

Fisiologia

4 O Sistema Digestório



Iniciando a conversa

O sistema que é assunto desta aula pode ser facilmente relacionado ao cotidiano dos estudantes, pois podemos utilizar vários fenômenos do dia-a-dia para abordá-lo. O que você comeu hoje? Por que sente fome? Essas são perguntas que podem gerar boas discussões. Esperamos fornecer alguns subsídios para que você possa ampliar seus conhecimentos e compartilhá-los com seus estudantes!



Princípios gerais

COMPONENTES DO SISTEMA DIGESTÓRIO

Todos os organismos vivos necessitam constantemente de energia para a manutenção e renovação de suas estruturas, bem como para o crescimento, desenvolvimento e reprodução. Isto significa que estes organismos têm uma necessidade primordial de captar energia do meio ambiente e, em seguida, incorporá-la ao meio interno. Nos seres humanos, bem como em muitos outros animais, estas funções são realizadas por estruturas e órgãos especializados, cujas funções convergem de modo a constituir uma unidade fundamental, o sistema digestório.

O sistema digestório humano possui um trato gastrointestinal (TGI) e glândulas anexas (glândulas salivares, pâncreas e fígado - veja as figuras das animações 1 e 2, abaixo) que lançam suas secreções na luz do TGI. O TGI consiste da cavidade oral, faringe, esôfago, intestino delgado, intestino grosso ou cólon e ânus. Estas regiões são separadas por esfíncteres (estruturas formadas por fibras musculares circulares concêntricas dispostas em forma de anel, que controlam o grau de amplitude de um determinado orifício - veja a figura da animação 3, abaixo). O sistema digestivo humano tem três esfíncteres importantes: o esfíncter esofágico, o esfíncter anal e o esfíncter pilórico, que faz comunicação entre o estômago e o duodeno. Estes esfíncteres auxiliam no controle do fluxo do bolo alimentar que trafega pelo TGI.

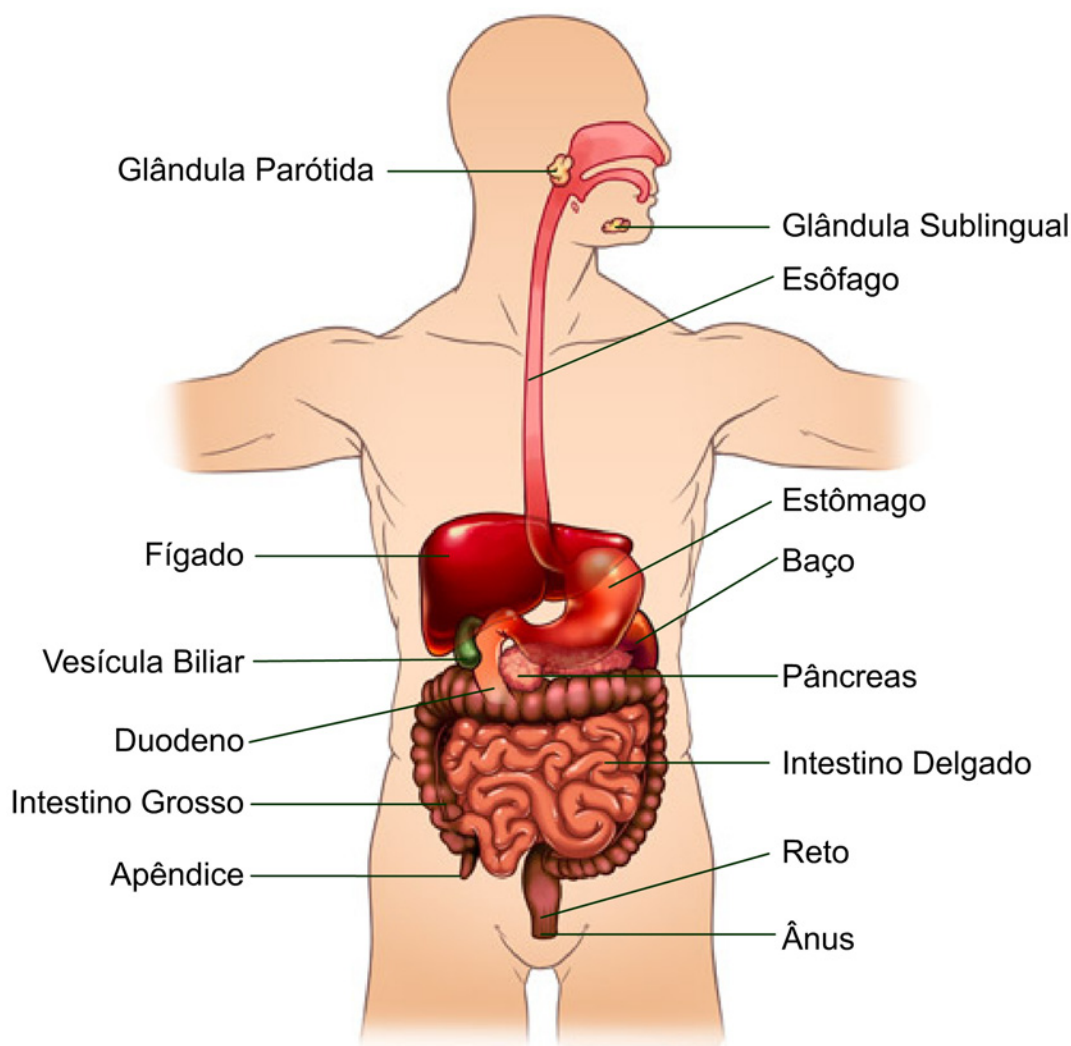


Figura 4.1: Diagrama geral do sistema digestório (Animação 1).

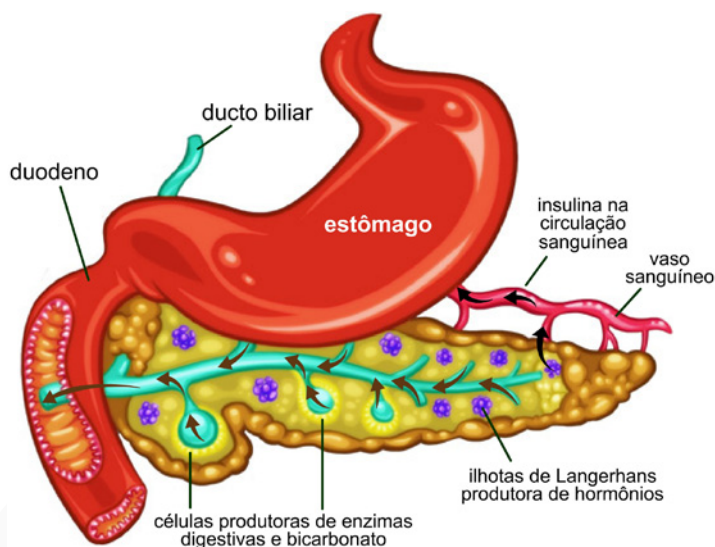


Figura 4.2: Caminhos dos hormônios através do pâncreas (Animação 2).

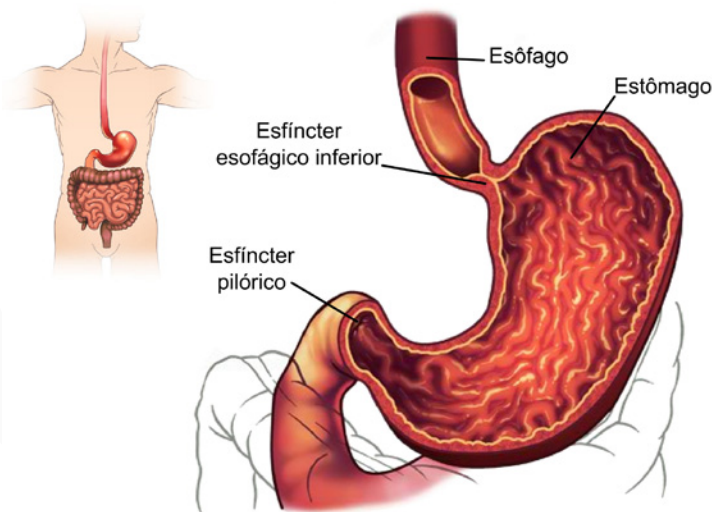


Figura 4.3: Esfíncteres pilórico e esofágico inferior (Animação 3).

O TGI é responsável pelo tratamento mecânico e digestão química do alimento, absorção de nutrientes e excreção do material não processado ou não absorvido.

Iniciando a digestão

MASTIGAÇÃO E PROPULSÃO DO ALIMENTO

O alimento sofre inicialmente um tratamento mecânico, a mastigação, por um conjunto de dentes adaptados para uma forte ação cortante (os incisivos) e trituradora (os molares - veja a figura correspondente à animação 4, abaixo). A mastigação é importante para

reduzir o tamanho das partículas do alimento, aumentando a área superficial para uma posterior ação enzimática e evitando possíveis escoriações do TGI. No caso de frutas e vegetais crus, a mastigação é extremamente importante para quebrar a parede de celulose das células vegetais, disponibilizando assim os nutrientes destes alimentos.

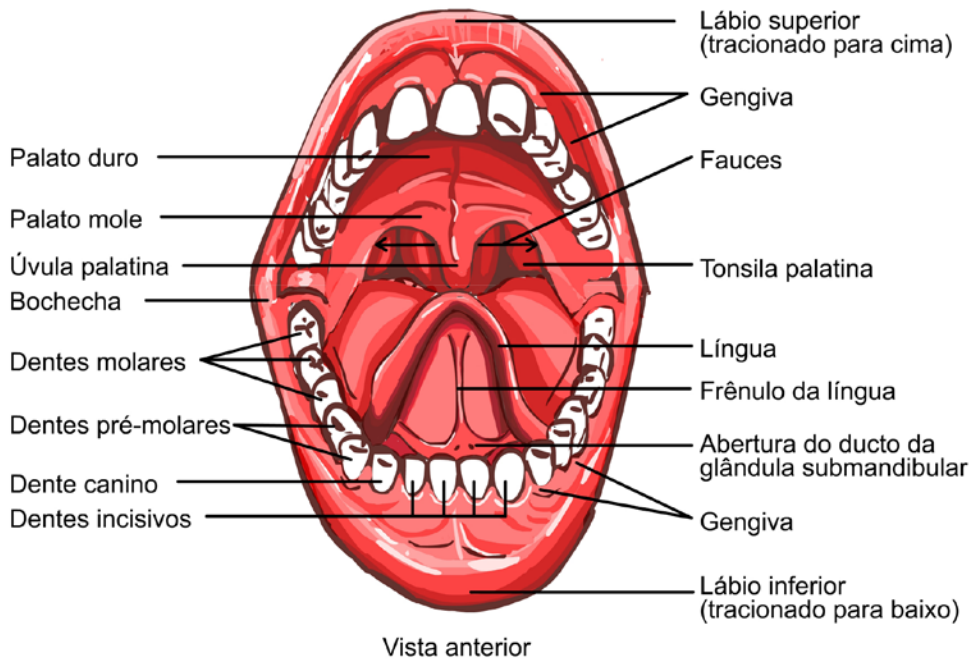


Figura 4.4: Componentes bucais (Animação 4).

Após a deglutição, o alimento é levado através da faringe e esôfago até o estômago. Este deslocamento depende dos movimentos peristálticos, resultante da contração alternada de camadas de musculatura longitudinal e circular que envolvem todo o TGI. O peristaltismo pode ser propulsivo como é o caso do esôfago, ou segmentado como no estômago. (Veja a figura 4.5 e a animação 5.)

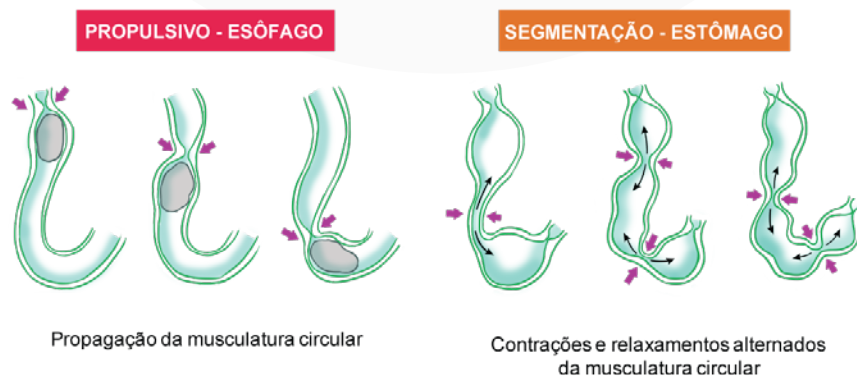


Figura 4.5: Peristaltismo.

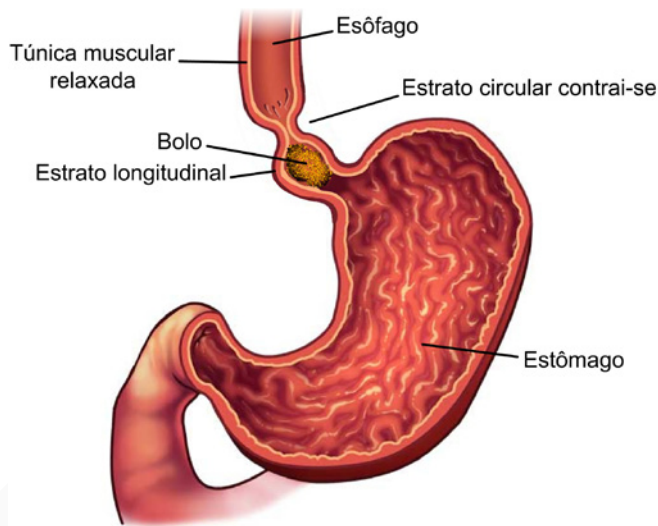


Figura 4.6: Movimentos peristálticos esofágicos (Animação 5).

O processo químico da digestão

DIGESTÃO QUÍMICA À ABSORÇÃO DOS NUTRIENTES

A digestão química ocorre através da ação de enzimas digestivas que hidrolisam as macromoléculas do alimento (como proteínas, amido e lipídeos), quebrando-as em moléculas menores (como aminoácidos, açúcares simples e ácidos graxos) passíveis de serem absorvidas através da membrana das células do TGI (veja a figura 4.7).

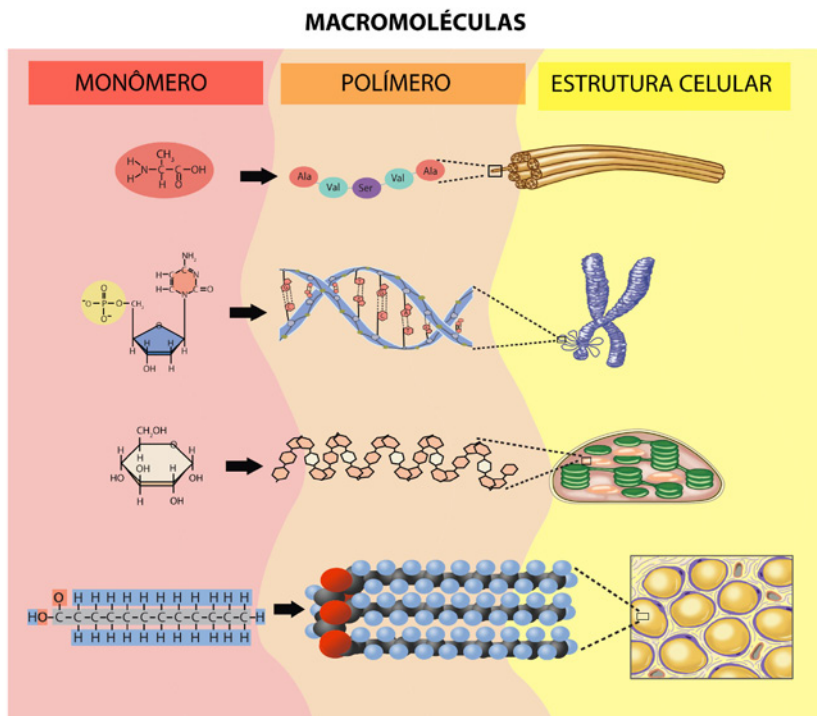


Figura 4.7: Digestão Química.

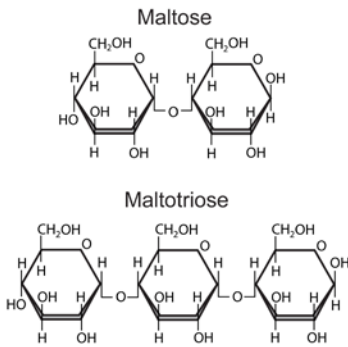


Figura 4.8: Maltose e Maltotriose

A digestão química do alimento se inicia na cavidade oral, onde a amilase secretada pelas glândulas salivares hidrolisa moléculas de amido em oligossacarídeos como maltose e maltotriose (veja a figura 4.8).

No estômago, existe uma importante proteinase, a pepsina. Esta enzima é produzida pelas células principais que revestem o estômago e hidrolisa proteínas que contenham os aminoácidos leucina ou fenilalanina ou triptofano ou tirosina. A pepsina é muito ativa em pH ácido, neste pH, a amilase salivar não é ativa (veja a figura 4.9).

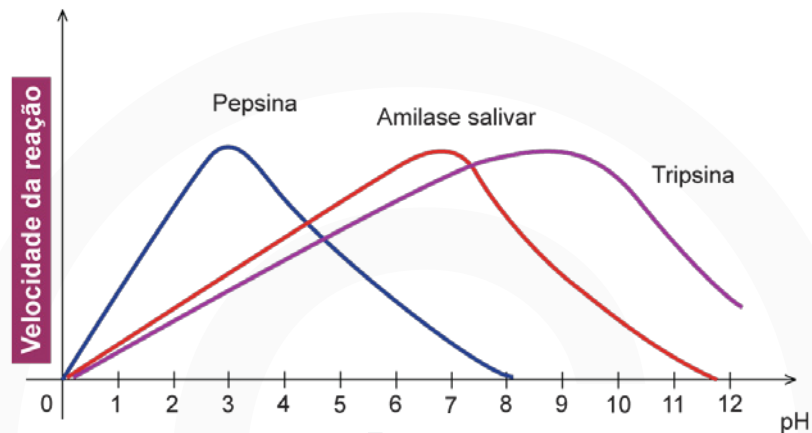


Figura 4.9: Ação de diferentes enzimas conforme o pH do ambiente.

Os movimentos peristálticos e o relaxamento do piloro carregam o bolo alimentar, através do duodeno, para o intestino delgado. A digestão química do alimento prossegue nesta região através da ação de várias enzimas que são secretadas pelo pâncreas e chegam ao duodeno pelo ducto pancreático. Assim, as lipases quebram moléculas de lipídeos em glicerol e ácidos graxos (animação 6), as proteinases (como tripsina, quimotripsina e carboxipeptidases) quebram proteínas em oligopeptídeos (animação 7) e a amilase pancreática quebra amido em oligossacarídeos (animação 8). A fase final da digestão química, a qual irá resultar em moléculas simples (monômeros), ocorre no intestino delgado, já próximo dos locais de absorção. Nesta região, a membrana plasmática das células epiteliais são diferenciadas, formando um bordo em escova, ou microvilosidades (animação 9). Nessa membrana, existem enzimas como maltase e outras dissacaridases que irão terminar a quebra dos oligossacarídeos, produzindo açúcares simples, como glicose e frutose. Da mesma forma, oligopeptidases, como aminopeptidases, também são enzimas encontradas nesta membrana e realizam a quebra de oligopeptídeos em aminoácidos. Os monômeros resultantes do processo de digestão química são absorvidos pela membrana do epitélio ao longo do intestino delgado.

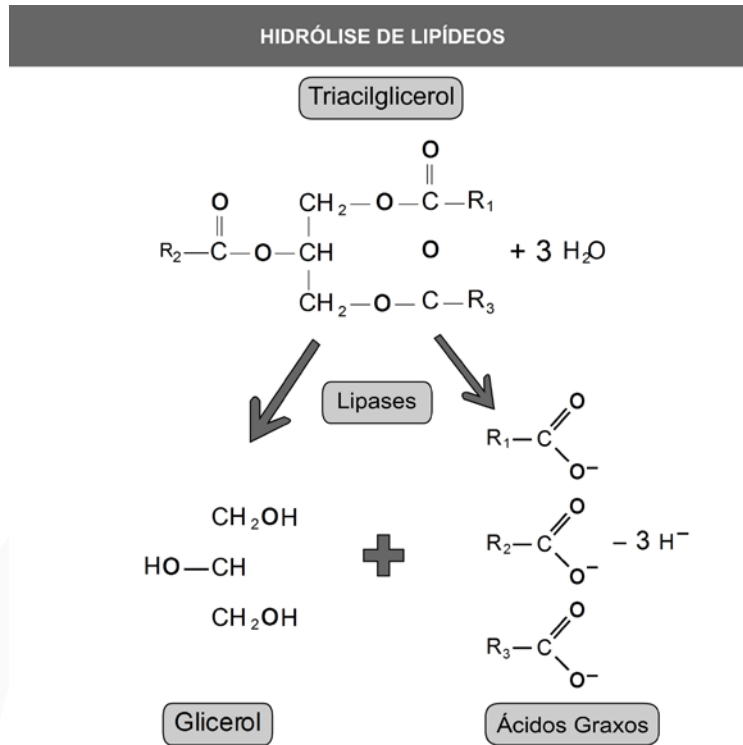


Figura 4.10: Hidrólise de lipídeos (Animação 6).

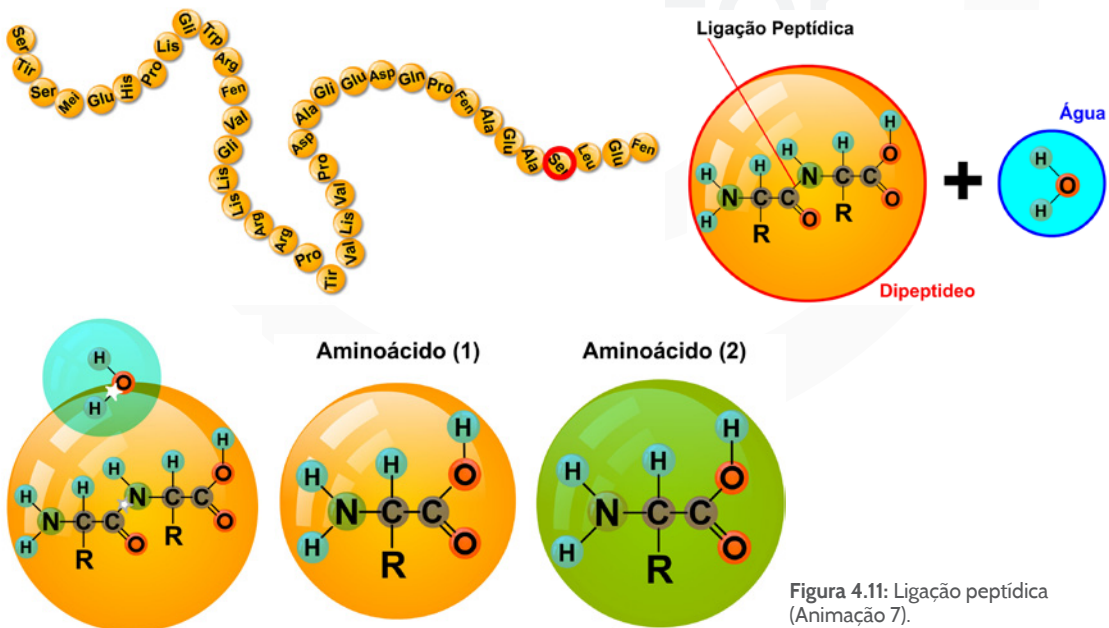


Figura 4.11: Ligação peptídica (Animação 7).

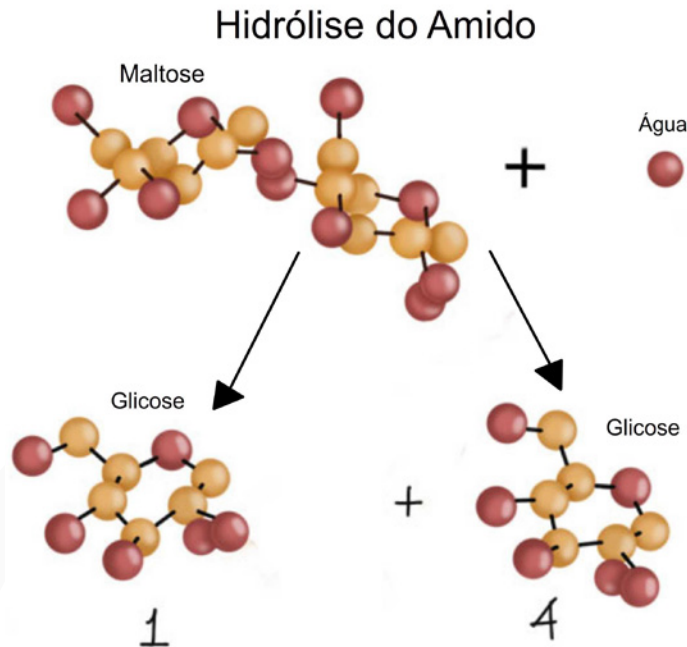
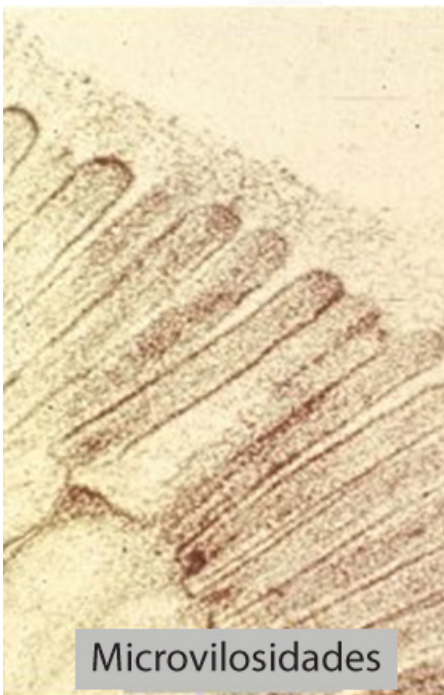


Figura 4.12: Hidrólise do amido (Animação 8).



Microvilosidades

Figura 4.13: Microvilosidades Intestinais (Animação 9).

Açúcares simples, como a glicose, são absorvidos através de uma proteína de membrana, que carrega a molécula de açúcar juntamente com um íon Na^+ para o interior da célula epitelial do intestino delgado. A concentração de glicose no interior da célula é maior do que a encontrada na luz intestinal, portanto a absorção ocorre contra o gradiente de concentração. O íon Na^+ , por outro lado, é transportado para dentro da célula a favor do gradiente de concentração. A concentração de íons Na^+ é mantida baixa no interior das células devido a ação de uma enzima chamada Na^+/K^+ ATPase que bombeia constantemente íons Na^+ para fora da célula, num processo que envolve gasto energético (ATP). Por fim, as moléculas de glicose atravessam a membrana basolateral das células epiteliais via proteínas carregadoras, num processo chamado de difusão facilitada, alcançando assim a circulação sanguínea.

Os aminoácidos, assim como a glicose, também têm que ser absorvidos pelas células epiteliais do intestino delgado contra um gradiente de concentração. O mecanismo é semelhante ao descrito acima para glicose, mas as proteínas transportadoras envolvidas no processo são bem diferentes. A digestão de proteínas resulta em diferentes aminoácidos e, destes, cerca de 20 são passíveis de serem absorvidos (veja a tabela a seguir). Como os aminoácidos apresentam grupos químicos diversos ligados

ao átomo de carbono central de sua estrutura, as proteínas transportadoras também são diversas. Existem pelo menos sete tipos dessas proteínas, com especificidades diferentes. Assim como a glicose, os aminoácidos atravessam proteínas transportadoras da membrana basolateral das células epiteliais e caem na corrente sanguínea.

Aminoácidos	
Essenciais	Não-essenciais
Fenilalanina	Ácido aspártico
Histidina	Ácido glutâmico
Isoleucina	Alanina
Leucina	Arginina
Lisina	Asparagina
Metionina	Cisteína
Treonina	Glicina
Triptofano	Glutamina
Valina	Prolina
---	Serina
---	Tirosina

Os ácidos graxos, glicerol, colesterol e outros produtos da quebra dos lipídeos têm, em comum, uma forte característica **hidrofóbica**. Assim, eles podem atravessar a membrana das células epiteliais do intestino delgado por **difusão simples**. Uma vez no interior das células, o ácido graxo e glicerol alcançam o retículo endoplasmático liso, onde são convertidos em triacilglicerol. Estas moléculas formam micelas mistas com outros lipídeos, como colesterol, as quais são secretadas por exocitose para o espaço intersticial e se incorporam aos vasos linfáticos (veja a animação 10/figura 4.14).

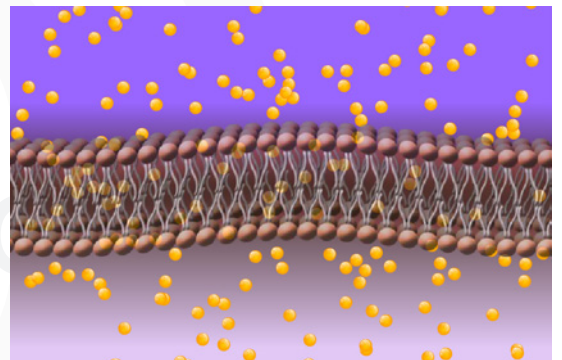


Figura 4.14: Transporte passivo (Animação 10).

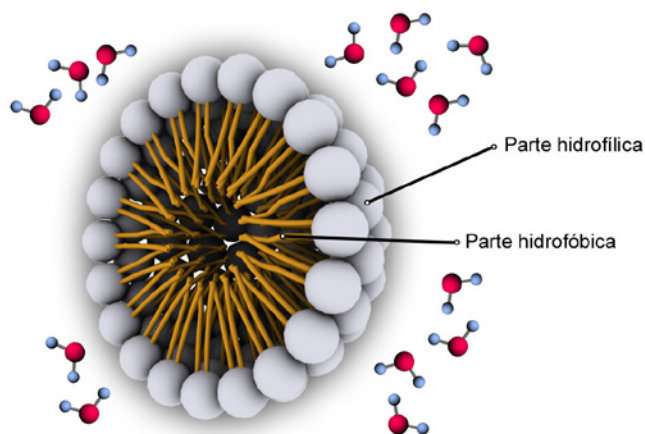


Figura 4.15: Micela.

A Micela é uma estrutura globular formada pela junção de moléculas capazes de alterar as propriedades superficiais e interfaciais de um líquido (chamadas moléculas surfactantes), estas moléculas possuem características polares e apolares simultaneamente.

Definindo...

Compostos hidrofóbicos: são substâncias que não se dissolvem facilmente em água e geralmente são apolares.

Difusão simples: é um tipo de transporte de soluto através da membrana celular no qual não há gasto de energia, pois o movimento é a favor de um gradiente de concentração (mais concentrado para menos concentrado), por isso é conhecido como transporte passivo. Sua função é estabelecer um equilíbrio, até que soluto e solvente tenham a mesma concentração.

Secreções do TGI

SUBSTÂNCIAS ENVOLVIDAS NO PROCESSO DIGESTIVO

Diferentes secreções são produzidas e lançadas ao longo do TGI. Tais secreções conferem que a luz intestinal seja um local propício para uma digestão eficiente e fornecem muco para a lubrificação e proteção de todas as partes do TGI.

A maioria das secreções digestivas ocorre em resposta à presença do alimento no TGI, e a quantidade de secreção produzida é muito próxima à quantidade necessária para uma digestão adequada.

O muco é uma secreção espessa, produzida ao longo de todo o TGI, composta de água, eletrólitos e uma mistura de diversos mucopolissacarídeos. O muco tem qualidades aderentes que reveste os alimentos com uma fina camada. Isso impede o contato direto do alimento com a mucosa. Além disso, o muco desliza facilmente, facilitando assim o movimento do bolo alimentar e auxiliando no processo de evacuação. As demais secreções do TGI estão em fina sintonia com as necessidades locais de enzimas digestivas e de ajuste do pH da luz intestinal (tamponamento).

As glândulas salivares produzem uma potente enzima, a amilase, que inicia a digestão de amido, além de muco e algumas substâncias bactericidas. O pH da saliva varia entre 6,0 e 7,4, o que coincide com o pH ótimo de funcionamento da amilase. O estômago produz pepsinogênio, uma importante proteinase que funciona em pH ácido. As células parietais do estômago também secretam íons H^+ , acidificando o meio e transformando o pepsinogênio na sua forma ativa, a pepsina.

O pâncreas produz uma secreção complexa, contendo enzimas digestivas, como amilase, tripsina, quimotripsina e lipase. Estas enzimas passam pelo duto pancreático e são ativas no intestino delgado, em pH levemente alcalino. O ajuste do pH nesta região é feito através de secreção de bicarbonato pelo próprio pâncreas e pelo fígado. Dessa forma, o conteúdo ácido proveniente do estômago passa a apresentar um pH mais alto.

A vesícula biliar armazena e secreta sais biliares produzidos pelo fígado, que são fatores emulsificantes fundamentais para a ação das enzimas lipolíticas sobre os lipídeos e a subsequente absorção dos produtos.

A tabela abaixo mostra todos os substratos, os sucos digestivos, as enzimas presentes nesses sucos que hidrolisam cada substrato, o pH ótimo para a atuação de cada enzima e o produto de cada hidrólise.

Suco digestivo	Enzima	pH ótimo	Substrato	Produtos
Saliva	Ptialina	neutro	polissacarídeos	maltose
Suco gástrico	Pepsina	ácido	proteínas	oligopeptídeos
Suco pancreático	Quimiotripsina Tripsina Amilopepsina RNAase DNAase Lipase	alcalino alcalino alcalino alcalino alcalino alcalino	proteínas proteínas polissacarídeos RNA DNA lipídeos	peptídeos peptídeos maltose ribonucleotídeos desoxirribonucleotídeos glicerol e ácidos graxos
Suco intestinal ou entérico	Carboxipeptidase Aminopeptidase Dipeptidase Maltase Sacarase Lactase	alcalino alcalino alcalino alcalino alcalino alcalino	oligopeptídeos oligopeptídeos dipeptídeos maltose sacarose lactose	aminoácidos aminoácidos aminoácidos glicose glicose e frutose glicose e galactose

A função endócrina do TGI

HORMÔNIOS ENVOLVIDOS NO PROCESSO DIGESTIVO

O TGI produz e secreta diversos hormônios que atuam no próprio TGI, ordenando e controlando as atividades digestivas, ou que se comunicam com outros órgãos.

As células G do estômago secretam o hormônio gastrina em resposta à presença de alimento ou de estimulação neural. Este hormônio cai na circulação sanguínea e estimula as células parietais do próprio estômago a secretar a enzima pepsina e ácido. Além disso, células-alvo presentes em regiões mais distais aumentam a motilidade do TGI (veja a animação 11).

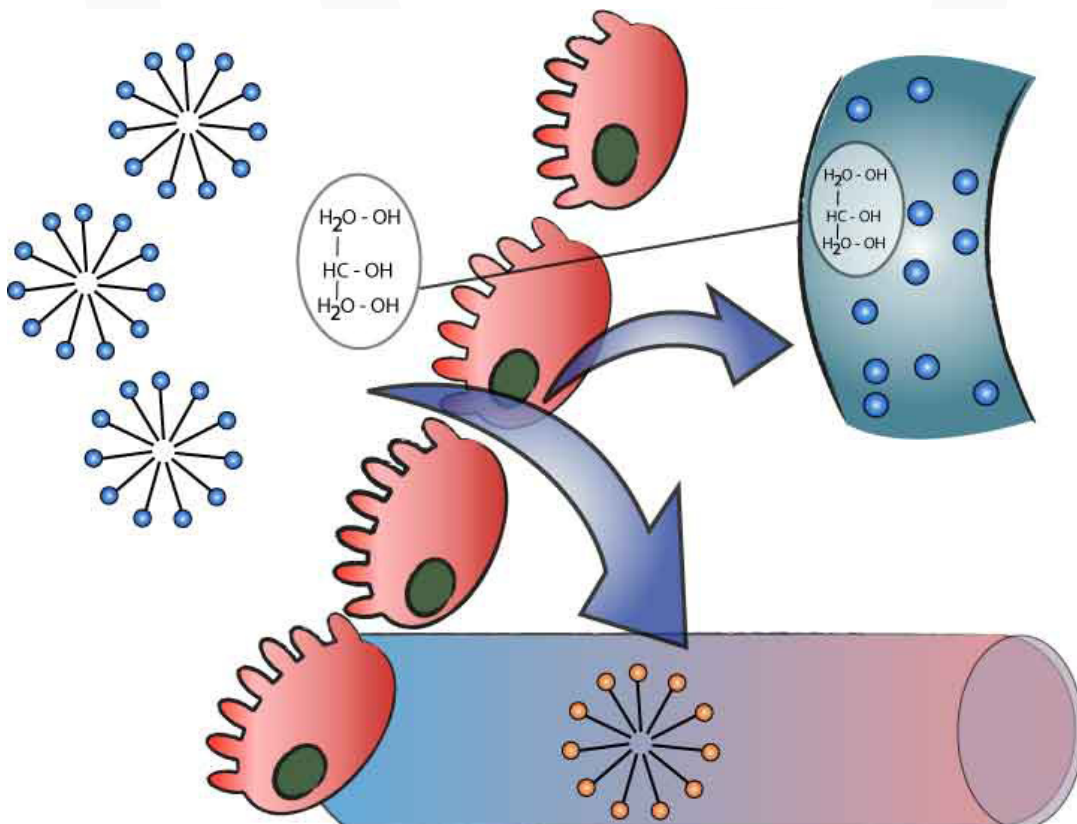


Figura 4.16: Motilidade do TGI (Animação 11).

Quando o bolo alimentar chega ao duodeno, a presença de nutrientes e de ácido estimulam a secreção de pelo menos três hormônios intestinais para a corrente sanguínea. Dois destes hormônios, secretina e colecistocinina, atuam de maneira paralela, inibindo a atividade gástrica e ativando a secreção de enzimas e bicarbonato pelo pâncreas, e de bicarbonato e sais biliares pelo fígado. Estas secreções irão conferir as condições ideais para o prosseguimento do processo digestivo no intestino delgado. Além disso, a colecistocinina atua no hipotálamo, sinalizando saciedade. O terceiro hormônio é o peptídeo inibidor gástrico (GIP) ou peptídeo insulínico dependente de glicose. Este hormônio tem como alvo as células beta do pâncreas e as estimulam a secretar insulina. A ação deste hormônio é interessante, pois permite ao organismo se preparar para o surgimento de glicose decorrente da digestão do alimento, uma vez que a insulina tem importante papel na manutenção dos níveis glicêmicos no plasma sanguíneo.

Mais recentemente, foram descritos mais dois importantes hormônios relacionados às atividades digestivas: grelina e leptina.

A grelina, também conhecida como o hormônio da fome, é produzida por células endócrinas localizadas no estômago. Este hormônio é secretado durante o dia, especialmente antes das refeições, e sua produção é suprimida durante a noite, possivelmente pela ação da melatonina (estudaremos este hormônio mais a fundo na última semana). A grelina atua no sistema nervoso central, onde é um importante orexígeno (estimulador da fome), além de estimular a secreção de hormônio de crescimento. Foi demonstrado que a placenta também é uma fonte importante deste hormônio.

A leptina é conhecida como o hormônio da saciedade. Ela é produzida por adipócitos (células que armazenam gordura) e secretadas para a corrente sanguínea. As células-alvo da leptina se encontram em diferentes regiões do organismo, entre os quais o sistema nervoso central, onde ela atua como um anorexígeno (estimulador da saciedade) e sistema reprodutor. Assim, quanto maior a quantidade de adipócitos, maior a produção de leptina. No entanto, indivíduos obesos podem se tornar menos sensíveis à ação da leptina devido à exposição a altas concentrações do hormônio por períodos prolongados.

Desta forma o TGI é capaz de sinalizar os estágios da digestão e da qualidade do alimento ingerido para outras regiões do próprio TGI, bem como do estado nutricional para outros órgãos dentro do próprio organismo. Acompanhe a tabela a seguir:

Hormônio	Localização	Efeitos primários
Gastrina	Antro, duodeno x (células G)	<ul style="list-style-type: none"> Estimula o ácido gástrico e a secreção do pepsinogênio. Estimula o crescimento da mucosa gástrica
Colecistoquinina	Duodeno, jejuno (células I)	<ul style="list-style-type: none"> Estimula a secreção da enzima pancreática. Estimula a contração da vesícula biliar. Relaxa o esfíncter de Oddi. Inibe o esvaziamento gástrico.
Secretina	Duodeno, jejuno (células S)	<ul style="list-style-type: none"> Estimula a liberação de água e de bicarbonato a partir das células ductais pancreáticas. Estimula o fluxo e a alcalinidade da bile. Inibe a secreção do ácido gástrico e a motilidade e inibe a liberação da gastrina
Somatostatina	Ilhotas pancreáticas (células D), antro, duodeno	<ul style="list-style-type: none"> Botão universal de “desligar”. Inibe a liberação dos hormônios gastrointestinais. Inibe a liberação do ácido gástrico. Inibe a secreção de água e dos eletrólitos pelo intestino delgado. Inibe a secreção dos hormônios pancreáticos

Hormônio	Localização	Efeitos primários
Peptídeo liberador de gastrina (equivalente mamífero da bombesina)	Intestino delgado	<ul style="list-style-type: none"> • Botão universal de “ligado”. • Estimula a liberação de todos os hormônios gastrintestinais (exceto a secretina). • Estimula a secreção gastrintestinal e a motilidade. • Estimula a secreção do ácido gástrico e a liberação da gastrina antral. • Estimula o crescimento da mucosa intestinal do pâncreas
Polipeptídeo inibidor gástrico	Duodeno, jejuno (células K)	<ul style="list-style-type: none"> • Inibe o ácido gástrico e a secreção de pepsina. • Estimula a liberação pancreática de insulina em resposta à hiperglicemia
Motilina	Duodeno, jejuno	<ul style="list-style-type: none"> • Estimula a motilidade do trato gastrintestinal superior. • Pode iniciar o complexo motor migratório
Peptídeo intestinal vasoativo	Neurônios ao longo do trato gastrintestinal	<ul style="list-style-type: none"> • Primariamente funciona como um neuropeptídeo. Potente vasodilatador. • Estimula a secreção pancreática e intestinal. • Inibe a secreção do ácido gástrico
Neurotensina	Intestino delgado (células N)	<ul style="list-style-type: none"> • Estimula o crescimento da mucosa do intestino delgado e do grosso
Enteroglucagon	Intestino delgado (células L)	<ul style="list-style-type: none"> • Peptídeo-1 semelhante ao glucagon. • Estimula a liberação de insulina. • Inibe a liberação do glucagon pancreático. • Peptídeo-2 semelhante ao glucagon. • Potente fator enterotrófico.
Peptídeo YY	Intestino delgado distal, cólon	<ul style="list-style-type: none"> • Inibe a secreção gástrica e pancreática. • Inibe a contração da vesícula biliar
Grelina	Células endócrinas do estômago	<ul style="list-style-type: none"> • Atua no sistema nervoso central agindo como estimulador da fome
Leptina	Produzida por adipócitos e liberada na circulação	<ul style="list-style-type: none"> • Atua no sistema nervoso central como estimulador da saciedade (inibindo a fome)



Atividades

Acesse o ambiente virtual e realize as atividades propostas. Esta semana teremos:

Texto Online

Fórum

Bom trabalho!