



Fisiologia Digestiva

1. Introdução Geral

O sistema digestivo é um conjunto complexo e altamente especializado de órgãos que trabalha de forma coordenada para garantir a digestão dos alimentos, a absorção dos nutrientes e a eliminação dos resíduos. A compreensão da fisiologia do sistema digestivo é fundamental para os estudantes universitários da área da saúde, pois permite correlacionar as funções dos órgãos com situações fisiopatológicas, compreender mecanismos terapêuticos e estabelecer bases para intervenções clínicas e cirúrgicas.

2. Componentes do Sistema Digestivo

O trato gastrointestinal é uma estrutura tubular que se estende da boca ao ânus, sendo dividido em trato digestivo superior e inferior. Inclui os seguintes órgãos principais: boca, faringe, esôfago, estômago, intestino delgado (duodeno, jejuno e íleo), intestino grosso (cólon ascendente, transverso, descendente, sigmoide), reto e ânus. Os órgãos acessórios compreendem as glândulas salivares, o fígado, a vesícula biliar e o pâncreas. Cada componente é responsável por funções específicas no processo digestivo, envolvendo tanto a digestão mecânica quanto a digestão química.

3. Funções Principais

O sistema digestivo executa cinco funções fisiológicas essenciais:

- **Motilidade:** Envolve contrações musculares coordenadas, como os movimentos peristálticos e de segmentação, que asseguram o trânsito do conteúdo alimentar e a mistura eficiente com secreções.
- **Secreção:** Inclui a liberação de fluidos digestivos (saliva, suco gástrico, pancreático, biliar e intestinal), contendo enzimas, ácidos, tampões e muco.
- **Digestão:** É a quebra dos macronutrientes em moléculas absorvíveis, realizada por reparações enzimáticas específicas para carboidratos, proteínas e lipídios.
- **Absorção:** Ocorre predominantemente no intestino delgado, por mecanismos de transporte ativo, difusão facilitada e co-transporte, permitindo a passagem dos nutrientes para o meio interno.
- **Excreção:** Engloba a formação e eliminação das fezes, com participação da microbiota intestinal na degradação de compostos não absorvidos.

4. Fisiologia da Digestão por Etapas

4.1 Boca e Esôfago

Na cavidade oral ocorre a mastigação, processo mecânico que aumenta a superfície de contato dos alimentos, favorecendo a ação enzimática. A saliva contém amilase salivar (ptialina), que inicia a digestão dos polissacarídeos. A deglutição é coordenada por centros bulbares e envolve três fases: oral voluntária, faríngea e esofágica. O peristaltismo esofágico impulsiona o bolo alimentar até o esfíncter esofágico inferior, que relaxa para permitir a entrada no estômago.



4.2 Estômago

O estômago atua como reservatório e câmara de mistura. Suas glândulas secretam ácido clorídrico (HCl), que desnatura proteínas e ativa o pepsinogênio em pepsina, uma endopeptidase essencial na proteólise. A secreção ácida também elimina patógenos. A musculatura gástrica realiza movimentos de trituração, formando o quimo. O esfíncter pilórico regula o esvaziamento gástrico para o duodeno.

4.3 Intestino Delgado

No intestino delgado ocorre a maior parte da digestão e absorção. As enzimas pancreáticas como tripsina, quimotripsina, amilase e lipase atuam sobre as macromoléculas. A bile emulsifica as gorduras, facilitando a ação das lipases. As vilosidades intestinais aumentam significativamente a superfície de absorção, e os enterócitos possuem transportadores específicos para glicose (SGLT-1), aminoácidos e ácidos graxos.

4.4 Intestino Grosso

O cólon é responsável pela reabsorção de água, sódio e cloro, bem como pela formação das fezes. A microbiota residente fermenta substratos não digeridos, produzindo ácidos graxos de cadeia curta e vitaminas como a K. O esfíncter anal interno (involuntário) e externo (voluntário) participam da continência e evacuação.

5. Controle Nervoso e Hormonal da Digestão

O sistema nervoso entérico, considerado o "segundo cérebro", regula localmente a motilidade e secreção, independentemente do SNC. A regulação hormonal é feita por hormonas como:

- **Gastrina:** estimula secreção ácida gástrica e proliferação da mucosa.
- **Secretina:** promove liberação de bicarbonato pancreático.
- **CCK:** estimula contração da vesícula biliar e secreção pancreática.
- **GIP e GLP-1:** regulam secreção insulínica pós-prandial.

6. Aspectos Clínicos Relevantes

A disfunção em qualquer etapa da digestão pode originar quadros clínicos. Exemplos incluem:

- **Doença do refluxo gastroesofágico (DRGE):** associada a hipotonias do esfíncter esofágico inferior.
- **Síndrome do intestino irritável (SII):** distúrbio funcional ligado a alterações na motilidade e sensibilidade visceral.
- **Doença celíaca:** reatividade imune ao glúten, afetando a mucosa intestinal.
- **Pancreatite crônica:** prejudica a secreção enzimática, levando a má absorção.



7. Resumo e Fixação

- A digestão é um processo dinâmico que envolve a participação coordenada de vários órgãos.
- O controle neuro-hormonal assegura a eficiência do processo.
- O intestino delgado é o principal local de absorção.
- A microbiota tem papel imunológico, metabólico e de proteção da barreira intestinal.

Digestão dos Carboidratos

A digestão dos carboidratos é um processo bioquímico complexo que visa transformar os polissacarídeos da dieta (como o amido) em monossacarídeos absorvíveis, principalmente a **glicose**, que será utilizada como principal fonte de energia para as células.

1. Digestão Inicia na Cavidade Oral

A digestão dos carboidratos começa na boca, onde o alimento é misturado com a saliva, rica em **amilase salivar** (ou ptialina), uma enzima que hidrolisa as ligações α -1,4 dos polissacarídeos como o amido, transformando-os em moléculas menores como maltose e dextrinas. Este processo é limitado pelo curto tempo de permanência do alimento na boca e pelo pH ácido do estômago, que inativa a amilase.

2. Ausência de Digestão no Estômago

No estômago, devido ao pH ácido (entre 1,5 e 3,5), a atividade da amilase salivar é interrompida. Embora não ocorra digestão química significativa de carboidratos nessa fase, a ação mecânica do estômago continua a fragmentar o alimento, formando o quimo, que será liberado gradualmente no intestino delgado.

3. Digestão no Intestino Delgado

A principal fase da digestão dos carboidratos ocorre no intestino delgado, com a ação de enzimas pancreáticas e da borda em escova dos enterócitos:

- **Amilase pancreática:** secretada pelo pâncreas exócrino, atua sobre os polissacarídeos remanescentes, quebrando-os em dissacarídeos como maltose, maltotriose e dextrinas limite.
- **Enzimas da borda em escova:** localizadas na membrana apical dos enterócitos, finalizam a digestão:
 - **Maltase** quebra a maltose em duas moléculas de glicose.
 - **Isomaltase** atua sobre as ligações α -1,6 das dextrinas limite.
 - **Lactase** cliva a lactose em glicose e galactose.
 - **Sacarase** transforma a sacarose em glicose e frutose.



4. Absorção dos Monossacarídeos

Os monossacarídeos resultantes (glicose, galactose e frutose) são absorvidos no intestino delgado:

- **Glicose e galactose:** absorvidas por transporte ativo secundário dependente de sódio através do cotransportador **SGLT1**.
- **Frutose:** absorvida por difusão facilitada via **GLUT5**.

Uma vez nos enterócitos, esses açúcares são transportados para o sangue através do transportador **GLUT2**, atingindo a circulação portal e, por fim, o fígado.

5. Importância Clínica

Deficiências enzimáticas, como a **intolerância à lactose**, resultam na má digestão e má absorção do dissacarídeo, causando sintomas gastrointestinais como distensão abdominal, flatulência e diarreia. Alterações no transporte de monossacarídeos também podem estar envolvidas em síndromes genéticas raras ou doenças intestinais.

Digestão dos Lipídeos

A digestão dos lipídeos é essencial para o aproveitamento energético e estrutural dos **ácidos graxos e gliceróis** presentes em alimentos ricos em gorduras. Este processo é complexo devido à **insolubilidade dos lipídeos em água**, exigindo emulsificação e ação coordenada de enzimas e sais biliares.

1. Natureza dos Lipídeos Dietéticos

A maior parte dos lipídeos consumidos na dieta está na forma de:

- **Triglicerídeos** (cerca de 90%)
- Fosfolipídeos
- Colesterol (livre e esterificado)
- Ácidos graxos livres

Por serem hidrofóbicos, os lipídeos requerem emulsificação antes de sofrerem ação enzimática.

2. Digestão Inicia na Cavidade Oral e Estômago

- **Lipase lingual** (produzida pelas glândulas de von Ebner da língua) e **lipase gástrica** (produzida pelas células principais do estômago) iniciam a hidrólise dos triglicerídeos, atuando principalmente sobre os triglicerídeos de cadeia curta e média, liberando ácidos graxos e diglicerídeos.



Essas enzimas são importantes em recém-nascidos e em pacientes com deficiência pancreática, pois não necessitam da ação da bile para atuar.

3. Digestão no Intestino Delgado – Fase Principal

A maior parte da digestão lipídica ocorre no **duodeno e jejuno**, com a participação dos seguintes elementos:

a) Emulsificação pelos sais biliares

Produzidos no fígado e armazenados na vesícula biliar, os **sais biliares** são liberados no duodeno em resposta à presença de gordura (mediada pela colecistoquinina - CCK). Eles emulsificam os lipídeos em micelas, aumentando a área de contato com as enzimas.

b) Lipase pancreática e colipase

- A **lipase pancreática** é a principal enzima digestiva dos lipídeos, atuando sobre os triglicerídeos e liberando dois ácidos graxos livres e um monoglicerídeo.
- A **colipase**, também secretada pelo pâncreas, liga-se à lipase e à micela lipídica, permitindo que a lipase atue mesmo na presença de sais biliares.

c) Outras enzimas

- **Fosfolipase A2**: hidrolisa fosfolipídeos, liberando ácido graxo e lisofosfolipídeo.
- **Colesterol esterase**: atua sobre ésteres de colesterol, liberando colesterol livre e ácidos graxos.

4. Formação e Transporte das Micelas

Os produtos finais da digestão (ácidos graxos, monoglicerídeos, colesterol e lisofosfolipídeos) são incorporados em **micelas mistas** formadas por sais biliares. Essas micelas se aproximam do bordo em escova dos enterócitos, onde os componentes lipossolúveis são liberados por difusão simples.

5. Absorção e Reesterificação

Uma vez no interior do enterócito:

- Os monoglicerídeos e ácidos graxos são reesterificados no **retículo endoplasmático liso** para formar novamente triglicerídeos.
- Esses lipídeos, junto com colesterol e proteínas, são empacotados em **quilomícrons**, estruturas lipoproteicas que são liberadas por exocitose para o **sistema linfático** através dos vasos lactíferos.



6. Considerações Clínicas

- **Síndromes de má absorção** (como doença celíaca ou pancreatite crônica) comprometem a digestão e absorção de lipídeos, resultando em **esteatorreia** (fezes gordurosas).
- **Deficiência de sais biliares** (ex.: obstrução biliar) também compromete a emulsificação dos lipídeos e a formação de micelas.

Digestão das Proteínas

As **proteínas** são macromoléculas fundamentais para o crescimento, reparação tecidual, defesa imunológica e regulação de funções metabólicas. A digestão proteica visa quebrar essas cadeias complexas de aminoácidos em unidades absorvíveis — **peptídeos pequenos e aminoácidos livres**.

Diferente dos carboidratos e lipídeos, as proteínas **não são digeridas na boca**. A digestão começa efetivamente no **estômago** e se intensifica no **intestino delgado** com o auxílio de enzimas específicas.

1. Digestão no Estômago

a) Secreção de ácido clorídrico (HCl)

Produzido pelas células parietais da mucosa gástrica, o HCl:

- Reduz o pH gástrico para cerca de 1,5–2,5.
- Desnatura proteínas, ou seja, desfaz as ligações secundárias e terciárias, expondo os sítios de clivagem peptídica.
- Ativa a conversão de **pepsinogênio** (enzima inativa) em **pepsina** (forma ativa), uma protease.

b) Ação da pepsina

A **pepsina** (uma endopeptidase) cliva ligações peptídicas internas, principalmente aquelas envolvendo aminoácidos aromáticos como fenilalanina, tirosina e triptofano. Ela gera fragmentos proteicos maiores chamados **peptonas** e **oligopeptídeos**.

2. Digestão no Intestino Delgado

No intestino delgado, a digestão é intensificada por enzimas pancreáticas e da borda em escova dos enterócitos:

a) Ativação de enzimas pancreáticas

O pâncreas secreta enzimas inativas (zimogênios) para evitar autodigestão:



- **Tripsinogênio** → ativado pela **enteropeptidase** (enzima da borda em escova) em **tripsina**
- A **tripsina**, por sua vez, ativa outras proteases:
 - **Quimotripsinogênio** → **quimotripsina**
 - **Proelastase** → **elastase**
 - **Procarboxipeptidases A e B** → **carboxipeptidases A e B**

b) Ação das proteases pancreáticas

- **Tripsina e quimotripsina**: endopeptidases que quebram ligações internas em resíduos específicos.
- **Elastase**: atua sobre pequenas proteínas e elastina.
- **Carboxipeptidases**: exopeptidases que clivam aminoácidos na extremidade carboxílica dos peptídeos.

3. Ação das Enzimas da Borda em Escova

As enzimas localizadas na membrana apical dos enterócitos finalizam a digestão:

- **Aminopeptidases**: clivam aminoácidos da extremidade amino-terminal.
- **Dipeptidases e tripeptidases**: quebram pequenos peptídeos restantes em aminoácidos livres.

4. Absorção de Aminoácidos

A absorção ocorre no **jejuno e íleo**, por meio de transportadores específicos:

- Transporte ativo secundário com sódio (para aminoácidos neutros, básicos e ácidos).
- Algumas di- e tripeptidases são absorvidas por **PEPT1**, um cotransportador com H^+ , sendo hidrolisadas intracelularmente.

Após a absorção, os aminoácidos alcançam a circulação portal e são transportados ao **fígado**, onde serão utilizados na síntese proteica, metabolismo energético ou armazenamento.

5. Aplicações Clínicas

- **Deficiências pancreáticas** (ex.: fibrose cística, pancreatite crônica) comprometem a secreção de enzimas, levando a má digestão proteica.
- **Doenças entéricas** (ex.: doença celíaca) afetam a borda em escova, prejudicando a fase final da digestão e absorção.
- **Enteropatias perdedoras de proteínas**: causam perda anormal de proteínas no trato digestivo, impactando o estado nutricional.