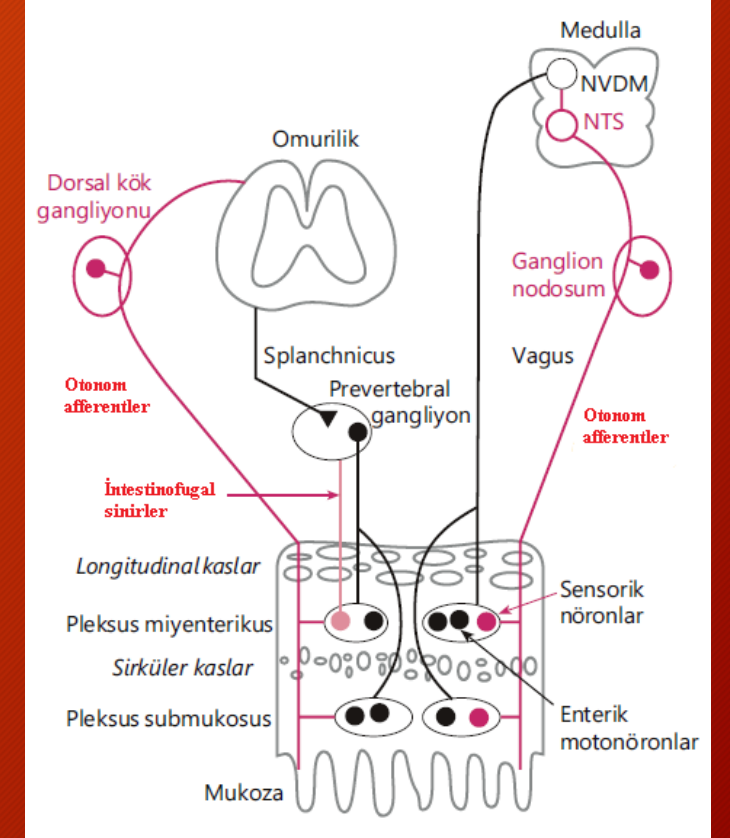
Sensörük yani afferent işlevleri yanında otonom afferentlerin bir de efferent fonksiyonu vardır. Otonom afferentler bağırsak duvarını beyin yönünde terk etmeden önce bağırsak duvarında akson kollateralleri olarak adlandırılan dallanmalar yaparlar. Sinyaller otonom afferentler boyunca beyne iletilirken akson kollateralleri de aktive olur ve bağırsak duvarına lokal olarak transmitterler salgılar. Yani bu sensörük sinir liflerinde katı bir tek yönlü iletim prensibi yoktur. Bu akson kollateralleri vasıtasıyla otonom afferentler lokal efferent fonksiyonları da üstlenmiş olurlar. Bu olguya akson refleksi de denir.



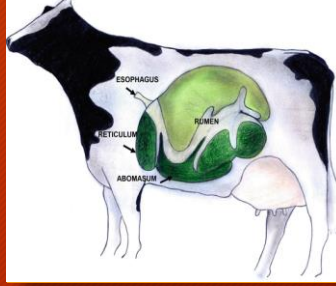
Merkezi Sinir Sistemi ve Enterik Sinir Sistemi Arasındaki Etkileşimler



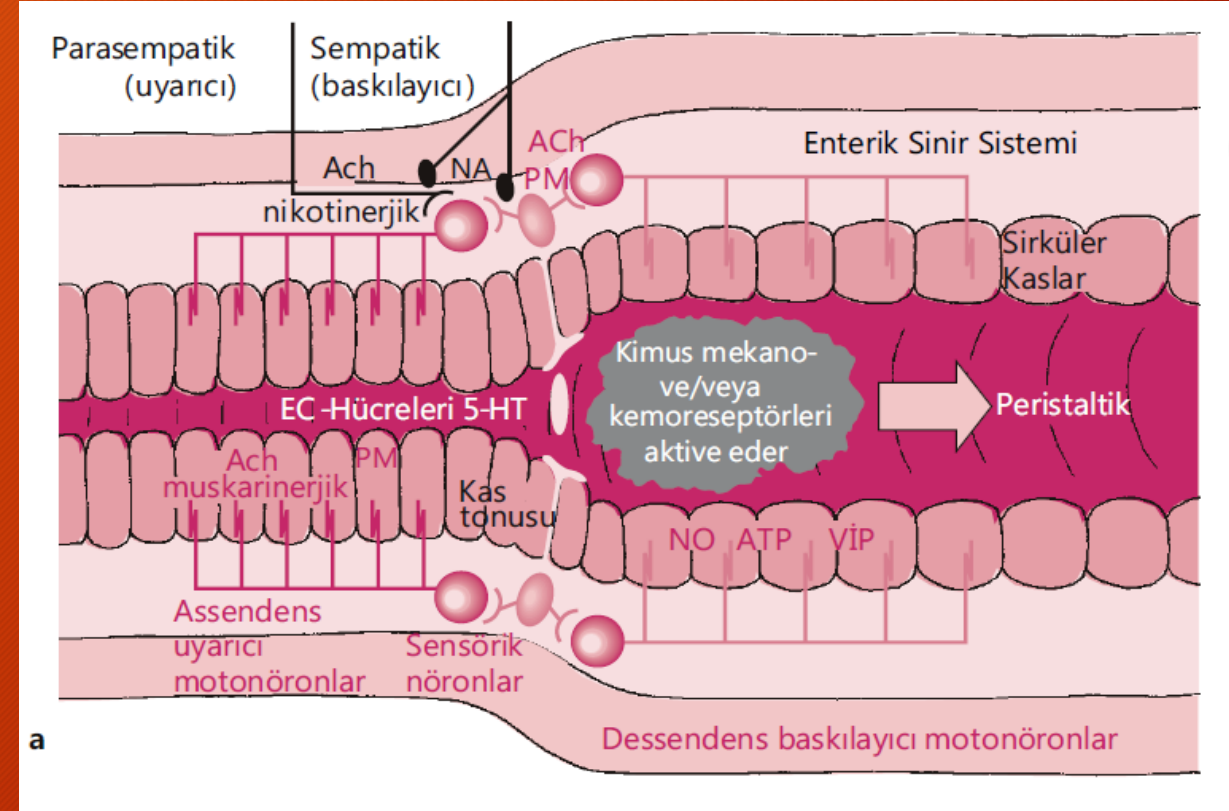
- Akson refleksi sadece gastrointestinal sisteme özgü değildir, aynı zamanda birçok organ sisteminin kontrolünde de rol oynar.
- Gastrointestinal duvarda lokal olarak salınan maddeler genellikle P maddesi ve Kalsitonin Geniyle İlişkili Peptit gibi nöropeptidlerdir. Bağırsak duvarındaki tüm efektörlerin aktiviteleri bu akson refleksleriyle modüle edilebilmesine rağmen, bu refleksler bilhassa kan akışının düzenlenmesinde önemli rol oynar. Afferentlerin efferent fonksiyonunun aktivasyonu daha yoğun bir kan akışına neden olur ve böylece zararlı maddelerin hızla uzaklaştırılması mümkün olur.



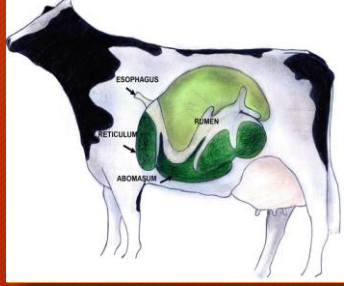
Parasempatik Sistemin Etkileri



- Parasempatik sinir sisteminin aktivasyonu gastrointestinal sistemin aktivitesi üzerinde uyarıcı etkiye sahiptir. Gastrointestinal sistem büyük ölçüde vagus siniri aracılığıyla parasempatik olarak innerve edilir. Bununla birlikte sadece birkaç bin efferent vagus lifi mide-bağırsak sistemini innerve eder. Yani kasları ve mukozayı etkin şekilde kontrol eden çok az sayıda vagus lifi mevcuttur. Vagus lifleri bu nedenle enterik sinir hücreleriyle bağlantı kurar ve enterik yolları ara kuvvetlendirici olarak kullanır.

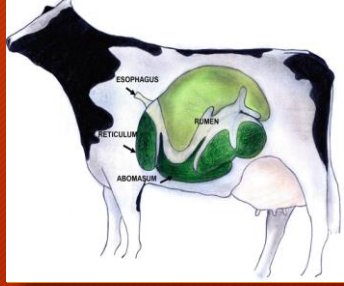


Parasempatik Sistemin Etkileri



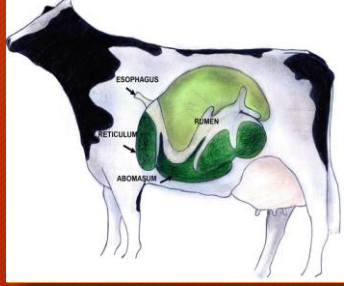
- Efferent vagus lifleri kolinerjiktir ve aktive olduklarında asetilkolin serbestlerler. Asetilkolin ise kolinerjik nikotinerjik reseptörler aracılığıyla tüm aşağı yöndeki enterik nöronları aktive eder. Vagus aktivasyonu gastrointestinal sistemde sekresyon artışına yol açar. Bu durum salgılamadan sorumlu vagus liflerinin prosekretorik etkiye sahip enterik devreleri aktive etmesiyle açıklanabilir. Bununla birlikte nervus vagus kas sisteminin aktivitesi üzerine hem uyarıcı hem de baskılayıcı etkiler oluşturabilir. Kas aktivitesi üzerindeki bu farklı etkiler, bazı vagus liflerinin eksitatör sinir hücrelerini, bazı vagus liflerinin ise inhibitör sinir hücrelerini aktive etmesinden dolayıdır. Eksitatör enterik sinirler nöromüsküler terminallerde asetilkolin salgırlar ve muskarinerjik reseptörler aracılığıyla kas hücrelerini aktive ederler. Kas sisteminin inhibisyonu daha önce de ifade edilen NO ve VIP'in enterik sinir hücrelerinden salınmasıyla gerçekleştirilir.

Parasempatik Sistemin Etkileri



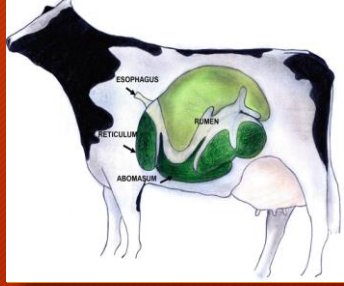
- Parasempatik aracılı reflekslerin klasik örnekleri, dolgunluk sırasında midenin reseptif gevşemesi (inhibitör refleks) veya mide geriliminden sonra asit sekresyonunun artmasıdır (eksitator refleks).
- Patolojik olarak artmış parasempatik tonus genellikle yüksek motor aktiviteye yol açar ve kramp benzeri kasılmalara neden olur. Bu kasılmaların başarılı şekilde tedavisi bazı durumlarda muskarinerjik reseptörlerin bloke edilmesiyle gerçekleştirilebilir. Bununla birlikte aşırı kasılmaların çoğu kez başka primer nedenlerinin olabileceği ve muskarinerjik mekanizmanın bloke edilmesinin daha çok semptomatik tedaviye hizmet ettiği, asıl sebebi ortadan kaldırmadığı unutulmamalıdır.
- Klasik etkilerine ilaveten, parasempatik sistem antiinflamatuvar etkilere de sahiptir. Bu kolinergik-nikotinerjik antiinflamatuvar sinyal yolunun aktivasyonu vagal aracılı asetilkolin salınımıyla başlatılır. Asetilkolin de nikotinerjik reseptörler aracılığıyla makrofajların proinflamatuvar sitokinleri salgılamasını inhibe eder. Enterik sinir sisteminin burada vagus siniri ile makrofajlar arasındaki bağlantıyı sağladığı düşünülmektedir.

Parasempatik Sistemin Etkileri



- Parasempatik tonusun patolojik olarak düşük olması monogastrik hayvanlarda nadiren dramatik sonuçlara neden olur. Parasempatik sistemin hiç çalışmaması halinde, kısa bir adaptasyon süresinden sonra enterik sinir sistemi durumu hızla telafi eder.
- Geviş getiren hayvanlarda ise önmidelerin kassal motor aktivitesi parasempatik aktiviteye fazlaca bağımlıdır. Fonksiyonel vagus lezyonlarına bağlı (vagus indigestyonu) vagal tonus eksikliğinde önmidelerde az ya da çok belirgin bir felç durumu şekillenir. Bunun yanında sfinkterlerin de daralması, abomasal reflüye ve içeriğin rumende birikmesine neden olur. Atoniye bağlı olarak içerik daha sonraki bağırsak bölümlerine gönderilemez. Olaya yangısal durumların dâhil olmasıyla, vagusla birlikte taşınan ekstrinsik, sensörük lifler de zarar görür.
- Bunun sonucunda gerilime bağlı refleksler başlatılamaz, fonksiyonel atoni daha da kötüleşir. Ruminantlarda önmideler fonksiyonel olarak tam gelişmiş bir enterik sinir sistemine sahip olsa da, ruminant midesindeki enterik sinir sisteminin neden ekstrinsik innervasyon kaybını telafi edemediği tam olarak bilinmemektedir. Bu durum büyük olasılıkla enterik refleks devrelerinin daha lokal projeksiyonlar nedeniyle uzak bölümlerin motilitesini koordine edememesinden kaynaklanmaktadır.

Sempatik Sistemin Etkileri



- Sempatik sinirler de genellikle bağırsak duvarındaki efektörleri doğrudan etkilemeyip enterik devreleri kullanır. Bu indirekt etkileme durumu kas ve mukoza aktivitesi için geçerlidir; mide-bağırsak sistemindeki kan damarları direkt olarak sempatik lifler tarafından innerve edilir. Sempatik liflerin aktivasyonu kas ve mukozal aktiviteyi baskılar. Bunun nedeni sempatik sinir uçlarından salınan norepinefrinin nöral yapılar üzerindeki $\alpha 2$ -reseptörlerine bağlanmasıdır.
- Enterik sinir hücrelerini baskılama yoluyla gerçekleştirdiği indirekt etkiler yanında, sempatik sinir sistemine ait liflerin mide-bağırsak sisteminde bazı direkt hedef noktaları da vardır.
- Noradrenalinin midedeki esas (peptik) hücreler üzerinde bulunan β -reseptörlere bağlanması pepsinojen sekresyonu stimüle eder. Bunun dışında, noradrenalinin düz kaslardaki $\alpha 1$ -reseptörlerine bağlanması gastrointestinal kanaldaki sfinkterlerin daralmasına yol açar. Pilonun daralması mide boşalmasını yavaşlattığından, bu etki aynı zamanda fonksiyonel açıdan inhibitör bir etki olarak kabul edilir.

Sempatik Sistemin Etkileri



- Patolojik olarak yükselmiş sempatik tonus, motilite ve sekresyonda şiddetli bir inhibisyona neden olur. Eğer bu inhibisyon uzun süre devam ederse paralitik ileus şekillenebilir ve bunun sonucuna mide-bağırsak sistemi atonik hale gelir. Artmış sempatik tonus, ESS'deki bozukluklar yanında muhtemelen intestinal atoni ve atların çimen hastalığındaki bozulmuş peristaltizimden ileri gelir.
- Birçok stres koşulundaki yüksek sempatik tonus ishal gibi stresle ilgili semptomların sorumlusu değildir. Mide-bağırsak sistemindeki strese bağlı bu semptomların kesin mekanizmaları büyük ölçüde bilinmemektedir.
- Bununla birlikte, hipersekresyona neden olan sensibilize edici maddeleri salgılayan bağırsak bağışıklık sisteminin burada rol oynadığı düşünülmektedir. Bağırsak bağışıklık sisteminin duyarlı hale gelmesi büyük olasılıkla otonom afferent lifler üzerinden gerçekleştirilir. Bu lifler büyük miktarda transmitter maddeler salgılayarak immun hücreleri aktive ederler.

Kısaca



- Merkezi Sinir Sistemi, otonom afferentler üzerinden bağırsaklar hakkında bilgiler alır. Bağırsakların çeşitli bölümlerinin aktivitesi, parasempatik ve sempatik sinir sistemlerinden etkilenir. Bu etki esas olarak enterik yolların pre- ve post-sinaptik modülasyonuna dayanmaktadır.

Mide-Bağırsak Motilitesi



- Gastrointestinal sistemin motor işlevi, gıda bileşenlerinin mide-bağırsak sisteminin özelleşmiş bölümlerine koordineli bir şekilde taşınmasını sağlar. Kimus, bağırsak kanalına boşaltılan sindirim bezlerinin ve midenin salgılarıyla karıştırılır. Ön sindirime uğrayan ve sindirilen besinler, emilimin başlaması için gastrointestinal epitel ile temas ettirilir.
- Genel olarak motor kontrol, bağırsak adım attırıcı hücreleri (pacemaker hücreler), intramural nöral devreler ve parakrin ajanların görev yaptığı çok belirgin bir iç kontrole tabidir. Ancak defekasyon, kusma ve ruminantların önmide kasılmaları gibi motilite formları daha ziyade üst merkezlerin ekstrinsik kontrolüyle gerçekleştirilir. Defekasyonla sindirilmemiş besin bileşenleri dışarıya atılırken, kusmayla potansiyel zararlı maddelerin vücuda girişi önlenir.

Mide-Bağırsak Motilitesi



- Gastrointestinal sistemin önemli görevlerinden bir tanesi bağırsak içeriğinin gastrointestinal kanal boyunca taşınmasıdır. Bu taşınım, gastrointestinal sistemin çeşitli bölümlerindeki spesifik sindirim süreçlerine yeterli zaman verecek şekilde iyi düzenlenmiş olmalıdır.
- Görevlerine ilişkin olarak gastrointestinal sistemin bölümleri, öncelikle rezervuar (depo) fonksiyonu ve transport fonksiyonu ile birbirinden ayırt edilebilir.
- Rezervuarlar, uygun bir şekilde yavaş ve/veya karıştırıcı motor hareketlerle desteklenmesi gereken üç önemli göreve sahiptir.
- Bunlardan ilki, öğünler arasında fasılalı yem alımına imkân sağlamak için, bir yandan pregastrik rezervuarlarda (önmideler, kursak) veya midenin oral “proksimal” kısmında büyük miktarda besinin depolanmasıdır.

Mide-Bağırsak Motilitesi



- Diğer taraftan, iyi bir karıştırmanın ve hafif asidik pH'nın hüküm sürdüğü bu tür depolamaya uygun yapılarda uzun süreli tutulma, mikrobiyal fermentasyonu (önmideler, proksimal kolon) destekleyerek lifli karbonhidratların beslenmeye uygun ürünlere dönüştürülmesidir.
- Üçüncü olarak, sindirim sisteminin son kısımlarında dışkıyı yoğunlaştırmak, böylece su ve elektrolit kayıplarını önlemek için sabit veya yavaş motilite önemlidir.
- Transport fonksiyonunun güçlü olduğu bölümler ise aboral “distal” mide ve ince bağırsaklardır.

Mide-Bağırsak Motilitesi



- Besin maddelerinin gastrointestinal sistemdeki ortalama kalış süreleri büyük değişiklikler gösterir. Genel olarak bu süre, katı besinlere kıyasla sıvı besinler için daha kısadır.
- Yüksek sindirilebilirliğe sahip besinler tüketen ve nispeten kısa bir mide-bağırsak kanalına sahip olan köpek gibi karnivorlarda, katı yiyecekler için yaklaşık bir gün gibi kısa bir geçiş (pasaj) süresi söz konusudur.
- Kalış süresi, herbivorlarda birkaç gün kadar uzun sürer, çünkü yem maddeleri önde (ruminantlardaki önmideler) ya da arkada (atların ve tavşanların sekumu) bulunan fermentasyon odalarına sahip uzun bir gastrointestinal yoldan geçmek zorundadır.

Mide-Bağırsak Motilitesi



- Omnivor ve karnivorlardaki kısa geçiş süresinden, büyük öğünlerin bile 12 saat içinde sindirilip emilebileceği, bunu müteakip mide ve ince bağırsağın büyük ölçüde boş olduğu dönemlerin olacağı çıkarımı yapılabilir.
- Mide ve ince bağırsakların bu geniş çaplı boşaltılması, ya nispeten hızlı ve devasa kasılma karakterine sahip (özellikle etillerde) ya da mideden tüm ince bağırsaklara yayılan yavaş ilerleyen (göç eden) motor kompleksler (migrating motor complex, MMC) eklindeki güçlü temizleme kasılmalarından kaynaklanır.

Mide-Bağırsak Motilitesi



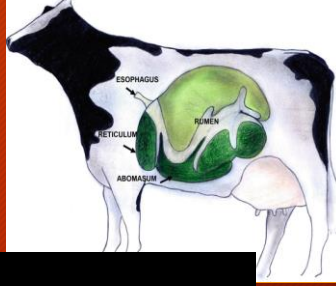
- Sonuç olarak, besin alımından sonra oluşan sindirim kasılmaları ve sindirim molalarındaki sindirimler arası kasılmalar birbirinden ayırt edilmelidir.
- Sindirimler arası kasılmalar, ince bağırsağın mikrobiyal kolonizasyonunu önler ve temizleme fonksiyonunu yerine getirir.
- Herbivorlar nispeten sürekli beslendiği için bu tip beslenmelerde sindirim ve sindirim arası kasılmalar birbiriyle çakışır.
- Kalın bağırsağın temizlenmesi veya boşaltılması da gıda alımıyla bağlantılıdır, mide dolgunluğunun artması uzun refleksler ismi verilen reflekslerin oluşumuna neden olur ve kalın bağırsağın boşaltılmasını teşvik eder.

Kısaca



- Gastrointestinal sistemde, ağırlıklı olarak rezervuar (depo) ve ağırlıklı olarak transport işlevine sahip bölümler vardır. Bu bölümlerin motilitesi birbirinden farklıdır. Motilite özellikleri de sindirim ve sindirimler arası dönemlerde farklılıklar arz eder.

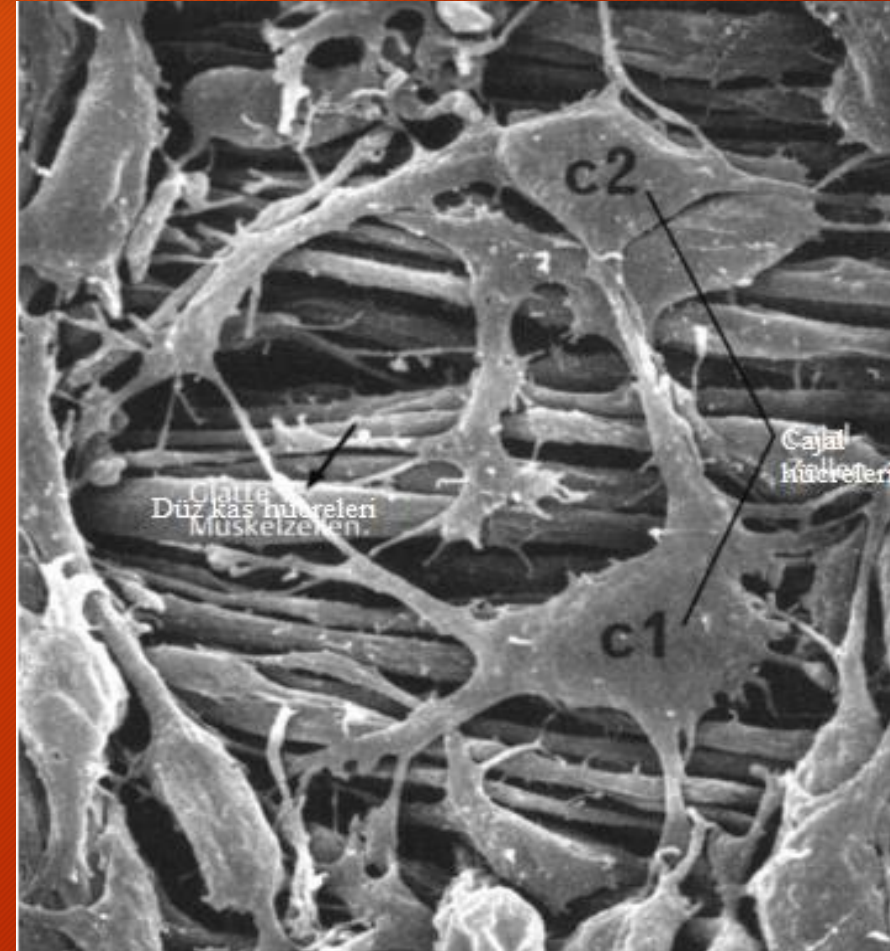
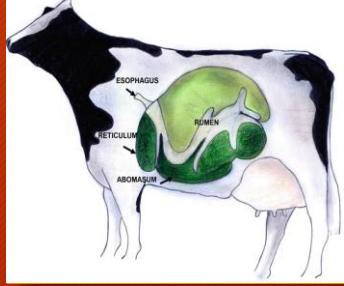
Mide-Bağırsak Motilitesi



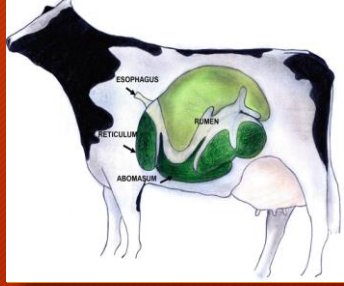
Tür	Bölüm	Kapasite (%)	Vücut Uzunluğu: Gastrointestinal Sistem Uzunluğu	Gastrointestinal Sistemde Katı Partiküllerin Ortalama Kalış Süresi
At	Mide	9	1:12	25 saat (ot) 94 saat (pelet yem)
	İnce bağırsak	30		
	Kalın Bağırsak	61		
Sığır	Mide	71	1:20	55 saat (ot)
	İnce bağırsak	18		
	Kalın Bağırsak	11		
Domuz	Mide	30	1:14	48 saat (ot+tahıl)
	İnce bağırsak	33		
	Kalın Bağırsak	37		
Köpek	Mide	62	1:6	22 saat (kutu konserve mama)
	İnce bağırsak	23		
	Kalın Bağırsak	15		
Kedi	Mide	69	1:4	26 saat (kutu konserve mama)
	İnce bağırsak	15		
	Kalın Bağırsak	16		

Mide-Bağırsak Motilitesi

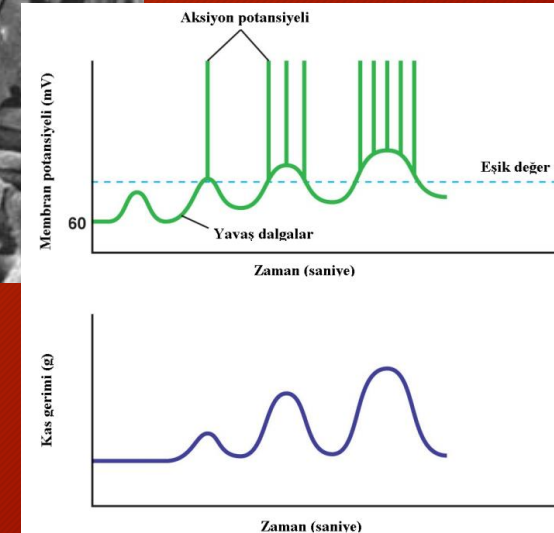
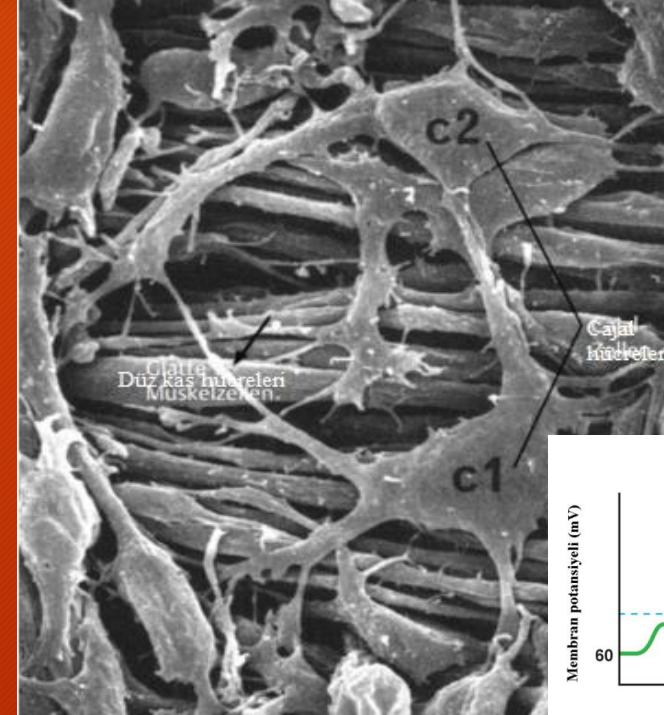
- Gastrointestinal sistem düz kasları yüksek derecede bir otonomiye sahiptir. Mide ve bağırsak duvarında pacemaker ismi verilen hücreler bulunur. Bunlar Cajal interstisyel hücreleridir.



Mide-Bağırsak Motilitesi



- Bu hücreler, düz kaslara çok yakın bir yerleşim sergilerler, longitudinal kaslar ve seroza arasında, longitudinal ve sirküler kaslar arasında, sirküler kaslarda ve sirküler kasların submukozal yüzeyinde bulunurlar.
- Cajal hücrelerinde sitosolik Ca^{2+} konsantrasyonunda spontan salınımlar meydana gelir. Bu salınımlar, gap junction'lar üzerinden komşu hücreler boyunca yayılan zar potansiyeli salınımlarıyla bağlantılıdır. Bu pacemaker potansiyelleri, nispeten düşük frekansları nedeniyle "yavaş dalgalar" olarak adlandırılırlar. Bu dalgalar tek başlarına düz kaslar üzerine etki ettiklerinde genellikle kasılmayı başlatamazlar. Ancak ilave bir uyarıcı etkiyle, örneğin asetilkolin gibi eksitatorik bir nörotransmitter etkisiyle düz kas hücrelerinde aksiyon potansiyeli ve bunu müteakip kasılmalar ortaya çıkar.



Mide-Bağırsak Motilitesi



- Mide ve ince bağırsak arasında elektriksel bir bağlantı olmadığı için, ince bağırsakta yavaş dalgaların yeniden başlatılması gerekir.
- Yavaş dalgalar midede dakikada yaklaşık 3-8 kez, proksimal ince bağırsakta ise 10-20 kez oluşur. Kalın bağırsaklarda oluşum sıklığı midedekine benzerlik gösterir.
- Frekansın yanında, elektriksel uyarımlarla bağırsak düz kaslarının fonksiyonel sinsityumları üzerinden ilerleyen dalgaların yayılım hızı da değişiklikler gösterir. Yayılma hızı, duodenumda saniyede birkaç cm'iken, ileuma kadar yaklaşık 0,5 cm'e kadar düşer.

Mide-Bağırsak Motilitesi



- Bunun nedeni anal bağırsak bölümlerine doğru gittikçe artan elektriksel dirençtir (yani hücreler arasındaki daha kötü elektriksel bağlantılardır). Bunun sonucunda, peristaltik dalga sönmeden önce, distal ince bağırsağa nazaran proksimal ince bağırsakta daha fazla yayılır.
- Bu durum, bağırsak içeriğinin anal yöndeki transportunu yavaşlatır ve kimusun nakledilme hızı, artan su ve besin maddelerinin emilimleriyle azalan kimus hacmine uygun hale getirilir.
- Genellikle yavaş dalgalar, komşu bir bağırsak segmentinden doğan diğer bir yavaş dalga ile karşılaşmadan önce sadece birkaç santimetre ilerler.

Mide-Bağırsak Motilitesi



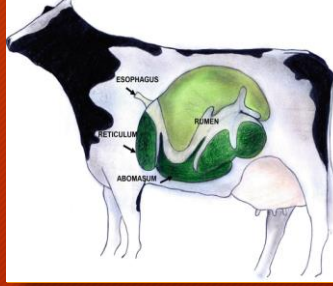
- Mide-bağırsak kas hücrelerinin kendi ritimleri, enterik sinir sistemince, özellikle de miyenterik pleksusun motonöronlarınca modüle edilir. Bu motonöronlar yine klasik otonom sinir sisteminin etkisi altındadır, bu sayede gastrointestinal sistemin aktivitesi tüm organizmanın ihtiyaçlarıyla uyumlu hale getirilir.
- Parasempatik sinir sistemi bağırsak kaslarının aktivitesini artırır. Kontraktilitede bir artış söz konusudur, yani yavaş dalgalar daha yüksek oranda aksiyon potansiyellerine dönüştürülür. Sfinkterler ise gevşer, örneğin ileosekal sfinkter, böylece bağırsak içeriğinin anal yönde taşınması mümkün olur.

Mide-Bağırsak Motilitesi



- Diğer yandan sempatik sinir sistemi gastrointestinal kasların aktivitesini baskılar, bu sırada sfinkterler de kapatılır. Yani kimusun ileri yönlü transportu sempatik sistemce engellenir.
- Güçlü sempatik aktivasyon, bağırsak atonisine yol açabilir (yani kalıcı ve tam bir gevşeme), çünkü sempatik sinirler sadece $\alpha 2$ -reseptörler yoluyla enterik motonöronları inhibe etmekle kalmaz, aynı zamanda miyositler üzerindeki $\beta 2$ -reseptörler aracılığıyla da intestinal kasları doğrudan baskırlarlar.
- Otonom sinir sisteminin yanında çok sayıda hormon (özellikle gastrointestinal sistemin hormon üreten hücreleri olan enteroendokrin hücrelerden salınanlar) düz kaslar üzerinde etkiler yapar.

Mide-Bağırsak Motilitesi



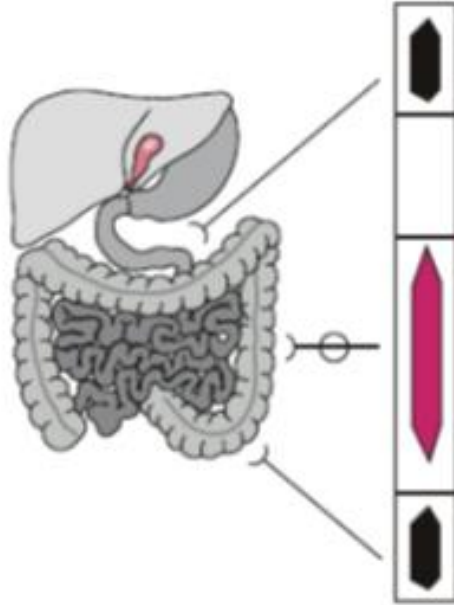
Nöral Etkiler

Parasempatik

- Bağırsak kaslarında kasılma
- Sfinkterlerde gevşeme

Sempatik

- Bağırsak kaslarında gevşeme
- Sfinkterlerde kasılma



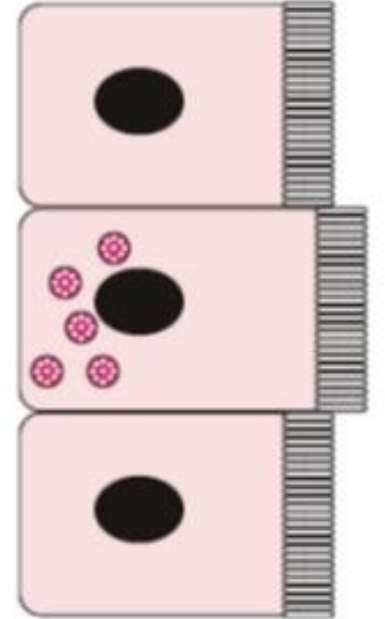
Humoral Etkiler

Uyarıcı

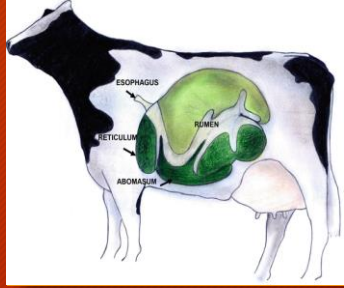
Örneğin motilin, gastrin, kolesistokinin, serotonin

Baskılayıcı

Örneğin sekretin, somatostatin, adrenalin

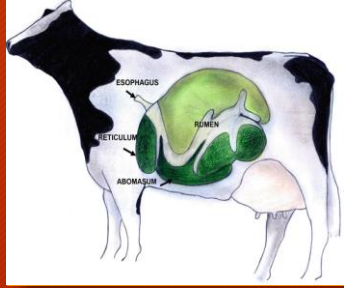


Kısaca



- Gastrointestinal sistemin motor fonksiyonu çok sayıda düzenleyici sistem tarafından kontrol edilir.
- Pacemaker hücreler yoluyla miyojenik
- Enterik sinir sistemi, sempatik ve parasempatik sinir sistemleri yoluyla nöral
- Hormonlarla para- ve endokrin düzenlemeler yapılır.

Kısaca



- Gastrointestinal sistemin motor fonksiyonu çok sayıda düzenleyici sistem tarafından kontrol edilir.
- Pacemaker hücreler yoluyla miyojenik
- Enterik sinir sistemi, sempatik ve parasempatik sinir sistemleri yoluyla nöral
- Hormonlarla para- ve endokrin düzenlemeler yapılır.

Önmide Motilitesi ve İngesta Pasajı



- Selülozca zengin yemlerin (otlar) önmidelerdeki mikrobiyal sindirimi oldukça yavaş bir süreçtir. Bu yemlerden etkin bir şekilde yararlanabilmek için yemlerin sindirim sisteminde uzun bir süre kalması gerekir. Geviş getiren hayvanlar, büyük önmide hacimleri ve önmidelerinin bölümlere ayrılmış olmasıyla bu uzun kalış süresi gereksinimini yerine getirirler. Yemin sindirimi, yoğun geviş getirmelerle kolaylaştırılır; geviş getirme doğuştan gelen karmaşık bir refleks olayıdır. Türe özgü beslemede alınan besinler gün içerisinde saatlerce tekrar çiğnenir. Retikulumun ve rumenin çeşitli bölümlerinin düzenli kasılmaları önmide içeriğinin iyice karıştırılmasını sağlar.

Önmide Motilitesi ve İngesta Pasajı



- Fermantasyon gazları ruktusla dışarı verilir. Sadece büyük ölçüde sindirilmiş yem bileşenleri retiküloomazal açıklıktan geçerek omasum ve abomasum yönüne ilerler ve rumeni terk eder; retikulum motilitesi parçacıkların selektif retensiyonunda merkezi bir rol oynar (filtre fonksiyonu).
- Önmide motilitesinin regülasyonu vagovagal reflekslerle sağlanır; refleks merkezi beyin sapında bulunur. Yeni doğan ruminantlar fonksiyonel bakımdan tek midelidir; retikulum kanal refleksi sayesinde süt doğrudan abomasuma ulaşır.

Önmide Motilitesi ve İngesta Pasajı



- Ruminantia alt takımının filojenezi besin olarak bilhassa otların etkili bir şekilde kullanılmasına dayanmaktadır. Yaşlanmış kart otlar, yüksek miktarda yapısal maddeler (selüloz, hemiselüloz ve lignin gibi), düşük miktarda protein içermelerinden dolayı düşük kaliteli yemlerdir. Günümüzdeki geviş getiren hayvanların gastrointestinal kanalının anatomik organizasyonu, selülozca zengin yemlere uzun bir adaptasyon sürecinin sonunda şekillenmiştir. Selüloz molekülündeki glikoz monomerlerinin β -glikozidik bağı, memeli hayvanlarda endojen selülitik enzimlerin olmaması nedeniyle parçalanamaz. Bu nedenle ruminantlarda, fermantasyon odası vazifesi gören önmideler gelişmiştir.

Önmide Motilitesi ve İngesta Pasajı

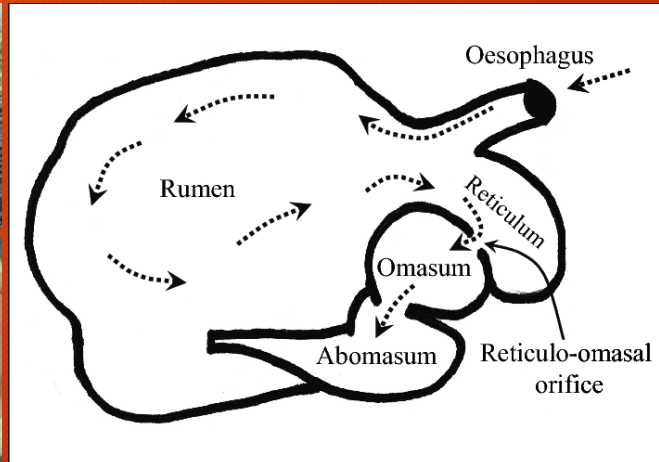


- Burada bakteriler, protozoonlar ve mantarlar yem maddelerini anaerobik koşullar altında parçalarlar. Bitkilerdeki hücre duvarı bileşenlerinin tam hidrolizi, birçok mikrobiyal enzimin sinerjik etkileşimini gerektirir ve oldukça yavaş işler. Sindirimin etkinliği bu bağlamda, ingestanın mikroorganizmalara maruz kaldığı süreye bağlıdır.
- Monogastrik otçullarla karşılaştırıldığında geviş getirenlerin selülozca zengin besinleri daha iyi değerlendirebilme yeteneği, özellikle önmide sisteminde ingestanın daha uzun kalış süresinden kaynaklanmaktadır. Ruminantlar böylelikle hücre duvarı bileşenlerinin yavaş parçalanmasına bağlı dezavantajı büyük ölçüde telafi ederler.

Önmide Sisteminin Fonksiyonel Anatomisi



- Evcil ruminantların önmide sistemi son derece büyük bir hacme sahiptir ve diyaframdan pelvik boşluğa kadar tüm sol karın boşluğunu doldurur. Bu nedenle yenilen besinler uzun süre depo edilebilir. Diyafram kubbesinin kranialinde retikulum (börkenek) bulunur. Retikulum mukozası, dört ila altı kenarlı hücreler oluşturan papillalarla kaplı yapılar oluşturur; retikulum hücrelerinin tabanında küçük mukozal katlanmalar ve papillalar da bulunur.
- Bu yapılar ingestanın karıştırılarak ayrıştırılmasında önemlidir. Retikulum, sulcus ruminoreticularis ile atrium ruminis'ten ayrılır. Fonksiyonel olarak retikulum ve rumen bir bütünlük oluşturur, bu nedenle retikülorumen olarak adlandırılır.



Önmide Sisteminin Fonksiyonel Anatomisi



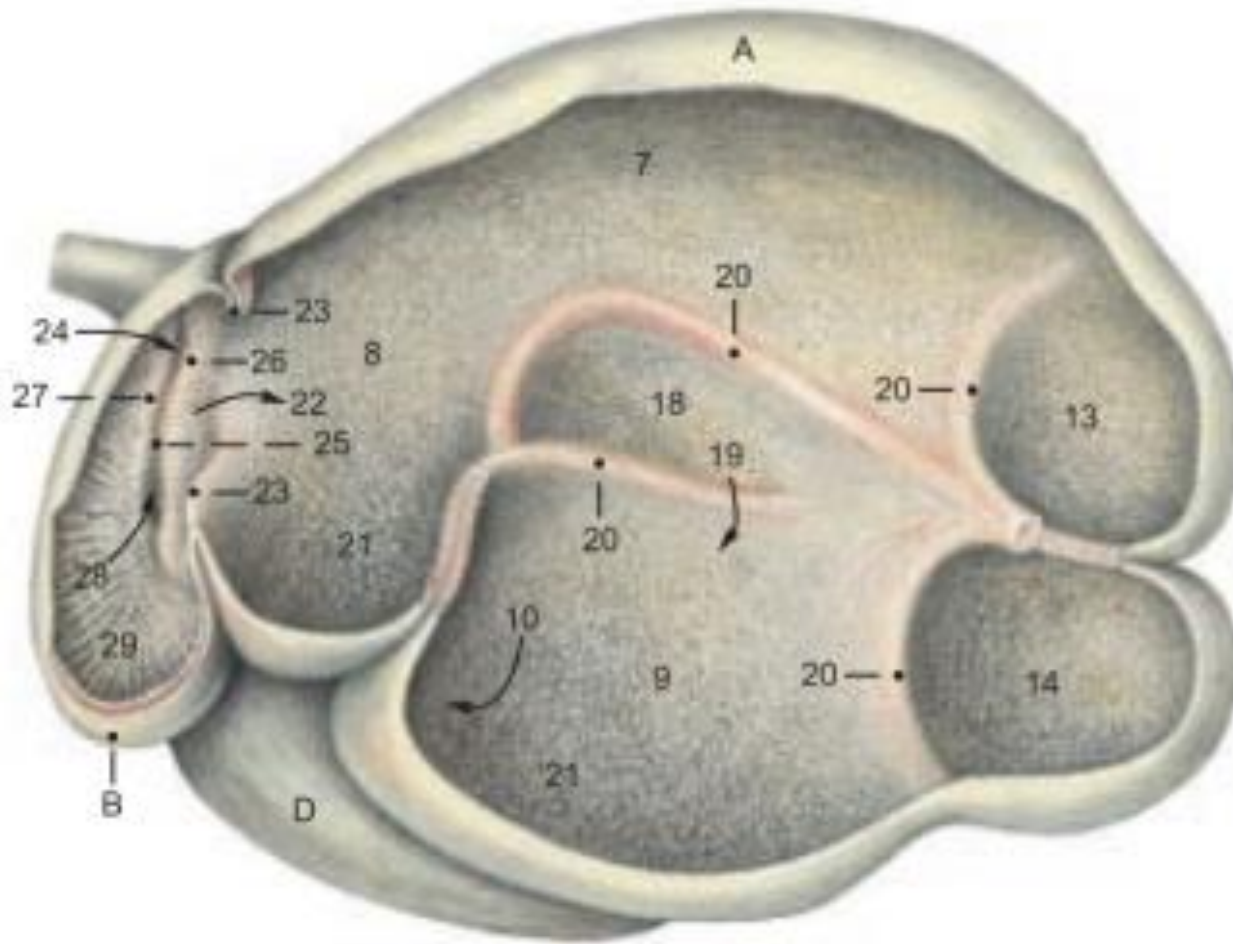
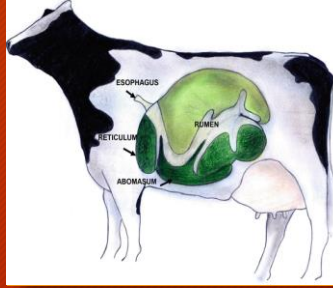
- Etkili bir mikrobiyal fermantasyon için önemli koşullardan bir tanesi ingestanın retikülorumende sürekli ve yoğun bir şekilde karıştırılmasıdır. Büyük hacim nedeniyle önmide duvarındaki düz kasların kasılması bu iş için yeterli olmaz; ancak rumenin lümenine doğru kuvvetli kas çıkıntıları olan pila ruminis'lerin kasılması ingestanın önmidelerde yoğun bir şekilde karıştırılmasını mümkün kılar.
- Rumen, kranial ve kaudal rumen pilaları, pila coronaria ventralis, sağ ve sol longitudinal pilalar ile atrium ruminis, dorsal ve ventral rumen keseleri, ventral ve dorsal kör keselere ayrılır. Genellikle sivri ve keskin olan kaba yemlere adaptasyon sağlamak için rumen mukozası histolojik olarak derinin epidermisine benzer şekilde çok katlı keratinize epitelle döşelidir.

Önmide Sisteminin Fonksiyonel Anatomisi



- Rumen epiteli çok katlı keratinize epitelle döşeli olmasına rağmen retikülörumende çeşitli maddelerin büyük miktarlarda emilimi gerçekleşir.
- Bunun en iyi göstergesi, özellikle ventral rumen kesesinde ve rumen atriyumunda çok sayıda papillalarla mukoza yüzey alanının belirgin şekilde genişletilmiş olmasıdır.
- Yoğun vaskülerize önmide sistemine kan sağlanması a. coeliaca'dan kaynaklanan damarlarla gerçekleştirilir; venöz kan ise öncelikle portal ven ile karaciğere, daha sonra da v. cava caudalis'e boşalır.

Önmide Sisteminin Fonksiyonel Anatomisi



- 7: Dorsal kese
- 8: Atrium
- 9: Ventral kese
- 13: Dorsal kör kese
- 14: Ventral kör kese
- 20: Pilalar
- 22: Ruminoretiküler açıklık
- 23: Plica ruminoreticülaris
- 24 Retiküler oluk

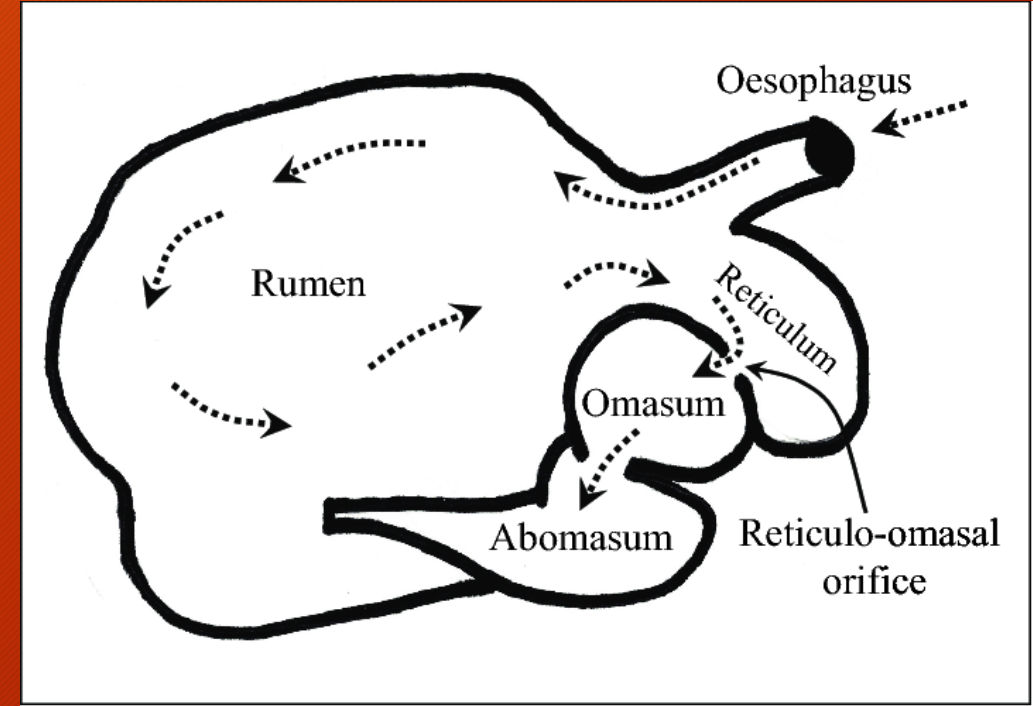
Önmide Sisteminin Fonksiyonel Anatomisi



Önmide Sisteminin Fonksiyonel Anatomisi



- Retikülo-omasal açıklık ingestanın retikülorumenden omasuma geçişinde anatomik geçit bölgesini oluşturur ve medialde, retikülorumen oluğunun rumen atriumuna geçtiği seviyede bulunur.
- Retikülo-omasal açıklık, dorsal olarak konumlanmış Cardia spiralig'den kaudovertral yönde uzanan retikulum oluğunun iki kaslı dudakınca çevrelenmiştir. Retikulum oluğunun refleks olarak oluşmasıyla, emilen süt buzağılarda retikülorumene uğramadan doğrudan abomasuma geçer.



Önmide Sisteminin Fonksiyonel Anatomisi



- Üçüncü önmide bölümü olan omasum (kırkbayır), yuvarlak-oval bir şekle sahiptir ve karın boşluğunun intratorasik bölgesinde, retikulumun medialinde bulunur. Çok sayıda, farklı büyüklükteki mukozal kıvrımlar (yapraklar) ve çok sayıdaki papillalar omasumda yüzey alanını muazzam şekilde genişletir. Bu durum bu önmide bölümünde çok yoğun rezorpsiyon olaylarının gerçekleştiğini gösterir.
- Armut şeklindeki abomasum (şirden) tek midelilerin glandüler midesine karşılık gelir ve ağırlıklı olarak ventralde ve orta hattın sağında bulunur. Omasuma geniş lümenli omaso-abomasum açıklıkla bağlıdır. Abomasum mukozası, fundus alanında pilorusa doğru uzanan büyük kıvrımlara sahiptir; bu mukozal kıvrımlar abomasum duvarının kasılması sırasında abomasal içeriğin omasuma geri dönmesini engeller.

Retikulum ve Rumen Motilitesi



- Retikulorumen kasılmalarının temel örüntüsü, retikulum ve rumenin farklı kısımlarının birbirini takip eden düzenli, şaşırtıcı stereotip kasılma sekanslarıyla karakterizedir. Bu kasılmalar, A-siklusları (birincil döngüler) ve B-siklusları (ikincil döngüler) olarak ayırt edilir.
- A-siklusları kraniyaldan kaudale doğru ilerler. Her bir A-siklusu öncelikle bifazik retikulum kasılmasıyla başlar. İlk retikulum kasılması sırasında, retikulum normal boyutunun yaklaşık yarısına kadar küçülür. Kısmi bir gevşemeden sonra ikinci retikulum kasılması oluşur. Bu ikinci kasılma ilkinden çok daha güçlüdür ve retikulumun lümeni neredeyse kaybolur.

Retikulum ve Rumen Motilitesi



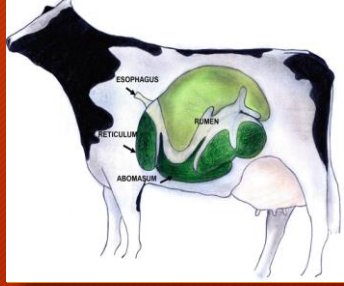
- Bunu rumen atriyumunun kasılması izler, bu kasılma ingestanın gevşeyen retikuluma geri kaçışına yol açar. Bundan sonra dorsal rumen kesesinde kraniyaldan kaudale doğru ilerleyen bir kasılma başlar. Bu sırada tüm rumen pilaları halka şeklinde daralır ve dorsal yönde hareket eder. Bunu takip eden ventral rumen kesesi ve ventral kör kesenin kasılmaları sırasında, pilalar tekrar ventrale doğru hareket eder, böylece sıvılar kraniyal rumen pilası üzerinden kraniyal yönde rumen atriyumuna sevk edilir.

Retikulum ve Rumen Motilitesi

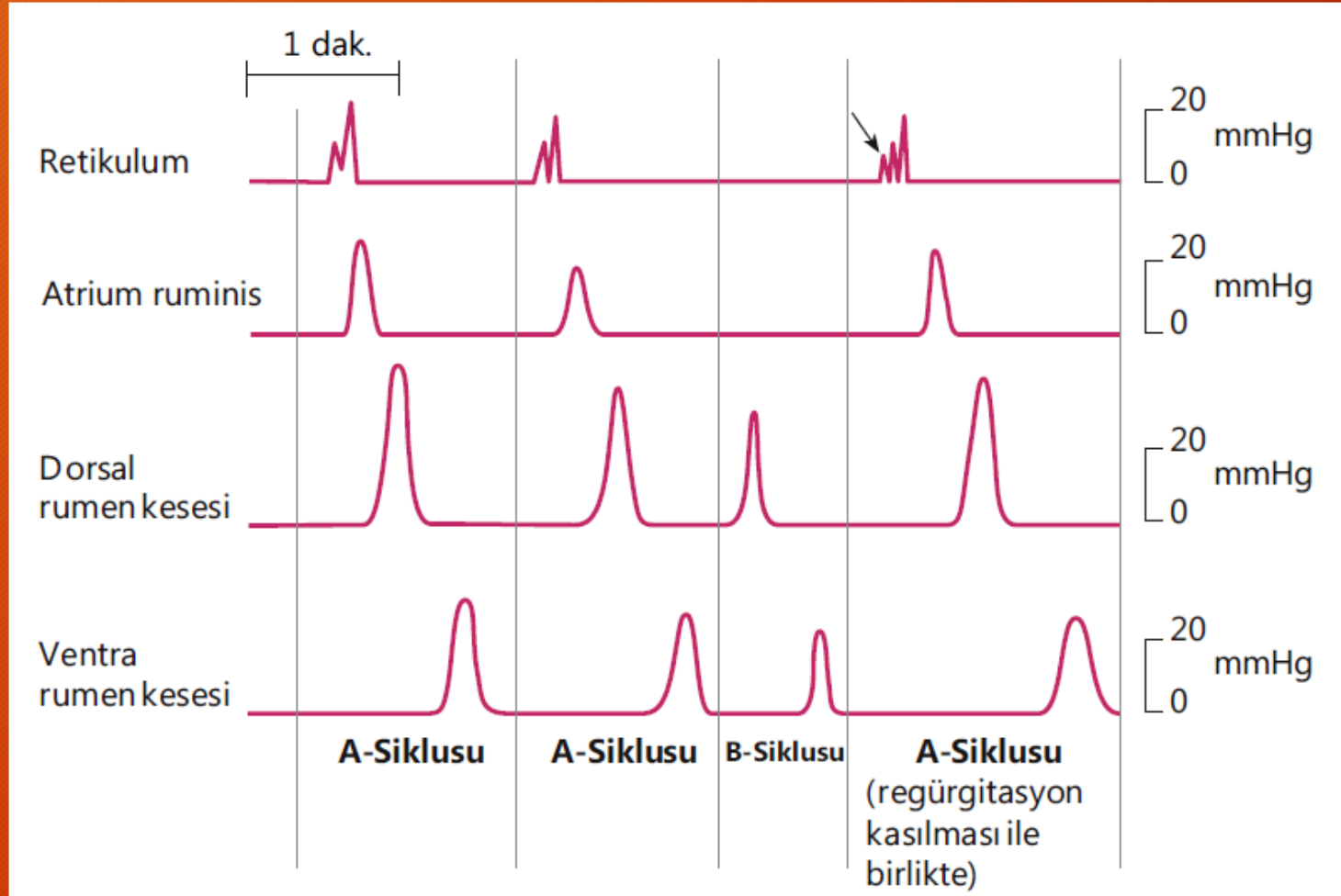


- B-sikluslarında retikulum ve rumen atriyumunun kasılmaları oluşmaz. B-siklusları öncelikle ventral kör kesenin kasılmasıyla başlar ve bunu dorsal daha sonra da ventral rumen keselerinin kasılmaları izler.
- Rumen kasılmaları, dışarıdan bakıldığında sol açlık çukurundan da fark edilebilir; bu bölgeden kasılmaların frekansı oskültasyon ile belirlenebilir. Oskültasyon sırasında belirgin hışırtı sesleri işitilir. Bu sesler ingesta partiküllerinin kasılan dorsal rumen kesesi duvarına sürtünmesiyle oluşur. Sağlıklı sığırlarda, iki dakikada yaklaşık üç kasılma işitilir; A- ve B-siklusları arasında ayırım yapılamaz. Besleme sırasında kasılma frekansı neredeyse iki katına yükselir.

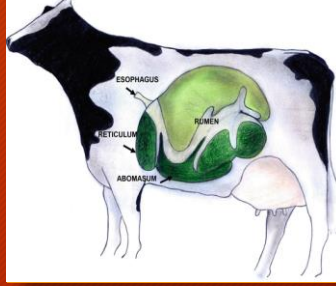
Retikulum ve Rumen Motilitesi



İki A-siklusu, bir B-kasılma siklusu ve geviş getirme sırasında retikulumun regürjitasyon kasılmasının da dahil olduğu bir A-siklusunun (ok) şematik gösterimi.



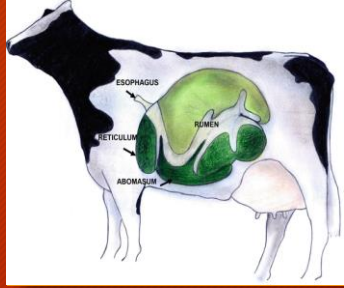
Retikulum ve Rumen Motilitesi



A-siklusunun aşamaları ve ingesta üzerine etkisi.
ROA=Retikulum-Omasum-Açıklığı.
Kırmızı kenarlı alanlar kasılma durumunu göstermektedir.

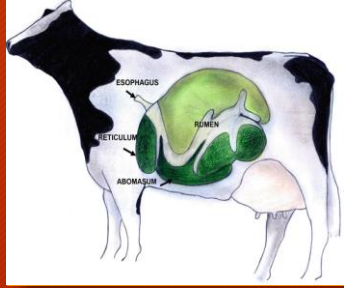
	Zaman (sn.)	Kasılmanın seyri	Şematik gösterim	İnjestanın hareketi
Retikulum 1. Kasılma 2. Kasılma	0-2 2-4	Retikulum tabanı kranio-dorsal yönde hareket eder; retikulum lümeni küçülür; kısa bir gevşemeden sonra ikinci retikulum kasılmasıyla retikulum neredeyse tamamen kasılır. İkinci retikulum kasılmasının en üst noktasında ROA açılır ve omasum kanalı genişler.		Büyük ve kabapartiküller kaudo-dorsal bölgeye gelir; sıvılar kısmen rumen atriyumuna akar. Retiküloomasal açıklıktan ingesta omasuma geçer.
Rumen atriyumu (Atrium ruminis)	6-9	Rumen atriyumunun tabanı dorsalyönde hareket eder. Retikulum gevşer.		Önmide içeriği gevşeyen retikuluma kısmen geri döner
Dorsal rumen kesesi Dorsal kör kese	6-13	Kasılma kranialden kaudal yöne ilerler; eş zamanlı olarak rumen pilaları halka şeklinde dorsale doğru hareket eder.		Kaba yapılı yemler sirkülasyona devam eder; daha küçük partiküller ventral olarak preslenir; dorsaldeki gazlar kraniyale (muhtemelen ruktus şekillenir) itilir.
Ventral rumen kesesi Ventral kör kese	20-30	Kasılma kranialden kaudale ilerler; rumen pilaları tekrar halka şeklinde büzülür ve aşağı doğru hareket eder; daha sonra ventral kör kese kasılır.		Küçük partiküller içeren rumen sıvısı dorsal yönde preslenir ve kranial rumen pilaları üzerinden rumen atriyumuna geçer.

Retikulum ve Rumen Motilitesi



Büyük ölçüde A- ve B-sikluslarının stereotipik sekanslarıyla karakterize retikülorumen motilitesinin düzenlenmesi ekstrinsik innervasyonla sağlanır. Refleks merkezi beyin sapında bulunur ve vagovagal refleksler ön mide motilitesinin işleminde elzem rol oynar. Bağırsak motilitesinin aksine, enterik sinir sistemi retikülorumen motilitesinde sadece küçük bir öneme sahiptir.

Retikulum ve Rumen Motilitesi



- Retikülorumen kasılmalarını düzenleyen refleks arkının bileşenleri:
 - Ağız boşluğunda, önmidelerin duvarında, abomasum ve duodenumdaki reseptörler
 - N. vagus (kısmen de N. splanchnicus) ile taşınan afferent sinir lifleri
 - Medulla oblongata'da bulunan bir çift bilateral mide merkezi
 - Tekrar başlıca N. vagus siniri üzerinden nakledilen efferent sinir lifleri
 - Efektör organ olarak önmide duvarındaki düz kaslar
- Motor fonksiyonun düzenlenmesinde retikulum ve rumen duvarındaki reseptörler en büyük öneme sahiptir.

Retikulum ve Rumen Motilitesi



Gerim reseptörleri düz kasların içinde derin olarak yerleşmiştir. Yavaş adapte olan bu reseptörler en çok retikulumda, kardiya bölgesinde, retikülorumen katlantısında ve kraniyal rumen pilasında bulunur. Gerim reseptörleri, ingestanın neden olduğu düz kasın pasif gerilmesine ve kasılmalar sırasında duvarın aktif gerilmesine reaksiyon gösterir; reseptif alanların çapı 5-20 mm kadardır.

Epitelyal reseptörler ise epitel hücrelerin bazal membranının hemen altında, özellikle retikulumda ve rumen pilalarında oldukça yüzeysel olarak yerleşmiştir. Bu reseptörler hızlı adapte olurlar ve farklı tip uyarılara (polimodal reseptörler) reaksiyon verirler. Bir yandan mekanosensitifler ve gerilmeye aktive olurlar, diğer yandan kemosensitifler ve özellikle kısa zincirli yağ asitlerinin ruminal konsantrasyonundaki değişikliklere reaksiyon gösterirler.

Retikulum ve Rumen Motilitesi



- Retikulum-rumen kasılmaları, aynı zamanda vagal olarak inerve edilen abomasum ve duodenumdaki mekano- ve kemosensitif epitelyal reseptörlerden de etkilenir. Ayrıca beslenme sırasında A-sikluslarının frekansının artması N. trigeminus ile taşınan bukkal (yanak) mekanoreseptörlerin retikülorumen motilitesinde rol oynadığını göstermektedir.
- Bilateral ve bir çift olan mide merkezi medulla oblongatada dorsal vagus çekirdeğinin yakınında bulunur. Burada, periferden ve merkezi sinir sisteminin yüksek merkezlerinden gelen baskılayıcı ve uyarıcı sinyallerin entegrasyonu yapılır.

Retikulum ve Rumen Motilitesi



- A- ve B-siklusları, beyindeki mide merkezinde oluşturulan ve efferent vagal lifler yoluyla önmidelere ulaştırılan uyarımların bir sonucudur. Sol ve sağ N. vagus siniri dorsolateral uzanarak dorsal ve ventral dallara bölünür. Hiatus oesophageus'un içinden geçtikten sonra, hem dorsal hem de ventral dallar birleşir ve yemek borusunun dorsalinden ve ventralinden karın boşluğuna girer. Dorsal abdominal vagus özellikle rumeni innerve eder, omasum ve abomasuma çok az sayıda lif gönderir; bu nedenle “rumen siniri” olarak da isimlendirilir. Ventral abdominal vagus ise öncelikle retikulum, omasum ve abomasumu (retikulum-omasum-abomasum-siniri) innerve eder.

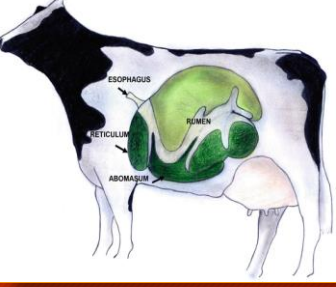
Retikulum ve Rumen Motilitesi



Intrinsik İnervasyon

- Retikülorumen motilitesinde vagovagal reflekslerin belirgin rolü servikal vagusun deneysel olarak kesilmesiyle (vagotomi) açıkça görülebilmektedir. A- ve B-siklusları tamamen ortadan kalkar ve ingesta geçişinin bozulmasına bağlı olarak hayvan birkaç gün içinde ölür. Eğer rumen içeriği bir rumen fistülü ile çıkarılır ve yerine besin çözeltisi verilirse, hayvan vagotomi sonrası hayatta kalır. Daha sonra yaklaşık iki hafta içerisinde enterik sinir sisteminin nöronlarındaki (Plexus myentericus ve Plexus submucosus) ritmik deşarjlar nedeniyle önmidelerde tonik aktiviteler tekrar oluşur; bununla birlikte A- veya B-sikluslarına karşılık gelebilecek düzenli kasılmalar artık gözlenmez. Bu tür “intrinsik kontraksiyonlar” özellikle miyenterik pleksustaki nöronların deşarjından kaynaklanmaktadır.
- Enterik sinir sistemi, intrinsik tonik kasılmalar yoluyla retikülorumen motilitesi üzerine modüle edici etkiye sahiptir.

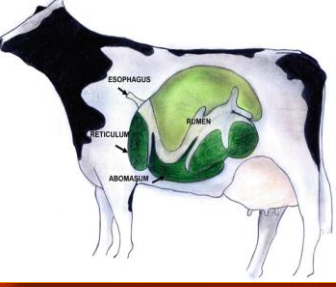
Retikülorumen Motilitesi Üzerine Periferik Etkiler



Önmide kasılmaları, yemin miktarı, türü ve yapısından etkilenir. Retikülorumen duvarının hafif ve orta derecede gerilmesi, retikülorumen motilitesini aktive eden en önemli uyarandır; bu duruma gerim reseptörlerinin aktivasyonu aracılık eder. Fazla miktarda yem yenilmesi bu nedenle daha güçlü kasılmalara ve -aynı zamanda medulladaki tükürük merkezinin de etkilenmesiyle- artmış salivasyona yol açar.

Kaba yem yenmesinin etkileri konsantre yeme kıyasla daha belirgindir -aynı miktarda konsantre yemle karşılaştırıldığında kaba yemin daha büyük hacme sahip olmasından dolayı bu durumun şaşırtıcı olmaması doğaldır.

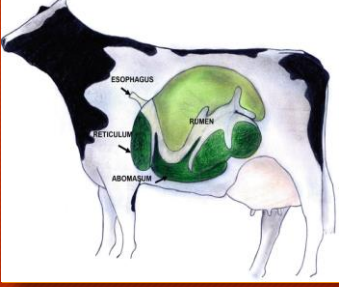
Retikülorumen Motilitesi Üzerine Periferik Etkiler



Buna karşın, önmidelerin şiddetli (aşırı) gerilmesi, örneğin timpanik hayvanlarda olduğu gibi, retikülorumen kasılmalarını baskılar. Bu etki muhtemelen mekanosensitif epitelyal reseptörlerin aktive olmalarından dolayıdır. Bu reseptörlerin motilite üzerine baskılayıcı etkileri gerim reseptörlerinin uyarıcı etkilerinden çok daha büyüktür.

Önmide motilitesi üzerine baskılayıcı etki epitelyal reseptörleri aktive etmelerinden dolayı kimyasal uyaranlar için de geçerlidir. Pratik olarak bu etkilerden en önemlisi, karbonhidratların önmidelerdeki mikrobiyal fermentasyonu sırasında üretilen kısa zincirli yağ asitlerinin etkisidir. Reseptörler, rumen içeriğinin titre edilebilir asitliğine tepki verirler. Epitelyal reseptörler, yüzeyin yaklaşık 150 µm altında bulunurlar ve asitlerden fazlaca etkilenirler. Asitler epitelin yüksek geçirgenliği nedeniyle hızla diffüze olur ve bu reseptörleri uyarır; bu durum özellikle bütirik asit için geçerlidir.

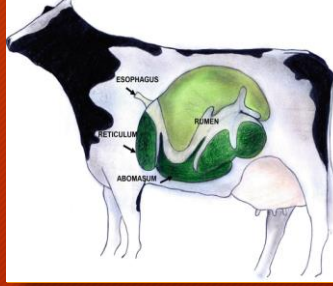
Retikülorumen Motilitesi Üzerine Periferik Etkiler



Epitelyal reseptörler, önmide içeriğinin güçlü hipo- ve hipertonisitesi ile de aktive olurlar; bununla birlikte önmide içeriğinin osmolaritesi sadece küçük dalgalanmalar gösterir, bu nedenle normal beslenen hayvanda bu etkiler önemli bir role sahip değildir.

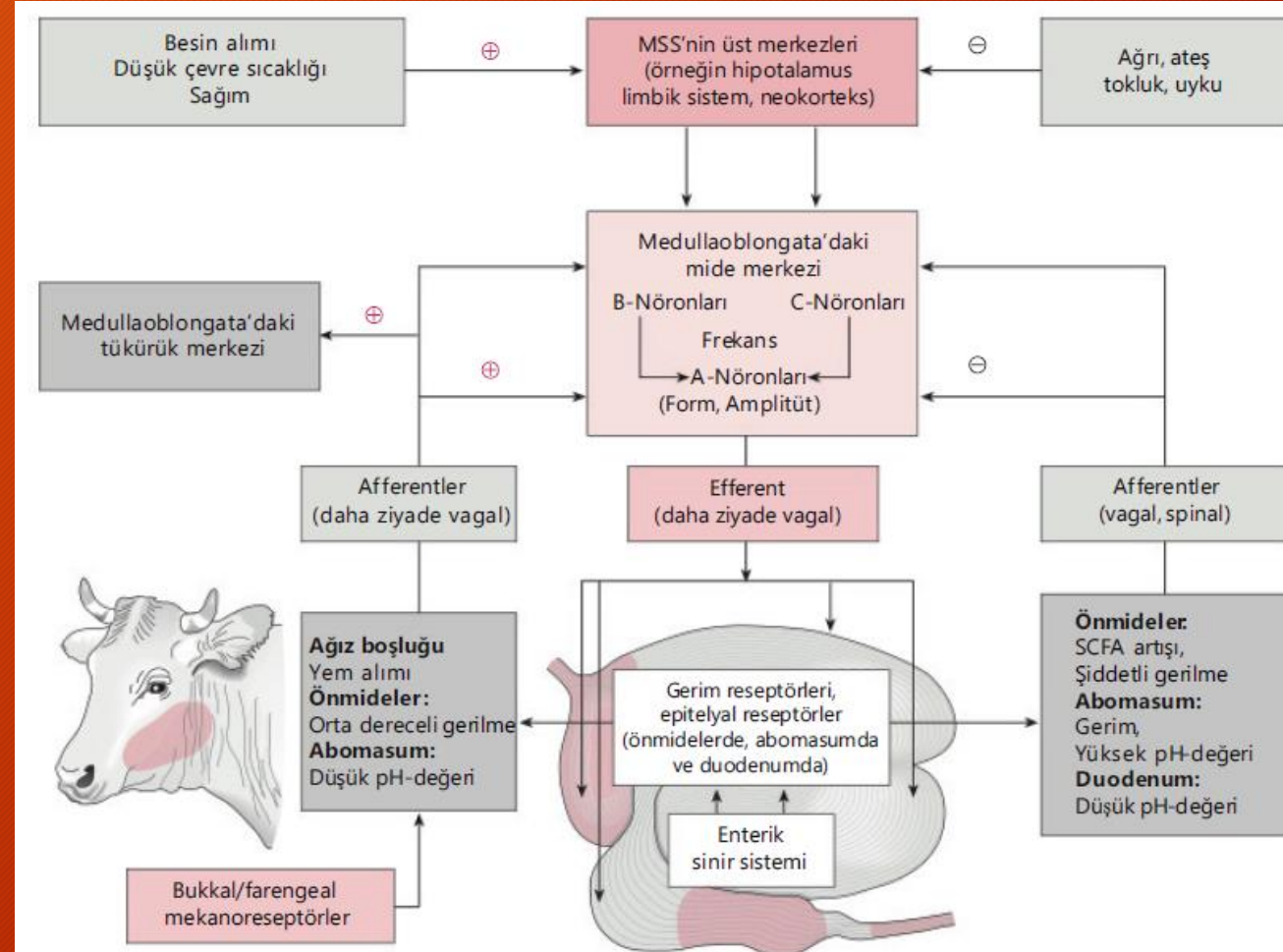
Abomasumdaki epitelyal reseptörler abomasum içeriğinin düşük pH'sı nedeniyle aktive olduklarında, mide merkezleri de ilaveten uyarılır. Vagovagal olarak önmide motilitesinin yükseltilmesi, abomasumun sürekli ve yeterince dolu kalmasını da garanti altına alır. Aksine, abomasumun fizyolojik olmayan gerilmeleri ve yüksek bir pH değerine sahip olması, yukarıda bahsedilen vagovagal refleksler nedeniyle önmide motor fonksiyonunu inhibe eder; buna ek olarak N. splanchnicus sinirine projeksiyon yapan serozal reseptörlerin aktivasyonu da inhibisyon oluşturur. Bu iki birbirinden bağımsız sensörük yolla abomasumun aşırı dolması önlenir.

Retikülorumen Motilitesi Üzerine Periferik Etkiler



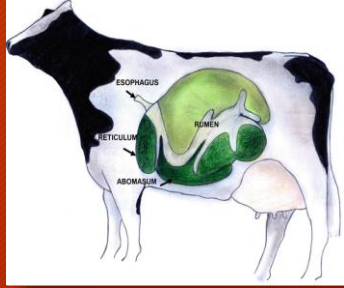
Son olarak, düşük pH ve hipo- veya hiperosmolarite nedeniyle aktive olan duodenumdaki epitelyal reseptörler, hem abomasum hem de retikülorumen motilitesini inhibe eder. Böylece abomasumdan duodenuma çok hızlı ingesta geçişi önlenir.

Şekil: Retikülorumen motilitesinin düzenlenmesinde vagovagal refleks arkı, periferik ve merkezi faktörlerin kasılmaların frekansı ve amplitüdü üzerine etkileri; retikulum, abomasum, duodenum ve ağız boşluğu üzerindeki kırmızı alanlar en yüksek reseptör yoğunluğuna sahip bölgeleri göstermektedir.

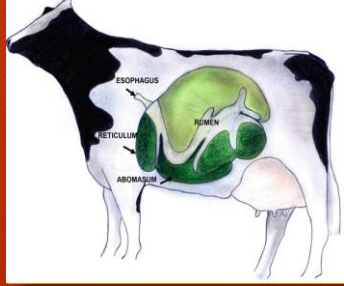


Kısaca

Retikülorumen duvarının orta dereceli gerilmesi, retikulum ve rumende artan motiliteye yol açar. Şiddetli gerilme ve yüksek yağ asidi konsantrasyonu, retikülorumen motilitesini inhibe eder. Ağız boşluğu, abomasum ve duodenumdaki reseptörlerin aktivasyonu ilave etkilere sahiptir.



MSS'nin Daha Üst Merkezleri Tarafından Retikülorumen Motilitesinin Etkilenmesi

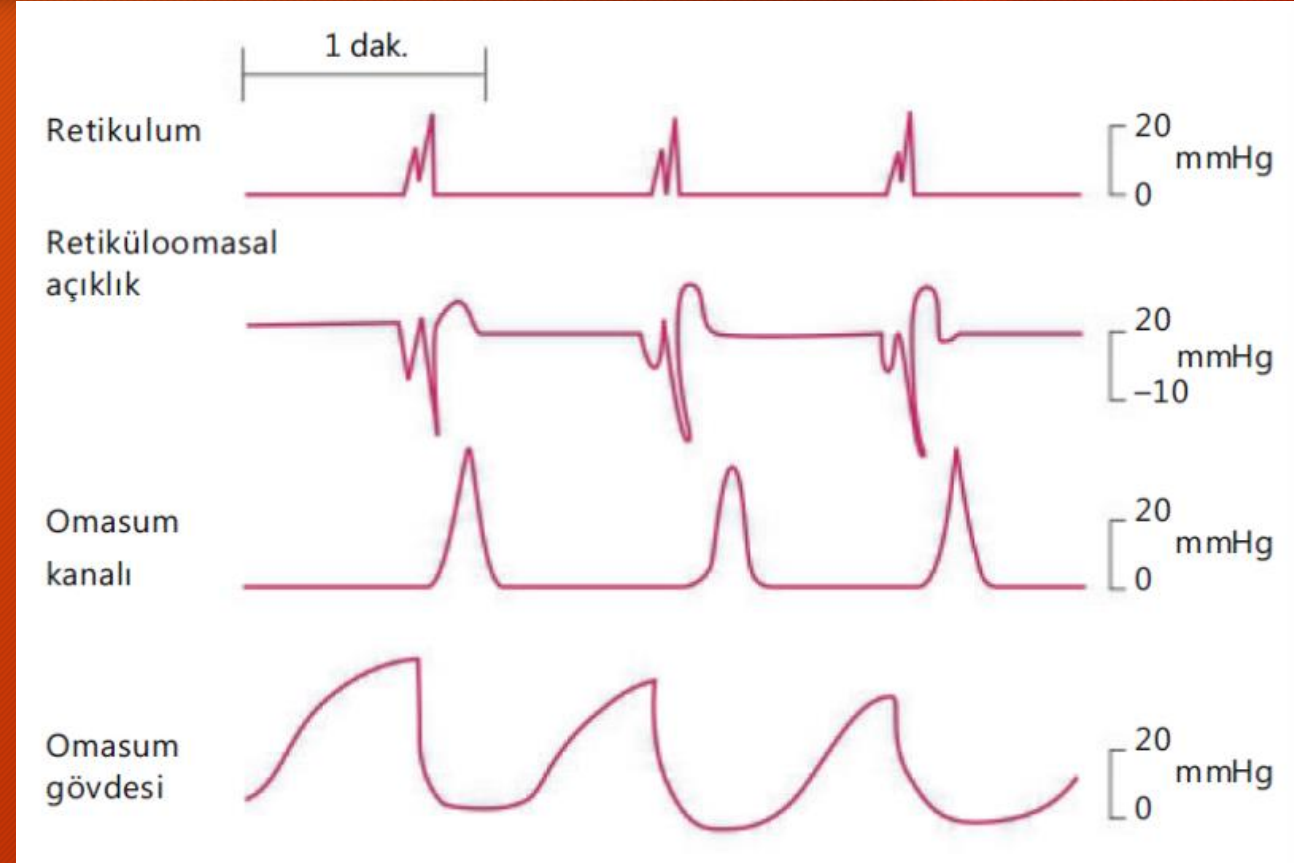
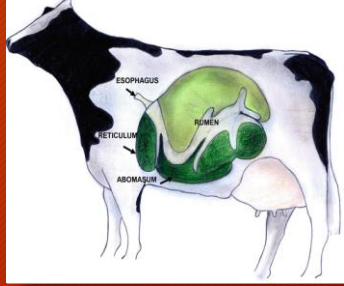


- Ağrılı uyarılarla retikülorumen motilitesinin baskılanmasının nedenleri:
 - Gastrik merkez üzerine direkt etki,
 - Sempatikoadrenerjik sistemin aktivasyonu (N. splanchnicus üzerinden kasılmaların baskılanması),
 - Sıklıkla ağrıyla ilişkili olan azalmış veya tamamen kesilmiş besin alımı (anoreksi).
- Ateşi olan hasta hayvanlarda bile pirojenlerin gastrik merkezi direkt etkilemesi ve prostaglandinlerin indirekt etkileri nedeniyle ön mide motilitesi azalır.

Omasum Motilitesi

Omasum motilitesinde ilk olarak, omasum kanalının ve omasum gövdesinin motiliteleri arasındaki ayrım yapılmalıdır. Omasum kanalının motilitesi, retikülorumen motilitesiyle sıkı ilişki içerisindedir.

Omasum kanalı her zaman ikinci retikulum kasılmasının zirvesinde genişler. Bu esnada açılan retiküloomasal açıklıktan ingesta retikulumun tabanından omasuma emilir (emme fazı).



İkinci retikulum kasılması sırasında retiküloomasal açıklıkta negatif bir basınç oluşur; oluşan emme gücü ingestanın retikulumdan omasuma geçmesine yol açar.

Omasum Motilitesi



Bundan hemen sonra retikülorumen açıklığı kapanır ve omasum kanalı kasılır; ingesta böylece omasum yaprakları arasında kısmen preslenir (basınç fazı).

Bunu 10 saniyelik bir gecikmeden sonra oraldan aborale ilerleyen yavaş yavaş yükselen omasum gövdesinin kasılması takip eder; bu sırada ingesta omasumdan geniş lumenli omasum-abomasum açıklığına doğru preslenir. Sonraki bifazik retikulum kasılmasından hemen önce omasum gövdesi tekrar tamamen gevşer.

Omasum gövdesinin motilitesi retikülorumen motilitesiyle sıkı bir koordinasyon durumunda değildir; özellikle sığırlarda çok sayıda retikülorumen kasılmasına karşılık omasum gövdesinde genellikle kasılmalar şekillenmez.

Omasum Motilitesi



Retikülorumen kasılmalarından farklı olarak, omasum motor fonksiyonları öncelikle lokal olarak düzenlenir (intrinsik kontraksiyonlar). Vagotomi veya anestezi maddelerinin kullanımından sonra retikülorumen kasılmaları ortadan kalkarken, omasum gövdesinin kasılmaları neredeyse hiç etkilenmez.

Bununla birlikte retikulumdan gelen ingestanın bileşimi ve miktarı ile omasumun dolgunluk derecesi motiliteyi belirgin şekilde etkiler. Besin alımı sırasında bifazik retikulum kasılmalarının sıklığı arttıkça omasum gövdesinin kasılma fazının süresi azalır; bu sayede omasumun ingestayla doldurulması desteklenir.

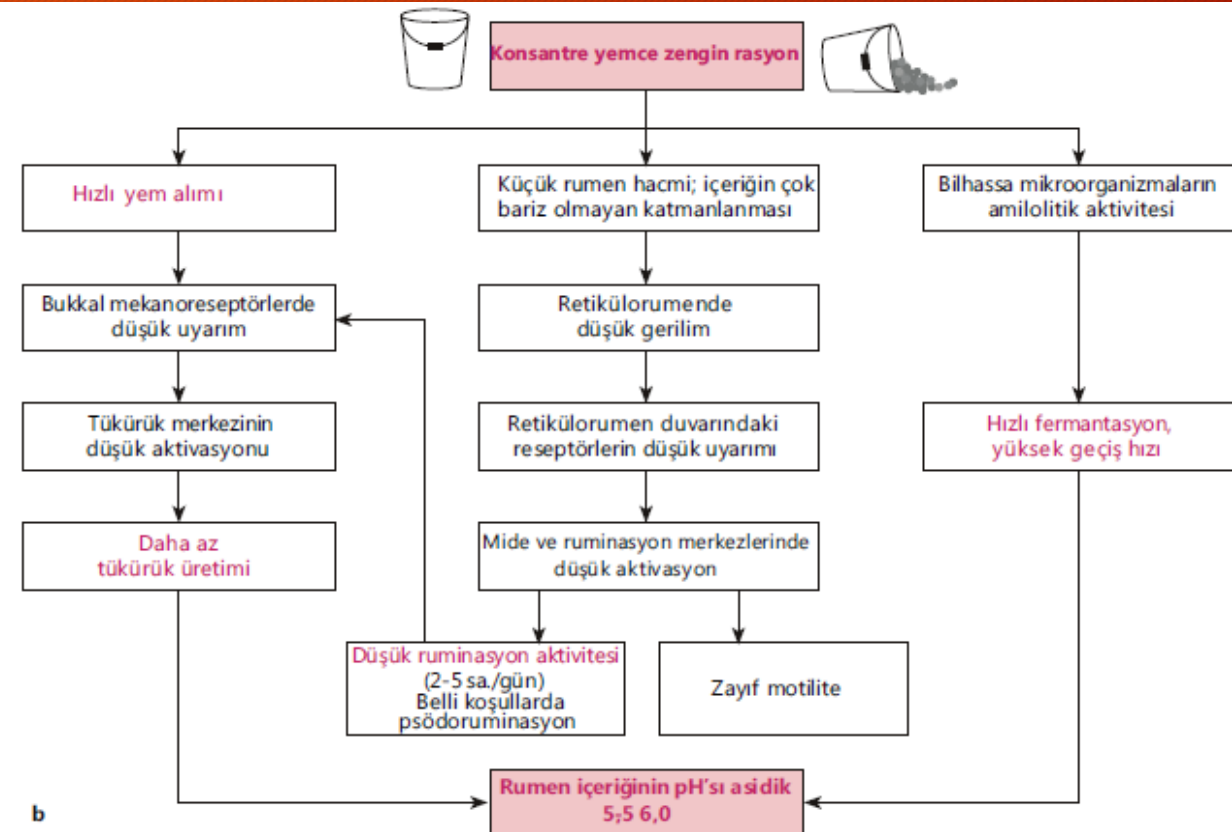
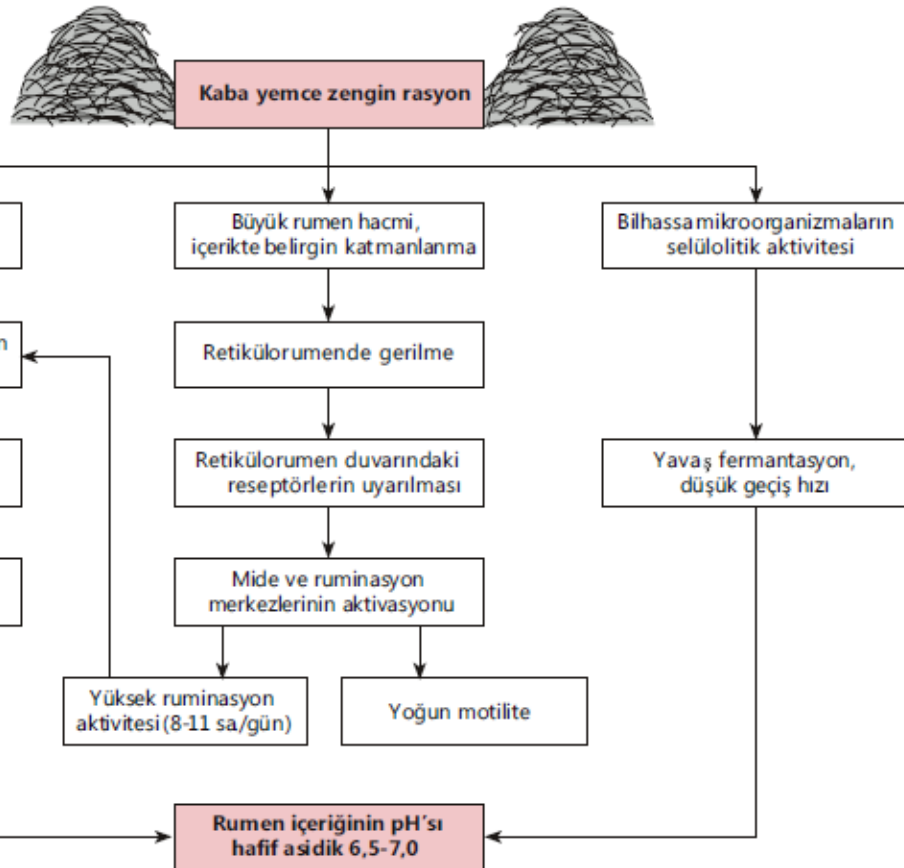
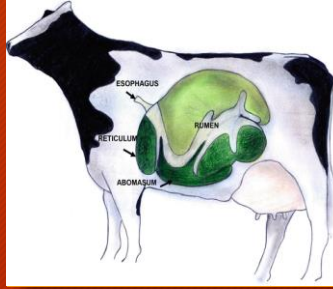
Ruminasyonun Fonksiyonel Önemi ve Regölasyonu



Ruminasyon, retikulumun ve rumen atriyumunun mukozasındaki epitelyal reseptörlerin stimölasyonuyla başlatılır. Bu reseptörler için uygun uyarılar, rumen içeriğindeki kaba yem partiküllerinin mukozaya temaslarıdır. Bu durum ruminasyon aktivitesinin rasyonun miktarı ve bileşimine olan bariz bağımlılığını açıklar: Strüktürel olarak zengin kaba yem rasyonlarıyla beslemelerde, hayvanlar günde 8 ila 11 saat arasında geviş getirirken, konsantre yemce zengin veya öğütölmüş kaba yem şeklindeki rasyonlarla beslemede ruminasyon aktivitesi belirgin şekilde azalır.

Epitelyal reseptörler vagal liflerle medulla oblongatadaki ruminasyon merkezine projekte olurlar. Bu nedenle vagotomi veya deserebrasyon sonrasında ruminasyon oluşmaz.

Ruminasyonun Fonksiyonel Önemi ve Regülasyonu



Ruminasyonun Fonksiyonel Önemi ve Regülasyonu



Gerçek ruminasyon döngüsü, bolusun ağız boşluğuna regürgitasyonuyla başlar. Bununla birlikte, A-siklusu sırasındaki bifazik retikulum kontraksiyonundan hemen önce retikulumun ek bir kasılmasıyla (regürgitasyon kasılması) bolusun regürgitasyonu gerçekleşir. Böylece ingesta, retikulum ve rumen atriyumundan kardiya doğru yükseltilir, bu sırada kardiyanın alt sfinkteri açılır. Aynı zamanda veya regürgitasyon kasılmasından hemen önce, yumuşak damak kaldırılarak inspirasyon yapılır.

Damağın kaldırılmasıyla solunum yollarındaki hava akımı zorlaşır ve özofagusun torasik bölgesindeki negatif basınç göğüs kafesinin genişletilmesiyle büyütülür (25-40 mmHg). Negatif basınç nedeniyle bolus özofagus içine emilir.

Ruminasyonun Fonksiyonel Önemi ve Regölasyonu



Özofagusun hızlı, antiperistaltik kontraksiyonuyla bolus ağız boşluğuna taşınır; epiglotisin kısa süreli kapanmasıyla da ingestanın trakeye kaçması önlenir.

Kusmadan farklı olarak, regürjitasyonda karın kaslarında ve midede kasılmalar şekillenmez.

Ağız boşluğunda, bolus ilk önce dilin yükseltilmesiyle sıkıştırılır; sıkışan sıvı hemen tekrar yutulur. Her bir ruminasyon döngüsü yaklaşık bir dakika kadar sürer, bu sırada bolus düzenli çene vuruşlarıyla çiğnenir. Yem parçacıkları böylece daha da küçültülür. Ruminasyon sırasında tükürük salgısı, dinlenme periyoduna kıyasla iki kattan daha fazladır. Yaklaşık 50 çiğneme hareketinden sonra ruminasyon döngüsü bolusun yutulmasıyla sona erer; bir sonraki döngü 5-10 saniyelik kısa bir aradan sonra tekrar başlar.

Ruminasyonun Fonksiyonel Önemi ve Regölasyonu



Her bir regürjitasyon için retikülorumen motilitesinin (regürjitasyon kontraksiyonu), solunumun (solunum yollarının kapatılmasıyla inspirasyon) ve özofagus aktivitesinin senkronize olması gerekir.

Muhtemelen hipotalamus tarafından düzenlenen bu zor koordinasyon en iyi şekilde dinlenme koşullarında oluşur. Bu nedenle ruminasyon özellikle yerde ve uyuklayan hayvanlarda gözlenir. Heyecan ve stres ruminasyon üzerine belirgin baskılayıcı etkiye sahiptir.

Eğer ineklerde birkaç saat boyunca sıkı bir maske takılarak geviş getirme deneysel olarak engellenirse, maskenin çıkarılmasının ardından şiddetli rahatsızlık ve açlığa rağmen hayvan hemen ruminasyona başlar. Bu durum, MSS'nin yüksek merkezlerinin ruminasyon sürecinde ne kadar önemli olduğunu gösterir.

Ruminasyonun Fonksiyonel Önemi ve Regülasyonu



Psödoruminasyon, bolusların ritmik çiğneme hareketlerinin olduğu bir dönem olmaksızın regürgite edildiği bir aktivitedir. Bu yalancı geviş getirme olayı başlıca strüktürel olarak fakir rasyonlarla beslemelerde ortaya çıkar ve ruminasyon sürecinin tetiklenmesinde merkezi sinir sistemi bileşenlerinin bir etkisi olarak kabul edilir.

Ruminasyon için her zaman sağlıklı olmak şarttır; ağrı, ateş ve stres geviş getirme aktivitesini engeller. Bu nedenle ruminasyon hayvanın sağlık durumu için iyi bir indikatördür.

KISACA: Ruminasyon doğuştan gelen, kompleks, vagovagal kontrollü bir reflekstir. Türe özgü beslemede yenilen yemler için günde yaklaşık 8 saat geviş getirilir. Geviş getirme hayvanın sağlık durumunu değerlendirmede önemli bir parametredir.

Ruktus



Mikrobiyal fermantasyon sırasında ingesta içinde gaz kabarcıkları (özellikle karbondioksit ve metan) oluşmakta, bunlar birleşerek dorsal rumen kesesinde hacimsel bir gaz kitlesi olarak toplanmaktadır. Oluşan muazzam miktardaki bu ruminal gazın (sığırlarda günde 500-1500 l) düzenli olarak ruktusla (geğirme) atılması zorunludur.

Ruktus, vagovagal refleks olarak dakikada 1-2 kez gerçekleşir. Öncelikle dorsalde biriken gaz kitlesi, B-siklusu sırasında (A-siklusu sırasında çok nadiren) dorsal rumen kesesinin kasılmasıyla kranial yönde kardiyanın önüne doğru itilir. Kardiyaadaki reseptörlerin aktive olmasıyla kardiya sfinkteri refleks olarak açılır ve gaz özofagusa akar. Antiperistaltik kasılmayla gaz ağıza gönderilir.

Ruktus



Bununla birlikte, gaz hemen dışarıya bırakılmaz, çünkü bu sırada nazofarenks gergin ve yükseltilmiş yumuşak damak ile kapalı durumdadır. Hayvanın ağzı da ruktus sırasında kapalıdır, bundan dolayı gaz ilk önce akciğerlere gider. Akciğerlerde karbondioksit kısmen emilir ve periferik kemoreseptörlerin uyarılmasıyla geçici bir hiperventilasyon oluşur.

Refleksin düzenli seyri için önemli ön koşul, dorsal rumen kesesinin kasılması sırasında kardiyanın ingesta ile işgal edilmemiş olmasıdır. Ruminant yan veya sırt üstü yatar pozisyondayken ruktusun olması zor veya imkânsızdır. Bu nedenle, sığır ameliyatları ayakta ve lokal anestezi altında yapılmalıdır.

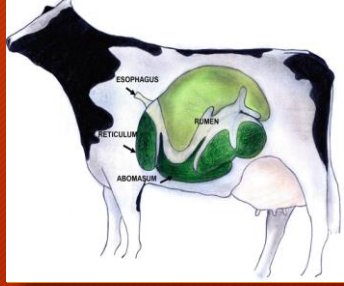
Ek Bilgi



Özofagus tıkanıklığı (örneğin pancar parçalarıyla) ruktusun bozulmasına yol açabilir, öyle ki hayvanda giderek artan gaz şişkinliği (timpani) oluşur. Birkaç saat içinde, özellikle diyaframın kraniala bastırılmasına bağlı olarak solunum ve dolaşım bozuklukları meydana gelir. Bunun aksine artmış gaz üretimi (örneğin kolay fermente olabilir yemlerle beslemede) veya gazın rumen içine deneysel olarak uygulanması timpaniye yol açmaz. Bununla birlikte, belirli besleme koşullarında retikülorumende gaz kabarcıklı köpük oluşur; köpüğün içerdiği gaz dışarı atılamaz (köpüklü fermantasyon). Bunu müteakip rumende aşırı basınç artışıyla karakterize kısa sürede hayatı tehdit eden bir durum ortaya çıkar.

KISACA: Ruktus, ruminanta rumen gazlarının dışarı verilmesi imkanını sunar ve bu işlem dorsal rumen kesesinin kasılmasıyla ilişkilidir. Ruktus bozukluklarında hızla hayatı tehdit eden timpani durumu gelişir.

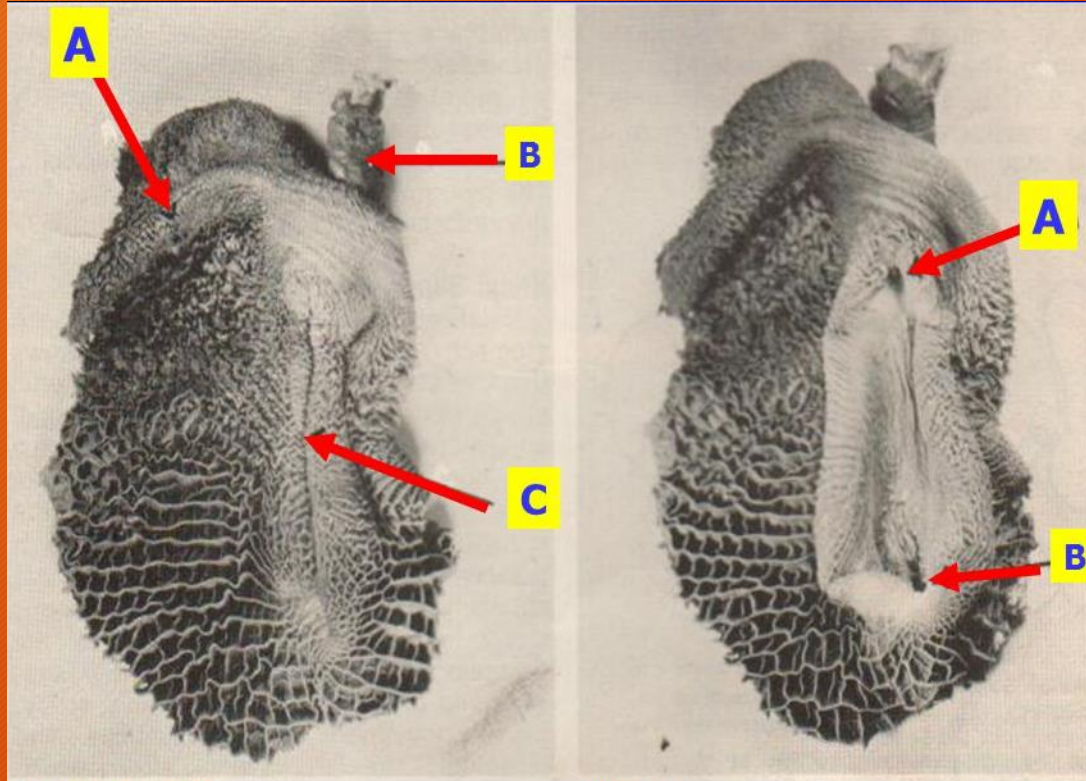
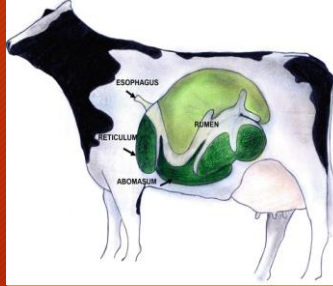
Retikulum Oluk Refleksi



Yeni doğan ruminant yaşamının ilk haftalarında besin kaynağı olarak sadece sütü kullanır; önmide sistemi başlangıçta abomasuma göre daha küçük ve mikroorganizmalarca kolonize edilmediğinden pratikte işlevsizdir. Buzağı bu nedenle fonksiyonel açıdan monogastriktir.

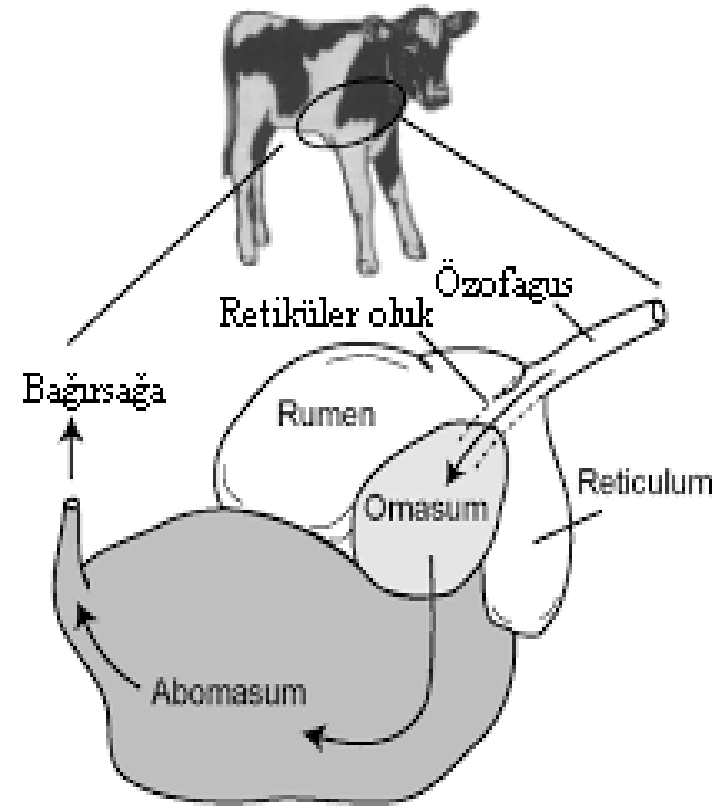
Sütün fizyolojik sindirimi için (özellikle kazeinin rennin ve hidroklorik asit etkisiyle pıhtılaştırılmasında) emilmesinden hemen sonra geciktirilmeden abomasuma ulaştırılması çok önemlidir. Bunu retikulum oluk refleksi mümkün kılar (eskiden kullanılan “sulkus özofagikus refleksi” teriminden kaçınılmalıdır, çünkü retikulum oluğu embriyonal olarak mide sisteminden gelişmektedir).

Retikulum Oluk Refleksi

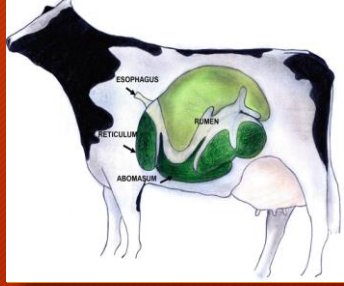


A: Plica rumino-reticularis
B: Özofagus
C: Retiküler oluk

A: Kardiya
B: Reiküloomasal açıklık



Retikulum Oluk Refleksi



Retikulum oluk refleksi, refleks olarak tetiklenen, retikulumun iki dudağının spiral şekilde dönmesi, eş zamanlı olarak retiküloomasal açıklığın ve omasum kanalının gevşemesi olayıdır. Bu refleks, özofagus ve abomasum arasında fonksiyonel bir bypass oluşmasını sağlar.

Fizyolojik olmayan beslenme yöntemlerinde ve hastalıklarda, buzağılarda retikulum oluk refleksi tamamen veya kısmen ortadan kalkar, bu durumda süt henüz tam olarak gelişmemiş rumene ulaşır (ruminal içici). Rumende sütün mikrobiyal fermantasyonu sonucunda buzağıkların rumen mukozasında yangılar (ruminitis) şekillenir ve bazı olgularda şiddetli sindirim rahatsızlıkları oluşur.

Retikulum Oluk Refleksi



Yenidoğan ruminantlarda refleksin tetiklenmesi, ağız boşluğundaki ve farenksteki kemoreseptörlerin emilen süt nedeniyle aktive olmasına dayanır. Refleks arkının diğer bileşenleri, vagal afferentler (N. glossopharyngeus üzerinden), medulla oblongata ve efferent refleks yolu olarak dorsal abdominal vagustur.

Deneyssel olarak retikulum oluk refleksinin oluşması ağız bölgesine lokal anesteziklerin uygulanmasıyla, intravenöz atropin enjeksiyonu veya vagus dallarının kesilmesiyle (vagotomi) önlenabilir.

Tam tersine süt içermese bile Na ve bakır tuzları içeren solüsyonların içirilmesi kuzu ve buzağılarda refleksin oluşmasına neden olur.

Retikulum Oluk Refleksi



Refleks diğ er duyusal uyaranlarla da oluşturulabilir, hayvan ne kadar açsa refleksin tetiklenmesi de o kadar kolaydır.

Fazla miktarlarda kaba yem t uketilmesi ve  n midelerin gittikçe geliřmesiyle retikulum oluk refleksi ortadan kaybolur.

KISACA: Retikulum oluk refleksi sayesinde genç ruminantlarda süt retik lorumene uğramadan doğrudan abomasuma geçer.

Retikülorumende İngestanın Katmanlanması



Yem partiküllerinin farklı fiziksel özellikleri (boyut, şekil, yoğunluk) nedeniyle ve önmide motilitesi sonucunda sağlıklı ruminantların retikülorumeninde rumen içeriği belirgin şekilde tabakalaşır.

Türe uygun beslemede, yeni yenilen yem parçacıkları başlangıçta büyüktür ve içerdikleri hava dolu boşluklar nedeniyle düşük yoğunluktadır ($1,0 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$ 'in altında). Kabaca çiğnenmiş yemler yutulduktan sonra ilk önce rumen atriyumuna gelir. Retikülorumen motilitesiyle daha sonra dorsale yönlendirilir ve dorsal rumen kesesinde bulunan kaba strüktürel yemlerin oluşturduğu kalın bir minderimsi tabakanın içine yerleşir. Mikrobiyal sindirim sırasında oluşan gazlar dorsale doğru yükselir ve kaba strüktürel yemlerin oluşturduğu minder tabakasının üstünde dorsal rumen kesesinde toplanır.

Rerikülorumende İngestanın Katmanlanması



Geviş getirmeyle yem partiküllerinin boyutu küçülürken, yoğunlukları artar. Büyük ölçüde sindirilmiş yem parçacıkları bu nedenle küçüktür ve yüksek yoğunluğa sahiptir ($1,2-1,4 \text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$).

Bu partiküller yavaş yavaş ventral rumen kesesine sedimente olurlar. Bu yüzden, ventral rumen kesesinin içeriği, yüksek yoğunluklu ve daha küçük boyutlu partiküllerin oranca daha fazla olmasıyla karakterizedir.

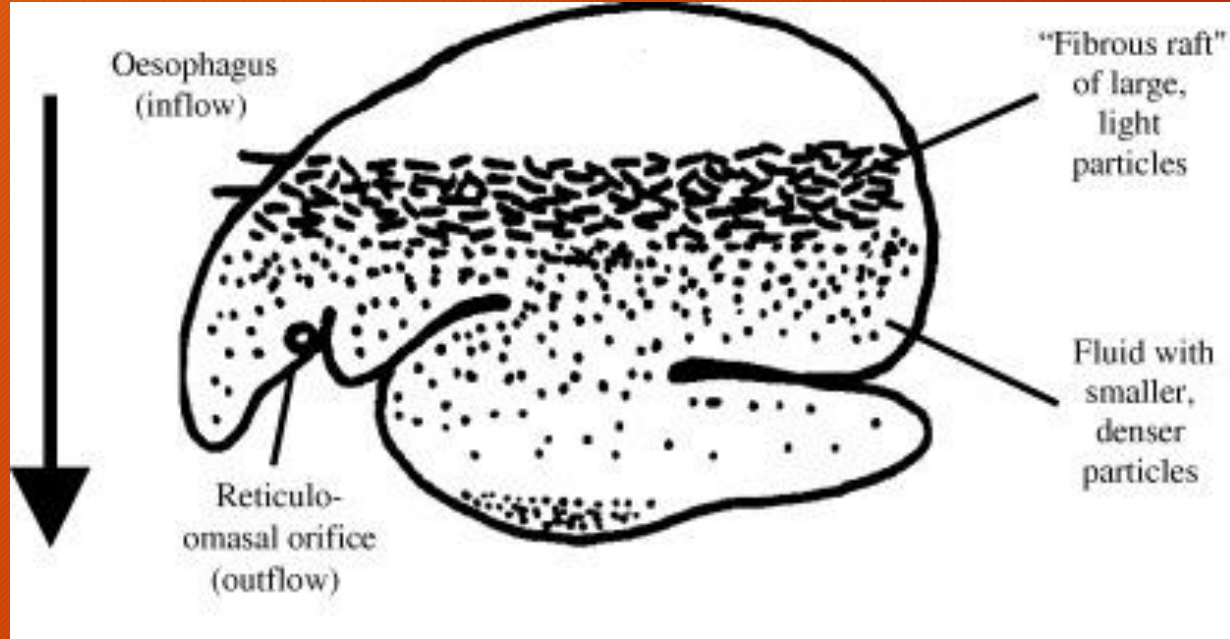
Büyük ölçüde sindirilmiş bu parçacıklar ventral rumen kesesinin kasılmalarıyla rumen atriyumuna gönderilir ve daha sonra da retikuluma sevk edilir.

Retikulum ve omasum kanalının motilitesiyle ingesta retikulum tabanından omasuma gider.

Kısaca



Normal beslenen geviş getiren hayvanlarda, dorsal rumen kesesinde daha çok iri, daha az parçalanmış ingesta bulunur (rumen minderi), bunun üstünde ise dorsal gaz kitlesi yer alır. Ventral rumen kesesinin ve retikulumun içeriği nispeten sıvıdır (rumen gölü).



İngesta Pasajı, İngesta Kalış Süresinin Önemi



Retikülorumende bir yem bileşeninin sindirilebilirliği, yıkımlanma oranı ve pasaj oranı arasındaki ilişkiye göre belirlenir. Otların en önemli yapısal maddesi olan selüloz, potansiyel olarak nispeten yüksek sindirilebilirliğe sahip bir substrat olsa da oldukça yavaş yıkımlanır.

Kalma süresi ne kadar uzunsa (pasaj hızının karşıt değeri) kaba yemlerin mikroorganizmalar tarafından fermente edilmesi de o ölçüde fazla olur. Bununla birlikte sınırlı önmide hacmi nedeniyle nispeten az miktarda yem alınabileceğinden kalış süresinin uzun olması dezavantajlı olabilir. Yüksek yem alımı, bu bağlamda mümkün olan en büyük fermantasyon odaları hacmini gerektirir. Aslında evrim sürecinde yüksek selülozlu besinlere adaptasyon çerçevesinde geniş getirenlerin önmide hacmi gittikçe genişlemiş ve vücut ağırlığının %20'sini (ekstrem durumlarda %30'dan fazlasını) teşkil etmiştir.

İngesta Pasajı, İngesta Kalış Süresinin Önemi



Bir yem maddesinin veya yem içeriğinin yıkımlanma hızı, *in vitro* koşullar altında (yapay rumen) numunenin rumen sıvısında inkübe edilmesiyle yaklaşık olarak belirlenebilir. Sıvıların ve yem partiküllerinin ortalama kalış süreleri ise sadece besleme denemeleriyle, sindirilmeyen maddelerin (markırların) dışkıyla atılım kinetiğinden hesaplanabilir.

Retikülorumende yem partiküllerinin kalış süresi (18-72 saat), sıvılardan (yaklaşık 12 saat) çok daha uzundur; bu fenomene partiküllerin selektif retensiyonu denir. Bununla birlikte, tüm yem parçacıklarının kalma süresi aynı olmayıp parçacıkların yoğunluğu ve boyutuna göre değişir. Önmidelerde katı parçacıkların selektif retensiyonu nedeniyle geviş getiren hayvanlarda partiküllerin tüm mide-bağırsak kanalında kalış süresi sıvılardan çok daha uzundur; monogastrik hayvanlarda yem parçacıklarının kalma süresi çok daha kısadır.

Kısaca: Retikülorumende ingestanın kalma süresi, retikülorumenin hacmi (havuz büyüklüğü), yenilen yemin miktarı ve yemin yıkımlanma hızı tarafından belirlenir.

Retikülorumenden Omasuma İngesta Pasajı



İkinci retikulum kasılmasının ve ingesta pasajının zamansal olarak çakışması nedeniyle, retikülorumeni terk eden ingestanın bileşimi retikulum motilitesinden önemli derecede etkilenir. Retikulum kasılmaları sırasında meydana gelen filtreleme süreçleri, esas olarak ingesta parçacıklarının farklı flotasyon ve sedimentasyon davranışlarına dayanır. Büyük ve az sindirilmiş yem parçacıkları düşük yoğunlukları nedeniyle daha çok flote olurlar; bu partiküller retikulum kasılmalarıyla dorsokaudale nakledilirler. Küçük ve büyük ölçüde sindirilmiş parçacıklar ise yüksek yoğunluğa sahiptir; bu partiküller retikulum kasılmaları sırasında retikulumda kalırlar ve bu nedenle ikinci retikulum kasılmasının tepe noktasında omasum kanalına emilirler. Bu nedenle omasumda ve distal sindirim sisteminde uzunluğu neredeyse sadece 3 mm'den daha küçük olan parçacıklar bulunur.

Retikülorumenden Omasuma İngesta Pasajı



Bununla birlikte, partikül büyüklüğünün kendisi de çok büyük önem taşımaktadır, çünkü retiküloomasal açıklığın maksimal çapı potansiyel olarak daha büyük parçacıkların geçişine de izin vermektedir. Burada asıl önemli olan retikulum kasılmaları sırasında retikulumun ventral kısmında kalmak için küçük partiküllerin sadece yüksek yoğunluğa sahip olmalarıdır.

Önmide motilitesi, ingesta pasajı ve yem partiküllerinin fiziksel özellikleri arasındaki bu karmaşık ilişki öncelikle büyük ölçüde parçalanmış yem partiküllerinin retikülorumeni terk etmesini sağlarken, az sindirilmiş partiküllerin etkili bir şekilde tutulmasına neden olur.

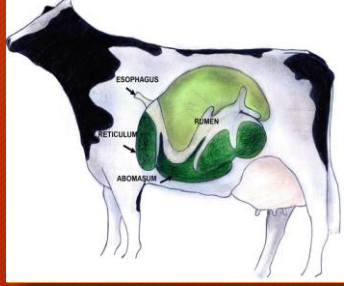
Ek Bilgi



Retikulumda, ingesta filtrasyonundaki patofizyolojik önemli bir bozukluk sığırların yabancı cisim hastalığı olarak bilinen durumda gözlenir. Sığırlar genellikle az seçici yem alımları nedeniyle yemle birlikte yabancı nesneleri de (çivi, vida, tel) yerler. Bunlar yutulduktan sonra retikuluma giderler. Güçlü retikulum kasılmaları sırasında bu nesneler retikulum duvarını delebilir. Retikulum ve karın duvarı arasında, fibröz yapışmalarla karakterize hızlı bir lokal yangı gelişir (Reticuloperitonitis traumatica).

Retikulum hareketliliği bu durumda az ya da çok kısıtlanır, bu nedenle parçacıkların ayrımı artık gerçekleştirilemez. Büyük yem parçacıkları da düşük yoğunluklarına rağmen retikülorumeni terk eder, dışkıda büyük yem parçacıklarının fazlaca görülmesi bu hastalarda tipik bir semptom olarak değerlendirilir. Kısmen abomasoduodenal ingesta pasajında da bozukluklar meydana gelir; retikulumdan çıkışın fizyolojik bileşimi normal abomasal boşalma için de bu bağlamda büyük önem taşır. Retiküloperitonitis travmatika'da ingesta pasajın bozulması, vagus dallarının yabancı cisimlerce hasarlanması sonucu da oluşabilir.

Kısaca



İngestanın retiküloomasal açıklıktan omasuma pasajı neredeyse sadece ikinci retikulum kasılmasının tepe noktasında gerçekleşir.

Retikulum kasılmaları ingestanın filtre edilmesine yol açar. Böylece büyük ölçüde sindirilmiş yüksek yoğunluklu küçük yem partikülleri retikülorumeni terk eder, daha az parçalanmış, özellikle düşük yoğunluklu yem partikülleri ise tutulur.

Sindirim Sisteminin Distal Bölümünde İngesta Pasajı



İngestanın omasumda kalma süresi 0,5-3 saat kadardır. Retikülorumende olduğu gibi partiküllerin kalış süresi sıvılardan daha fazladır. İngesta buradan sonra abomasuma ulaşır.

Monogastrik hayvanlardan farklı olarak geviş getiren hayvanlarda fizyolojik koşullar altında akan ingesta sadece sıvıları, mikroorganizmaları ve küçük parçacıkları içerir. İngestanın abomasuma akışı (yine monogastriklerden farklı şekilde) büyük ölçüde sürekliidir.

İngestanın duodenuma transpilorik geçişi ayrı ayrı atımlar şeklinde gerçekleşir (fıskırmalar; saatte yaklaşık 10 defa). İngestanın abomasumdaki ortalama kalma süresi bir saatten daha azdır, bu süre zarfında abomasumdaki sekresyon aktivitesine bağlı olarak içerik hacminde önemli bir artış meydana gelir. Abomasum içeriğinin kıvamı ve düşük viskozitesi fizyolojik abomasoduodenal ingesta geçişi için önemli önkoşuldur.

Son olarak, ince ve kalın bağırsaklardan ingesta pasajı bağırsakların peristaltik kasılmalarıyla sağlanır; geçiş süresi yaklaşık 15 saat kadardır.

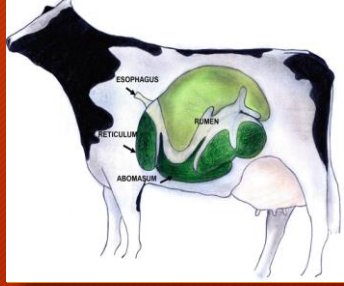
Tek Odacıklı Midenin ve Abomasumun Motilitesi



Motor fonksiyonu açısından mide, oral “mide deposu” ve aboral “mide pompası” olarak bölümlendirilebilir. Oral mide deposu, tonik kasılma veya gevşemeleri nöral olarak kontrol edilen nispeten ince bir kas tabakasına sahiptir. Aboral “mide pompasının” daha güçlü kasları peristaltik dalgalar şeklinde fazik kasılmalar yapar.

Bu kasılmalar besinlerin karıştırılıp parçalanmasına, iyice öğütülmüş besin parçacıklarının adım adım ince bağırsağa verilmesine hizmet eder.

Mide Motilitesinin Görevleri

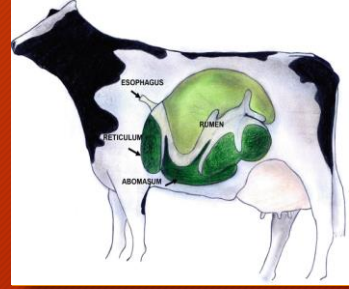


Mide, sadece büyük miktarda besinin alınmasına izin veren önemli bir depolama organı değildir. Aynı zamanda vücudun kendi enzimleri tarafından kayda değer seviyede sindirimin yapıldığı ilk bölümdür.

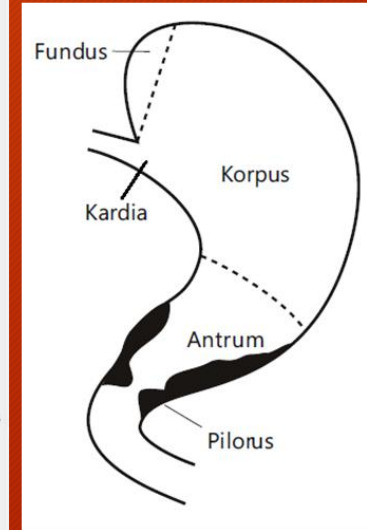
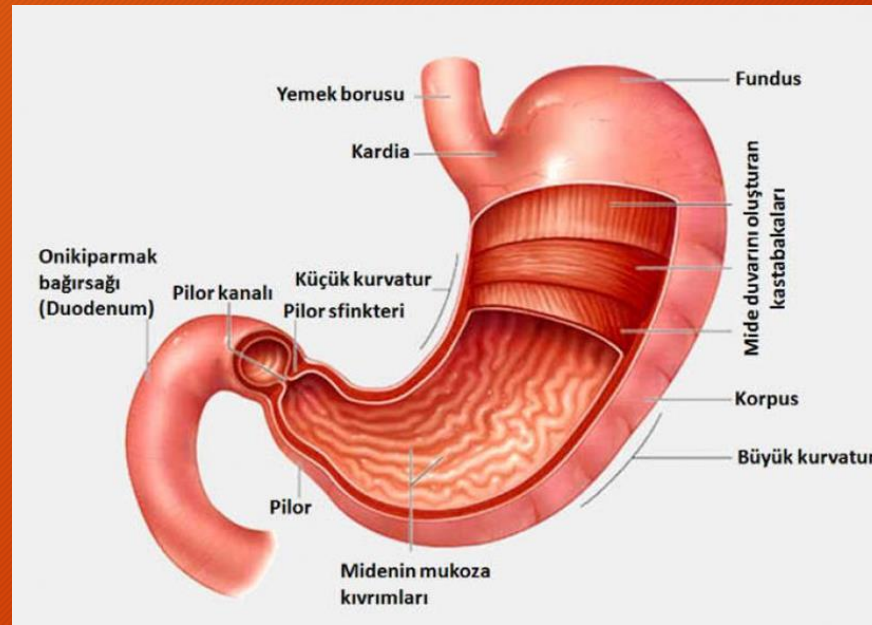
Üçüncü olarak mide, besinlerin küçültülmesinde önemli bir işlev görür. Bu olay sindirimi kolaylaştırır, çünkü bu sayede yüzey alanı, yani sindirim enzimlerinin saldırabileceği alan artırılmış olur.

Dördüncü olarak mide içeriğinin porsiyonlar şeklinde ve boyutuna göre seçilerek ince bağırsağa verilmesinde mide önemli bir rol oynar. Mideyi sindirime uğramaya başlamış püre şeklinde terk eden parçacıklar (Yunanca: kimus, Latince: digesta) genellikle 1 mm'den daha küçük bir boyuta sahiptir. Daha büyük bileşenler mide çıkışını kapatan kaslara sahip sfinkter pilori tarafından bırakılmazlar.

Midenin Morfolojik ve Fonksiyonel Organizasyonu



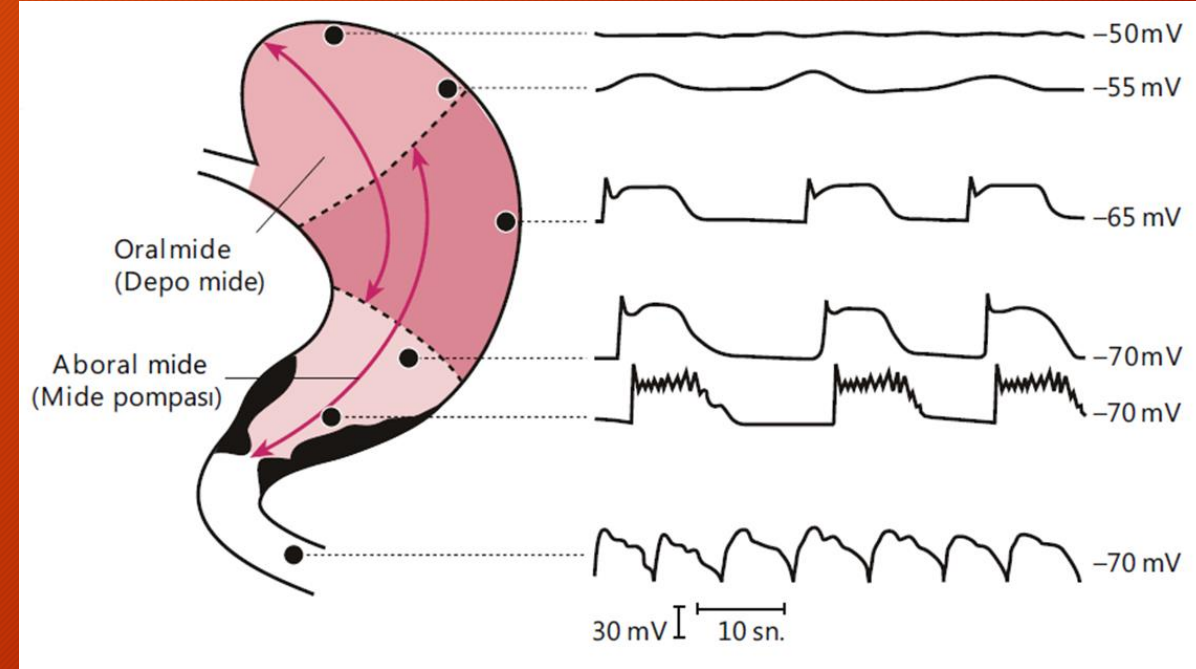
Anatomik olarak mide, mide girişinin (kardiya) yanında şişkinleşen mide bölümü (fundus), az veya çok uzamış bir mide gövdesi (korpus) ve midenin çıkışının önünde yer alan ve çıkış kanalıyla (Canalis pyloricus) bağlantılı olan pilorik antruma (Antrum pyloricum) bölümlendirilebilir.



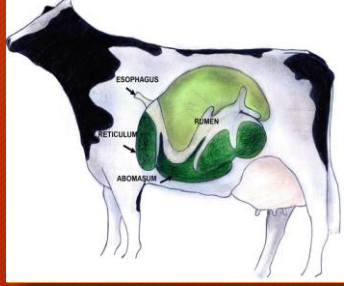
Mide Motilitesinin Görevleri



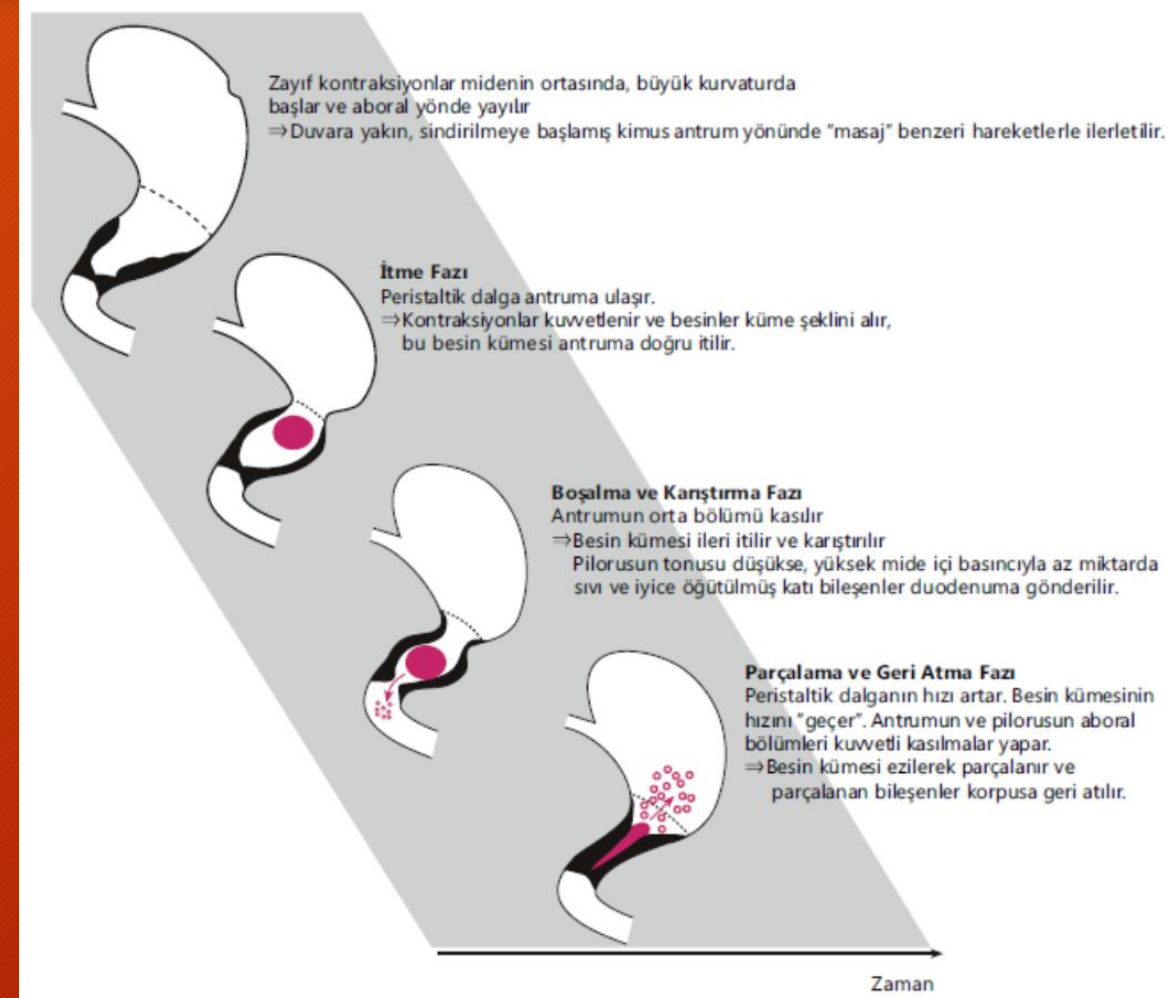
Motor fonksiyonlar açısından mide depolama fonksiyonu olan oral mide, karıştırma, parçalama ve transport fonksiyonları olan aboral mide kısımları ayırt edilir. Midenin her iki bölümü de akıcı bir şekilde birbirine kaynaşmıştır. Oral midedeki zar potansiyelleri sürekli hafif depolarizedir ve tonik kalsiyum girişi, midenin bu bölümünü tonik olarak gergin tutar. Aboral midenin zar potansiyelleri fazik kasılmalara yol açan kalsiyum-aksiyon potansiyelleriyle örtüşen fazik depolarize durumdadır. Pylorus elektriksel bir yalıtkan gibi davranır. Bu nedenle duodenumdaki fazik potansiyel dalgalanmalar midedeki potansiyel dalgalanmalardan bağımsızdır ve yaklaşık üç kat daha yüksek sıklıkta ortaya çıkar.



Mide Motilitesinin Görevleri



Midede bir peristaltik dalganın ilerleyişi. Dalga, midenin ortasında dairesel bir daralma ile başlar ve aboral yönde ilerler. Gap junction'lardan geçen elektriksel akımın yayılma hızının yükselmesiyle uyarı dalgası besin kümesinin hızını geçer, böylece mide içeriğinin bir bölümü mideye geri preslenir. Besinlerin sadece küçük bir kısmı duodenuma verilir, büyük kısmı ise mideye geri atılır (geri atma).



Midenin Boşalması



Midenin boşalma hızı daima ince bağırsağın sindirim ve rezorpsiyon kapasitesiyle uyumlu bir şekilde ayarlanır. Duodenum ve ileumdaki yüksek besin konsantrasyonu midenin tuz asidi sekresyonunu ve boşalmasını baskılar. Bu durum duodenal ya da ileal fren olarak bilinir.

Motilite üzerindeki etki ise proksimal midenin Feedback-Gevşemesi olarak adlandırılır.

Duodenumdaki reseptörler yardımıyla pH ve ozmolarite değişimleri ile bağırsak lümenindeki besinlerin varlığı belirlenir. Duodenumdaki asidik ortam veya osmolarite artışı mide boşalmasını baskılar. Glikoz, amino asitler, peptidler ve özellikle duodenumdaki yağlar ile ileumdaki glikoz ve yağ asitlerinin inhibitör etkisi vardır. Dolayısıyla yağlı gıdalar yendiğinde “uzun süre midede kalma” hissi yaşanır. İnce bağırsakta mide asitlerinin veya sindirim materyalinin birikmesi mideden daha az besinin sevk edilmesine neden olur.

Midenin Boşalması



Mide boşalmasının refleks inhibisyonuna aracılık etmede çeşitli nöral ve humoral kontrol sistemleri rol oynar.

Nervus vagusun parasempatik lifleri midenin duodenuma boşalmasını sağlarken, Ganglion coeliacum'dan köken alan sempatik lifler bu boşalmayı inhibe eder.

Bunun dışında, asidik duodenal pH ve besin maddelerince zengin kimus varlığına cevaben duodenumdaki S-hücrelerinden salınan sekretin ve yüksek ozmolarite, amino asitler ve yağlı maddelerce zengin kimusa cevaben duodenumdaki I-hücreleri denenen özel enteroendokrin hücrelerden salınan kolesistokinin proksimal midenin gevşemesinde ve mide boşalmasının geciktirilmesinde önemli rol oynar.

Duodenal M hücrelerinden salınan motilin, oral ve aboral midenin kasılmalarını kuvvetlendirir, böylece gastrik boşalmayı teşvik eder.

Midenin Boşalması



Duodenal kimusta serbest yağ asitleri ve safra asitleri arta kaldığında, yani amino asitler ve glikoz büyük ölçüde emildiğinde ve yağlar enzimatik olarak parçalandığında, motilinin salınımı stimüle edilir.

İleal frene öncelikle Peptit YY (yüksek yağlı kimusta) ve GLP-1 (glukagon benzeri peptid-1, glukozca zengin kimusta) aracılık eder.

Gastroduodenal geri bildirim mekanizmaları. Oral midede inhibisyon aboral midede stimülasyon yapan hormonlar midede boşalma olmaksızın mide içeriğinin karıştırılmasını teşvik ederler. Kırmızı renkli hormonlar duodenumdan salınır.

Duodenumda:

1. pH-reseptörleri
2. Ozmoreseptörler
3. Kemoreseptörler için
 - Karbonhidratlar
 - Yağlar
 - Peptidler, amino asitler

Bu sensörlerin uyarılması mide motilitesinde baskılanmaya yol açar.

Fonksiyonu: İnce bağırsağa aşırı yüklenmeyi önlemek

Mide motilitesinde stimülasyon:

Asetilkolin, motilin	(Tüm mide)
Gastrin, kolesistokinin	(Sadece aboral mide)

Mide motilitesinde inhibisyon:

Adrenalin, noradrenalin, sekrelin	(Tüm mide)
Gastrin, kolesistokinin	(Sadece oral mide)

Midenin Boşalması



Mide tamamen boş olsa da motor aktivitesi durmaz. Boş midede, midenin tamamen dinlenme döneminde olduğu veya zayıf fazık kasılmalar gösterdiği fazlar ayırt edilir. Bu fazık kasılmalar genellikle antruma kadar ulaşamaz ve daha erken söner.

Bunun yanında, özellikle güçlü kasılmaların meydana geldiği düzenli fazlar da vardır. Bu döngüsel davranış göç eden motor kompleks olarak bilinir. Göç denmesinin sebebi bu kasılmaların mideden tüm ince bağırsağa yayılmasından dolayıdır.

Daha önce tanımlanan sindirim ile ilgili mide motilitelerinin tersine, göç eden motor kompleks sindirimler arası (interdigestif) mide kasılmalarının bir karakteristiğidir. Bu kompleks açlık sırasında (omnivorlar ve karnivorlarda) ortaya çıktığı için açlık kasılmaları olarak da bilinir.

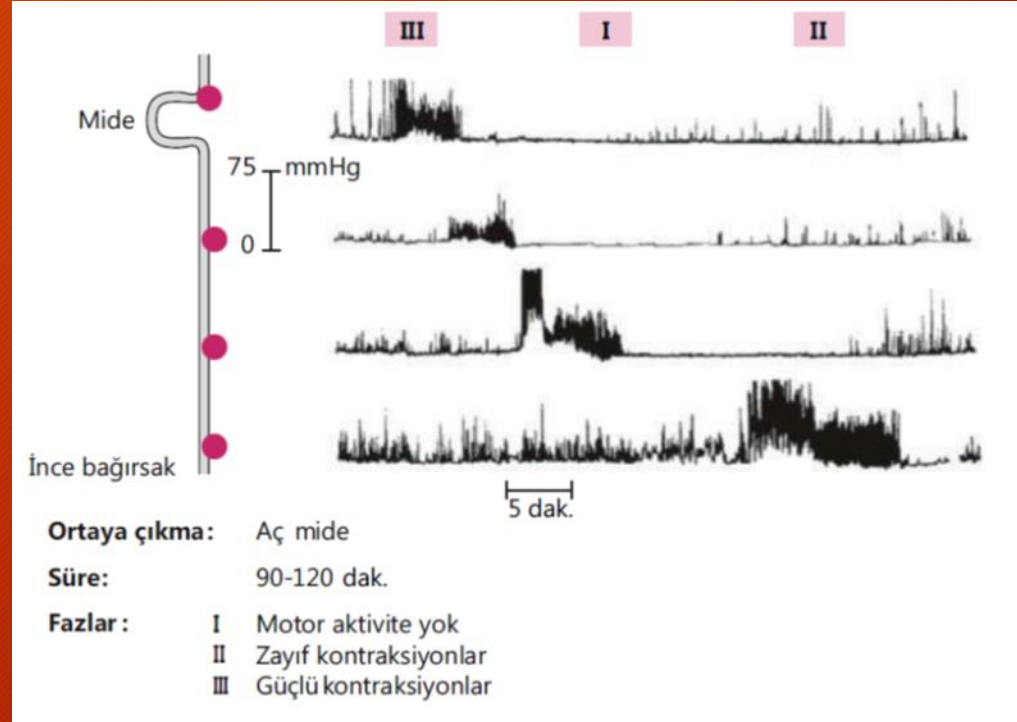
Midenin Boşalması



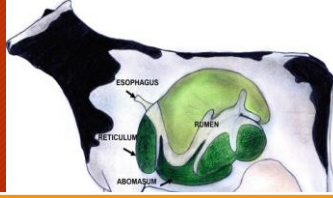
Göç eden motor komplekste döngüler yaklaşık 90 ila 120 dakika sürer. Toplamda birkaç faz ayırt edilir. Faz I'de, mide hemen hemen hiçbir aktivite göstermez. Faz II'de pacemaker potansiyeli mide boyunca yayılır ve zayıf kasılmalara yol açar. Faz III'te bu hareketler yaklaşık 5 dakika süren çok daha güçlü kasılmalara dönüşür. Mide o kadar güçlü kasılır ki lümeni neredeyse tamamen kaybolur. Bu sırada midedeki sıvı kalıntıları ve hava nedeniyle mide gurultuları işitilir.

Göç eden motor kompleks. Basınç problemleri yardımıyla mide lümenindeki ve ince bağırsağın farklı yerlerindeki (kırmızı daireler) basınç ölçümleri yapılabilir. Oralden aborale yayılan göç eden motor kompleksin üç fazı görülmektedir, bunlar oral ve daha anal bağırsak bölümleri arasında faz gecikmelerine neden olur.

Göç eden motor kompleksin III. fazının güçlü kasılmaları önemli bir fizyolojik işleve sahiptir. Faz III'de pilorus açıktır. Bu sayede bu kasılmalar yardımıyla büyük parçacıklar mideden "dışarı atılır". Sadece bu yolla mide motilitesiyle daha fazla küçültülemeyen büyük parçacıklar mideden tahliye edilir. Bu hareketler ince bağırsakta da devam eder. Faz III'ün oluşmasında motilinin de payı vardır.



Önemeli Gastrointestinal Hormonlar



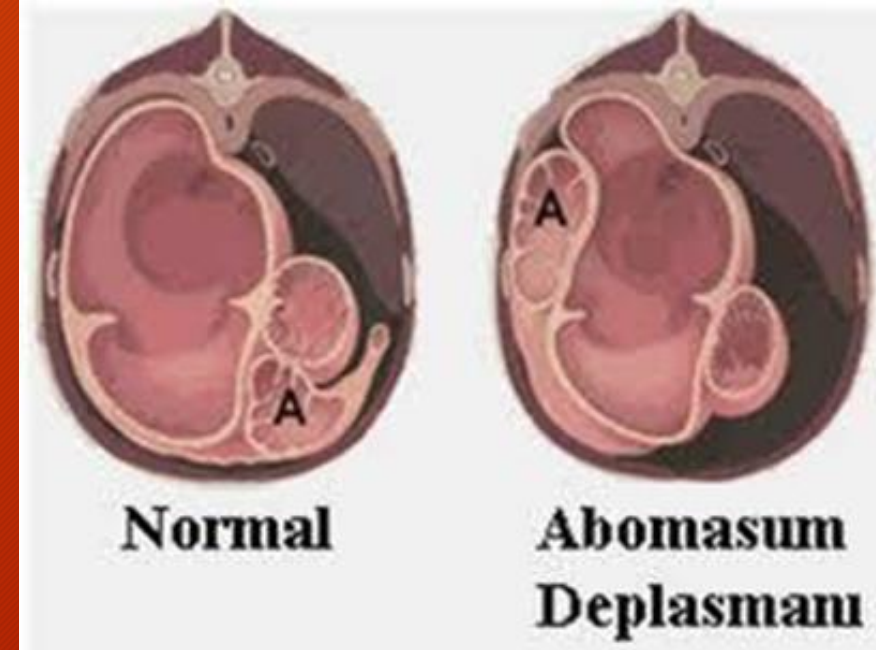
Hormon	Salınım Yeri	Uyarıcıları	Ana Etkileri
Gastrin	Mide antrumundaki G hücreleri	Antrumun gerilmesi, vagal uyarı, peptitler, amino asitler	HCl ve pepsinojen salınımı
Somatostatin	Mide antrumundaki D hücreleri, pankreasın Langerhans adacıkları	Duodenumun asitleşmesi	Gastrin ve HCl salınımının baskılanması Pankreas ve mide sekresyonlarının baskılanması Gastrointestinal geçişin uzaması
GIP (Gastrik İnhibitör Peptit)	Duodenumdaki K hücreleri	Duodenumda aminoasitlerin, glikozun, asitlerin ve uzun zincirli yağ asitlerinin varlığı	Mide asit salınımının baskılanması, insülin salınımının uyarılması
CCK (Kolesistokinin)	Duodenum ve proksimal jejunumdaki I hücreleri	Amio asitler, yağ asitleri, proteinler	Safra kesesinin kasılması, Oddi sfinkterinin gevşemesi Pankreas enzimlerinin salınımı
Sekretin	Duodenum ve proksimal jejunumdaki S hücreleri	Duodenumda asitlerin, yağların ve safranin varlığı	Pankreastan su ve bikarbonat salınımı Safranin alkalileştirilmesi
VIP (Vazoaktif İntestinal Peptit)	Gastrointestinal kanal boyunca nöroendokrin hücreler	Asetilkolin (vagal aracılı) ve yağlar	İntestinal su ve elektrolit salınımının artırılması Motilitenin hızlanması Gastrin salınımının baskılanması
Motilin	Duodenum ve jejunum	Asidik ortam, vagal uyarı, bombesin	MMC'nin aktivasyonu ile motilitenin hızlanması
Ghrelin	Mide	Tokluk	GH salınımının uyarılması
Bombesin (Gastrin Releasing Peptit)	Mide ve ince bağırsaklar	Post-prandial dönem	Birçok GI hormonların salınımının uyarılması Tokluğa aracılık etme

Abomasum Deplasmanı

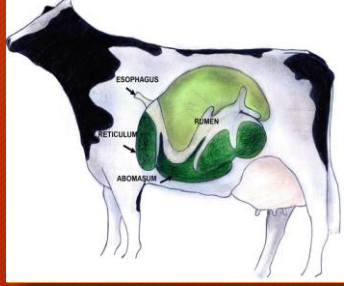


Klinik olarak önemli bir geviş getiren hastalığı abomasum deplasmanıdır. Daha çok Holstein-Friesian ırkı ineklerde buzağılamadan sonra ortaya çıkar. Ana risk faktörleri yem alımındaki azalmaya bağlı olarak (örneğin postpartal hastalıklarda) veya yemde çok az miktarda kaba yem bulunması nedeniyle önmidelerin yeterince dolu olmamasıdır. Abomasum fazla gaz birikmesi nedeniyle çoğunlukla sol tarafa, rumen ve abdominal duvar arasına kayarak yükselir. Ancak abomasum sağ tarafa doğru da yükselebilir, bu sırada genellikle kendi etrafında da döner. Abomasumun yer değiştirmesi besinin ileriye akışını engeller ve abomasum içeriğinin önmidelere geri kaçmasına yol açar (hipokloremik alkaloz ile sonuçlanan iç kusma).

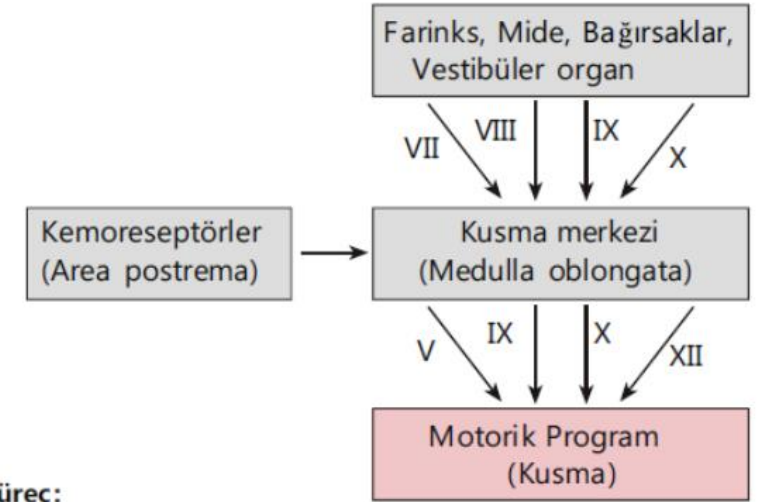
Abomasum deplasmanı olan hayvanlarda abomasumda atoni görülür, yani kas tonusunda azalmalar oluşur. Bu atoni inhibitör (nitrerjik) nöronların artan aktivitesi ve asetilkoline karşı daha düşük bir tepkimeyle karakterizedir. Terapötik olarak cerrahi müdahaleler yanında eritromisin uygulaması da yapılabilir. Eritromisin motilin reseptörlerini uyarır ve böylece gastrik atoniyi önler.



Kusma



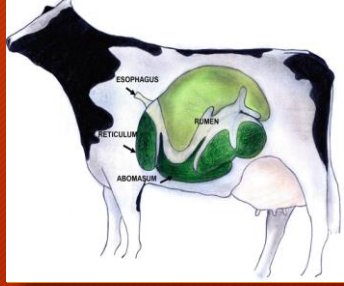
Kusma, mide içeriğinin özofagustan ağız boşluğuna retrograd boşaltılmasıdır. Kusma, karnivor ve omnivorlarda göreceli olarak daha yaygındır, ancak herbivorlarda çok nadiren görülür. Özellikle atların kusması neredeyse imkânsızdır. Bunun nedeni atlarda aboral özofageal sfinkterin çok güçlü bir tonusa sahip olmasıdır. Ayrıca, özofagus at midesine dik bir açıyla açılır, güçlü bir mide dolumunda yemek borusu gastrik içeriğin basıncı ile sıkıştırılır. Atlarda bu nedenle midenin aşırı derecede dolu olması, kusma yerine midenin yırtılmasına yol açar.



Süreç:

- Tükürük salınımı
- Duodenum ve midede oral yönde devasa kasılmalar
- Glottis kapalıyken nefes alma (öğürme) → Göğüs boşluğundaki negatif basınçta yükselme
- Aboral özofagus sfinkterinde gevşeme ve mide içeriğinin özofagusa emilmesi
- Glottis kapalıyken nefes verme, karın kaslarında kasılma; göğüs boşluğundaki basınç yükselmesi özofagus içeriğinin ağız boşluğuna geçmesine yol açar.

Kusma



Kusmanın işlevi midenin derhal boşaltılmasını sağlayarak zararlı maddelerin gastrointestinal sistemden emilmesini engellemektir.

Özellikle köpek ve kedilerde bozulmuş besinler, zehirler ve büyük miktarda kıl sıklıkla tüketilebilmektedir. Bunların bertaraf edilmesi sadece kusmayla mümkün olabilir. Bu koruyucu refleks hemen ilaçla önlenmeye çalışılmamalıdır. Ancak kusmanın vestibüler organın uyarımından kaynaklandığı kesin olarak biliniyorsa (seyahat hastalığı), o zaman ilaç tedavisi faydalı olabilir.

Bu tedavide parasempatik tonusun hafifletilmesi ve merkezi histamin H1-reseptörlerinin inhibe edilmesi amaçlanır. Area postrema'daki kusma merkezinin kimyasal maddelerle uyarılmasında dopamin (D2)-, serotonin (5-HT3)- ve P maddesi (NK1)-reseptörleri rol oynar, uygun antagonistlerle bu kimyasal uyarılara bağlı kusmalar önlenabilir.

İnce ve Kalın Bağırsak Motilitesi



Bağırsak motilitesi bağırsak kaslarının çeşitli kasılma şekillerine dayanmaktadır. Motilitenin görevleri kimusu pankreas ve safra salgılarıyla karıştırmak ve sindirilmiş besinleri emilimi yapacak epitelle temas haline getirmektir.

Bunun yanında motilite sayesinde kimüs ilgili sindirim işlemlerine bağlı olarak yavaş ya da hızlı bir şekilde aboral kısımlara nakledilir.

İnce bağırsağın güçlü temizleme kasılmaları sayesinde bağırsak lümenindeki mikrobiyal kolonizasyon büyük ölçüde kalın bağırsaklarda sınırlı kalır.

Kalın bağırsak motilitesiyle fermentatif sindirim desteklenir ve sindirilmeyen gıda bileşenleri dışarı atılır.

İnce ve Kalın Bağırsak Motilitesi



Bağırsak motilitesinin

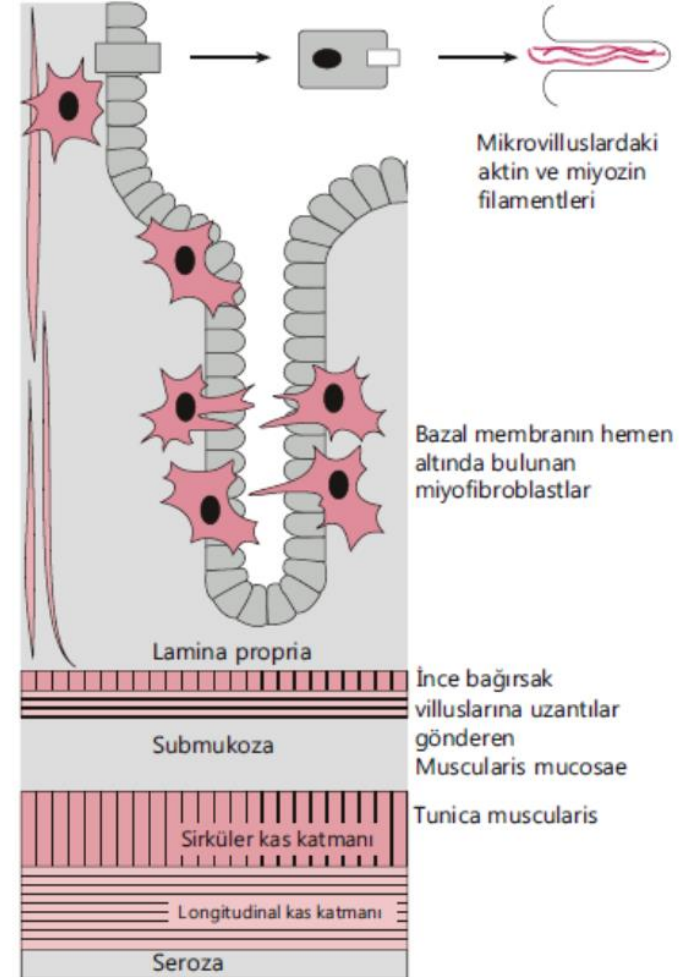
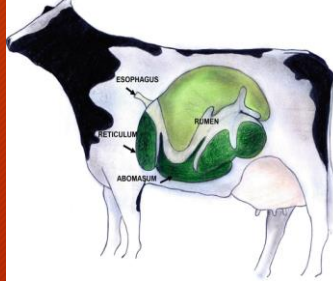
- depolama,
- transport,
- kimusun yoğun bir şekilde karıştırılması ve
- emilebilir maddeleri epitel yüzeyiyle temas haline getirme olmak üzere dört farklı görevi vardır.

İnce ve Kalın Bağırsak Motilitesi

Bağırsakların motor aktivitesi temel olarak tunika muskularisin (dışta longitudinal, içte sirküler kas tabakalarının) düz kas hücrelerinin kasılmasına dayanır.

Bunun dışında, lamina muscularis mucosae'nın düz kas hücreleri, subepitelyal miyofibroblastlar ve bağırsak epitel hücrelerinin mikrovilluslarındaki aktin ile miyozin filamentleri bağırsak epitelinin emilim ve salgılama performansını destekler.

Muskularis mukoza ve miyofibroblastlar, her bir villusun lokal hareketliliğini sağlar ve böylece kimusun lokal olarak karıştırılmasına katkıda bulunur. Villus pompası denen bu hareketlilik lamina proprianın bağ dokusundan emilen sıvının lenfatik damarlar yoluyla taşınmasına da yardımcı olur.



İnce Bağırsak Motilitesinin Çeşitleri



Karıştırma Hareketleri: Öncelikle besinlerin karıştırılmasına hizmet eden kasılmalar, segmentasyonlar veya kontraksiyon grupları şeklinde ortaya çıkar. Segmentasyon kasılmalarında bağırsağın komşu bölgelerindeki dairesel kas tabakaları kasılır ve sıklıkla bu bölgelerde bağırsak lümeni tamamen kapanır. Böylece bağırsak boyunca boncuk benzeri dizilimler ortaya çıkar.

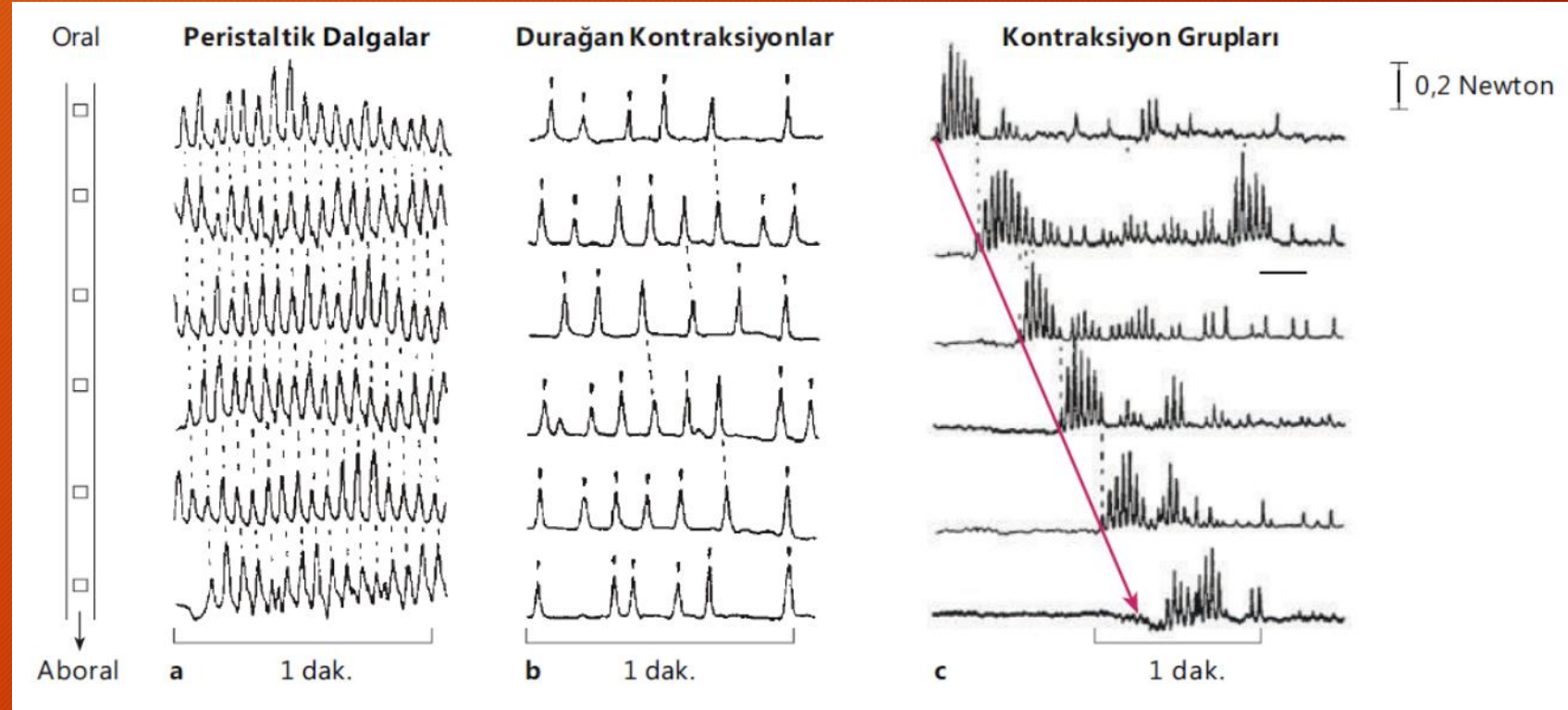
Segmentasyon kasılmaları sabittir, yani aynı bağırsak segmentinde kalır ve ilerlemez. Bu sayede bağırsak içeriği iyice yoğurulur ve bağırsakta ilerleme geciktirilir. Böylece sindirim ve emilim için daha fazla zaman kalır. Proteince zengin kimusun varlığı segmentasyon kasılmalarını teşvik eder.

Karıştırma hareketlerinin ikinci formu sadece çok kısa mesafe ilerleyen peristaltik dalgalardır, bu dalgalar bağırsak içeriğini kayda değer bir miktarda ileri doğru hareket ettirmez. Bağırsak içeriği sadece kısa bir mesafe itilir ve sonra gevşeyen bağırsak segmentine geri kayar. Bu süreç tekrar tekrar aynı bağırsak segmentinde gerçekleştiğinden bu olaya kasılma grupları da denir.

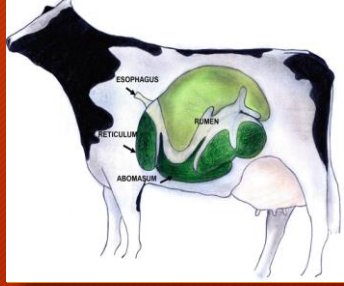
İnce Bağırsak Motilitesinin Çeşitleri



İnce bağırsak motilitesinin en yaygın üç biçimi, peristaltik dalgalar (a), segmentasyonlar şeklindeki duragan kasılmalar (b) ve kasılma grupları (c). Sonuncusu ya yavaşça aborale ilerler (kırmızı ok) ya da duragandır. Bağırsak segmentindeki kareler ölçüm sensörlerini göstermektedir. Kesikli çizgiler peristaltik ilerleyen kasılmaları birbirine bağlamaktadır. Deneysel olarak peristaltik dalgalar basit gerim uyaralarıyla (örneğin besin maddelerini içermeyen tampon çözeltiler gibi) başlatılabilirken, glikoz ve amino asit içeren bir kimus özellikle segmentasyonları, uzun zincirli yağ asitlerini içeren kimus ise özellikle duragan kasılma gruplarını tetikler.



İnce Bağırsak Motilitesinin Çeşitleri



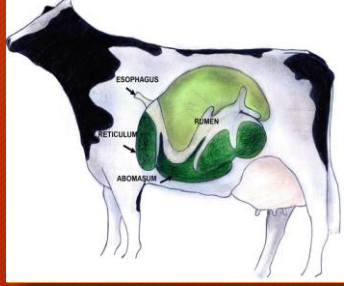
Taşıma Hareketleri: Öncelikle kimusun ileri yönlü taşınmasına hizmet eden kasılma formları peristaltik/antiperistaltik kasılmalar, dev kasılmalar ve sindirimler arası (interdigestif) motilitenin III. fazıdır.

Peristaltik dalgalar bağırsak duvarının gerilmesiyle tetiklenir. Gerilen yerin oral kısmındaki dairesel kas tabakasında kasılma oluşurken (assendens kontraksiyon), gerilmiş yerin aboral kısmındaki dairesel kas tabakasında gevşeme meydana gelir (dessendens gevşeme).

İnce bağırsağın peristaltik kasılmalarının köpek ve domuzdaki maksimum frekansı yaklaşık 17 dak.-1 kadardır ve duodenumdan (yaklaşık 8 cm.sn.-1) ileuma (yaklaşık 0,5 cm.sn.-1) yayılım hızı düşer.

Antiperistaltik, yani oral yönde ilerleyen peristaltik dalgalar ince bağırsaklarda çok nadiren oluşur ve patolojik bir kasılma şekli olarak kabul edilir.

İnce Bağırsak Motilitesinin Çeşitleri



Eskiden kütle hareketleri olarak da adlandırılan aboral ilerleyen dev kasılmalar, enterik sinir sistemi tarafından intrinsik olarak kontrol edilen birbirine bağlı kasılma dizileridir. Ancak bu kasılmalar çoğu kez ekstrinsik sinyallerle de başlatılabilir.

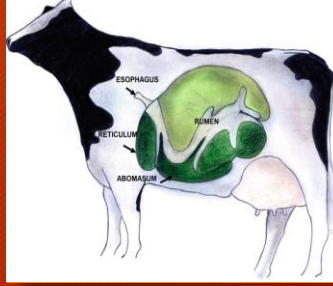
Dev kasılmalar peristaltik dalgalardan Cajal hücrelerinin yavaş dalgaları olmaksızın meydana gelmeleri, daha güçlü olmaları ve daha yavaş ilerlemeleri (yaklaşık $0,5 \text{ cm.sn.}^{-1}$) sayesinde ayırt edilebilir.

Dev kasılmalar sırasında bağırsak lümeni tamamen kapanır ve bağırsak içeriği bu dalgaların önünde uzun mesafelere kadar itilir.

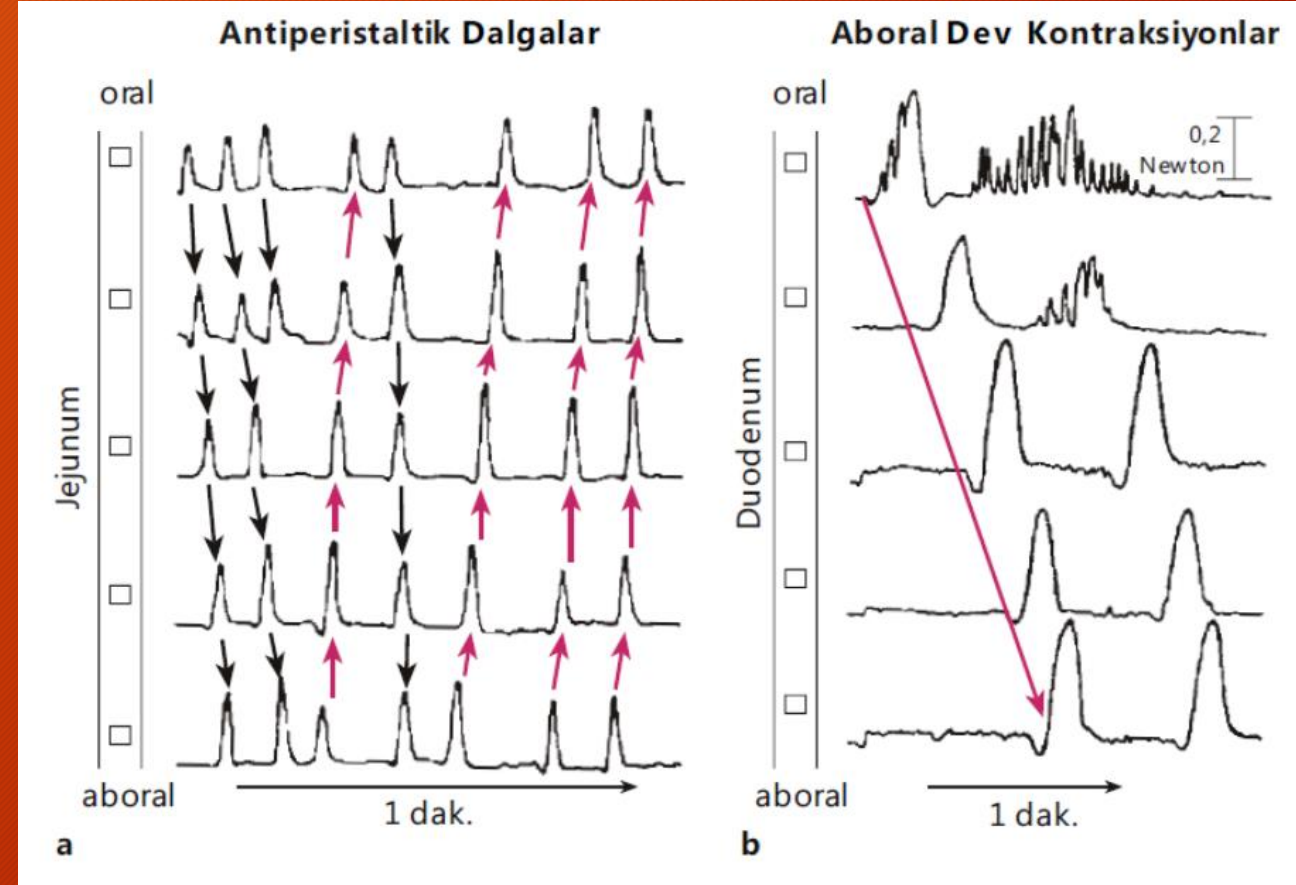
Fizyolojik olarak dev kasılmalar sadece domuzların ileumunda sindirim motilitesinin bir unsuru olarak ortaya çıkar. Ayrıca köpeklerin, kedilerin ve atların ileumunda aboral olarak seyreden dev kasılmalar sindirimler arası temizleme kasılmalarında rol oynarlar ve MMC'nin faz II'ündeki yüksek frekanslı peristaltik dalgalarının etkisini tamamlarlar.

Bunun dışında, ince bağırsaktaki aboral dev kontraksiyonlar genellikle ishaller için tipik bir durumdur ve ishal sırasında hızlı bağırsak boşaltımını sağlarlar.

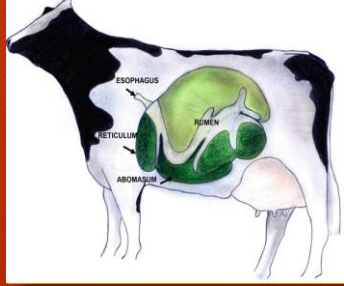
İnce Bağırsak Motilitesinin Çeşitleri



Antiperistaltik dalgalar (a) ve dev kontraksiyonlar (b) proksimal bağırsak bölümlerinin patolojik kasılma biçimleridir. Deneysel olarak bu tarz bozukluklar köpeklerde pilorus bölgesindeki gastrin üreten hücrelerin uzaklaştırılmasıyla (distal gastrektomi) meydana getirilebilir. Şeklin (a) kısmındaki oklar peristaltik (siyah oklar) ve antiperistaltik dalgaları (kırmızı oklar) göstermektedir. Şeklin (b) kısmındaki ok ise kontraksiyon dalgasının aboral yönde yayılmasını göstermektedir.



Kalın Bağırsak Motilitesi



Çoğu türde ince bağırsak içeriği Ostium ileale'nin oryantasyonu nedeniyle ascendens kolona gelir ve daha sonra antiperistaltik hareketlerle sekuma ulaşır. İnce bağırsağın aksine kalın bağırsaktaki antiperistaltik dalgalar fizyolojiktir ve öncelikle ruminantların, kemirgenlerin ve kedilerin proksimal kolonunda ortaya çıkar; distal kolonda ise ağırlıklı olarak daima peristaltik dalgalar oluşur. Proksimal kolon ve sekumda sırayla oluşan peristaltik ve antiperistaltik dalgalar düşük frekanslıdır (koyun ve tavşanlarda yaklaşık 1-2 dak.-1) ve zayıf kasılma amplitütüne sahiptir. Bu nedenle öncelikle karıştırmaya hizmet ederler ve kimusun uzun süre kalmasını sağlarlar. Bu bağırsak bölümündeki uzun kalma süresi, özellikle herbivorlar ve omnivorlarda bakteriyel kolonizasyonu ve fermantasyonu teşvik etmektedir. Bu sayede memeli organizmasının yapısal karbonhidratları yıkılmayacak kendi enzimleri olmasa da bu karbonhidratların değerlendirilmesi mümkün olabilmektedir.

Kalın Bağırsak Motilitesi

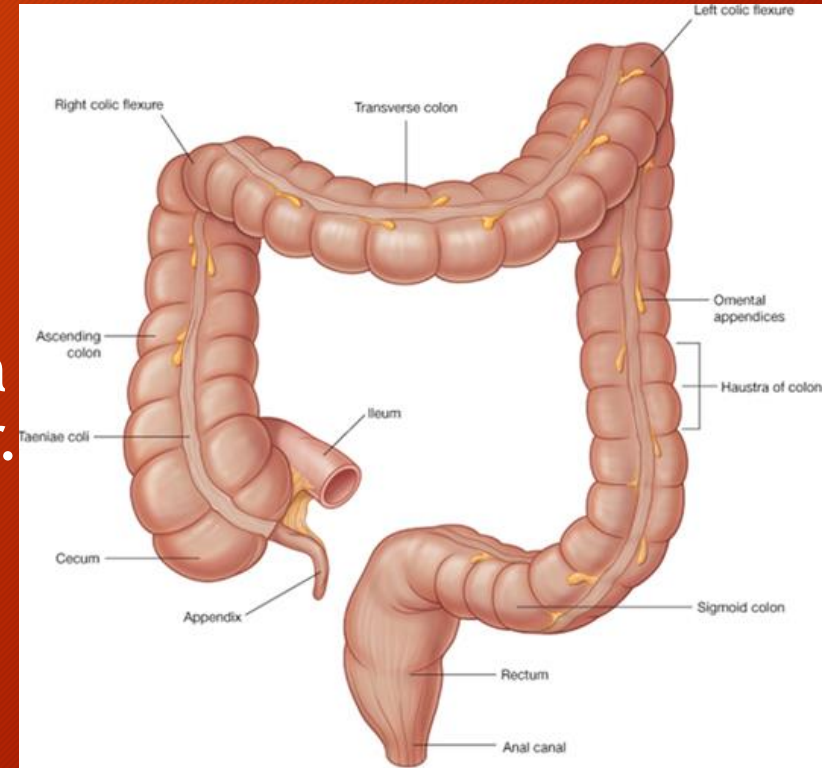
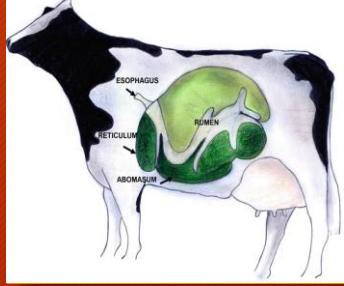


Kalın bağırsak içeriğinin uzun kalış süresine ve yoğun bir şekilde karıştırılmasına birçok hayvan türünde haustralar (kese şeklinde çıkıntılar) katkıda bulunur. Haustralı bağırsak yapısı bilhassa yoğun kolonik sindirimin olduğu otçul hayvanlarda yaygındır ve iyi gelişmiştir.

Sekum sindiricileri olarak isimlendirilen hayvanlarda haustralar çok fazla (örneğin kobaylar) veya ağırlıklı olarak (örneğin tavşanlar) büyük hacimli sekumda bulunurken; kolon sindiricilerinde (örneğin atlar, gergedanlar ve filler) daha çok kolonda bulunup hacimsel olarak büyük bir artış sağlarlar.

Kalın Bağırsak Motilitesi

Haustralar, longitudinal kasların kalınlaşmasıyla oluşan tenyalar (şeritler) üzerinde sıralanmış bağırsak duvarındaki genişlemelerdir. Haustralar sabit yapılar değildir, bilakis iki haustrayı ayıran kalınlaşmış bir sirküler kas tabakası bölgesinin lokal olarak kasılması ve gevşemesiyle veya bütün bir haustranın kasılması ya da gevşemesiyle ortaya çıkan ya da kaybolan yapılardır. Haustra hareketleri denen her bir hareket aslında segmentasyon hareketlerinin özel bir formudur ve bu hareketlerle bağırsak içeriği karıştırılır.



Kalın Bağırsak Motilitesi



Eğer haustralar olmazsa (örneğin karnivorlar) ya da kolonun distal kesimlerinde sayıları azalırsa veya hiç olmazsa haustra hareketlerinin yerini klasik segmentasyon hareketleri alır. İnce bağırsaklarda oluşan segmentasyon hareketlerinden farklı olarak kalın bağırsaktaki segmentasyon hareketleri farklı yerlerde ve kısa süreliğine oluşmaz, bilakis uzun sürer ve anal yönde ilerler. Bu nedenden dolayı atlar ve köpeklerde segmentasyon hareketlerine kolonik motor kompleks (CMC) ismi de verilir. Ancak bu hareketler baskın peristaltik karaktere sahip ve zamansal olarak CMC ile senkronize olmayan ince bağırsaklardaki MMC ile aynı kefeye konulmamalıdır.

Bazı hayvan türlerinin kolonunda boncuk benzeri ilerleyen kasılmalar ve aynı zamanda bağırsak içeriğinin yoğunlaşmasıyla karakteristik dışkı topları (atlar) veya dışkı peletleri (koyunlar, keçiler, kemirgenler) oluşur.

İlerleyen segmentasyon kasılmaları kalın bağırsağın peristaltik dalgalarında olduğu gibi bağırsak içeriğinin hem karıştırılmasına hem de ileriye doğru taşınmasına katkıda bulunur.

Kalın Bağırsak Motilitesi



Bazı hayvanların kolonunda fizyolojik olarak dev kasılmalar meydana gelir (insanlarda, köpeklerde ve kedilerde günde iki ila üç kez).

Bunlar kolonun farklı kısımlarında başlayabilir ve daha sonra rektum yönünde güçlü kasılma dalgaları şeklinde ilerler. Böyle dev kasılmalarla bağırsak içeriği bir seferde kolon uzunluğunun yaklaşık 1/3'ü kadar mesafe kateder.

Bu büyük kasılmalar genellikle besin alımı sırasında ortaya çıkan mide gerimine bağlı olarak ve prandial/postprandial besin maddelerinin reseptörler tarafından algılanmasına veya mideden (gastrin) ve duodenumdan (CCK) hormonların salınmasına bağlı olarak tetiklenir.

Buna gastrokolik refleks denir ve rektumun hızla dolması ile dışkılama isteğinin oluşmasına yol açar.

Farklı Mide-Bağırsak Bölümlerindeki Koordine Motilite Örüntüsü



Gastrointestinal kanalın her bir bölümünün motilitesi birbirinden bağımsız olarak çalışmaz, bilakis koordineli bir şekilde işler ve özellikle besin alımı bir zamanlayıcı olarak işlev görür.

Bunun dışında gerilme uyarısı ve besin maddelerinin reseptörlerce algılanmasıyla daha uzaktaki organ bölümlerinin motilite örüntüsünü etkileyen (uzun) refleksler de vardır.

Daha önce bahsedildiği üzere ince bağırsaklar besin maddelerince doldurulduğunda enterogastrik refleksler duodenal ve ileal frenler şeklinde gastrik boşalmayı engeller.

Gastrokolik refleks, artan mide dolgunluğunda ve besin maddelerinin ince bağırsağı doldurmaya başlamasıyla refleks olarak kolonik boşalmaya ve dolayısıyla defekasyon isteğine yol açar. Böylece yeni besinlere yer açılır.

Farklı Mide-Bağırsak Bölümlerindeki Koordine Motilite Örüntüsü



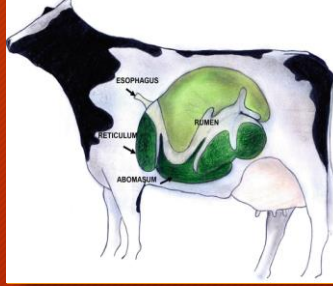
Benzer bir durum gastroileal refleks için geçerlidir. Artmış mide dolgunluğu ileal kasılmayı tetikler. Böylece ince bağırsak içeriği kalın bağırsağa pompalanır, yeni yiyecekler için midede yer açılır.

Ruminantlar bu reflekslerden yoksundur. Ruminantlarda önmidelerden abomasuma oradan da daha sonra ince bağırsağa sürekli bir kimus akışı olduğundan ileumun boşalması mide boşalmasından büyük ölçüde bağımsızdır.

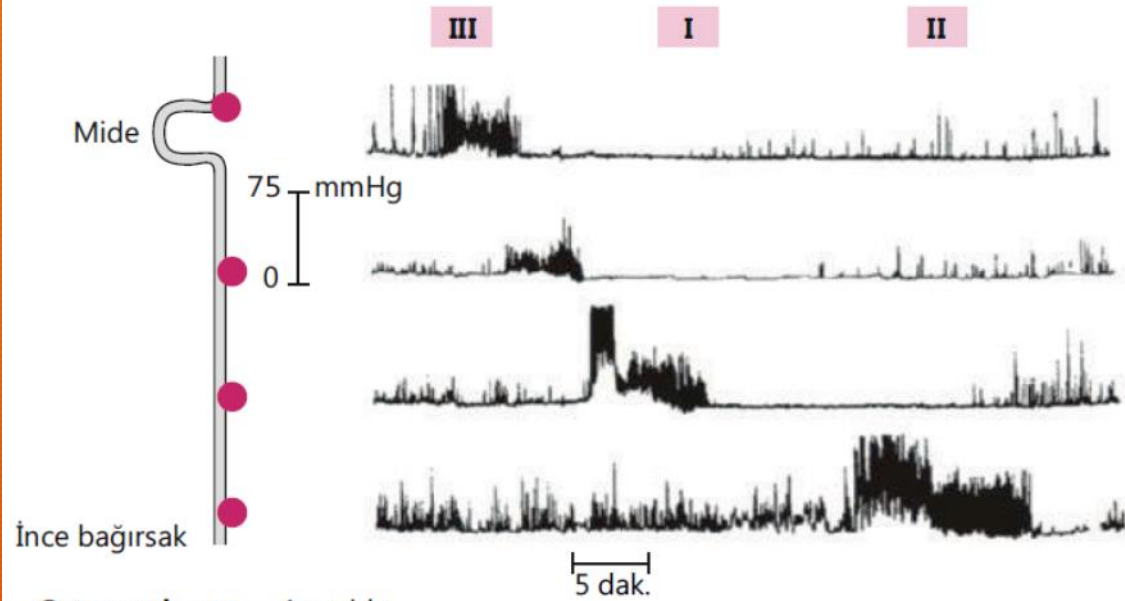
Mide ve ince bağırsağın özellikle göze çarpan koordineli motilite örüntüsü göç eden motor kompleksidir (MMC).

MMC aynı zamanda interdigestif motor kompleksi olarak da adlandırılır. İnterdigestif denmesinin nedeni, bu örüntünün karnivor ve omnivorlarda öğünler arasında meydana gelmesinden dolayıdır, örneğin köpeklerde yaklaşık altı saat açlıktan sonra oluşur. Bundan önceki zaman sürecinde ise sadece bazal hareket formları hâkimdir.

Farklı Mide-Bağırsak Bölümlerindeki Koordine Motilite Örüntüsü



MMC'deki motor bir kompleks yaklaşık her 70-120 dk.'da bir tekrar oluşur. Bu kasılma kompleksi üç farklı faza ayrılabilir.



Ortaya çıkma: Aç mide

Süre: 90-120 dak.

Fazlar :
I Motor aktivite yok
II Zayıf kontraksiyonlar
III Güçlü kontraksiyonlar

Zamansal İşleyiş

- Karnivor ve omnivorlarda uzun bir açlıktan sonra (öğünde yaklaşık 6 saat sonra)
- Herbivorlarda tok olursa da faz III olur (yaklaşık her 90 dak.)

Üç Faz

- Faz I Önemli bir kasılma aktivitesi yok
- Faz II Düzensiz kasılmalar
- Faz III Peristaltik dalgalar şeklinde güçlü kasılmalar; oralden aboral yöne ilerleme

Fonksiyon

- Faz II ve III'te bağırsak içeriğinin ileri hareketi
- Faz III'te "temizleme işlevi"

Kısaca



“Uzun refleksler” gastrointestinal kanalın her bir bölümünün motor aktivitesini besin alımına ve sindirim aşamasına bağlı olarak koordine eder. Sindirim sonrasında mide ve ince bağırsaklardaki kalıntılar göç eden motor kompleks sayesinde boşaltılır.

Defekasyon



Gastrointestinal sistem motilitesinin nihai ve önemli görevi sindirilmemiş besin bileşenlerini defekasyon yoluyla dışarı atmaktır. Dışkı oluşumu sürekli bir süreç olsa da, dışkılama periyodiktir ve istemli olarak da etkilenebilir.

Rektumun kapatılması iki sfinkter sayesinde başarılır, bunlar düz kaslardan yapılmış iç anal sfinkter ve çizgili kaslardan yapılmış bu nedenle de istemli kontrol edilebilen dış anal sfinkterdir.

Rektumun gerilmesi refleks olarak dışkı yapma isteğini başlatır. Bu sırada rektumda bulunan dışkı rektum mukozasındaki ve kas tabakasındaki gerim reseptörlerinde uyarıma yol açar. Bunlar da miyenterik pleksusun enterik nöronlarını stimüle ederek peristaltik kolon dalgalarının oluşmasına (rektokolik refleks) neden olur. Bunun sonucunda rektum daha da fazla dolar.

Defekasyon

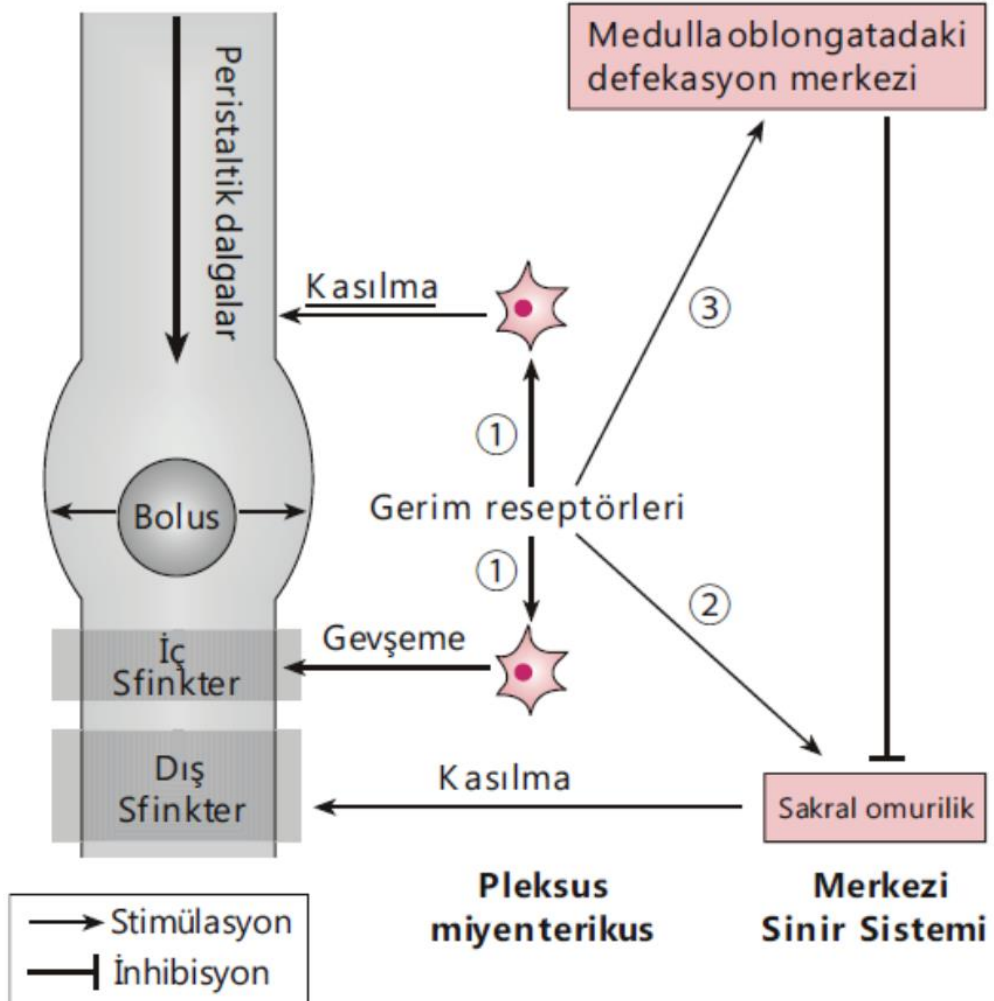
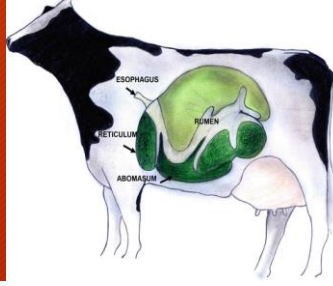


Öte yandan iç anal sfinkter gevşer, çünkü peristaltik dalga desendens gevşemeye yani bir gevşeme döneminin oluşmasına yol açar. İç anal sfinkterin gevşemesi dış anal sfinkter üzerindeki basıncı arttırır.

Anal bölgede hissedilen bu gerilme N. pudentalis sayesinde omuriliğin sakral segmentindeki motonöronlara iletilir, bu nöronlar da çizgili kasa sahip dış anal sfinkterin büzülmesine neden olurlar. Bu süreç rektumun azar azar dolmasıyla çok kereler tekrar edildiğinden, bu refleks silsilesi fazik rektosfinkter refleksi olarak da adlandırılır (sığırlarda rektal muayene sonrası anal sfinkter kasının pompalama hareketi).

Defekasyon

- 1: Gerim reseptörlerinin uyarılması assendens kasılmayı ve dessendens gevşemeyi tetikler.
- 2: Sakral omurilik segmentindeki motonöronların uyarılması dış anal sfinkterin kapatılmasından sorumludur.
- 3: Rektumun gerilmesinden haberdar edilen defekasyon merkezi, defekasyonun başlatılıp başlatılmayacağı hakkında nihai kararı verir.



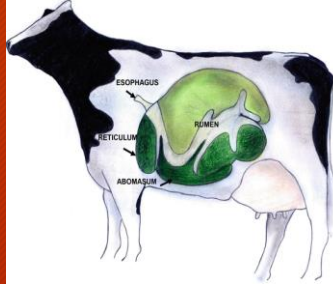
Defekasyon



Rektumun gerilmesi hakkındaki bilgiler medulla oblongatadaki defekasyon merkezi denen üst bir merkeze iletilir. Beynin diğer alanlarından daha fazla bilgi alınarak dışkılama isteğinin yerine getirilip getirilmeyeceği ve nihai olarak defekasyonunun harekete geçirilip geçirilmeyeceği kararlaştırılır. Defekasyon gerçekleşecekse bu üst merkezden sakral omurilikteki dış sfinkteri büzen motonöronlar inhibe edilir ve dış sfinkter gevşer. Bu durum genellikle herbivorlarda (at, geviş getirenler) dışkılamayı başlatmak için yeterlidir. Daha seyrek dışkılayan hayvanlarda (karnivorlar, domuzlar) ayrıca yoğun bir karın basıncı da gereklidir (sırtı kamburlaştırarak dışkılama).

Günlük yapılan defekasyon sayısı dışarı atılacak feçes miktarına bağlıdır. Köpek gibi yüksek oranda sindirilebilir yiyecekler yiyen hayvanlarda genellikle günde 1-2 kez defekasyon yapılır. Genellikle düşük sindirilebilirliği olan besinlerle beslenen sığırlarda günde 10-16 kez defekasyon gerçekleşir.

Önmidelerde Sindirim



Bakteri sayısı 10^9 - 10^{11} $\cdot \text{ml}^{-1}$

Arke sayısı 10^8 - 10^9 $\cdot \text{ml}^{-1}$

Protoza sayısı 10^5 - 10^8 hücre $\cdot \text{ml}^{-1}$

Mantar zoosporları 10^4 - 10^5 zoospor $\cdot \text{ml}^{-1}$

The role of rumen microorganisms



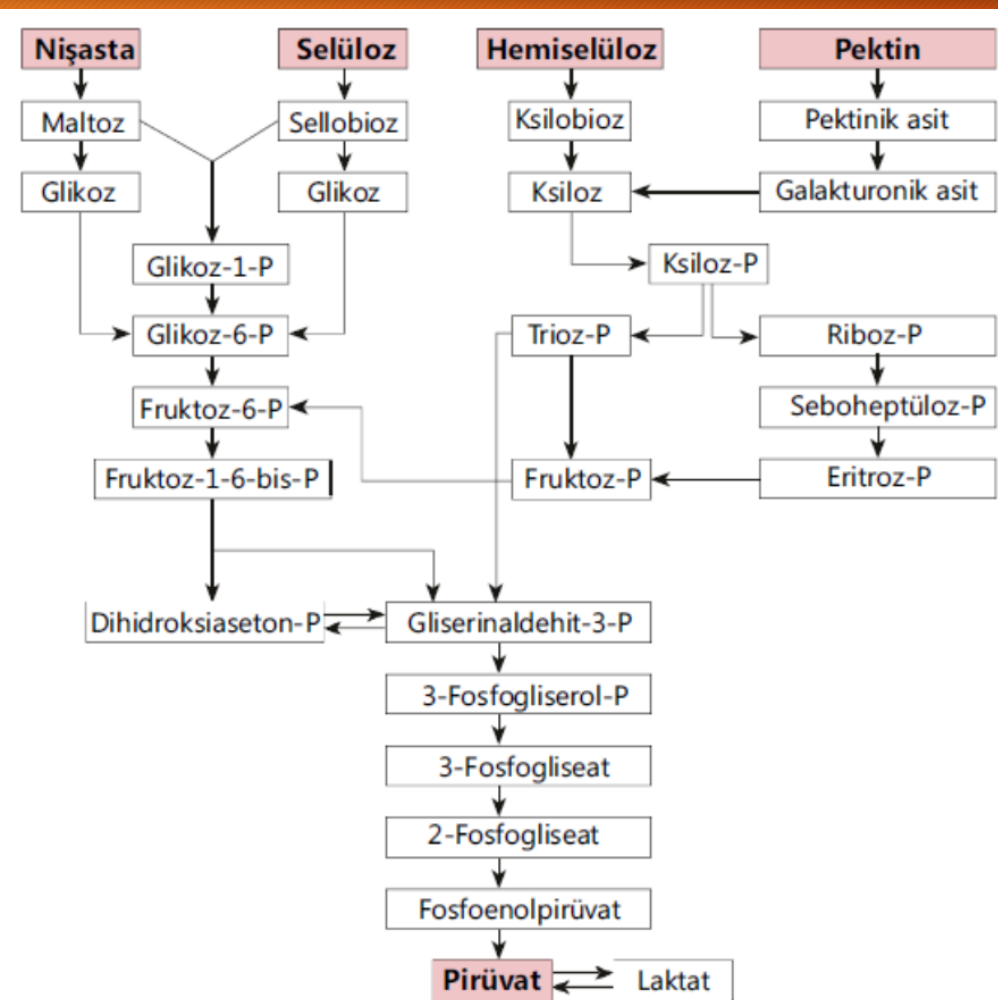
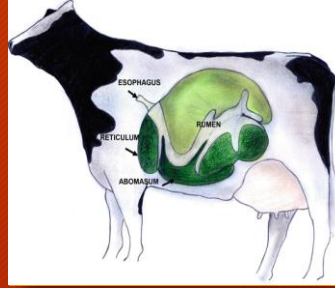
bacteria archaea
protozoa fungi
Rumen microorganisms

The role of rumen microorganisms

- Fiber degradation
- Production of proteins
- Production of VFAs
- Breakdown of nutrients
- Methane production
- ...

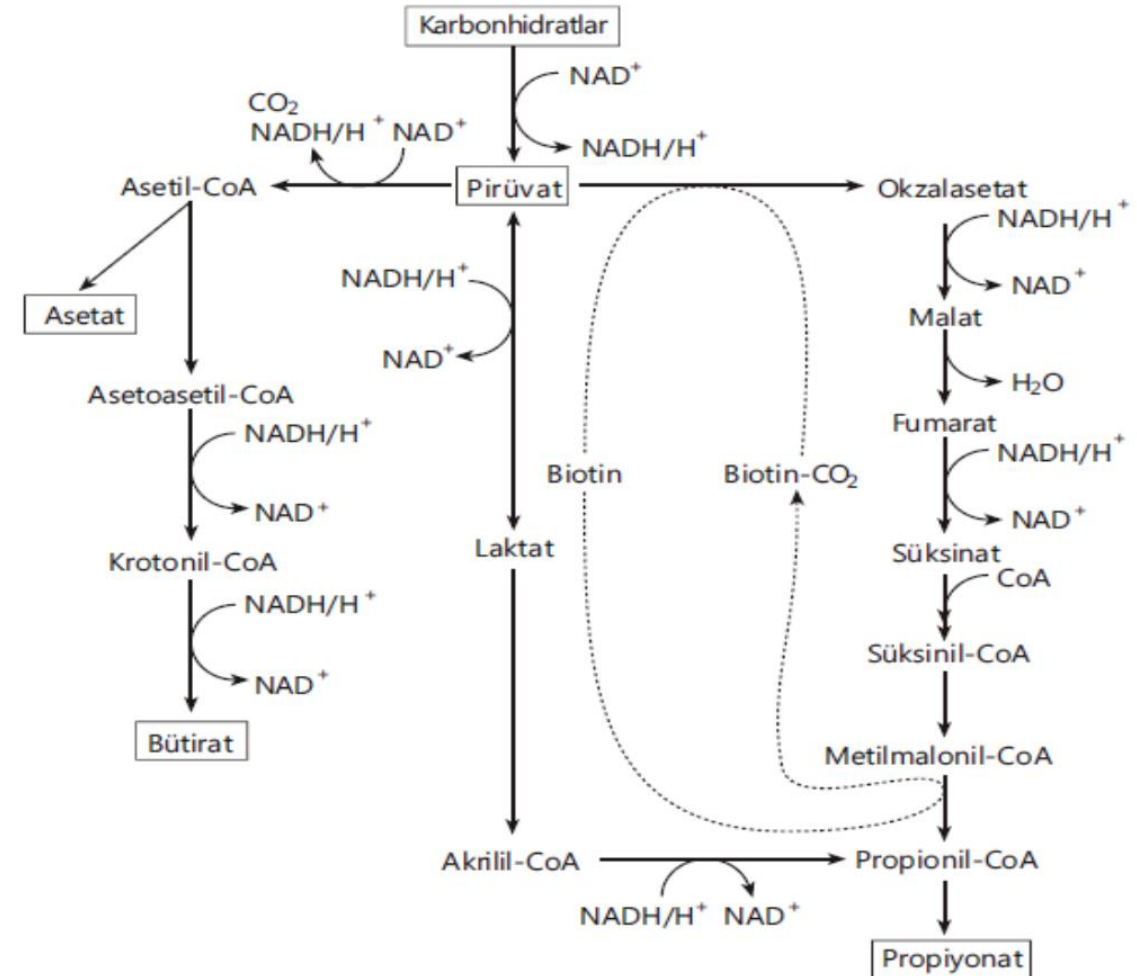


Önmidelerde Sindirim

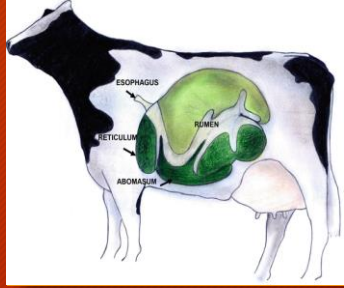


Bitki hücre duvarı pektinler, hemiselülozlar, selüloz ve ligninden oluşur. Bu maddeler sadece mikrobiyal enzimlerce yıkılabilir. Yıkılmanın merkezi ara ürünü pirüvattır.

Pirüvattan kısa zincirli yağ asitleri (SCFA) olan asetat, propiyonat ve bütirat ile rumen gazları olan CO₂ ve CH₄ oluşturulur. Yemin türü SCFA üretimini belirler. Metan oluşumu yem enerjisinin kaybı anlamına gelir.



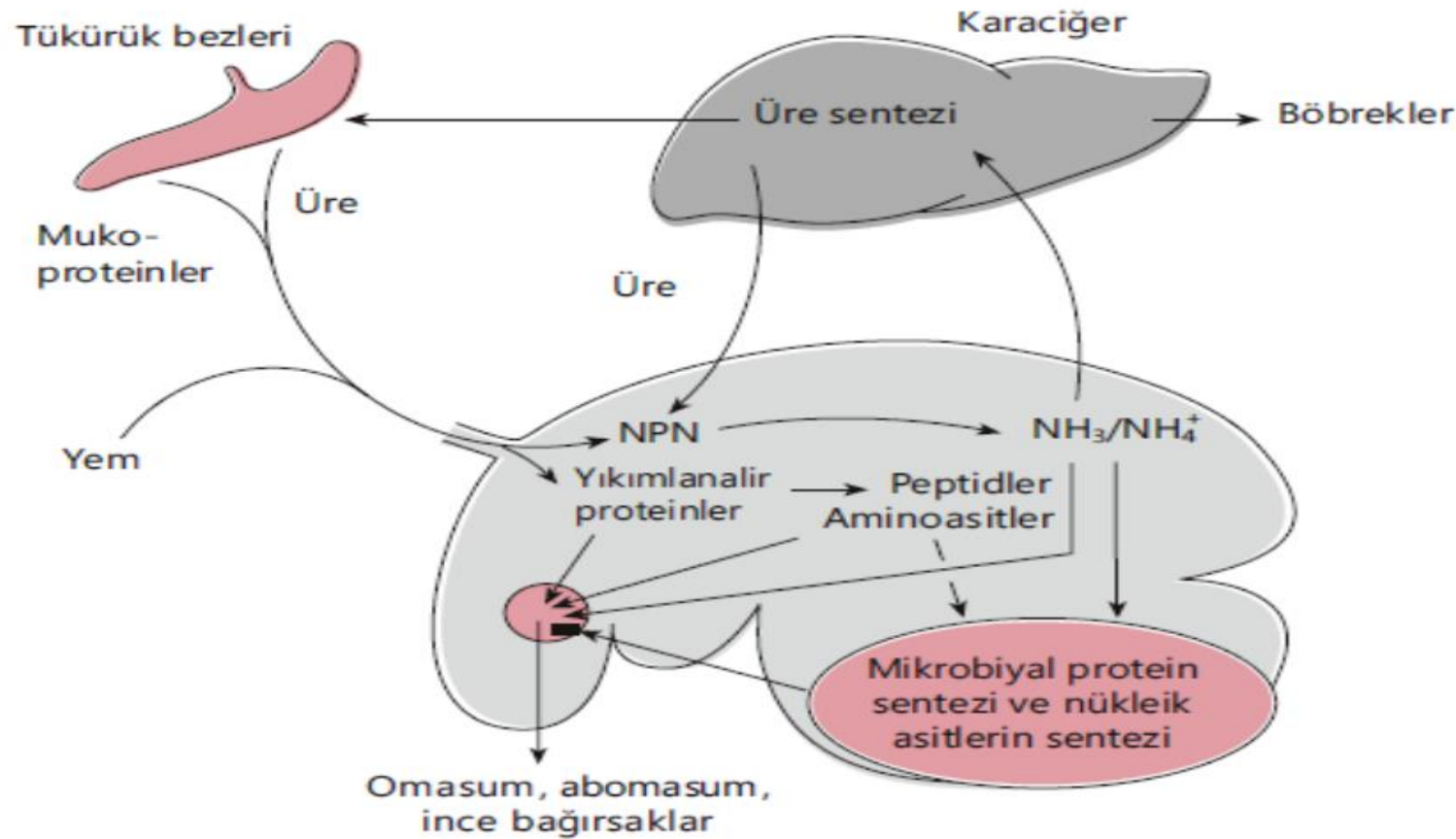
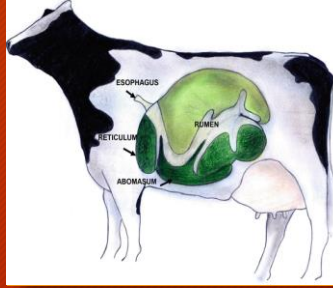
Önmidelerde Sindirim



Tablo 17.9 Rasyonun karbonhidrat içeriğine bağlı olarak molar SCFA oranları (%).

SCFA	Selülozca zengin (Ot)	Niştaca zengin (Konsantre yem)
Asetat	60–70	40–50
Propiyonat	15–20	30–40
Bütirat	10–15	10–15

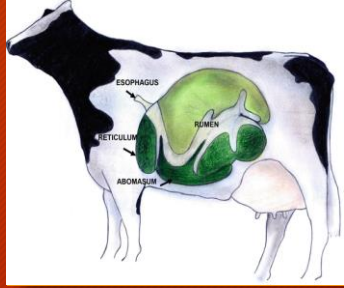
Önmidelerde Sindirim



Şekil 17.38 Azotlu bileşiklerin önmidelerde yıkımlanması; ruminohepatik döngü.

Yem proteinleri özellikle bakteriler tarafından rumende %30-100'e kadar yıkımlanır. Son ürün olan amonyak mikrobiyal protein sentezinde kullanılır veya ruminal rezorpsiyon sonrası karaciğerde üreye dönüştürülür. Üre tükürük bezleri ve önmide duvarından salgılanarak tekrar önmidelere gelir (ruminohepatik döngü), böylece azot ihtiyaç durumunda yine mikroorganizmaların kullanımına sunulur. Ruminant mikroorganizmaları ve bunların yapısındaki mikrobiyal proteini abomasum ve ince bağırsaklarında sindirir. Peptidler ve amino asitler daha sonra ince bağırsak epitelinden emilir.

Önmidelerde Sindirim



Yağlar rumende mikrobiyal enzimlerin etkisiyle önemli ölçüde hidrolize edilirler. Bu bakteriyel ve protozoal kaynaklı enzimlerin en önemlileri triaçilgliserollerin tamamen parçalanmasına aracılık eden lipazlar ve fosfolipazlardır. Hidrolitik yıkımlanma sırasında açığa çıkan uzun zincirli yağ asitleri büyük ölçüde hidrojenize edilir; bu suretle trans-yağ asitleri ve konjuge linoleik asitler (CLA) oluşur.

Yem yağında bulunan gliserin ve galaktoz mikrobiyal olarak SCFA'ya dönüştürülebilir. Uzun zincirli yağ asitleri mikroorganizmaların yapısına dâhil olabilir ve mikroorganizmalarda fosfolipidler veya sterol esterleri formunda mikrobiyal hücre kütesinin yapısal unsurlarını teşkil edebilir. Doğal yem yağları mikrobiyal gelişimi önemli derecede baskılar. Bu etki rasyonda çoklu doymamış yağ asitlerinin miktarının artmasıyla daha da belirginleşir, Ca^{2+} gibi iki değerli katyonlar ise bu etkiyi inhibe eder. Burada özellikle selülitik bakteriler etkilenir.

Önmidelerde Sindirim

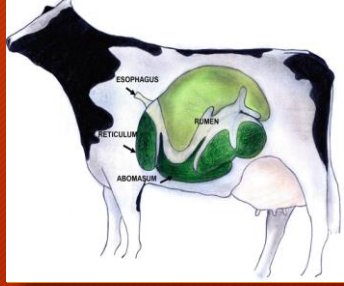


Önmide mikroorganizmaları sentez yetenekleri sayesinde konakçı hayvana önemli düzeyde vitamin katkısında bulunabilir. Bu vitaminler suda çözünen C vitamini ve B-kompleksi vitaminleri ile yağda çözünen K vitaminidir.

Buzağı ve kuzularda önmide sistemi henüz tam olarak gelişmemiş olduğundan tüm vitaminlerin besinlerle alınması şarttır.

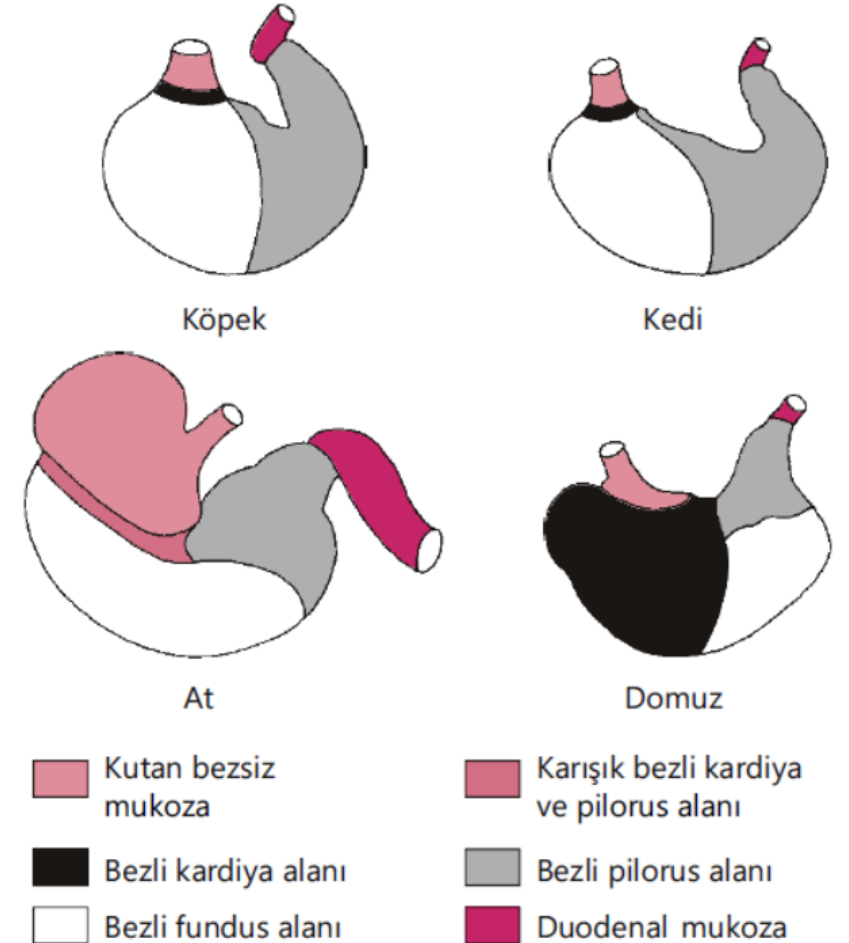
Belirli koşullar altında yetişkin ruminantlarda tiamin (B1) veya kobalamin (B12) eksiklikleri görülebilir. Tiamin yetersizliği büyüyen hayvanlarda aniden karbonhidratça zengin rasyonlara geçilmesiyle veya bakteriyel tiaminazların sentezine bağlı olarak ortaya çıkabilir. Kobalamin eksikliği besinlerle yeterince kobalt alınamadığında ortaya çıkabilir.

Tek Odacıklı Midenin Fonksiyonları

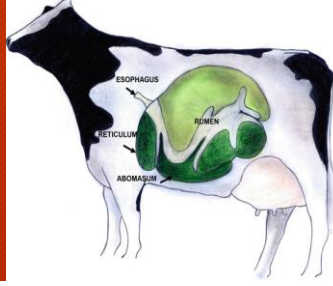


Midede bez ihtiva eden üç alan bulunur: bezli kardiya alanı, bezli fundus alanı ve bezli pilorus alanıdır.

Tek mideli evcil hayvanlarda mide mukozasının çeşitli bölgelerinin şematik gösterimi. Kutan mukozaya sahip bölgeler dışında mide mukozası tübüler bezler içerir. Fundus bezleri mukus ve bikarbonatın yanı sıra hidroklorik asit ve enzimleri üretirken, kardiya ve pilorus bezleri daha çok muköz bir salgı (mukus ve bikarbonat) salgırlar.



Tek Odacıklı Midenin Fonksiyonları



Fundus bezinin yapısı: Fundus bezleri dört farklı hücre tipi içerir:

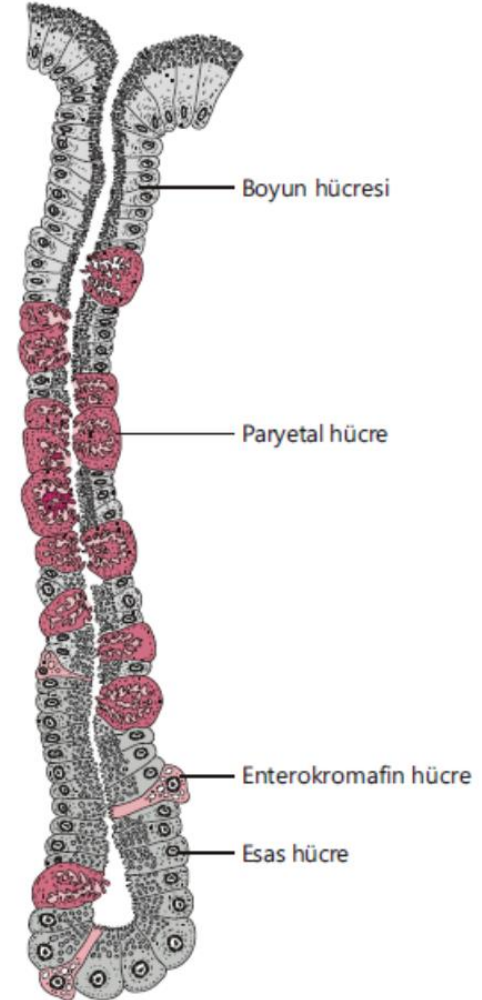
Paryetal hücreler hidroklorik asit ve intrinsik faktörü üretir,

Esas hücreler sindirim enzimlerini (pepsinojen, prorennin, gastrik lipaz, lizozim) yapar,

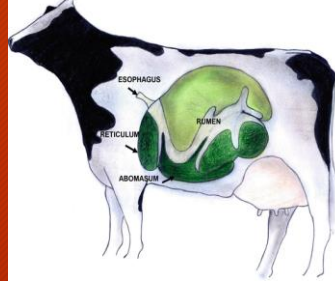
Boyun hücreleri ise “mide mukusunu” üretir.

Fundus bezlerinin taban bölgesinde gastrointestinal peptit hormonları üreten tek tük enterokromafin hücreler bulunur.

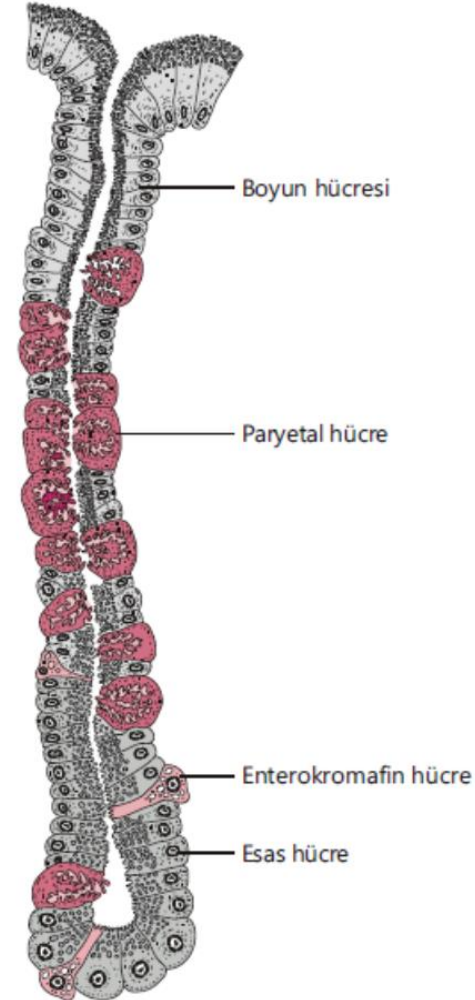
Salınımlarının ardından hem pepsinojen hem de prokimozin fundus bezi salgılarının düşük pH'sı nedeniyle (pH 1) pepsin ve kimozine aktive edilir.



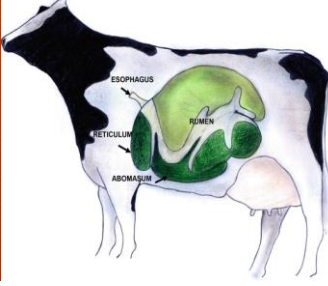
Kardiya ve Pilorus Bezlerinin Sekresyonu



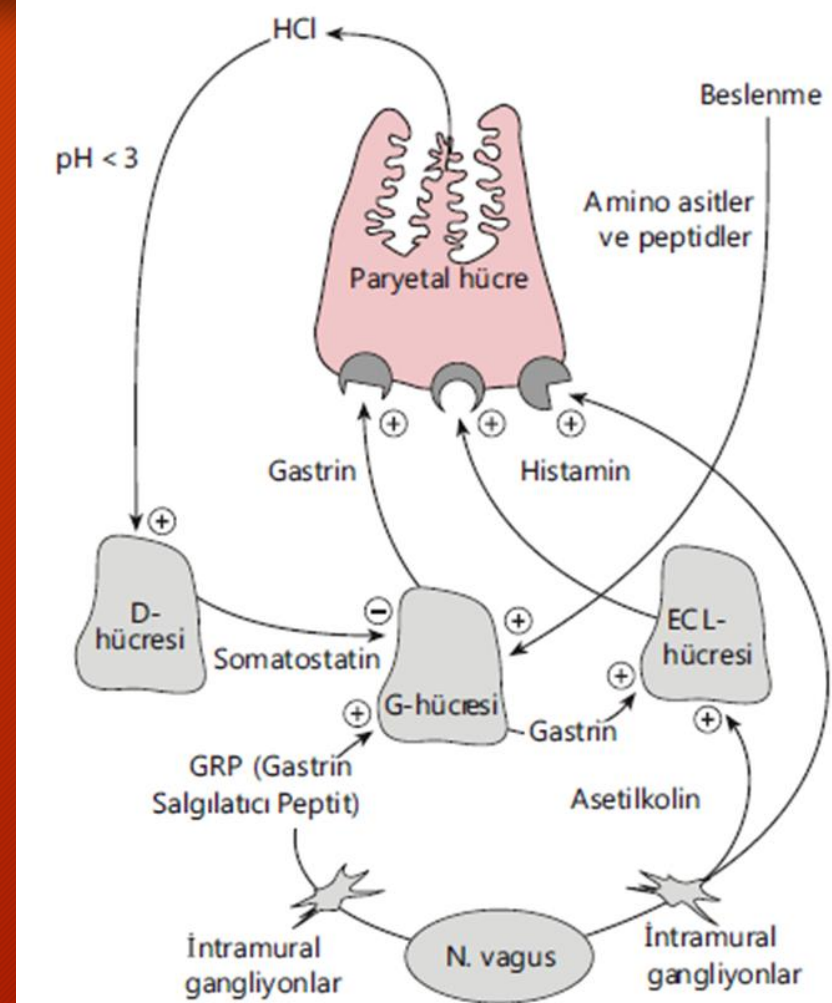
Kardiya ve pilorus bezlerinin hücreleri büyük ölçüde fundus bezlerinin boyun hücrelerine benzer ve yüzeysel epitel hücreleri gibi ekzositozla mukus salgırlar. Mukus büyük moleküllü bir glikoproteindir (müsin) ve ilgili hücrede salgı granülleri şeklinde bulunur. Aynı hücreler mukusun dışında apikal membranlarında bulunan $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ değiştiricisi aracılığıyla HCO_3^- de salgırlar. Böylece mide mukozasının üzerinde 0,5-1 mm kalınlığında mukus tabakası oluşur, mide içeriğinin asidik pH'sına rağmen (pH 1-4) epitel hücrelerinin yüzeyinde nötr pH koşulları sağlanır.



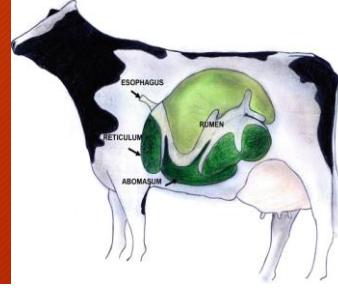
HCl-Sekresyonunun Regülasyonu



Pilorus bölgesindeki G hücreleri tarafından yapılan gastrointestinal hormon gastrin, hidroklorik asit sekresyonunun uyarılmasında merkezi bir rol oynar. Gastrin sekresyonu hem luminal faktörler hem de vagus siniri (transmitterler: asetilkolin ve GRP) ile uyarılır. Gastrinin etkisi büyük ölçüde ECL hücreleri (enterochromaffin-like) tarafından salınan parakrin etki yapan histaminden kaynaklanır. HCl salınımının baskılanması gastrik içeriğin pH'sı üzerinden otomatik olarak düzenlenir: pH'nın düşmesi D hücreleri tarafından artan miktarlarda somatostatinin salınmasına yol açar ve gastrin sekresyonu parakrin yolla baskılanır.

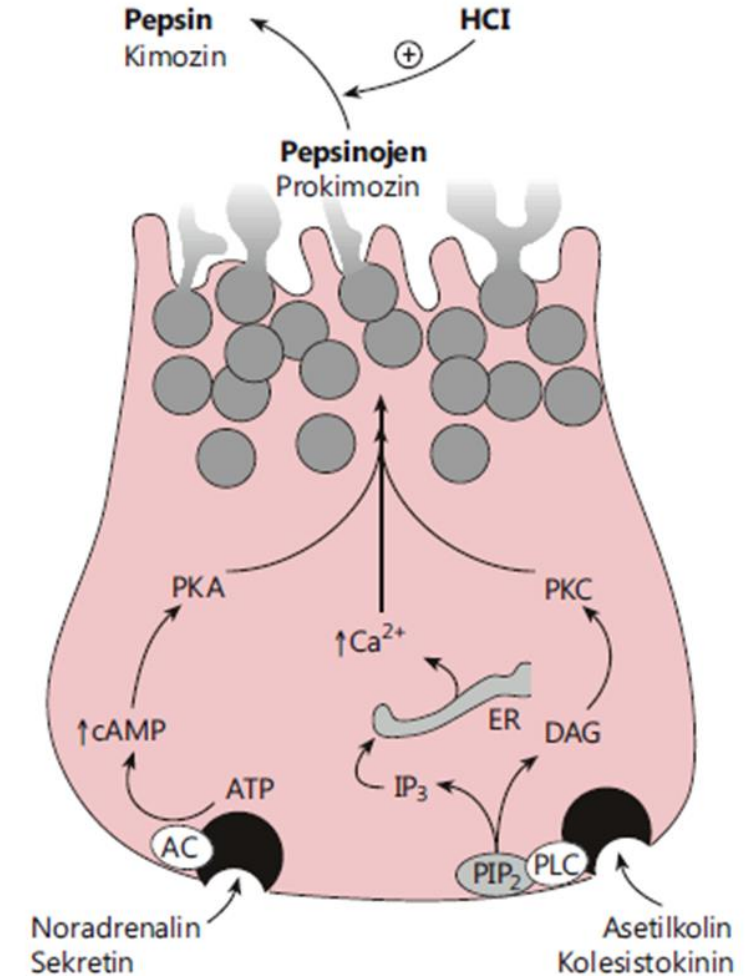


Enzim Sekresyonunun Regülasyonu



Nörotransmitterler asetilkolin (parasempatik) ve noradrenalinin (sempatik) dışında, duodenal mukozadan salgılanan gastrointestinal peptit hormonlar sekretin ve kolesistokinin de düzenlemede rol oynar. Sinyal iletimi ikincil haberciler olan cAMP ve Ca^{2+} üzerinden sağlanır. Esas hücrenin aktive edilmesi pepsinojen ve prokimozinin ekzositozuna yol açar. Bunlar ise mide lümenindeki HCl sayesinde aktif formları olan pepsine veya kimozine dönüşürler.

AC = adenilat siklaz; DAG = diaçilgliserol; ER = endoplazmik retikulum; IP₃ = inositol trisfosfat; PIP₂ = fosfatidilinositol difosfat; PKA = protein kinaz A; PKC = protein kinaz C; PLC = fosfolipaz C.



Mukus ve Bikarbonat Sekresyonunun Regülasyonu



Midedeki düşük pH mukus salgılanmasının ana uyarıcısıdır. Düşük pH vagovagal refleks aracılığıyla mide duvarındaki parasempatik nöronların asetilkolin sekresyonunu aktive eder ve prostaglandin E'nin oluşumunu uyarır.

Steroid yapıda olmayan anti-enflamatuar ajanlar örneğin asetilsalisilik asit (aspirin), prostaglandin oluşumunu inhibe eder ve böylece mide iç yüzeyini kaplayan mukus tabakasının koruyucu işlevine zarar verir.

Stres hormonları olarak işlev yapan glikokortikoidler (böbrek üstü bezi hormonları) de aynı zamanda yüksek konsantrasyonlarda benzer etkiler oluşturur.

Gastrik HCO_3^- sekresyonunun regülasyonu büyük ölçüde mukus sekresyonuna benzer şekilde gerçekleştirilir.

Kısaca



Mideden HCl'nin, enzimlerin ve mukusun salgılanması besin alımına bağı olarak parasempatik ve gastrointestinal hormonlar tarafından uyarılır.

Mide lumenindeki düşük pH bakterisidal etkiye sahiptir, pepsinojen ve prokimozeni pepsin ve kimozone aktive eder, bikarbonat içeren mukus tabakası mide mukozasının zarar görmesini önler. Midede proteinlerin ve yağların sindirimi başlar.

İnce Bağırsaklarda Sekresyon



İnce bağırsaklardaki salgı süreçleri şunlardır: Brunner bezlerinden mukus ve bikarbonat sekresyonu, duodenal epitel hücrelerinden bikarbonat sekresyonu, bağırsak mukozasının normal epitel hücreleri arasındaki goblet hücrelerinden mukus sekresyonu ve glandula intestinalislerden (Lieberkühn kriptleri) Cl^- sekresyonu.

Brunner Bezlerinden Sekresyon: Brunner bezleri submukozada bulunan tubuloalveoler bezler olup kanalları duodenuma açılır. Bu bezler mukus ve bikarbonat salgılar ve böylece duodenuma gelen asidik mide içeriğinden duodenal mukozanın korunmasına katkı sağlar.

Brunner bezlerinin sekresyonu parasempatik sinirler tarafından uyarılırken, sempatik sinirler tarafından baskılanır.

İnce Bağırsaklarda Sekresyon



Duodenum epitelinden Bikarbonat Sekresyonu: Duodenal HCO_3^- sekresyonu HCl 'nin nötralizasyonunda rol oynar. HCO_3^- sekresyonu duodenal içeriğin düşük pH değeri sayesinde vagovagal refleks üzerinden ve lokal olarak oluşturulan prostaglandin E tarafından stimüle edilir. Sempatik sinirler ise HCO_3^- sekresyonunu inhibe eder.

Goblet hücrelerinden Mukus Sekresyonu: Goblet hücreleri ince bağırsak villuslarının ve kriptlerinin “normal” epitel hücrelerinden çok sayıda mukus içeren salgı granüllerine sahip olmalarıyla ayrılır. Goblet hücrelerinin sayısı ince bağırsaklarda proksimalden distale doğru gittikçe artar. Goblet hücrelerinin büyük bölümü ise kalın bağırsakta bulunur.

İnce Bağırsaklarda Sekresyon



Mukus sekresyonu asetilkolin ve prostaglandin E tarafından uyarılır. Asetilkolin lumendeki mekanik ve kimyasal uyaranlara cevaben enterik sinir sisteminin nöronları tarafından transmitter olarak salınır.

Prostaglandin yapımı da keza lumendeki kimyasal uyarılara bağlı olarak (örneğin düşük pH değeri) stimüle edilir. Ayrıca bazı bakteriyel toksinler de (örneğin Escherichia coli toksinleri, kolera toksini) mukus sekresyonunu arttırır. İnce bağırsaklara parazitlerin kolonize olması durumunda da goblet hücrelerinin ve dolayısıyla mukus salgılanmasının arttığı gözlenmiştir.

İnce bağırsak epiteli mekanik, kimyasal (düşük pH, proteazlar), bakteriyel, paraziter ve viral hasarlara karşı koruyucu fonksiyonu olan yaklaşık 0,5 mm kalınlığında bir mukus tabakasıyla kaplıdır.

Kısaca



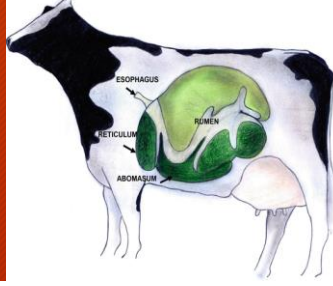
Brunner bezleri ve duodenal epitel hücreleri tarafından salgılanan mukus ve HCO_3^- duodenum mukozasını duodenuma porsiyonlar halinde gelen asidik mide içeriğinden korur.

Glandula intestinalis'in Fonksiyonu (Lieberkühn Kriptleri)



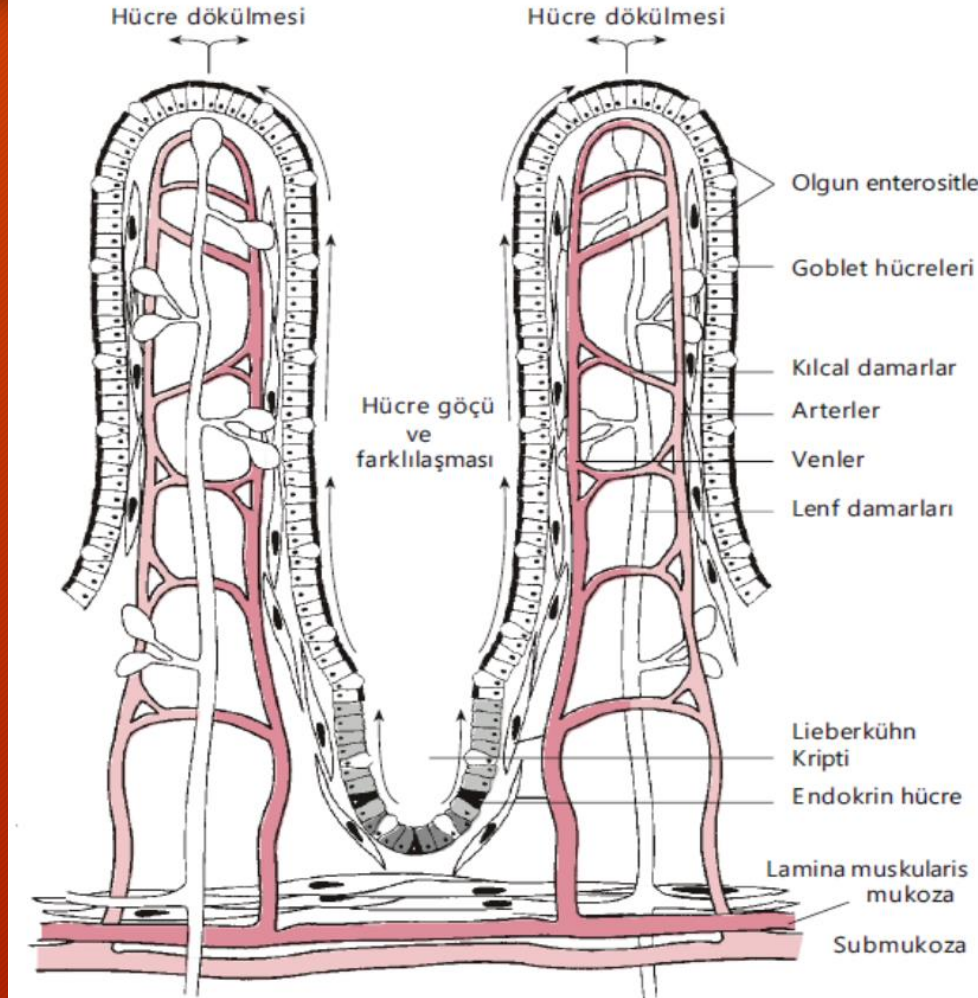
Bağırsak villuslarının tabanındaki mukozal invaginasyonlar glandula intestinalis (Lieberkühn kriptleri veya Lieberkühn bezleri) olarak adlandırılır. İnce bağırsak villusundaki silindirik epitel hücrelerinin aksine, kriptlerdeki epitel hücreleri çok sayıda mitoz içeren kübik hücrelerden oluşmuştur. Kriptler ayrıca goblet hücrelerini, Paneth hücrelerini (lizozim salgırlar) ve bağırsak hormonlarını kan dolaşımına salgılayan endokrin hücreleri de içerir. Kriptler sadece salgı fonksiyonunu yerine getirmez, aynı zamanda epitelyal hücre replikasyon alanıdır. Burada hücre bölünmesi ile oluşan yeni hücreler üç gün içinde villusun ucuna göç eder ve oradan da lumene dökülür. Bu göç sırasında hücreler öncelikle rezorpsiyon mekanizmalarına sahip silindirik hücrelere dönüşürler. Kript epitel hücreleri ise temel olarak sekresyon fonksiyonunu yerine getirir.

Glandula intestinalis'in Fonksiyonu (Lieberkühn Kriptleri)

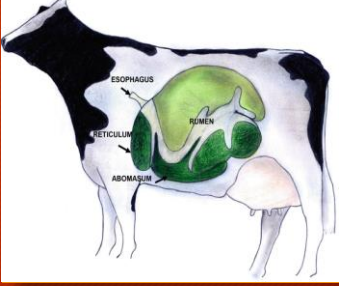


Bağırsak villusları ve Lieberkühn kriptlerinin şematik gösterimi. Mukozanın parmak şeklindeki uzantıları (villuslar) arasında, villusların tabanında mukoza invaginasyonları şeklinde Lieberkühn kriptleri bulunur.

Bağırsak epitelinin rejenerasyonu (2-3 gün) kriptlerde sürekli olan hücre bölünmesiyle sağlanır. Olgunlaşmamış kript hücreleri villusun tepe noktasına göç ederken sindirim ve emilim fonksiyonları olan olgun enterositlere dönüşürler ve nihayetinde villusun tepe noktasından bağırsak lumenine dökülürler. Villus stromasında kapillar damarlar ve lenf damarları bulunur.



Ekzokrin Pankreas (Karın Tükürük Bezi)



Ekzokrin pankreas tübüloalveolar yapıda bileşik bir bezdir, bu bezin kanal sistemindeki hücreleri NaHCO_3^- açısından zengin bir çözelti salgılamak, asiner hücreleri sindirim enzimleri ve NaCl bakımından zengin bir çözeltiyi salgılayarak lümene verir.

İnsanlarda günde 1-2 l kadar pankreas salgısı salgılanır. Köpekte günde 0,2-0,4 l, domuzda 1-2 l ve sığırdaki 10-15 l kadar pankreas sıvısının salgılandığı tahmin edilmektedir. Buna karşın atlarda çok daha fazla miktarda pankreas salgısı üretilir ($30-35 \text{ l} \cdot \text{gün}^{-1}$).

Pankreas sekresyonunun düzenlenmesi. Pankreas salgısının oluşumu sinirsel ve hormonal olarak düzenlenir. Parasempatik sistemin transmitteri olan asetilkolin ve duodenum mukozasından salgılanan peptid hormonlar sekretin ile kolesistokinin bu düzenlemede rol oynar.

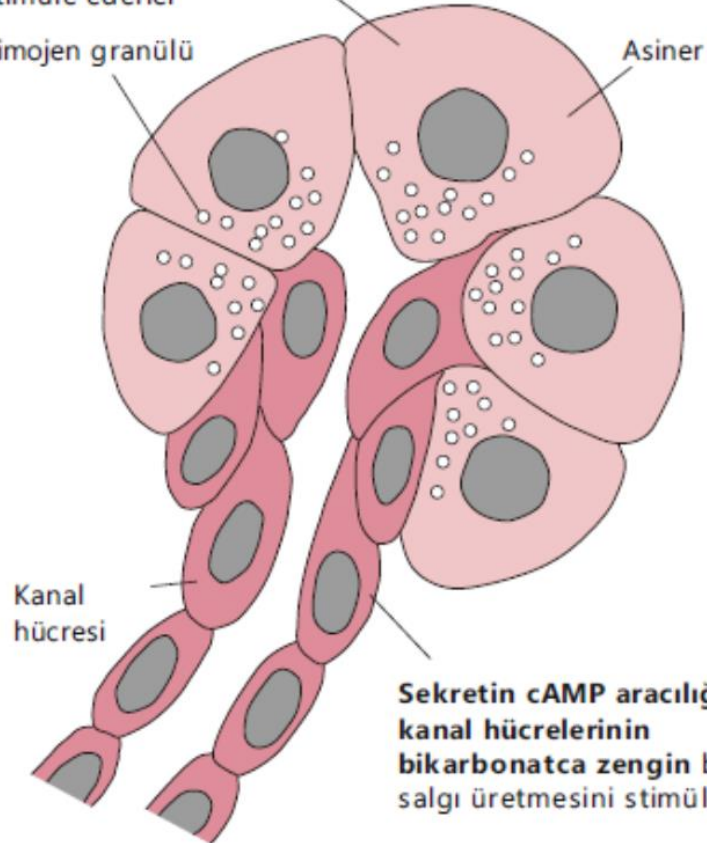
Asetilkolin ve CCK , Ca^{2+} aracılığıyla asiner hücrelerin enzim ve klorür bakımından zengin bir salgı salgılamasını stimüle ederler

Zimojen granülü

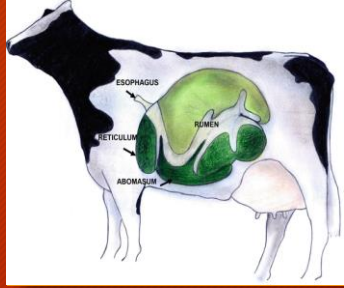
Asiner hücre

Kanal hücresi

Sekretin cAMP aracılığıyla kanal hücrelerinin bikarbonatca zengin bir salgı üretmesini stimüle eder



Pankreastan Sindirim Enzimlerinin Sekresyonu



Aşağıdaki sindirim enzimleri pankreasın asiner hücrelerinden kısmen inaktif kısmen de aktif formda ekzositozla salgılanır. Henüz aktif olmayan proenzimler şeklindeki sekresyon sayesinde pankreasın kendi kendisini sindirmesi de önlenir.

- a) **Peptidazlar** (inaktif): Tripsinojen, kimotripsinojen, proelastaz, prokarboksipeptidaz A, prokarboksipeptidaz B
- b) **Nükleazlar** (aktif): Ribonükleaz, desoksiribonükleaz
- c) **Amilaz** (α -amilaz; aktif)
- d) **Lipazlar**: Lipaz (aktif), pro-kolipaz (inaktif), pro-fosfolipaz A2 (inaktif), kolesterolinesteraz (aktif)

Pankreastan Sindirim Enzimlerinin Sekresyonu



Aktif olmayan formda salgılanan pankreatik enzimlerin aktivasyonu ilk olarak ince bağırsakta gerçekleşir. Fırçamsı kenar zarında bulunan enteropeptidaz (enterokinaz) enzimi bir hekzapeptidi ayırmak suretiyle tripsinojeni tripsine aktive eder.

Tripsin daha sonra kalan tripsinojenleri de oto-katalizleme suretiyle tripsine dönüştürüp aktive eder. Aktif olmayan formda salgılanan diğer pankreas enzimleri de peptit yıkımlanması vasıtasıyla tripsin tarafından aktive edilir.

Pankreasın sindirim enzimleriyle birlikte aynı zamanda bir tripsin inhibitörü de (peptit, $M=6000$) salgılanır, bu inhibitör peptit tripsinin pankreasta aktive olmasını engeller.

Pankreas Sekresyonunun Besin Alımıyla Uyarılması



Besin alımıyla ilgili uyarılar (koku, tat, midenin gerilmesi, duodenumda düşük pH, ince bağırsaklarda protein ve yağ sindirim ürünleri) monogastrik canlılarda pankreas sekresyonunu güçlü bir şekilde uyarır.

Uyarının etki ettiği yere göre pankreas sekresyonunun sefalik, gastrik ve intestinal fazından söz edilebilir.

Sekresyonun **sefalik fazı** besinin kokusuyla, tadıyla ve besinin çiğnenmesine bağlı dokunsal uyarılarla başlatılır. Bu fazdaki sekresyona vagus sinirinin parasempatik lifleri aracılık eder.

Pankreas Sekresyonunun Besin Alımıyla Uyarılması



Sekresyonun **gastrik fazı** besin alımına bağılı olarak mide duvarının gerilmesiyle tetiklenen vagovagal refleks ile pankreas sekresyonunun artması olayından kaynaklanır.

Kantitatif bakımdan besin alımına bağılı oluşan sekresyon artışının en önemli fazı **intestinal fazdır**. Bu faz intestinal hormonlar olan sekretin ve CCK'nin kan dolaşımına yüksek miktarlarda salgılanmasından kaynaklanır. Burada söz konusu etkiler daha önce de belirtildiğı gibi pH'nın düşmesiyle (sekretin) ve ince bağırsak lumeninde protein ve yağ sindirimine ait yıkım ürünlerinin (CCK) oluşmasıyla tetiklenir.

Kısaca: Besin alımıyla tetiklenen pankreas salgısı üretimindeki stimölasyon, hem parasempatik sinirler (asetilkolin transmitterdir) hem de duodenum mukozası tarafından yapılan gastrointestinal hormonlar sekretin ve kolesistokinin aracılığıyla gerçekleşir.

Safra ve Safra Kesesinin Fonksiyonu



Safra oluşumu karaciğer hücreleri ve hepatik safra kanallarının epitel hücreleri tarafından gerçekleştirilir. Safra, safra kesesinde depolanır. Safra kesesinde safradaki elektrolitlerin ve suyun geri emilimiyle safranın organik bileşenleri (konjuge safra asitleri, safra pigmentleri, fosfolipitler, kolesterol) konsantre edilir. Bu nedenle karaciğerde üretilen safra, safra kesesindeki safradan farklı bir bileşime sahiptir. Safra kesesi olmayan türlerde (örneğin at, deve, sıçan, güvercin) karaciğer safrası ductus choledochus ile doğrudan proksimal ince bağırsağa ulaşır.

Ductus choledochus ile bir günde ince bağırsağa gelen safra miktarı insanda ve domuzda 0,5-1 l, köpekte 0,1-0,2 l, koyunda 0,5-0,7 l, sığırlarda 3-5 l ve atta 7-10 l kadardır.

Safra ve Safra Kesesinin Fonksiyonu



Daha önce pankreas sekresyonun regülasyonunda bahsedildiği üzere ince bağırsaklarda yağ ve protein sindiriminin yıkım ürünleri intestinal hormon **kolesistokinin (CCK)** salınmasına neden olur. Bu hormon safra kesesinin düz kaslarının kasılmasına, Oddi sfinkterinin gevşemesine ve böylece besin alımını takiben safra kesesinin boşaltılmasını tetikler.

Safra kesesinde depolanan ve yoğunlaştırılan safra yağ sindirimine yardımcı olmak için proksimal ince bağırsağa gönderilir.

Safra kesesinin besin alımına bağlı olarak boşaltılması, safra kesesinin düz kasları üzerine kasıcı etkiye sahip postgangliyonik parasempatik nöronların refleksif olarak salgıladığı **asetilkolin** tarafından da ayrıca desteklenir.

İnce Bağırsakta Karbonhidratların Sindirimi



İnce bağırsaklarda pankreas salgısının enzimleri (amilaz) ve ince bağırsak epitelinin enzimleri (di- ve oligosakkaridazlar) tarafından sindirilen en önemli besin karbonhidratları nişasta (ve glikojen), sükroz ve laktozdur.

Bitki hücre duvarı bileşenleri olan selüloz, hemiselüloz ve pektin gibi yapısal karbonhidratlar bu enzimler tarafından yıkımlanamazlar.

Nişasta 1,4- α -glikozidik ve 1,6- α -glikozidik bağlarla birbirine bağlı glikoz birimlerinden oluşmuştur. Amilaz nişastadaki sadece 1,4- α -glikozidik bağları hidrolitik olarak parçalar ve nihai yıkım ürünleri maltoz, maltotrioz ve α -dekstrinlerdir.

Bu ürünler ise ince bağırsak epitelinin fırçamsı kenarının zarında bulunan oligo- ve disakkaridazlarla glikoza yıkımlanırlar. Bu enzimler arasında glukoamilaz (maltaz), α -dekstrinaz (izomaltaz) ve sükraz bulunur.

İnce Bağırsakta Karbonhidratların Sindirimi



Laktoz (süt şekeri), birbirine 1,4- β -glikozidik bağla bağlanmış bir glikoz ve bir galaktoz molekülünden oluşur.

Laktoz, fırçamsı kenar zarı enzimi laktaz ile glikoz ve galaktoza hidrolize edilir.

Sükroz (pancar ya da şeker kamışı şekeri), birbirine 1,2- α -glikozidik bağla bağlanmış glikoz ve fruktozdan oluşmuştur, maltoz ve maltotriozu da parçalayabilen fırçamsı kenar zar enzimi sükras, sükrozu glikoz ve fruktoza yıkmalar.

İnce Bağırsakta Proteinlerin Sindirimi

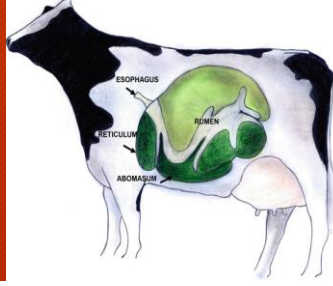


Protein sindiriminde görev alan mide ve pankreas salgılarındaki peptidazlar ile ince bağırsak epitelinin fırça kenar zarındaki peptidazlar Tablo 17.11’de listelenmiştir.

Bu enzimler saldırdıkları bölgelere göre endo- ve ekzopeptidazlar ile özel işlevli peptidazlar olarak sınıflandırılırlar.

Endopeptidazlar, özellikle protein moleküllerinin orta bölgesindeki peptid bağlarını hidroliz yoluyla yıkmakla, ekzopeptidazlar protein moleküllerinin terminal amino asitlerini ayırır. Serbest karboksil grubu (C-terminalli amino asitler) veya serbest amino grubu (N-terminalli amino asitler) terminal amino asitlerin koparılması bağlamında ekzopeptidazlar karboksipeptidazlar veya aminopeptidazlar olarak isimlendirilirler.

İnce Bağırsakta Proteinlerin Sindirimi



Tablo 17.11 Gastrointestinal sistemde protein sindirimine katılan peptidazlar.

Enzimler	Fonksiyon	Yıkım Ürünleri
Endopeptidazlar		
Pepsin (Mide) ¹	Aromatik AA'ları içeren peptit bağlarının yıkımlanması	Peptidler (AA) ⁶
Tripsin (Pankreas) ²	Bazik AA'ları içeren peptit bağlarının yıkımlanması	Peptidler (AA)
Kimotripsin (Pankreas) ²	Aromatik AA'ları ve triptofanı içeren peptit bağlarının yıkımlanması	Peptidler (AA)
Elastaz (Pankreas) ²	Halkasız nötral AA'ları içeren peptit bağlarının yıkımlanması	Peptidler (AA)
Ekzopeptidazlar		
Karboksipeptidaz A (Pankreas) ²	C-terminaline sahip AA'ları içeren peptit bağlarının yıkımlanması	AA, Peptidler
Karboksipeptidaz B (Pankreas) ²	C-terminaline sahip bazik AA'ları içeren peptit bağlarının yıkımlanması	AA, Peptidler
Karboksipeptidaz (FKZ) ³	C-terminaline sahip AA'ları içeren peptit bağlarının yıkımlanması	AA, Peptidler
Aminopeptidaz (FKZ)	N-terminaline sahip AA'ları içeren peptit bağlarının yıkımlanması	AA, Peptidler
Diğer Peptidazlar		
γ -Glutamil-transpeptidaz (FKZ)	Tripeptit glutatyondaki glutamik asit amino asitinin ayrılması ⁵	AA, Dipeptit
Dipeptidil-Peptidaz (FKZ)	Peptidlerden prolin içeren dipeptidlerin ayrılması	Dipeptidler, Peptidler
Dipeptidaz (FKZ)	Bazı dipeptidlerin ayrılması	AA

^{1, 2} Mideden ve pankreastan inaktif proenzimler olarak salgılanırlar.

³ FKZ = Fırça kenar zarı.

⁴ AA = Amino asit (ler).

⁵ Glutasyon, glutamik asit, glisin ve sisteinden oluşur, ince bağırsaklara besinlerle ve safrayla gelir.

⁶ Küçük miktarda.

İnce Bağırsakta Proteinlerin Sindirimi



Besinlerle alınan proteinlerin sindirimi öncelikle midede başlar, midenin asit ortamında proteinler denatüre olurlar (denatürasyon = proteinlerin sekonder ve tersiyer yapılarını kaybetmesi). Bunun sonucunda pepsinin (optimum pH: 1-3) proteolitik etkisi kolaylaşır, yıkım ürünleri olarak peptitler, hatta amino asitler ortaya çıkar. Pepsin sadece protein molekülünün orta bölgesindeki peptid bağlarına saldırır, aynı zamanda terminal amino asitleri de sınırlı düzeyde koparır.

Kantitatif açıdan pepsinin protein sindirimindeki önemi çok büyük değildir, çünkü mide pepsininin olmadığı durumlarda (midenin çıkarılmasından sonra) sindirim sisteminde proteinlerin sindirimi önemli ölçüde azalmamaktadır. Pankreas endopeptidazları pepsinin yokluğunu telafi etmektedir.

İnce Bağırsakta Proteinlerin Sindirimi



Pankreas salgısıyla ince bağırsağa ulaşan inaktif formdaki endo- ve ekzopeptidazlar, aktivasyonlarından sonra besin proteinlerini oligopeptitlere (maksimum yedi amino asite kadar) ve amino asitlere hidrolize ederler.

Fırça kenar zarının peptidazları, oligopeptitleri di- ve tripeptitler ile amino asitlere kadar parçalar, böylece ince bağırsaklarda protein sindiriminin artık emilebilir özellikteki son ürünleri olan di- ve tripeptitler ile amino asitler ortaya çıkar. Di- ve tripeptit formundaki emilimle elde edilen amino asit miktarı serbest amino asitlerin emilmesiyle elde edilenden yaklaşık iki kat daha fazladır.

Kısaca: Proteinlerin sindirimine mide ve pankreasın endopeptidazları, pankreasın ve ince bağırsak epitelinin fırçası kenar zarının ekzopeptidazları ve diğer fırça kenar zarı peptidazları katılır. Protein sindiriminin emilebilir son ürünleri olarak amino asitler ile di- ve tripeptitler ortaya çıkar.

İnce Bağırsakta Yağların Sindirimi



En önemli besin lipidleri triaçilgliseroller, fosfolipitler (genellikle lesitin) ve kolesteroldür (kolesterolesterleri). Bunlar arasında triaçilgliserollerin oranı oldukça büyüktür.

Triaçilgliserollerin sindirimi **gastrik ve lingual lipaz** (optimum pH: 3-7) tarafından midede başlar, bu sindirim sonucunda triaçilgliseroller diaçilgliserollere, monoaçilgliserollere ve yağ asitlerine hidrolize edilirler.

Sadece yenidoğanlarda veya yaşamın ilk haftalarında besinlerle alınan yağların intragastrik lipolizi miktarsal bakımdan önemli seviyededir. Yaşlı veya yetişkin bireylerde ise yağların sindirimi ağırlıklı olarak ince bağırsaklarda gerçekleşir.

İnce Bağırsakta Yağların Sindirimi



Pankreatik kanalın duodenuma açıldığı bölgenin distalinde triaçilgliserollerin sindirimi **pankreatik lipaz** sayesinde devam eder, burada lipazın etkisiyle di- ve triaçilgliseroller β -monoaçilgliserollere (ortasında yağ asiti bulunan) ve yağ asitlerine hidrolize edilirler.

Bununla birlikte bu süreç ince bağırsaklarda bir **kolipazın** mevcudiyetine bağımlıdır, bu kolipaz pankreas salgısıyla pro-kolipaz olarak ince bağırsağa gelir ve orada tripsinin etkisiyle bir pentapeptitin (= enterostatin) ayrılması sonucu kolipaza aktiflenir.

Bunun dışında lipazın etkisi için bağırsak lumeninde **konjuge safra asitlerinin** mevcudiyetine de gerek vardır. Konjuge safra asitleri (tauro- ve glikolik asitler ile tauro- ve glikokenodeoksikolik asitler) deterjan etkisine sahiptir, ince bağırsak lumeninin sulu ortamında suda çözünmeyen triaçilgliserollerin emülsifikasyonuna neden olurlar.

İnce Bağırsakta Yağların Sindirimi



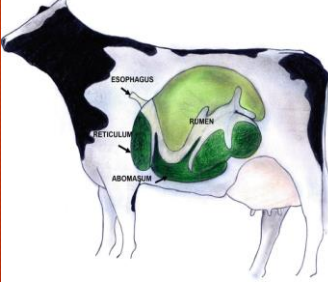
İnce bağırsak lumeninde ne kadar çok konjuge safra asiti bulunursa triaçilgliserol damlacıkları o kadar çok küçültülür, buna bağlı olarak yüzey alanı da o ölçüde büyütülmüş olur.

Safrayla birlikte ince bağırsağa boşaltılan **lesitin** (fosfatidilkolin) de keza bir deterjandır ve bu nedenle safra asitlerinin emülsifiye edici etkisini destekler.

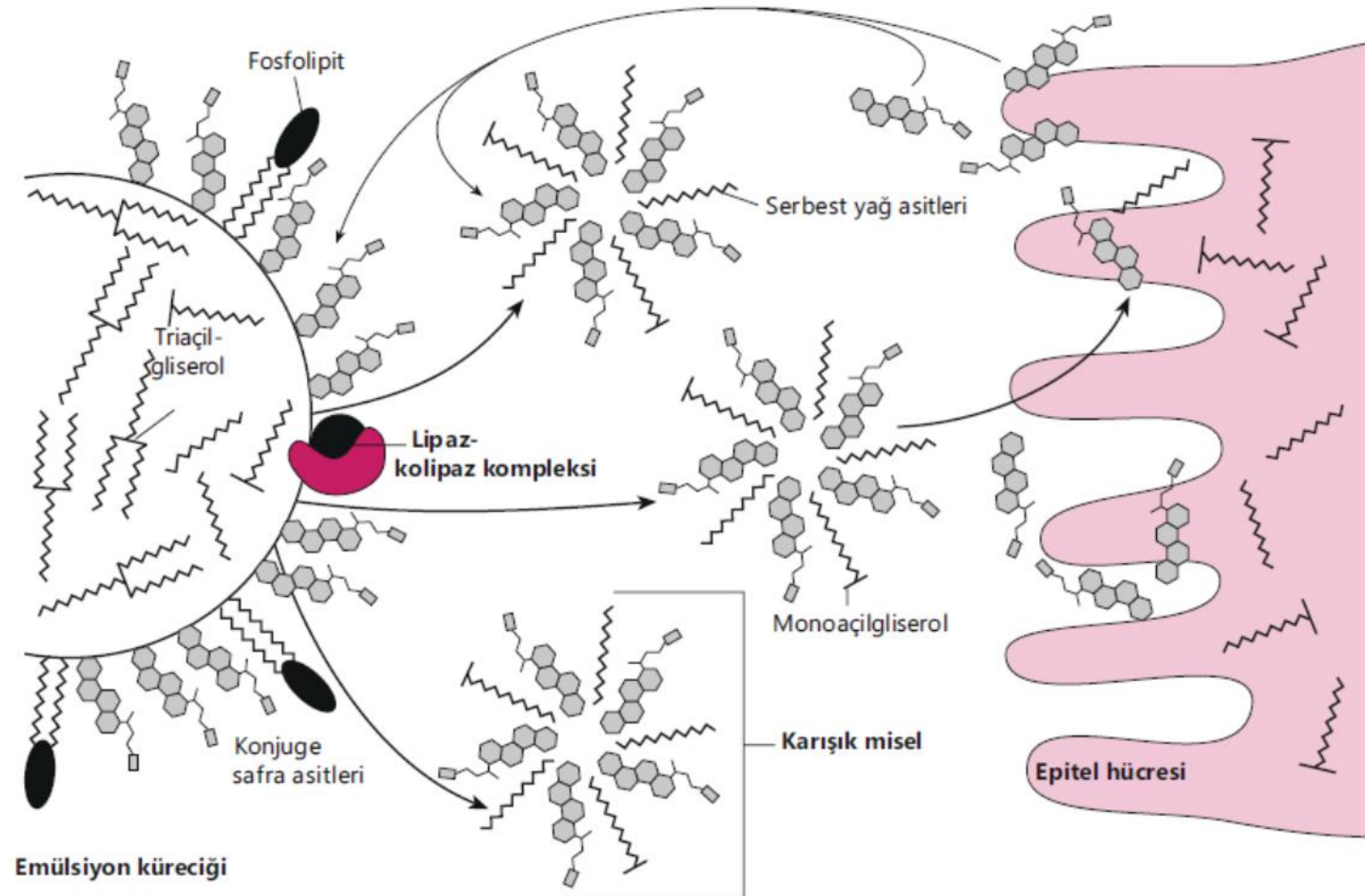
Emülsifiye edici etkiyle triaçilgliserol damlacıklarının **yüzey alanındaki genişleme** lipazın etkinliğini artırır, çünkü lipaz yağ damlacıklarının yüzeyine (yağ-su sınır yüzeyine) etki eder.

Kolipaz triaçilgliserol damlacıklarının yüzeyinde lipaz için bir yer tutucu görevi görür ve onun safra asitleri tarafından inaktivasyonunu önler. Triaçilgliserollerin lipaz tarafından hidrolize edilmesiyle ortaya çıkan monoaçilgliseroller ve yağ asitleri de deterjan özelliğine sahiptir, bunlar diğer triaçilgliserollerin emülsifiye edilmesine yardımcı olurlar.

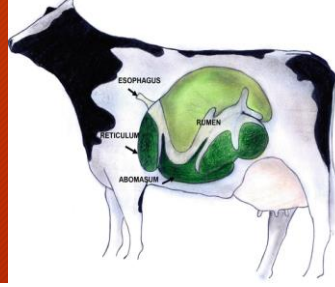
İnce Bağırsakta Yağların Sindirimi



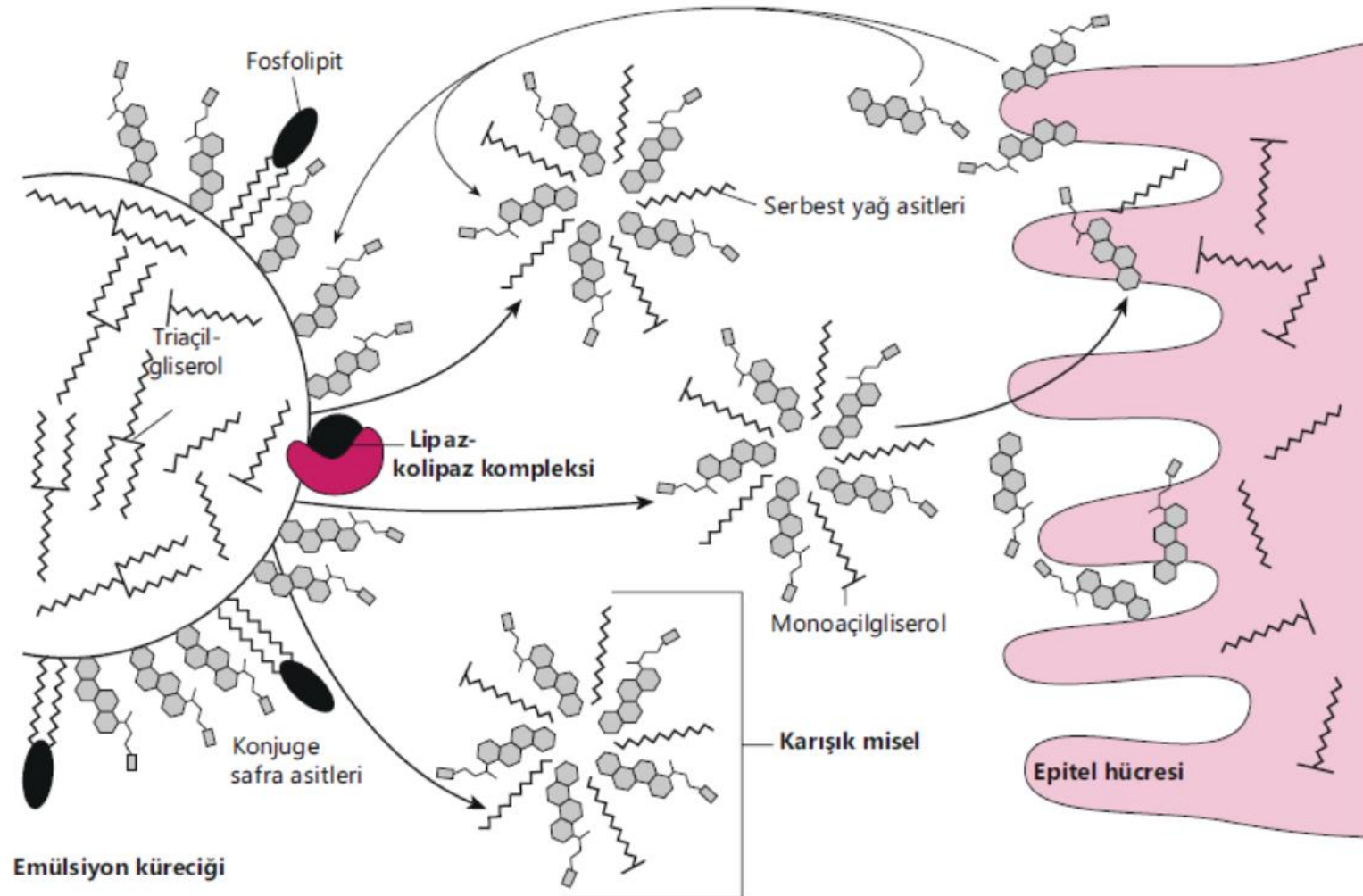
Bununla birlikte monoasilgliseroller ve yağ asitleri ince bağırsak lumeninin sulu ortamında çok iyi çözünmezler. Bu koşullar altında monoasilgliseroller ve yağ asitleri konjuge safra asitleri ile birlikte deterjanlar şeklinde karışık miseller oluştururlar.



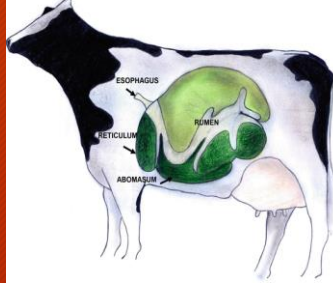
İnce Bağırsakta Yağların Sindirimi



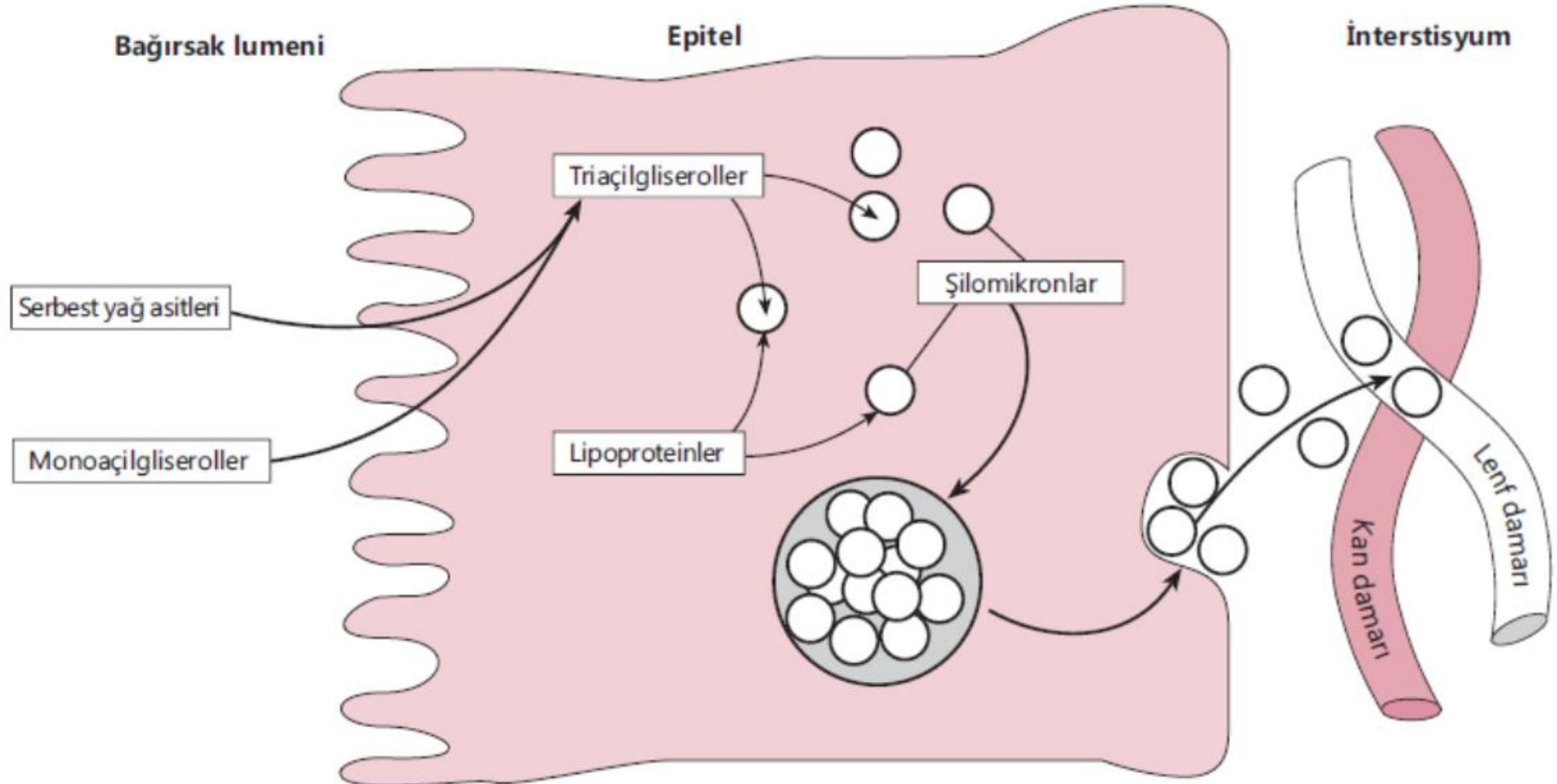
İnce bağırsaktaki karışık miseller yaklaşık 3-5 nm'lik bir çapa sahipken, emülsiyon tanecikleri 100-1000 nm'lik bir çapa sahiptir. Yani konjuge safra asitleri triaçilgliserollerin emülsifiye edilmesinde ve triaçilgliserol sindiriminin yıkım ürünlerinin çözülebilir hale getirilmesinde (misel oluşumu) önemlidir. Çözünebilir yağ asitlerinin ve monoaçilgliserollerin emilebilmesi için ön koşuldur.



İnce Bağırsakta Yağların Sindirimi



İnce bağırsak lumenindeki miseller solüsyonda bulunan yağ asitleri ve monoasilgliseroller ince bağırsakların proksimal yarısında fırçası kenar zarından villus epitel hücrelerine girerler. İnce bağırsak epitel hücrelerinin sitoplazmasında fırça kenar zarından alınan monoasilgliseroller ve yağ asitleri yeniden triasilgliserollere dönüştürülür. Triasilgliseroller bir fosfolipit tabakasıyla ve epitel hücresinde üretilen apolipoprotein molekülleriyle sarılırlar. Daha sonra endoplazmik retikulumlarda şilomikronlar oluşur (çap: 50-400 nm).



Teşekkürler

