

Aula 7

SISTEMA DIGESTÓRIO

Flavia Teixeira-Silva
Leonardo Rigoldi Bonjardim

META

Discutir as funções do sistema digestório integrando-as com cada estrutura que o compõe.

OBJETIVOS

Ao final desta aula, o aluno deverá:

ser capaz de descrever todas estruturas do sistema digestório;

conhecer as funções do sistema digestório;

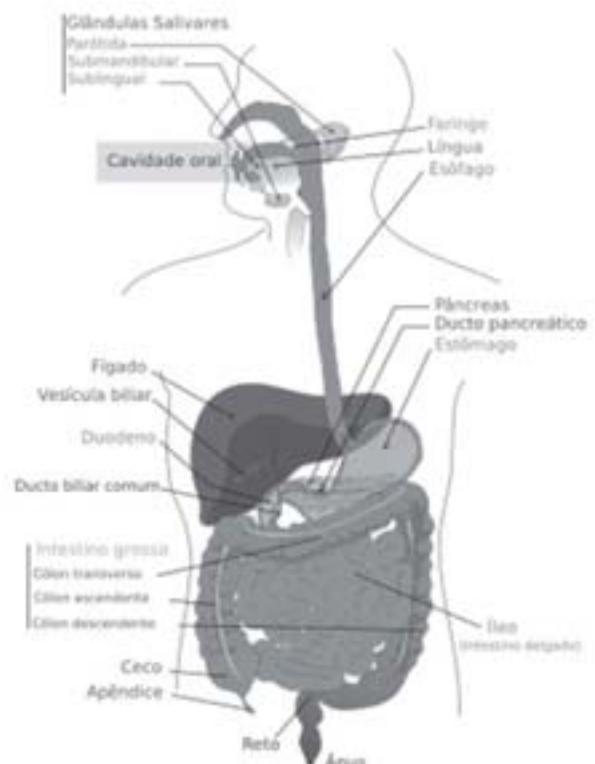
compreender os mecanismos regulatórios da motilidade, secreção, digestão e absorção gastrointestinal;

entender o processo de digestão e absorção dos nutrientes;

conhecer como se dá o processo de defecação.

PRÉ-REQUISITO

Conhecimentos de Anatomia, Bioquímica e Neurofisiologia.



(Fonte: <http://www.educasaoroque.pro.br>).

INTRODUÇÃO

Caro (a) aluno (a) na aula de hoje discutiremos a fisiologia do sistema digestório. Este sistema é responsável por captar, processar e absorver nutrientes, água e eletrólitos necessários à sobrevivência das nossas células, órgãos e tecidos. Portanto, elucidaremos como se dá o funcionamento desse importante sistema, discutindo como acontece todo o processo de digestão e absorção dos alimentos, desde sua chegada na boca acompanhando todo o seu trajeto por diversos segmentos que formam o trato gastrointestinal. Perceberemos que nesse trajeto o alimento vai sofrendo ação de secreções que contêm várias substâncias, entre elas, enzimas digestivas que vão reduzir o alimento ingerido, normalmente moléculas grandes e não absorvíveis, à moléculas menores capazes de serem absorvidas especialmente no intestino delgado. Além disso, também discutiremos como são absorvidos água e os principais eletrólitos, fundamentais para manutenção do equilíbrio hidroeletrolítico do nosso corpo. Por fim, também veremos que tudo o que não foi absorvido é transformado em material fecal e eliminado pelas fezes através da defecação.

VISÃO GERAL DO SISTEMA DIGESTÓRIO

Funções do Sistema Digestório:

O sistema digestório possui funções de digerir os alimentos até moléculas que sejam absorvíveis, além de promover a absorção de água e eletrólitos e excreção de resíduos, fornecendo, de maneira adequada, água, eletrólitos e nutrientes para que o organismo possa manter suas funções metabólicas.

Estrutura do Sistema Digestório (Figura 1)

O sistema digestório humano começa com a cavidade oral e, a partir daí é formado por um longo tubo musculoso com aproximadamente 9 metros, que é subdividido em esôfago, estômago, intestino delgado (duodeno, jejuno e íleo), intestino grosso (cólon ascendente, cólon transverso, cólon descendente e cólon sigmóide), reto e ânus. Esse conjunto de estruturas tem suas ações otimizadas por ações de órgão e glândulas anexas como as glândulas salivares, fígado, vesícula biliar e pâncreas que participam direta ou indiretamente da digestão e absorção dos nutrientes.

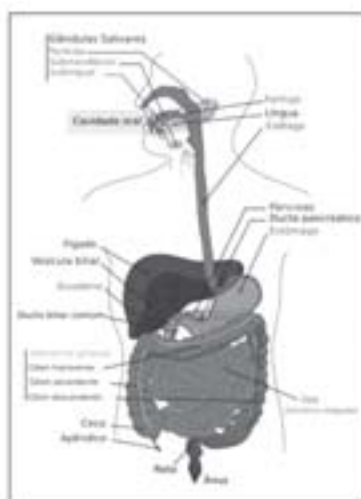


Figura 1. Estrutura do Sistema Digestório.
 Ficheiro Digestive_system_diagram_01.jpg (Ficheiro SVG de 844 x 892 pixels, tamanho: 312 KB, extraído de
 http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Digestive_system_diagram_01.jpg

A parede do tubo digestório, do esôfago ao intestino grosso, é formada por quatro camadas (figura 2).

1. Mucosa: camada mais interna voltada para a luz do trato gastrintestinal (TGI), consistindo, especialmente de (1) células epiteliais especializadas para absorção e secreção além de uma camada de lâmina própria e muscular da mucosa.
2. Submucosa: fica abaixo da camada mucosa e é constituída de colágeno, elastina e vasos sanguíneos e linfáticos. Também contém o (2) plexo submucoso.
3. Muscular: é formada por duas camadas de músculo liso, o (3) músculo circular (sua contração diminui o diâmetro do TGI) e o (5) longitudinal

(sua contração encurta o TGI), e tem como função produzir a motilidade do TGI. Entre essas duas camadas de músculo liso situa-se o (4) plexo mioentérico.

4. Serosa ou adventícia: camada mais externa. Continuação da membrana peritoneal, delimitando a cavidade abdominal.

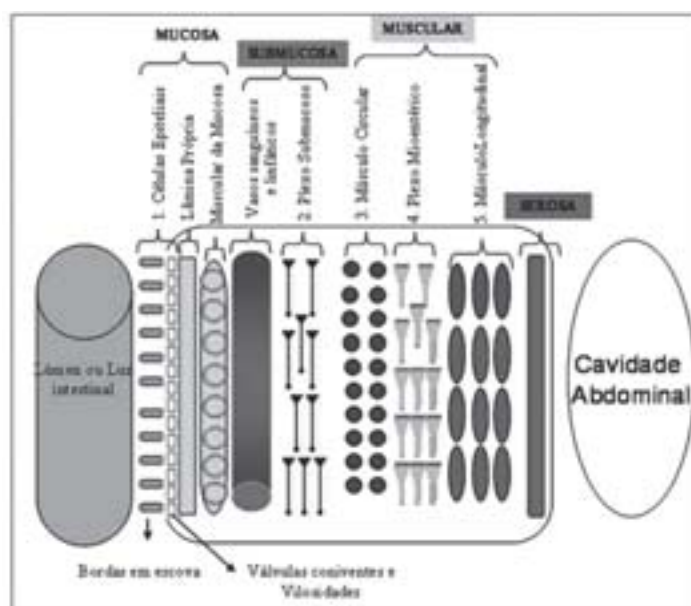


Figura 2. Parede do Trato Intestinal, do Lúmen Intestinal em direção à Cavidade Abdominal

REGULAÇÃO DAS FUNÇÕES DO SISTEMA DIGESTÓRIO

As funções do TGI são reguladas pelo sistema nervoso entérico (SNE) e autônomo (SNA), bem como, por peptídeos hormonais.

O SNE está contido, em sua totalidade, no TGI. Estende-se do esôfago até o ânus, possui aproximadamente 100 milhões de neurônios e controla movimentos e secreções do TGI. Pode trabalhar isoladamente ou sofrer influência do SNA. É constituído de dois plexos (figura 2):

- Plexo submucoso (Meissner): controla as secreções do TGI e o fluxo sanguíneo local;
- Plexo Mioentérico (Auerbach): controla a motilidade do TGI.

Conforme dissemos anteriormente, embora o SNE possa trabalhar de maneira independente, ele também interage com o sistema nervoso central (SNC). Dessa forma, impulsos nervosos originados no TGI, via neurônios sensitivos ou aferentes, podem ser enviados ao SNC que integram as informações transmitindo sinais eferentes autonômicos de volta

para milhões de neurônios que constituem o SNE. Aqui faz-se importante ressaltar que tais sinais podem exercer ações inibitórias ou excitatórias sobre as funções do TGI.

A inervação autonômica (figura 3) do SNE é dada pelas divisões simpática e parassimpática.

INERVAÇÃO SIMPÁTICA

As fibras pré-ganglionares simpáticas têm origem entre os segmentos, torácico (T5) e Lombar (L2), da medula espinhal e fazem sinapse em gânglios localizados fora do TGI. A partir daí, fibras pós-ganglionares simpáticas fazem sinapse no plexo mioentérico e submucoso e, daí as informações são retransmitidas para o músculo liso e para as células endócrinas e secretoras.

A ação do sistema nervoso simpático sobre o sistema digestório tem como função a diminuição da atividade global do TGI.

INERVAÇÃO PARASSIMPÁTICA

A inervação parassimpática do TGI é dada pelo décimo par de nervo craniano (nervo vago) e pelo nervo pélvico, cuja origem é no segmento sacral da medula espinhal. O nervo vago inerva a parte superior do TGI (esôfago, estômago, intestino delgado, cólon ascendente) e o nervo pélvico as regiões mais inferiores do TGI (colóns transverso e descendente, reto). Diferentemente das fibras pré-ganglionares simpáticas, as parassimpáticas fazem sinapse em gânglios que ficam localizados nos plexos mioentérico e submucoso. Nesses dois plexos as informações nervosas são coordenadas e retransmitidas para o músculo liso e para as células endócrinas e secretoras.

A ação do sistema nervoso parassimpático sobre o sistema digestório tem como função o aumento da atividade global do TGI.

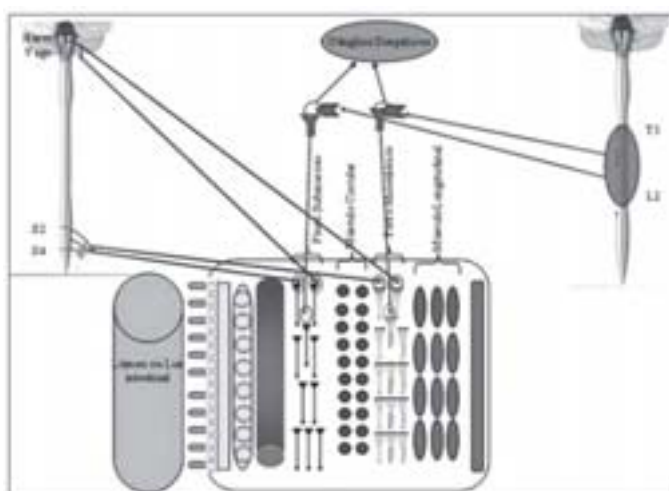


Figura 3 Inervação autonômica do Sistema Digestório (Simpática e Parassimpática)

Além do controle nervoso das funções do TGI, peptídeos gastrintestinais (hormônios) também exercem efeitos sobre a motilidade (contração e relaxamento) e secreções do TGI. Vários são os hormônios importantes no controle das funções do TGI. No entanto, no quadro abaixo seguem apenas os mais importantes:

Hormônio	Local de produção	Estímulo para a secreção	Órgão-alvo	Função
Gastrina	Estômago	Aminoácidos, peptídeos, estimulação vagal	Estômago	Estimula a produção de suco gástrico (H^+), crescimento da mucosa gástrica
Secretina	Intestino Delgado	H^+ e ácidos graxos no duodeno	Pâncreas	Estimula a liberação de bicarbonato pelo pâncreas e bile / ? a secreção gástrica de H^+
Colecistocinina	Intestino delgado	Aminoácidos, peptídeos, ácidos graxos	Pâncreas e vesícula biliar	Estimula a liberação de bile pela vesícula e a liberação de enzimas pelo pâncreas.
Enterogastrona	Intestino delgado	Quimo no duodeno	Estômago	Inibe o peristaltismo estomacal
Peptídeo inibitório gástrico (PIG)	Intestino delgado	Glicose, aminoácidos e ácidos graxos.	Pâncreas e estômago	Estimula a secreção de insulina pelas ilhotas pancreáticas (mais importante); e inibição da secreção gástrica de H^+ .

Depois dessa breve revisão estrutural e funcional do sistema digestório, vamos discutir um pouco agora alguns aspectos relacionados às quatro atividades principais do sistema digestório: Motilidade, Secreção, Digestão e Absorção.

A função dos esfíncteres gastrintestinais é evitar o retorno do bolo alimentar, por exemplo, do estômago para o esôfago.

Motilidade: refere-se à contração e relaxamento das paredes e esfíncteres gastrintestinais e tem como funções (a) propelir o alimento, ingerido na boca, em direção ao reto, numa velocidade que é controlada para otimizar a digestão e absorção (movimento propulsivo) e (b) misturar o alimento com as secreções gastrintestinais, maximizando a exposição dos alimentos às enzimas digestivas.

A motilidade (figura 4) é determinada pelas propriedades da musculatura lisa do TGI e modificada por estímulos químicos a partir dos nervos e hormônios. Dá-se pela contração dos músculos “circular” que se estende ao redor do tubo gastrintestinal e promovem a diminuição do seu diâmetro e “longitudinal” que se estende longitudinalmente pelo TGI e promovem o seu encurtamento.

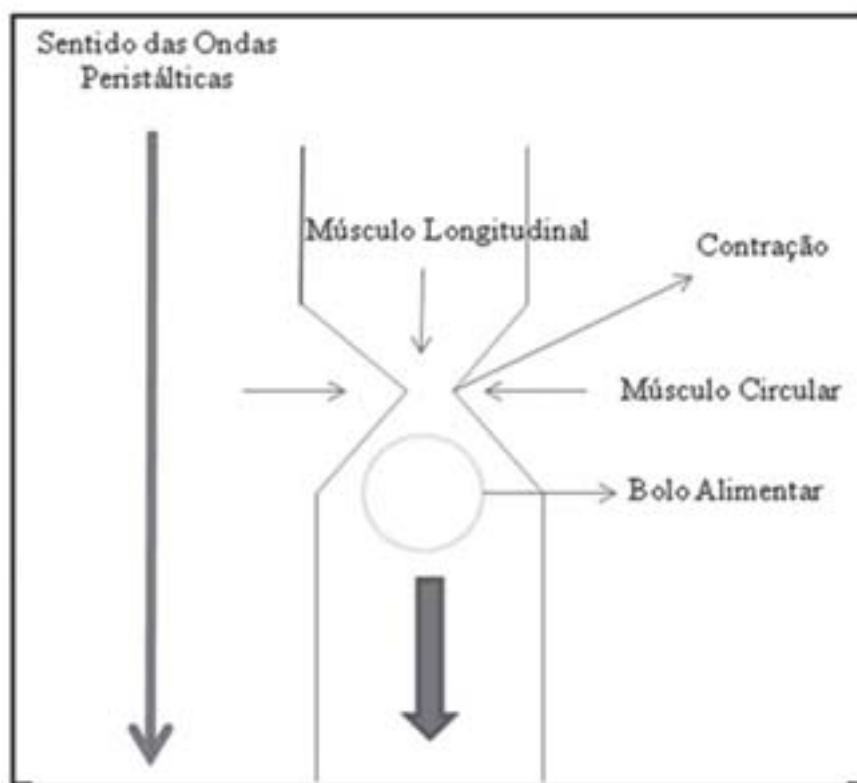


Figura 4. Motilidade Gastrintestinal

A maior parte do TGI é composta somente por musculatura lisa (exceção feita ao terço superior do esôfago que é músculo esquelético). Os ciclos de contração e relaxamento da musculatura lisa do TGI estão associados com ciclos espontâneos de despolarização e repolarização conhecidos como potenciais de ondas lentas (Figura 5). Essas ondas lentas são geradas nas células intersticiais de Cajal que estão espalhadas por todo o plexo mioentérico, podendo ser consideradas o marcapasso para o músculo liso gastrointestinal. Caracteriza-se por alterações lentas e ondulantes no potencial de repouso da membrana que não atingem o limiar de despolarização e, por isso, em geral não causam contrações musculares. A frequência varia em diferentes partes do TGI, de 3 (corpo do estômago) à 12 (no duodeno) por minuto. Geram o ritmo elétrico básico do TGI. Além das ondas lentas, existem verdadeiros potenciais de ação (em ponta) que geram contração muscular propriamente dita e são dependentes da entrada de cálcio através da abertura de canais de cálcio voltagem-dependentes (Figura 5).

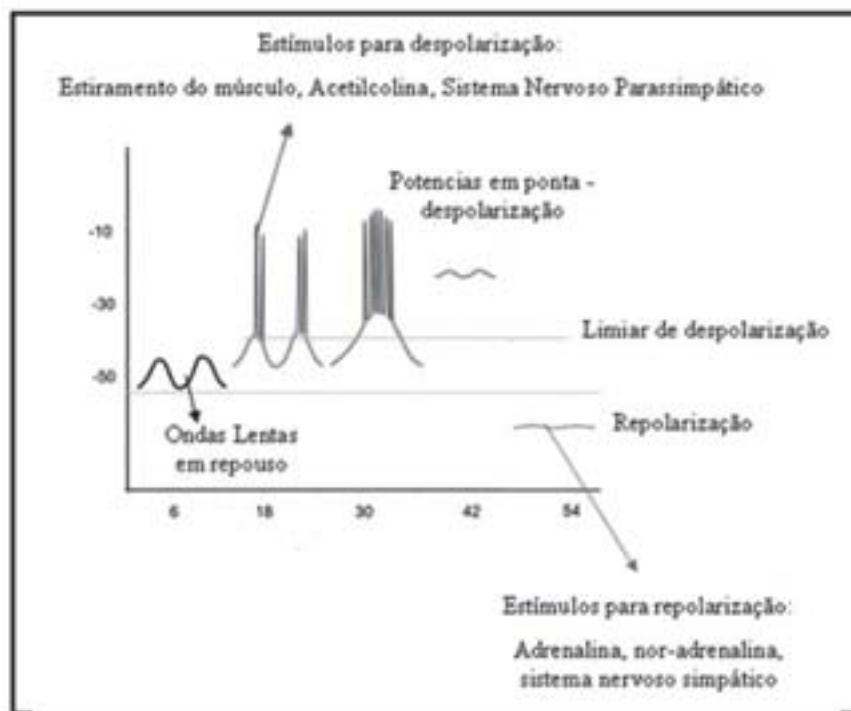


Figura 5. Ondas lentas e potencial de ação do músculo gastrointestinal

SECREÇÃO

tem como objetivo adicionar água, eletrólitos, muco e enzimas digestivas ao trato gastrointestinal (TGI) auxiliando na digestão e absorção dos nutrientes. As secreções são produzidas pelas glândulas salivares, estruturas do TGI, pâncreas e fígado. São lançadas no lúmen gastrointestinal por volta de 7 litros de secreções diariamente. Além disso, por volta de 2 litros de líquido entram no sistema digestório através da boca (Figura 6). Dessa forma, passam pelo TGI aproximadamente 9 litros de fluídos diariamente o qual praticamente é todo absorvido ao longo das estruturas do TGI, caso contrário o corpo rapidamente desidrataria. As secreções são as seguintes:

- Enzimas Digestivas - são secretadas por glândulas exócrinas (glândulas salivares e pâncreas) ou por células epiteliais da mucosa do estômago e intestino delgado)
- Muco - é sintetizado em células especializadas no esôfago, na mucosa do estômago, em células no intestino e pelas glândulas salivares na boca. Tem como função a proteção da mucosa e a lubrificação do conteúdo do TGI.
- Íons e água: A maior parte da secreção contém água e eletrólitos (sódio, potássio, cloreto, hidrogênio, bicarbonato).

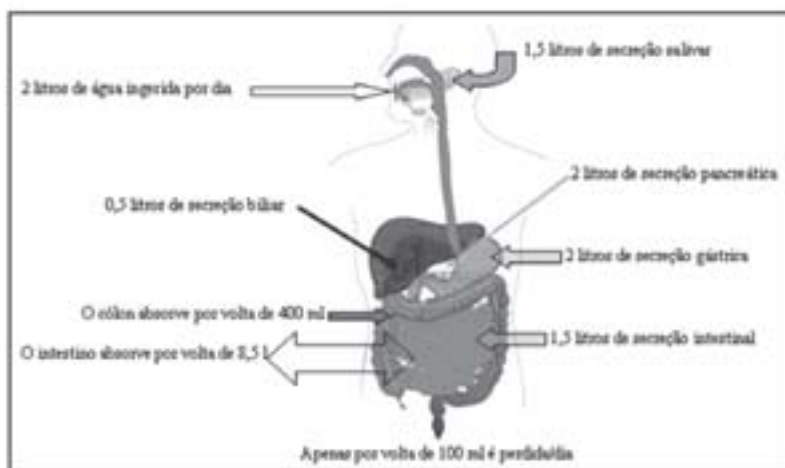


Figura 6. Secreção do Trato Gastrointestinal

Fonte: Digestive_system_whatnot_labels.org, retirado de wikipédia e modificado por Prof. Dr. Leonardo Rigoldi Bolognini

DIGESTÃO

a digestão tem como objetivo degradação (quebra) de alimentos ingeridos até moléculas que sejam absorvíveis. Isso envolve um processo mecânico através da mastigação e trituração associado à um processo químico através da ação de diversas enzimas digestivas. A hidrólise é o processo químico básico da digestão onde a água é adicionada à molécula de gordura, proteína e carboidrato promovendo a digestão desses nutrientes que normalmente são ingeridos na forma de moléculas não absorvíveis. A digestão ocorre, principalmente, na cavidade oral, no estômago e no intestino delgado.

Exemplo de digestão da sacarose: Exemplo: Sacarose + H₂O → glicose + frutose

ABSORÇÃO

é o movimento dos nutrientes, da água e eletrólitos do lúmen intestinal para a circulação sistêmica. A maior parte da absorção ocorre no intestino delgado, especialmente no jejuno e íleo, que são dotados de membrana absorptiva típica formada de válvulas coniventes (pregas de Kerckring), vilosidades e microvilosidades (bordas em escova) que aumentam a superfície de contato com o alimento em cerca de 1000 vezes. O estômago carece de membrana absorptiva típica dotada de vilosidades e apenas absorve substâncias altamente lipossolúveis como o álcool e alguns fármacos como a aspirina. Já o intestino grosso apenas absorve água e eletrólitos.

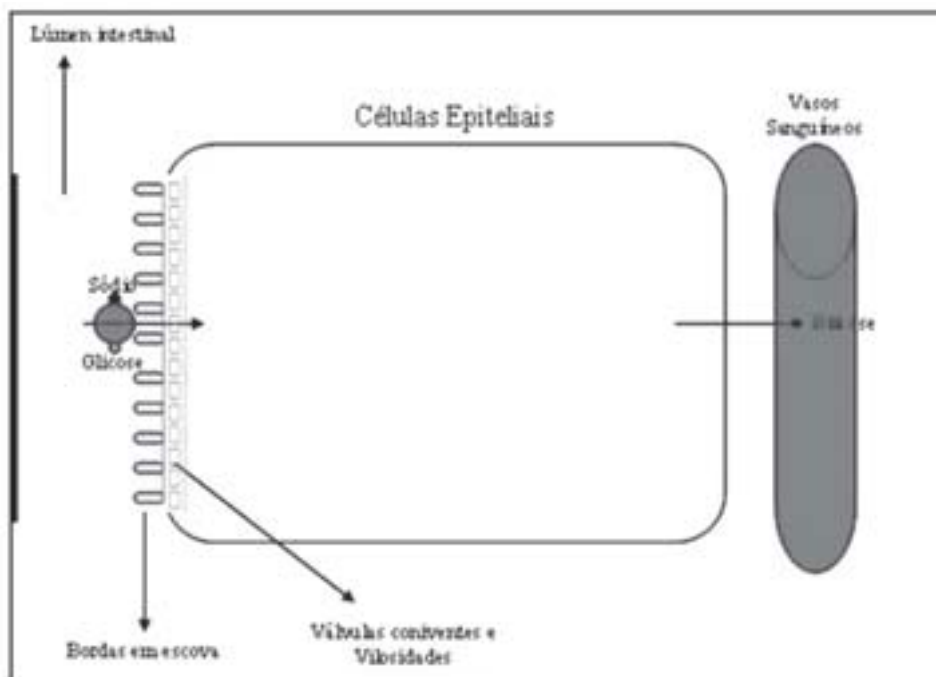


Figura 7. Exemplo de absorção da glicose no intestino delgado

Depois dessa visão geral do sistema digestório, começaremos a discutir como as estruturas que compõem tal sistema atuam de maneira coordenada para promover uma correta digestão e absorção de água, eletrólitos e nutrientes e a excreção do que não é importante para o funcionamento de nossas células.

Para começarmos então, pensemos em um alimento sendo ingerido. O primeiro passo nesta ingestão é a recepção do alimento pela cavidade oral.

A cavidade oral é composta de estruturas que estão adaptadas não só para receber os alimentos, mas também para iniciar a trituração e fragmentação dos mesmos através da ação dos dentes. Esse processo de quebra mecânica dos alimentos em partículas menores se chama mastigação e tem a função de facilitar a deglutição dos mesmos. Aqui vale ressaltar, que quanto mais mastigamos, menos trabalho daremos a outras estruturas do sistema digestório que terão que fazer o papel que a cavidade oral deveria ter feito. Dessa forma, as refeições devem ser feitas com calma e os alimentos bem mastigados evitando dessa forma lesões, por exemplo, úlceras no esôfago, estômago. A mastigação possui componentes voluntários e involuntários e é dada pelos movimentos da mandíbula através principalmente da ação dos músculos masseter, temporal, pterigóideo medial e lateral e permitem aos dentes cortar, dilacerar e triturar os alimentos.

Concomitante à mastigação ocorre também a secreção salivar através das glândulas salivares (parótida, sublingual e submandibular). Essa

saliva se mistura com o alimento mastigado e é composta de mucina (muco), enzimas digestivas (ptialina ou amilase salivar), bicarbonato, potássio, poucas quantidades de sódio e cloreto em relação ao plasma e água. De acordo com sua composição a saliva possui como principais funções: digestão inicial do amido e outros polissacarídeos (glicogênio), diluição, lubrificação e tamponamento dos alimentos, além de papel importante na limpeza dos dentes, na excreção de substâncias, na sede, na gustação. Os sais na saliva, principalmente, o íon bicarbonato, neutralizam substâncias ácidas e mantêm, na boca, um pH neutro, ideal para a ação da ptialina. Esse tamponamento é importante também para evitar a desmineralização dos dentes como ocorre na cárie.

Depois de mastigado o alimento é transformado em bolo alimentar (BA) e dá-se início à deglutição (Figura 8) que possui 3 fases, a saber: (1) fase oral - com auxílio da língua o BA é empurrado para trás e para cima contra o palato duro dando início à deglutição. Após o BA é forçado contra a faringe onde receptores táteis (mecânicos) detectam este estímulo e através de neurônios sensoriais enviam essa informação ao tronco encefálico (TE) onde está localizado o centro da deglutição. No TE essa informação é processada e uma resposta reflexa é desencadeada dando origem à segunda fase da deglutição ou fase faríngea (2). Nessa fase, ocorre, levantamento da faringe e fechamento da epiglote (evitando respectivamente, a entrada dos alimentos nas vias aéreas superiores e inferiores) e abertura do esfíncter esofágico superior (EES). Por fim, com o alimento já no esôfago, inicia-se a fase esofágica (3) da deglutição; nesse momento uma onda peristáltica começa logo abaixo do EES e desloca-se até o esfíncter esofágico inferior (EEI), relaxando-o e permitindo a entrada do BA no estômago. Essa onda peristáltica é gerada pela distensão causada pelo BA sobre a parede de músculo liso do esôfago gerando a contração dos músculos circular e longitudinal, o que permite o trânsito do alimento em direção ao estômago (figura 4). Aqui vale ressaltar que o direcionamento das ondas peristálticas no sentido crânio-caudal, bem como o efetivo funcionamento dos esfíncteres esofágico superior e inferior são fundamentais para evitar o retorno do BA para a cavidade oral, bem como o refluxo gástrico para o esôfago.

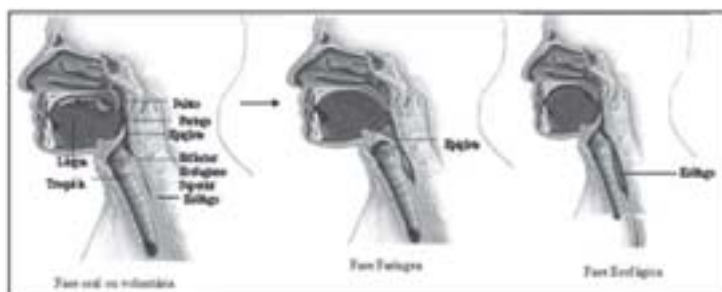


Figura 8 – Fases da Deglutição.

Fonte: http://daphnia.globo.com/obras-originais/obras-originais/1112_2012.pdf acessado por Prof. Dr. Leonardo Rigoldi Evangelista.

O esôfago funciona como um tubo muscular que conduz o alimento da cavidade oral ao estômago. O seu terço inicial é composto de músculo estriado esquelético e os dois terços finais de músculo liso. Dessa forma, pessoas com distúrbios que interferem na contração do músculo esquelético (Mal de Parkinson) podem ter dificuldade de deglutição visto que a parte inicial do esôfago é controlada voluntariamente. Embora não possua funções digestiva e absorptiva, possui glândulas que secretam muco o que mantém suas paredes umedecidas, lubrificadas e protegidas contra a ação abrasiva do alimento que acabou de sair da cavidade oral bem como, de possível secreção ácida que possa refluir do estômago.

Depois de passar pelo esôfago o alimento chega ao estômago. Nesse momento, ocorre o fechamento do esfíncter esofágico inferior. O estômago é considerado o nosso grande reservatório de alimento e tem como principal função reduzir o alimento a uma massa semifluida denominada quimo. Fisiologicamente, o estômago é subdividido em uma região oral (fundo e parte proximal do corpo do estômago) que tem a função de receber o alimento proveniente do esôfago e a região caudal (parte distal do corpo e antro do estômago). A região caudal tem a função de misturar o alimento com o suco gástrico além de propeli-lo em direção ao duodeno. O suco gástrico é um líquido claro, transparente, altamente ácido, que contém ácido clorídrico, muco, enzimas, eletrólitos e fator intrínseco. A secreção do ácido clorídrico, estimulada pelo hormônio gastrina, mantém o pH no interior do estômago entre 0,9 e 2,0 (ação bactericida). Também auxilia na fragmentação mecânica dos alimentos iniciada pela mastigação. A principal enzima produzida pelo estômago é a pepsina, secretada na forma de pepsinogênio que por ser inativo, não digere as células que o produzem. Por ação do ácido clorídrico, o pepsinogênio, ao ser lançado na luz do estômago, transforma-se em pepsina, enzima que catalisa a digestão de proteínas, especialmente o colágeno da carne. Outras enzimas produzidas pelo estômago, mas com menor importância: lipase gástrica (catalisa a digestão da gordura da manteiga), renina (produzida em grande quantidade pela mucosa gástrica de recém-nascidos, age sobre a caseína, uma das proteínas do leite). A mucosa gástrica é recoberta por uma camada de muco, que a protege da agressão do suco gástrico, devido a sua própria acidez e também devido à ação digestiva da pepsina sobre a própria mucosa gástrica. Apesar de estarem protegidas por essa densa camada de muco, as células da mucosa estomacal são continuamente lesadas e mortas pela ação do suco gástrico. Por isso, a mucosa está sempre sendo regenerada. Estima-se que nossa superfície estomacal seja totalmente reconstituída a cada três dias. Eventualmente ocorre desequilíbrio entre a agressão e a proteção, o que resulta em inflamação da mucosa (gastrite) ou mesmo no aparecimento de feridas dolorosas que sangram (úlceras gástricas). O fator intrínseco, um mucopolipeptídeo, também é secretado

pelas células do estômago e é fundamental no processo de absorção da vitamina B₁₂. A ausência desse fator pode dificultar a absorção de vitamina B₁₂ que é fundamental no processo de maturação das hemácias podendo levar a um quadro de anemia megaloblástica.

A maior parte da secreção do suco gástrico ocorre com a presença do alimento no interior do estômago (70%), no entanto uma parte significativa da secreção gástrica pode ser induzida pelo cheiro ou gosto do alimento, pela mastigação ou deglutição, pelo pensamento de uma comida gostosa, pela fome (fase cefálica – 30%). Dessa forma, ficar mastigando chiclete o dia todo e não se alimentar direito, pode causar dores no estômago e até em casos mais severos levar a uma gastrite.

Aqui vale lembrar, que por não possuir membrana típica dotada de vilosidades pouco ou quase nada é absorvido pelo estômago a não ser substâncias altamente lipossolúveis e alguns fármacos.

Por ser um grande reservatório de alimento, o esvaziamento gástrico pode demorar cerca de 3, 4 ou mais horas o que é importante para permitir neutralização da acidez do quimo e a correta digestão e absorção dos nutrientes no intestino delgado.

De maneira lenta e aos poucos ondas peristálticas vão permitir o relaxamento do esfíncter pilórico (entre o estômago e duodeno) e a passagem do quimo em direção ao intestino delgado. O intestino delgado é um tubo muscular com pouco mais de 6 m de comprimento e pode ser dividido em três regiões: duodeno, jejuno e íleo. A digestão e absorção do quimo ocorre predominantemente no intestino delgado. Para que isso ocorra de maneira eficiente, imediatamente após a chegada do quimo no duodeno, três hormônios são produzidos pelo intestino delgado para tornar tais funções efetivas. São eles.

- Secretina – que é secretada pelo intestino delgado em decorrência da acidez do quimo no duodeno e sua função é estimular o pâncreas a secretar no duodeno íons bicarbonato para permitir a neutralização do quimo e sua transformação em quilo;

- Colecistocinina - que é secretada pelo intestino delgado em decorrência do quimo no duodeno, especialmente a gordura, e sua função é estimular o pâncreas a secretar enzimas digestivas no duodeno, bem como, a secreção de bile pela vesícula biliar;

Tanto o pH da bile quanto do suco pancreático são alcalinos o que permite a neutralização do quimo e sua transformação em quilo. Essa alcalinidade é de fundamental importância para a ação das enzimas digestivas no intestino delgado.

- Enterogastrona – que é secretada pelo intestino delgado e tem como função inibir a motilidade gástrica, lentificando o esvaziamento gástrico.

No intestino delgado, os movimentos peristálticos, movimentam o quimo em direção ao intestino grosso, ao mesmo tempo em que as con-

trações segmentares atuam misturando o quimo com as secreções pancreáticas, do intestino delgado e da vesícula biliar (bile), sendo transformado em quilo. Fica claro, portanto, que o pâncreas através do suco pancreático, a bile, além das secreções do intestino delgado são fundamentais na digestão de carboidratos, proteínas e gorduras.

O intestino delgado secreta muco, água, eletrólitos, além de enzimas digestivas (maltase, sacarase, lactase, peptidases) fundamentais no processo final de digestão dos nutrientes no intestino delgado. Antes da ação das enzimas intestinais pode ou não haver ação de enzimas pancreáticas e dos sais biliares no caso da gordura. Essa ação dependerá do tamanho da molécula do nutriente. Inicialmente falaremos das secreções pancreáticas e, quando formos falar da digestão e absorção da gordura, discutiremos a secreção biliar.

O pâncreas secreta no intestino delgado diariamente o suco pancreático que contém água, bicarbonato e enzimas digestivas. As principais enzimas são a (1) amilase pancreática que digere praticamente todo o amido à maltose e pequenos polímeros de glicose, (2) Quimiotripsina, tripsina e carboxipeptidase que digerem as grandes proteínas e as transformam em pequenos polipeptídeos, (3) Lipase pancreática que é a enzima mais importante na digestão da gordura, após sua emulsificação pelos ácidos biliares e (4) Colesterol esterase que digere os ésteres de colesterol liberando colesterol que é absorvido.

Para tentarmos entender melhor como se dá o processo de digestão e absorção dos nutrientes no intestino delgado vamos começar com os carboidratos (figura 9).

O principal carboidrato da nossa alimentação é o amido, um polissacarídeo, encontrado nas massas, mandioca, arroz, milho, etc. Na digestão, o amido é hidrolizado (degradado) por reações de hidrólise em carboidratos menores. Essa hidrólise é efetuada pelas enzimas amilase salivar ou ptialina e amilase pancreática. A ação da amilase salivar é muito rápida (digerem de 10-20% do amido) visto que o tempo de permanência do alimento na boca é muito pequeno. No estômago, pelo baixo pH a amilase salivar é rapidamente desnaturada. Quando o amido parcialmente digerido entra no intestino delgado, estimula a liberação de secretina e colecistocinina que vão estimular o pâncreas a secretar bicarbonato (dutos pancreáticos) e a enzima amilase pancreática (ácinos) no duodeno. Da ação conjunta da amilase salivar e pancreática surgem dissacarídeos como a maltose (combinação de duas moléculas de glicose). A partir daí a digestão deste dissacarídeo é feita pela enzima maltase secretada pelas células do intestino delgado. Tal digestão libera moléculas de glicose que são absorvidas pelas microvilosidades do intestino delgado por transporte ativo secundário dependente de sódio. A glicose é um monossacarídeo, forma mais simples de açúcar, usada pelo organismo como fonte de energia.

A sacarase, outra enzima intestinal, digere a sacarose (dissacarídeo) que é uma combinação de uma molécula de glicose e outra de frutose. Todas as plantas produzem sacarose. Tal digestão libera moléculas de glicose absorvidas conforme supramencionado e de frutose (monossacarídeo) que é absorvida pelas microvilosidades do intestino delgado por difusão facilitada.

A lactase, outra enzima intestinal, digere a lactose (dissacarídeo) que é uma combinação de uma molécula de glicose e outra de galactose. É o açúcar encontrado no leite e seus derivados.

Tal digestão libera moléculas de glicose absorvidas conforme já dito e de galactose que é absorvida pelas microvilosidades (bordas em escova) do intestino delgado por transporte ativo secundário dependente de sódio semelhante à glicose. A galactose é um monossacarídeo e seu papel biológico é energético.

No final da digestão dos carboidratos teremos aproximadamente 80% de glicose para ser absorvida e apenas 10% de frutose e 10% de galactose. Após serem absorvidos pelas células epiteliais intestinais, principalmente na região do duodeno e porção inicial do jejuno, os monossacarídeos são lançados na corrente sanguínea e via veia porta seguem imediatamente para o fígado. Tanto a galactose quanto a frutose são parcialmente convertidas à glicose. A partir daí, a glicose pode: (1) ser utilizada como fonte energética pelas células, (2) ser armazenada na forma de glicogênio no fígado e músculo e (3) ser transformada em triglicerídeos com posterior armazenamento muscular, hepático e no tecido adiposo.

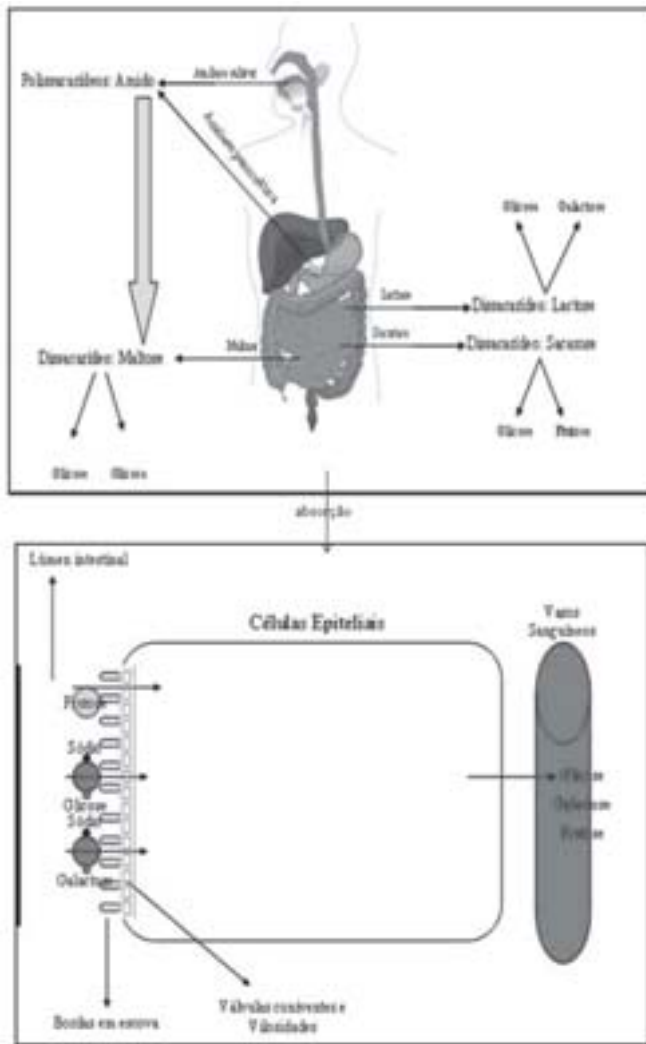


Figura 9. Digestão e absorção dos carboidratos

Agora vamos entender melhor os passos da digestão e absorção das proteínas (Figura 10).

O início da digestão protéica se dá no estômago sob a ação enzima pepsina. Esta enzima começa a quebra das proteínas dos alimentos, principalmente o colágeno, a principal proteína do tecido conjuntivo da carne. Em condições adequadas, ocorre cerca de 10 a 15% de digestão protéica no estômago, produzindo polipeptídeos menores. Entretanto, a pepsina não é essencial e a sua ausência pode ser compensada pela ação de enzimas proteolíticas pancreáticas não afetando desta forma a digestão e absorção da maior parte dos compostos protéicos.

Essa proteína parcialmente digerida penetra no intestino delgado. Nesse local, cerca de 50% da proteína ingerida é digerida e absorvida no duodeno e o restante na porção proximal do jejuno. Para que isto ocorra, quando os polipeptídeos parcialmente digeridos entram no intestino delgado, estimulam a liberação de secretina e colecistocinina que vão estimular, respectivamente, o pâncreas a secretar bicarbonato e as enzimas inativas tripsinogênio, quimiotripsinogênio e pro-carboxipeptidases (ácinos). No duodeno estas enzimas são ativadas e depois de agirem são rapidamente inativadas evitando lesão da mucosa do intestino.

Inicialmente agem tripsina e quimiotripsina pancreática que hidrolisam os polipeptídeos parcialmente digeridos pela pepsina transformando-os em polipeptídeos ainda menores que sofrem, então, ação das carboxipeptidases. Pela ação das carboxipeptidases teremos principalmente oligopeptídeos, que são combinações de 4 a 10 aminoácidos. A partir daí entra em ação enzimas intestinais (peptidases) produzidas pelas borda-em-escova que vão hidrolizar os oligopeptídeos a produtos finais da digestão protéica que são aminoácidos, di e tripeptídeos.

As proteínas são absorvidas no duodeno e porção proximal do jejuno na forma de aminoácidos, dipeptídeos e tripeptídeos. Di e tripeptídeos são absorvidos por co-transporte, semelhante à glicose, utilizando o gradiente do sódio. Aminoácidos são absorvidos utilizando-se tanto de transportadores que dependem do gradiente do sódio como de outros que não dependem. Após a absorção intestinal, no citossol dos enterócitos (células epiteliais), existem peptidases que digerem os di e tripeptídeos até aminoácidos que são então, nessa forma, lançados na corrente sanguínea e são rapidamente transportados por todo o corpo onde são usados na síntese de proteína ou são armazenados. O excesso de aminoácidos é utilizado como parte de energia ou estocado na forma de gordura branca.

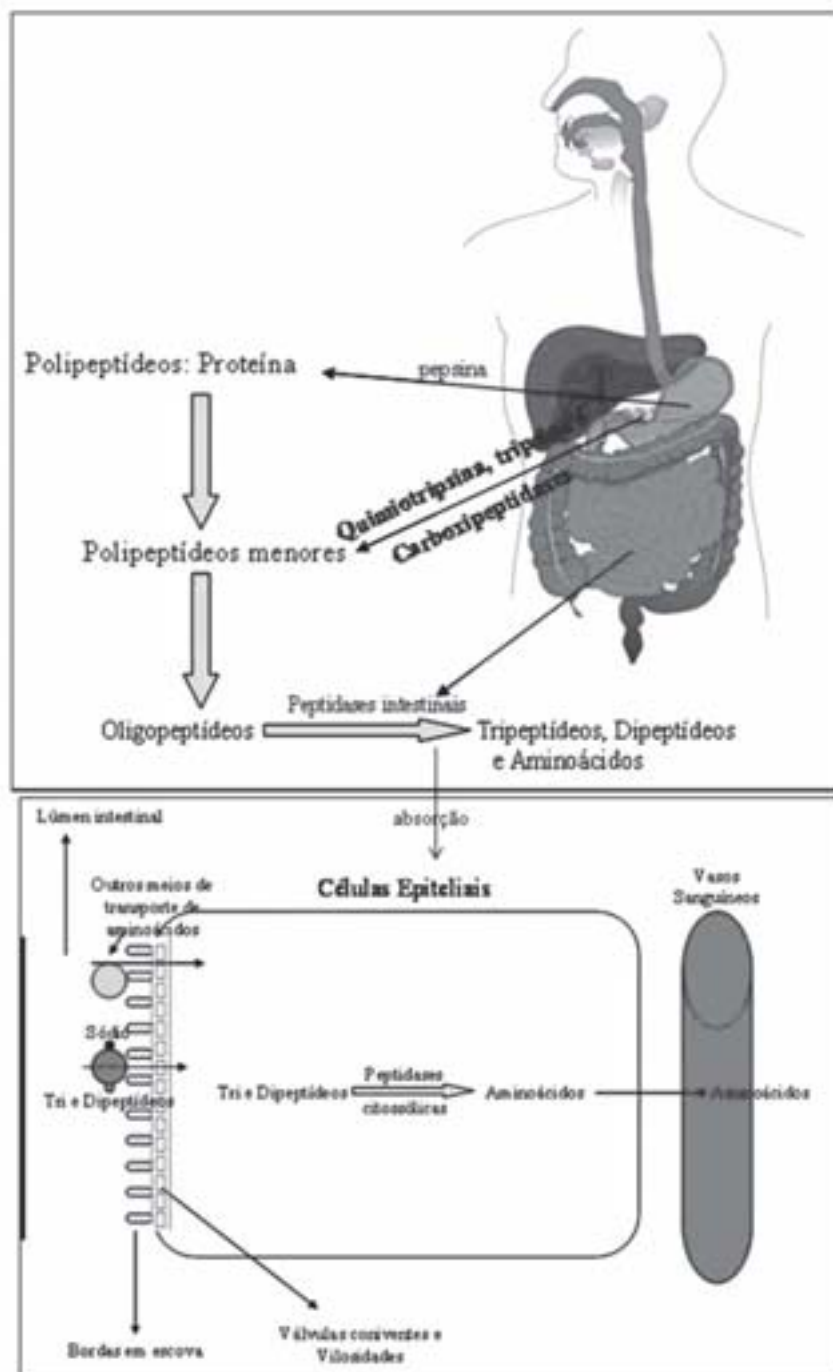


Figura 10. Digestão e absorção das proteínas

Com relação à digestão da gordura (figura 11), é quase que exclusivamente dependente da ação conjunta, emulsificante da bile e digestiva da lipase pancreática.

A bile, produzida pelo fígado e armazenada na vesícula biliar, contém 5 elementos principais além da água: sais biliares, lecitina, pigmentos biliares, colesterol e eletrólitos (sódio, potássio, cálcio, cloreto e bicarbonato). A secreção de bile é estimulada pela presença de gordura no duodeno. Isso se deve a ação da colecistocinina que é um hormônio que age estimulando a contração da vesícula biliar, relaxamento do esfíncter de Oddi e através do canal colédoco a chegada da bile no intestino delgado. Vale ressaltar que a bile não tem função digestiva. No entanto, a digestão da gordura pelas enzimas pancreáticas é facilitada em grande parte pela ação emulsificante dos sais biliares.

Essa ação emulsificante dos sais biliares tendem a diminuir a tensão superficial dos lipídeos, otimizando a ação da lipase. Esse processo é o mesmo que acontece quando a nossa mão está engordurada. Se tentarmos remover a gordura somente com água não conseguiremos, no entanto, quando jogamos o detergente solubilizamos a gordura e a partir daí lavamos com água e a gordura vai embora. As principais enzimas pancreáticas na digestão da gordura são a lipase pancreática que digere os triglicérides em ácido graxo e monoglicérideo e a colesterol esterase que digere os ésteres de colesterol da dieta em colesterol e ácido graxo.

Além de emulsificarem a gordura, facilitando sua digestão por enzimas digestivas, os sais biliares solubilizam os produtos da digestão da gordura sob a forma de pequenos glóbulos esféricos chamados de micelas. Mas como isso se dá? Bom, os sais biliares possuem uma fração apolar que se combina com a gordura digerida e outra polar que dissolve-se na água da luz intestinal. Isso possibilita o transporte conjunto de micela e gordura até a região de borda-em-escova intestinal para posterior absorção. Admite-se que uma parte importante dos produtos da digestão dos lipídeos seja absorvida sem a intervenção de transportadores protéicos. Dentro dos enterócitos ocorre um processo de ressíntese de triglicérides e ésteres de colesterol que são agrupados formando os quilomícrons que são recobertos por uma â-lipoproteína. Os quilomícrons, pelo seu tamanho, são então absorvidos pelos vasos linfáticos das vilosidades e finalmente entram no sangue venoso através das veias jugular e subclávia esquerdas.

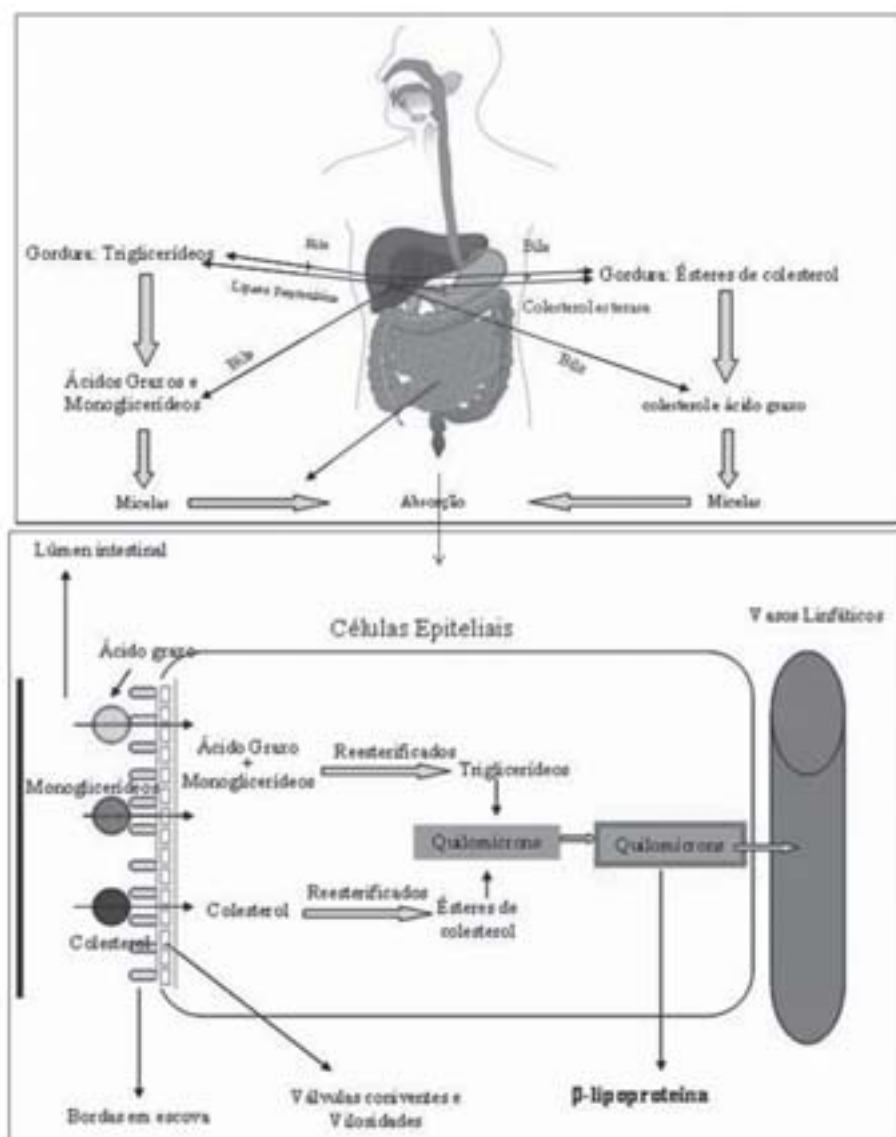


Figura 11. Digestão e absorção das gorduras

A água e os eletrólitos também são absorvidos na sua maior parte no intestino delgado. A maior parte da água é absorvida por osmose acompanhando a absorção de sódio e cloro. O sódio é absorvido ativamente com glicose, aminoácidos e por difusão. A absorção de sódio é acompanhada pela difusão passiva de íons cloro. Existe na membrana intestinal um mecanismo de co-transporte ($Na^+K^+-2Cl^-$). A absorção de cálcio depende de uma proteína fixadora de cálcio que é dependente de uma forma ativada da vitamina D3 que é o 1,25-dihidroxicolicalciferol. O ferro é absorvido na forma de ferro livre ou combinado a hemoglobina –

liga-se a uma proteína fixadora de ferro. O bicarbonato é absorvido no duodeno e jejuno indiretamente. Potássio, magnésio e fosfato também são ativamente absorvidos através da mucosa intestinal. Vale lembrar aqui que íons monovalentes são mais facilmente absorvidos do que os bivalentes.

Após a sua efetiva digestão e absorção no intestino delgado, ondas peristálticas propõem o que não foi absorvido em direção ao intestino grosso. Essas ondas abrem a válvula ileocecal (separa o íleo do ceco) e então o material, agora fecal, penetra no intestino grosso na região do ceco e, depois cólon ascendente. Além deste, o intestino grosso é dividido em cólon transversal, descendente e sigmóide que se prolonga até o reto. O intestino grosso não apresenta vilosidades, mas não se trata de uma superfície lisa pela presença das células de Lieberkuhn.

Possui como funções absorção de água e eletrólitos e armazenamento de material fecal até que o mesmo possa ser expelido. Glândulas da mucosa do intestino grosso secretam muco, que lubrifica as fezes, facilitando seu trânsito e eliminação pelo ânus. A saída do reto chama-se ânus e é fechada por um músculo que o rodeia, o esfíncter anal. Numerosas bactérias vivem em mutualismo no intestino grosso. Seu trabalho consiste em dissolver os restos alimentícios não absorvíveis, reforçar o movimento intestinal e proteger o organismo contra bactérias estranhas, geradoras de enfermidades. As fibras vegetais, não são digeridas nem absorvidas, contribuindo com porcentagem significativa da massa fecal. Como retêm água, sua presença torna as fezes macias e fáceis de serem eliminadas. O intestino grosso não secreta sucos digestivos e, normalmente só absorve água, em quantidades bastante consideráveis. Como o intestino grosso absorve muita água, o conteúdo intestinal se condensa até formar as fezes. A distensão provocada pela presença de fezes estimula terminações nervosas do reto, permitindo a expulsão destas, processo denominado defecação (Figura 12). Após a distensão da musculatura lisa do reto, receptores de estiramento transformam este estímulo em potencial de ação que é conduzido para o sistema nervoso central (medula espinhal sacral) que gera uma resposta reflexa (involuntária) via sistema nervoso parassimpático que inerva a musculatura lisa do reto contraindo-a e o esfíncter anal interno, relaxando-a. Se, durante este momento, o esfíncter anal externo também estiver relaxado, as fezes serão eliminadas para o exterior do corpo, através do ânus. Caso contrário as fezes permanecem retidas no interior do reto e o reflexo desaparece, retornando alguns minutos ou horas mais tarde.

No entanto, o esfíncter anal externo é controlado voluntariamente nos permitindo controlar a defecação de acordo com nossa vontade, o que não acontece com crianças, até certa idade, por exemplo.

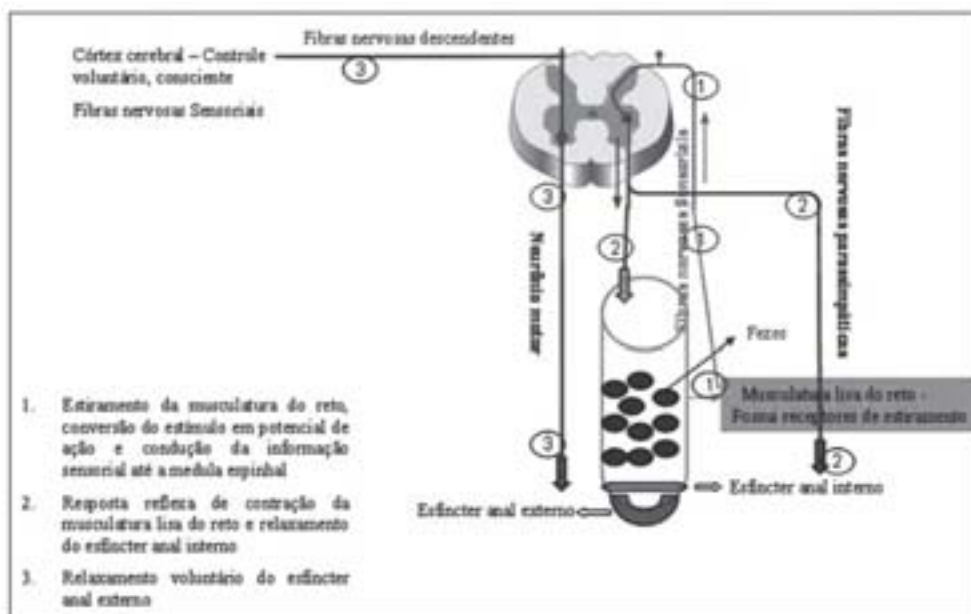


Figura 12. Defecação

CONCLUSÃO

A partir desta aula podemos concluir que o sistema digestório, através de suas estruturas e órgãos e glândulas anexas são fundamentais em nos prover (1) nutrientes, em sua forma absorvível, que são fundamentais para a manutenção do funcionamento (fornecimento de energia) e da estrutura dos tecidos e células; (2) água e eletrólitos da dieta fundamentais para a manutenção do equilíbrio hidroeletrolítico bem como, de diversas funções biológicas. Além disso, o sistema digestório, através da defecação, é capaz de eliminar substâncias que, ou estão em excesso, ou não são necessárias ao nosso organismo.

RESUMO

O objetivo da presente aula foi descrever as estruturas que compõem o sistema digestório (cavidade oral, faringe, esôfago, estômago, intestino delgado, intestino grosso, reto e ânus) e discutir suas principais funções. O sistema digestório apresenta quatro atividades principais, a saber: (1) Motilidade que tem a função de deslocar o alimento ao longo de todo o trato gastrointestinal, da cavidade oral ao ânus, além de misturá-lo com as secreções gastrintestinais; (2) Secreção que nada mais é do que a adição de muco (função protetora da mucosa do sistema digestório contra a ação abrasiva dos alimentos e também de enzimas e ácidos, além de possuir função lubrificante que otimiza deslocamento do bolo alimentar), água, eletrólitos, enzimas digestivas (promove a hidrólise dos nutrientes à moléculas absorvíveis) ao BA; (3) Digestão que é a redução dos nutrientes ingeridos a moléculas que sejam absorvidas a partir da ação de enzimas digestivas secretadas na cavidade oral (amilase salivar ou ptialina), no estômago (pepsina) e no intestino delgado (enzimas pancreáticas: amilase pancreática, tripsina, quimiotripsina, carboxipeptidase, lipase pancreática, colesterol esterase / enzimas intestinais: maltase, sacarase, lactase, peptidases). No processo de digestão da gordura, vale ressaltar, o papel emulsificante da bile facilitando a ação das enzimas pancreáticas que digerem a gordura; (4) Absorção que é o transporte dos nutrientes digeridos, água e eletrólitos do lúmen intestinal em direção à circulação sistêmica que ocorre especialmente no intestino delgado que é dotado de membrana absorptiva típica que aumenta e muito a área de absorção; (5) Eliminação do que não foi absorvido através da defecação, que possui um componente involuntário (reflexo) e um componente voluntário (consciente) que nos permite controlar a defecação de acordo com nossa vontade.



AUTO-AVALIAÇÃO

1. Revise as estruturas que compõem o Sistema Digestório e cite suas principais funções.
2. Como é realizado o controle intrínseco e extrínseco do sistema digestório?
3. Quais são os principais hormônios sintetizados e secretados pelo TGI e que possuem importância fisiológica no ser humano? E como eles agem?
4. Descreva as principais atividades do TGI.
5. Explique as etapas da deglutição?
6. Descreva os processos de digestão e absorção dos carboidratos, proteínas e gorduras.
7. Explique como se dá o reflexo da defecação.





PRÓXIMA AULA

Após você ter tido noções básicas sobre a fisiologia do sistema digestório, a próxima aula falará sobre o sistema respiratório.

REFERÊNCIAS

- BERNER RM, LEVY MN, KOEPPEN BM, STANTON BA. **Fisiologia**. 5 ed. Editora Elsevier, Rio de Janeiro: 2004.
- COSTANZO LS. **Fisiologia**. 3 ed. Editora Elsevier, Rio de Janeiro: 2007.
- GUYTON AC, HALL JE. **Tratado de Fisiologia Médica**. 11 ed. Editora Elsevier, Rio de Janeiro: 2006.
- SILVERTHORN DU. **Fisiologia Humana** - Uma Abordagem Integrada. 2 ed., Editora Manole, São Paulo: 2003.