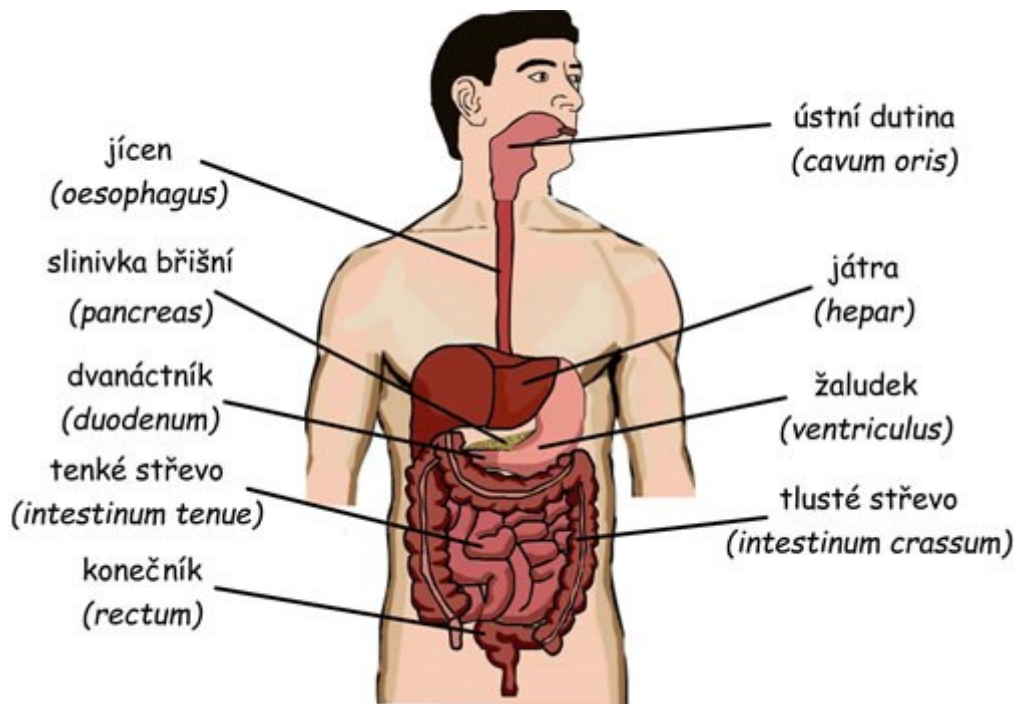


Trávicí soustava a trávení



David Šarboch

Milada Teplá

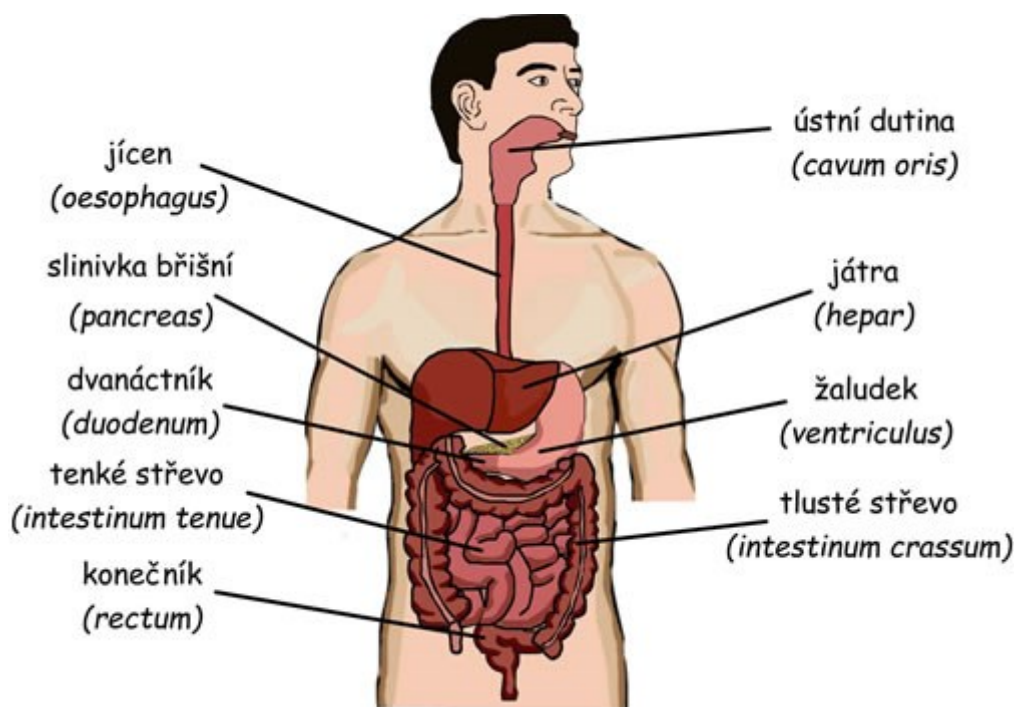
KUDCH, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy,

Praha 2018

Úvod

Trávicí soustava zajišťuje příjem potravy, její mechanické a chemické zpracování, vstřebání vstřebatelných a vyloučení nevstřebatelných nebo nevstřebených látek. Trávicí soustava člověka se skládá z trávicí trubice a přídatných žláz, které do ní vylučují trávicí šťávy. Pro přehlednost je celá soustava rozdělena do následujících oddílů (viz také *Obr. 1*):

1. ústní dutina
2. jícen
3. žaludek
4. tenké střevo
5. slinivka břišní
6. játra a žlučník
7. tlusté střevo



Obr. 1 – Jednotlivé úseky trávicí soustavy člověka (upraveno podle: Jonbarron.org [online]. The Baseline of Health Foundation, © 2018. . [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <http://jonbarron.org/article/overview-digestive-system#.VyuYwG6LTIU>).

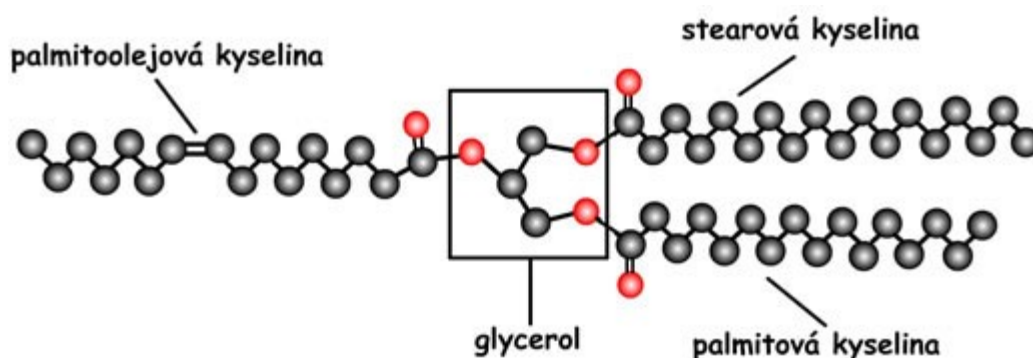
Ústní dutina

V ústní dutině se nachází zuby, jazyk, slinné žlázy, patro a patrové mandle. Již zde začíná proces trávení. Rozmělněním potravy pomocí zubů se usnadní polykání, menší části potravy jsou tak lépe přístupné pro trávicí enzymy. Přítomnost potravy v ústech spouští nervové signály, které dávají pokyn k vylučování slin. Sliny jsou produkovány třemi velkými párovými slinnými žlázami (v animaci jsou znázorněny pouze podjazykové a podčelistní slinné žlázy, dále do této skupiny řadíme ještě žlázy příušní). Kromě velkých slinných žláz ústí do ústní dutiny mnoho malých slinných žlázek. Mechanismus sekrece slin je zajištěn svalům podobnými buňkami, které svými výběžky obepínají každou žlázku a stahem dokážou ze sekreční buňky daný sekret vypudit. Takovýmto způsobem se vytvoří za den až 1,0–1,5 l slin, jejichž pH je víceméně neutrální (pH=7).

Při posouvání sousta směrem k hltanu dojde k podráždění měkkého patra, které se reflexně stáhne a uzavře průchod do dutiny nosní. Tím brání proniknutí sousta do vyšších horních cest dýchacích.

Složení hamburgeru

Jako příklad stravy složené ze všech tří základních živin byl vybrán hamburger. Ten by měl obsahovat jak sacharidy, tak lipidy a proteiny. Sacharidy jsou v této animaci znázorněny jako rozvětvený řetězec amylopektinu, jelikož ten tvoří většinu (asi 70 %) škrobu. Jednotlivé šestiúhelníky značí molekuly glukosy. Lipidy jsou zastoupeny 1,2,3-triacylglycerolem, složeným z glycerolu – trojsytného alkoholu a tří mastných kyselin – organických kyselin s dlouhým uhlíkatým řetězcem (odshora: stearová kyselina, palmitoolejová kyselina a palmitová kyselina – viz *Obr. 2*). Protein je zde znázorněn jako enzym obsahující různé sekundární struktury (α -helixy a β -skládané listy).

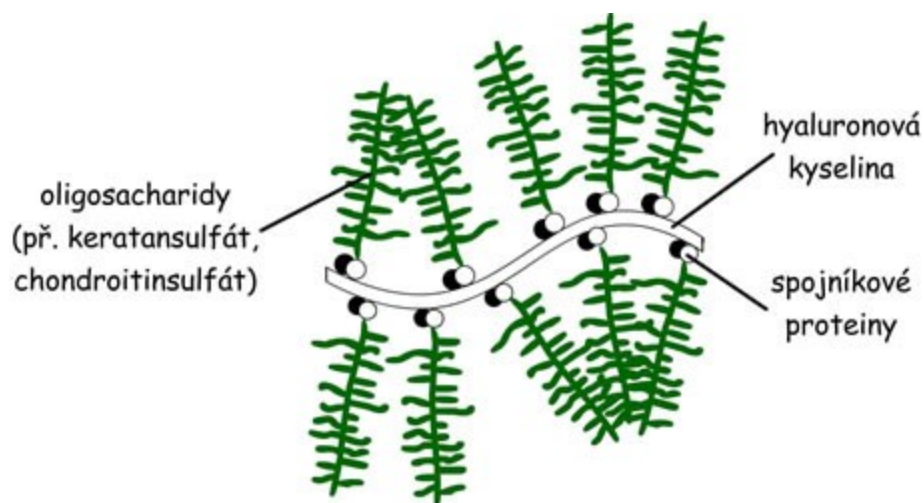


Obr. 2 – Triacylglycerol (černě jsou značeny atomy uhlíku, červeně atomy kyslíku, atomy vodíku zde nejsou znázorněny).

Složení slin

Sliny obsahují 99–99,5 % vody. Zbýlých 0,5–1 % tvoří některé anorganické ionty a organické látky. Mezi enzymy, které se ve slinách nachází, řadíme např. ptyalin (α -amylasu), který štěpí škrob na kratší řetězce (více viz kapitola „Trávení sacharidů“), dále pak lysozym, který je

schopen narušovat buněčnou stěnu bakterií a částečně tak chránit organismus před vstupem patogenů. Buňkami jazyka je také vylučována tzv. jazyková lipasa štěpící jednoduché lipidy s krátkými a středně dlouhými řetězci mastných kyselin. Ta ale v animaci není uvedena. Vzhledem ke krátké době pobytu sousta v ústní dutině je ale účinek enzymů velmi omezený, u lipasy téměř neznatelný. Další složkou slin je mucin. Jedná se o skupinu glykoproteinů (molekul obsahujících jak cukernou, tak bílkovinnou složku), která připravuje sousto pro polknutí a zajišťuje jeho kompaktnost a hladký povrch (viz *Obr. 3*). Významnou složkou slin jsou také protilátky, bílkovinná tělíčka. Ve slinách jsou to IgA (imunoglobuliny A), které dokážou zneškodnit případné patogeny (viry a bakterie), jež se dostaly s potravou do ústní dutiny.



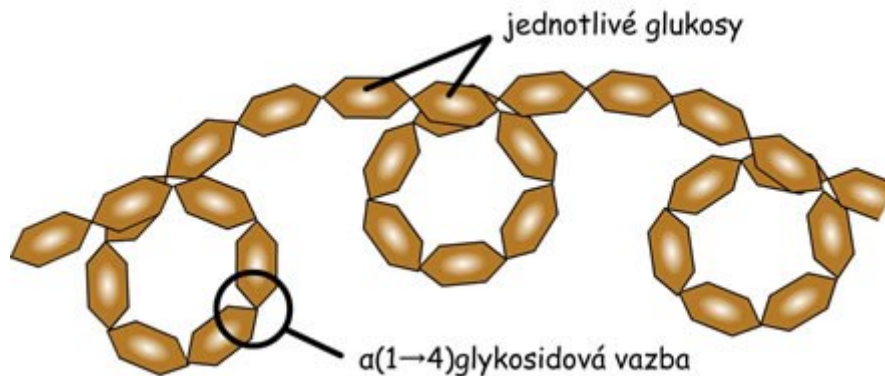
Obr. 3 - Struktura glykoproteinu.

Trávení sacharidů

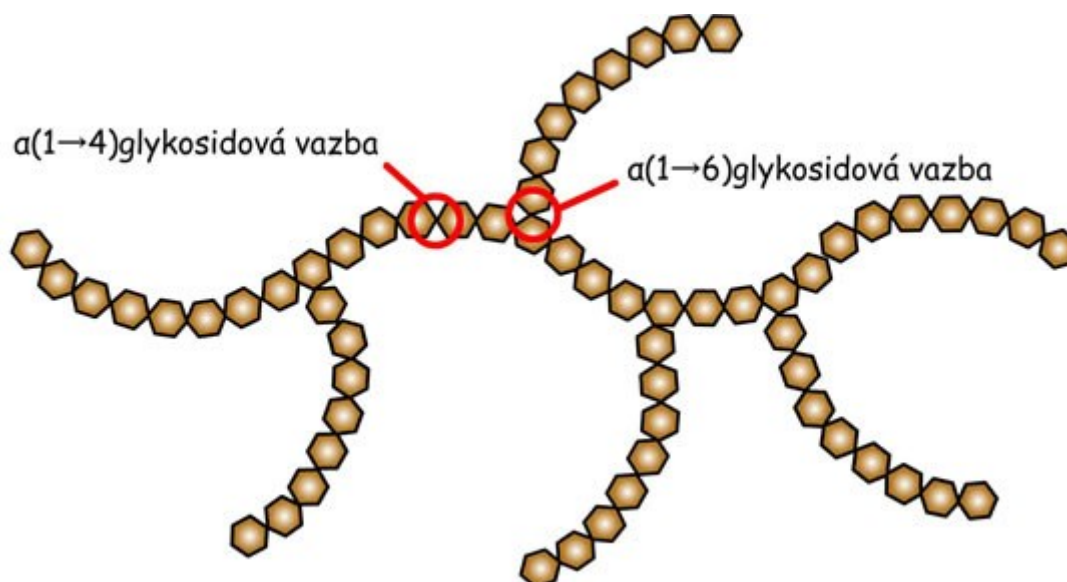
Trávení sacharidů začíná již v ústní dutině. Zde se tráví velké biomolekuly polysacharidu škrobu na menší sacharidové jednotky (dextriny až disacharidy, viz dále). Dvěma složkami škrobu jsou amyloza a amylopektin. Amyloza má nevětvenou šroubovicovou strukturu a tvoří ji několik tisíc glukosových jednotek vázaných $\alpha(1 \rightarrow 4)$ glykosidovou vazbou (*Obr. 4*). Oproti tomu amylopektin je lineární, větvený a obsahuje kromě vazeb $\alpha(1 \rightarrow 4)$ také vazby $\alpha(1 \rightarrow 6)$ (*Obr. 5*). Vzhledem k tomu, že ve škrobu je přítomen zejména amylopektin (až 70 %), animace sleduje trávení právě této složky.

Enzym, který ve slinách tráví škrob, se jmenuje ptyalin (či α -amylasa – enzym má označení „ α “ proto, že výsledkem štěpení, které katalyzuje, jsou α anomery sacharidů, ne proto, že by štěpil α -glykosidové vazby). K enzymatickému štěpení sacharidů (ale i proteinů a lipidů) je vždy zapotřebí voda. Jedná se totiž o tzv. hydrolýzu, tedy reakci, při které je spotřebována molekula vody na rozštěpení jedné glykosidové vazby. Enzymy jsou velké organické molekuly, které jsou povětšinou mnohem větší než jejich substrát (čili látka, kterou katalycky přeměňují). Poměr velikostí enzymu, molekuly vody a sacharidu v této animaci není zachován. Ptyalin štěpí molekuly amylopektinu a amylosy na kratší řetězce, tzv. dextriny. Pokud v ústech necháme enzym působit delší dobu, můžeme pocítit sladkou chuť.

Ta je způsobena rozštěpením části dextrinů až na disacharidy, v případě škrobu to jsou maltosy.



Obr. 4 - Struktura amylosy.



Obr. 5 - Struktura amylopektinu.

Anatomie

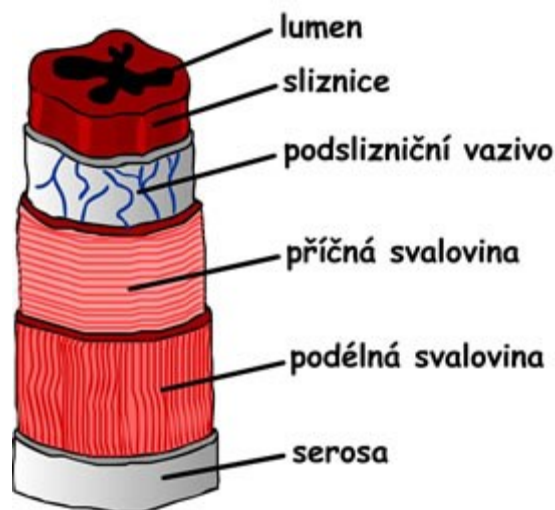
V této animaci jsou zobrazeny následující oddíly ústní dutiny:

1. **nosohltn** - tvoří jeden ze tří úseků hltanu. Zajišťuje průchod vdechovaného vzduchu z nosní dutiny do dalších částí hltanu a poté do dolních dýchacích cest. Vdechovaný vzduch je v tomto oddílu částečně zvlhčován a oteplován. Od ústní dutiny odděluje nosohltn měkké patro.
2. **ústní část hltanu** - vytváří přechod mezi nosohltanem a hrtanovou částí hltanu.
3. **hrtanová část hltanu** - je prostor nacházející se těsně nad hrtanovou příklopkou. Je to poslední úsek trávicí soustavy společný i pro soustavu dýchací.
4. **hltan** - úsek trávicí trubice propojující ústní dutinu (konkrétně hrtanovou část hltanu) s jícnem. Jeho stěna ani stěna jícnu není vyztužena žádnými chrupavkami.

5. **hrtan** – tvoří přechod mezi hltanem a průdušnicí. Zde se také nachází hlasové ústrojí – hlasivky, které se upínají na chrupavky vyztužující stěnu hrtanu.
6. **stěna hrtanu** – ta je vyztužena chrupavkami, stejně jako ostatní části dýchacích cest. Zároveň odděluje průdušnici od jícnu a díky své pružnosti umožňuje soustu proniknout do trávicího traktu.
7. **štítná chrupavka** – je největší z hrtanových chrupavek, lze ji nahmatat (zejména u mužů) jako nápadný výstupek v horní části krku – ohryzek.
8. **epiglottis** – neboli hrtanová příklopka je chrupavčitá struktura, která je schopna uzavřít hrtan (a tím pádem i dýchací cesty) při polykání. Tím zabraňuje proniknutí sousta do průdušnice.
9. **jazyk a mandle jazykové** – jazyk je svalovitý orgán podílející se na mechanickém zpracování potravy a jejím smyslovém vnímání prostřednictvím chuťových pohárků, na tvorbě řeči, ale i na obraně těla před patogeny (na jeho kořenu se nachází sliznice s četnými hrbolky tvořenými uzlíčky lymfatické tkáně – mandle jazykové).
10. **podčelistní a podjazykové slinné žlázy** – patří mezi párové velké slinné žlázy produkující sliny. Třetími velkými párovými slinnými žlázami jsou žlázy příušní, které ale nejsou v animaci znázorněny.
11. **zuby** – se podílejí na mechanickém zpracování potravy. Každý zub je tvořen korunou, krčkem a kořenem. Povrch zubu kryje sklovina, která představuje nejtvrďší tkáň v těle. Obsahuje 95–98 % anorganických látek (především hydroxyapatit a fluorapatit – $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$). Sklovina je nejsilnější na řezacích hranách a hrbolcích, kde dosahuje tloušťky až 2,5 mm. Pod sklovinou se nachází zubovina. Je to pojivová tkáň tvrdší než kost, obsahuje 72 % anorganických látek, opět převážně hydroxyapatit a fluorapatit. Uvnitř korunky se nachází dutina vyplněná dřevem. Dřeň obsahuje řídké vazivo, bohatě vaskularizované (protkané cévami) a inervované. Nezbytnou součástí zubu je zubní cement, což je tkáň kryjící krček a kořen zubu, podobající se svou strukturou kosti a zajišťující spojení mezi samotným zubem a zubní jamkou. Struktura zubů není v animaci zpracována.
12. **horní čelist** – v té jsou ukotveny horní zuby a pozvolně navazuje na kost patrovou. Ta vytváří tzv. tvrdé patro, které neprostupně odděluje dutinu nosní od dutiny ústní.
13. **měkké patro** – vytváří důležitou strukturu navazující na patro tvrdé. Je zakončeno uvulou, výběžkem, který po mechanickém podráždění vyvolá ohyb měkkého patra a tím uzavření nosohltanu.

Jícen

Jícen je 23–25 cm dlouhá svalnatá trubice, která vede z hrtanové části hltanu a prochází hrudní dutinou a bránicí do dutiny břišní, kde se napojuje na žaludek. Jícen je od hrtanové části hltanu oddělen jícnovým svěračem, který se otevírá pouze tehdy, pokud dochází k polykání. Stěna jícnu, stejně jako stěna zbytku trávicí trubice, je tvořena čtyřmi vrstvami. Sliznice vystýlá vnitřek (lumen) jícnu a obsahuje sekreční buňky produkující hlen. Na ní navazuje podslizniční vazivo, jež obsahuje nervy a cévy vedoucí ke slizničním buňkám. Třetí vrstvou je svalovina, která se dělí na příčnou a podélnou a zajišťuje posun sousta k žaludku. Na povrchu stěny jícnu se nahází serosa, vazivová blána (viz Obr. 6). Jídlo je jícnem posouváno díky peristaltickým pohybům, které jsou způsobeny stahy svaloviny nacházející se ve stěně jícnu. Peristaltika je u zdravého jícnu tak silná, že posouvá sousto směrem k žaludku i proti gravitaci (např. při stojce na hlavě). K peristaltice může příležitostně docházet i tehdy, není-li v jícnu přítomné sousto. To v nás vyvolává pocit „knedlíku v krku“. Svalový svěrač, česlo, se nachází na konci trubice, kde kontroluje vstup sousta do žaludku a brání návratu potravy zpět do jícnu. Pokud se přeci jen část obsahu žaludku s žaludeční šťávou dostane do jícnu (tzv. reflux), dochází k pálení žáhy. Častý reflux žaludeční šťávy může způsobit záněty epitelu jícnu (krycí vrstva sliznice jícnu), či dokonce rakovinu.



Obr. 6 – Struktura stěny trávicí trubice (upraveno podle [Missinglink.ucsf.edu](http://missinglink.ucsf.edu) [online]. University of California Regents, © 2018. [cit. 2018–02–15]. Dostupné z: http://missinglink.ucsf.edu/lm/IDS_106_UpperGI/Upper%20GI/historeview.htm.)

Žaludek

Žaludek je nápadně rozšířený vakovitý úsek trávicí trubice, který funguje jako rezervoár potravy, které může v krátké době přijmout značné množství a kterou pak po malých částech předává do tenkého střeva. Tak jako u jícnu, i v žaludku posouvá potravu do dalších částí trávicí trubice peristaltika (mimovolní pravidelné stahy hladké svaloviny). Struktura žaludeční stěny je stejná, čtyřvrstvá jako u zbytku trávicí trubice. Žaludeční sliznice je tvořena několika druhy sekrečních buněk produkujících žaludeční šťávu (2–3 l denně).

Vznik tráveniny

Žaludek je ohraničený na obou koncích svěračem z hladké svaloviny. Mezi jícnem a žaludkem se nachází česlo. To brání proniknutí žaludečního obsahu zpět do jícnu, což může mít za následek poleptání jícnového epitelu. Jakmile sousto projde česlem, začne se nervovými drahami šířit signál k tzv. G–buňkám, které se nacházejí na druhém konci žaludku. Je to pokyn k tomu, aby začaly produkovat hormon gastrin, který zvyšuje sekreci žaludeční šťávy a stimuluje žaludeční peristaltiku. Sekrece gastrinu je naopak potlačována příliš kyselým pH (toto je obranný mechanismus proti vzniku nadměrně kyselého prostředí, které by mohlo poškodit žaludeční sliznici).

Sousto je v žaludku promícháváno s žaludeční šťávou, která obsahuje různé složky (viz dále). Začínají se zde trávit proteiny a pokračuje trávení tuků, které je zde výraznější než v ústní dutině. Sousto se těmito procesy mění na tráveninu. Během promíchávání s žaludeční šťávou je potrava posouvána peristaltikou k druhému žaludečnímu svěrači, k vrátníku. Trávenina po malých dávkách prochází vrátníkem do prvního úseku tenkého střeva – dvanáctníku.

Složení žaludeční šťávy

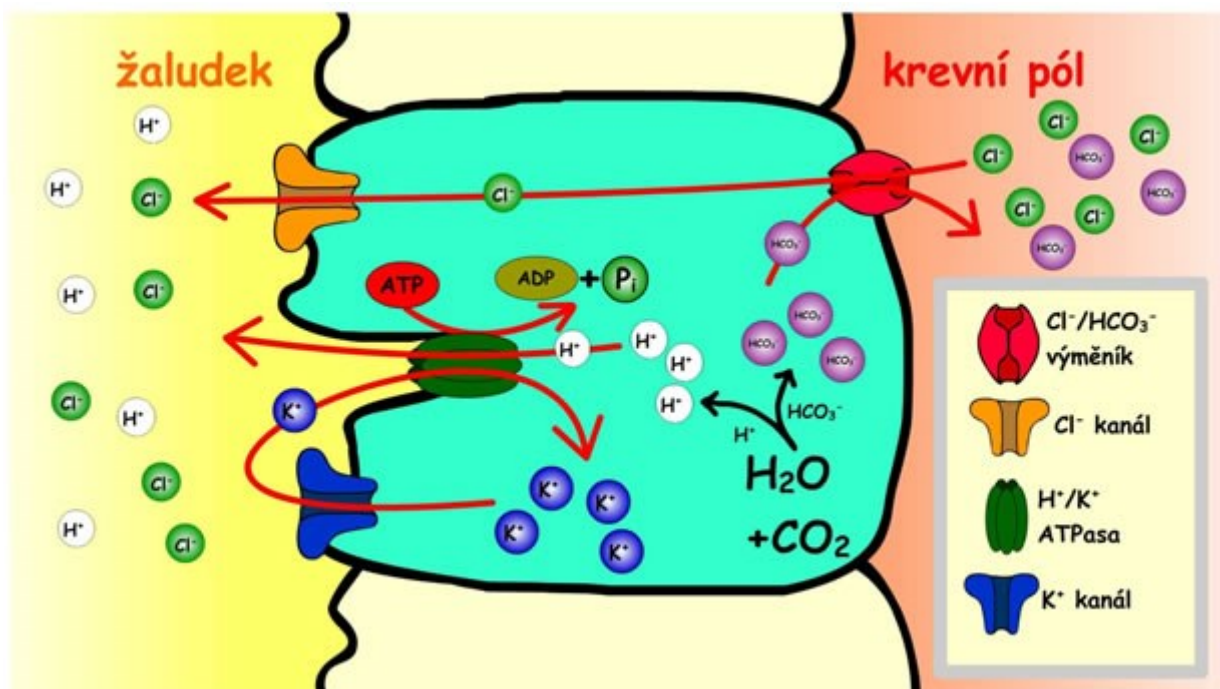
Žaludeční šťáva je produkována žaludeční sliznicí, která obsahuje několik typů buněk. Každý buněčný typ produkuje určitou složku šťávy, které se za den vytvoří zhruba 2–3 l.

1. **voda (H₂O)** – voda vytváří 99 % objemu žaludeční šťávy.
2. **kyselina chlorovodíková (HCl)** – ta je produkována krycími (parietálními) buňkami ve formě iontů H⁺ a Cl⁻. HCl vytváří v žaludku velmi nízké pH (okolo 2, na lačno), jenž aktivuje některé trávicí enzymy (konkrétně pepsin), zároveň ničí mnohé původce infekcí a také denaturuje proteiny, které se v žaludku začínají trávit. Po vstupu sousta do žaludku hodnota pH stoupá na pH=4, poté opět klesá, díky vylučování HCl.
3. **lipasa** – enzym trávicí lipidy, konkrétně tuky (triacylglyceroly) s krátkými a středně dlouhými řetězci mastných kyselin. Odštěpené mastné kyseliny mohou být ihned resorbovány (vstřebány) žaludeční sliznicí. Působení žaludeční lipasy má větší vliv na celkové trávení lipidů než aktivita lipasy jazykové, ovšem hlavní trávení tuků probíhá až ve dvanáctníku.
4. **vnitřní faktor** – jedná se o protein, který pomáhá vázat vitamin B₁₂(kobalamin). Vzniklý komplex vitamin–protein je pak vstřebáván v tenkém střevě.

5. **pepsin** – je produkován ve své neaktivní formě tzv. pepsinogenu a po své aktivaci štěpí proteiny na větší polypeptidy, tzv. peptony.
6. **mucin** – jedná se o skupinu glykoproteinů, které plní ochrannou funkci. Chrání žaludeční stěnu před žíravými účinky HCl a zároveň pomáhá vázat vitamin B₁₂ (kobalamin).

Sekrece HCl

Tato animace nevychází ze středoškolských učebnic, je tedy doplňkovou animací a objasňuje, jakým způsobem dochází k sekreci kyseliny chlorovodíkové žaludeční sliznicí. Základem je difuze CO₂ z krevního řečiště do krycích (parietálních) buněk, které vytvářejí žaludeční epitel. Jedna molekula CO₂ zde reaguje s molekulou vody za vzniku vodíkového kationtu H⁺ a hydrogenuhličitanového aniontu. Tato reakce je katalyzována enzymem karbonátdehydratasou. Takto vzniklý vodíkový kation je následně antiportem s kationtem draselným (K⁺) aktivně (za spotřeby ATP) přenášen přes plasmatickou membránu do lumen žaludku (vnitřního prostoru žaludku). Ionty K⁺ se poté dostávají iontovými kanály po koncentračním spádu zpět z buňky ven. Naopak HCO₃⁻ je antiportem s chloridovým aniontem Cl⁻ vylučován do krevního řečiště. Tento přenos aniontů probíhá po koncentračním spádu. Hydrogenuhličitanové anionty mohou poté v krevním řečišti fungovat jako pufrý (látky tlumící výkyvy pH). Anionty Cl⁻ jsou následně z buňky přenášeny přes iontové kanály ven do lumen žaludku. Pro lepší pochopení popisu sekrece HCl viz *Obr. 7*.



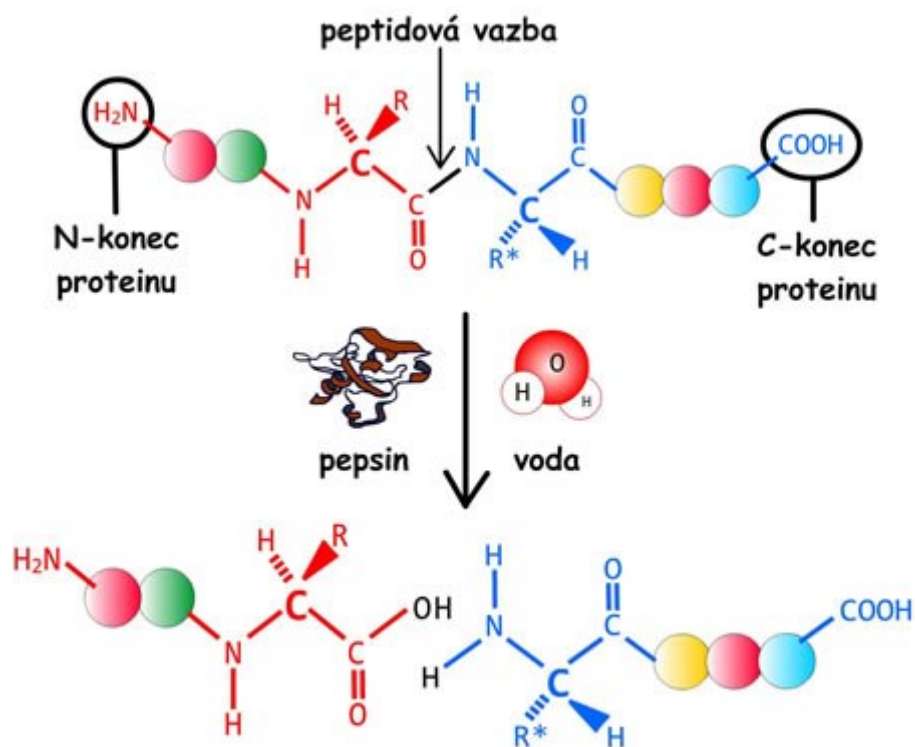
Obr. 7 – Sekrece HCl do žaludku. Červené šipky sledují pohyb jednotlivých iontů. Velikostní poměr iontů není zachován. Zeleně jsou značeny ionty Cl⁻, bíle ionty H⁺, modře ionty K⁺ a fialově ionty HCO₃⁻.

Aktivace pepsinu

Enzym pepsin v žaludku tráví bílkoviny. Ovšem všechny proteasy (tedy enzymy trávící proteiny) jsou do trávící soustavy vylučovány v neaktivní formě, tzv. zymogenů. Eliminuje se tak riziko natrávení samotných tkání, které dané enzymy vylučují. Pepsin je do žaludku vylučován ve formě pepsinogenu. Je to ve své podstatě hotový připravený enzym, který má ovšem aktivní místo (místo na enzymu, kam se může vázat látka, substrát, kterou enzym přeměňuje) bráněné pěti peptidy. K jejich odštěpení dochází až působením kyselého pH, které v žaludku vytváří HCl. V momentě, kdy jsou bránící peptidy z pepsinogenu odštěpeny, může se na již aktivní pepsin navázat substrát.

Trávení proteinů

Trávení proteinů začíná v žaludku. Žaludek je totiž první oddíl trávící soustavy, v němž se vytváří prostředí schopné bílkoviny denaturovat. Díky denaturaci jsou proteiny poté přístupnější pro enzymy proteasy. Proteiny jsou složeny z jednotlivých aminokyselin (AMK), které jsou mezi sebou propojené peptidovou vazbou. Protože při vzniku peptidové vazby došlo k odštěpení jedné molekuly vody ze dvou AMK, je možné ji enzymatickou hydratací rozštěpit. Toto rozštěpení v žaludku katalyzuje enzym pepsin (viz *Obr. 8*). Tento enzym řadíme mezi tzv. endopeptidasy, protože štěpí bílkovinný řetězec převážně uprostřed. Pepsin, stejně jako ostatní enzymy, je mnohem větší než jeho substrát a ten se musí navázat do aktivního místa pepsinu. V momentě, kdy dojde k navázání substrátu (proteinového řetězce) a molekuly vody dojde v aktivním místě k hydrolýze a peptidová vazba se rozštěpí. Výsledkem štěpení proteinů v žaludku pomocí pepsinu jsou kratší bílkovinné řetězce, tzv. peptony.



Obr. 8 - Rozštěpení peptidové vazby hydrolýzou za katalytické účasti pepsinu.

Dvanáctník

Dvanáctník je první úsek tenkého střeva. Je dlouhý zhruba 12 palců (odtud pochází jeho české označení), tj. cca 30 cm. Ač je oproti dalším oddílům velmi krátký, jeho úloha při trávení je nenahraditelná. Ústí do něj vývod žlučníku (žlučovod) a vývod slinivky břišní a dochází zde k finálnímu štěpení živin.

Procesy ve dvanáctníku

Trávenina se postupně posouvá žaludkem, díky stahům žaludeční svaloviny, až k vrátníku (pylorus), svěrači, který tvoří předěl mezi žaludkem a tenkým střevem. Po malých dávkách trávenina prochází svěračem do dvanáctníku. Je-li v potravě přítomno větší množství lipidů a proteinů, buňky dvanáctníku začnou vylučovat peptidický hormon cholecystokinin, který zvyšuje sekreci žluče a pankreatické šťávy. Tyto sekrety by se vylučovaly i bez cholecystokininu, ale jejich složení by bylo odlišné, neobsahovaly by např. tolik trávicích enzymů. Trávenina je promíchávána se žlučí a pankreatickou šťávou díky střevní peristaltice, a tak dochází ke vzniku relativně řídké kaše a k definitivnímu štěpení živin. Trávenina se postupně posouvá do dalšího oddílu tenkého střeva, kde dochází zejména ke vstřebávání rozštěpených živin. Zároveň se do dvanáctníku dostává další část žaludeční tráveniny.

Složení pankreatické šťávy

Pankreatická šťáva je produkována slinivkou břišní, která do dvanáctníku ústí vývodem slinivky břišní. Ve většině případů se vývod slinivky pojí se žlučovodem ještě před ústím do dvanáctníku, nicméně ojedinele může docházet k samostatnému vyústění obou vývodů. Denně se vytvoří zhruba 0,7–2,2 l pankreatické šťávy, jejíž pH je udržováno na hodnotě 7,7. Množství vytvořené šťávy závisí na složení stravy. V pankreatické šťávě se nachází:

1. **voda** – vytváří zde polární prostředí, které napomáhá resorpci (vstřebávání) rozštěpených živin stěnou tenkého střeva.
2. **proteasy** – enzymy štěpící proteiny. Bílkoviny jsou denaturovány a částečně štěpeny již v žaludku. Slinivka břišní vylučuje do dvanáctníku dva typy proteas: endopeptidasy (ty štěpí proteinový řetězec uprostřed – např. trypsin, chymotrypsin) a exopeptidasy (štěpí proteinové řetězce od konců – např. karboxypeptidasa, která štěpí aminokyseliny od C–konce). Všechny jmenované enzymy se vylučují do střeva ve formě neaktivních zymogenů (trypsinogen, prokarboxypeptidasa apod.) a jsou aktivovány až přímo ve střevě díky enteropeptidase, která se nachází ve sliznici dvanáctníku (enteropeptidasa mění trypsinogen na trypsin a ten pak aktivuje ostatní enzymy).
3. **lipasy** – enzymy štěpící lipidy. Lipidy jsou částečně štěpeny už v ústní dutině a zejména v žaludku, nicméně 70–90 % lipidů je hydrolyzováno až ve dvanáctníku. Slinivka břišní vylučuje do střeva např. triacylglycerollipasu, která štěpí triacylglyceroly, a fosfolipasu A₂, která hydrolyzuje fosfolipidy.

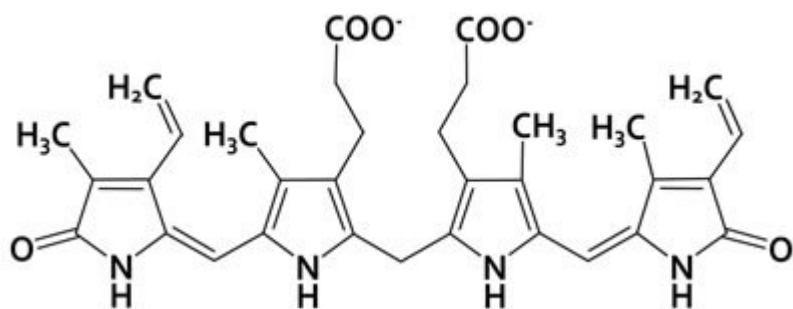
4. **amylasa** – α -amylasa štěpí stejně jako v ústní dutině škrob na menší jednotky – dextriny. Hydrolýza dextrinů až na jednotlivé monosacharidy je zajištěna oligosacharasy (štěpícími dextriny na disacharidy) a disacharasy (ty štěpí disacharidy na monosacharidové jednotky, např. sacharasa, maltasa). Oligosacharasy a disacharasy nejsou součástí pankreatické šťávy, ale nachází se přímo ve sliznici dvanáctníku.
5. **ion** – hydrogenuhličitanový ion má v organismu obecně pufrční funkci. Pufr je látka, která dokáže tlumit výkyvy pH ať už do kyselé, či zásadité oblasti. Tento ion je do dvanáctníku vylučován z důvodu neutralizace silně kyselé tráveniny, která se do tenkého střeva ze žaludku dostává.

Složení žluči

Žluč je vazká kapalina, která vzniká v játrech a jejíž podstatnou část tvoří voda. Denně se jí vytvoří asi 0,8–1 l, záleží na složení stravy. Vytváří-li se více žluče, než je potřeba, skladuje se tato kapalina ve váčku zvaném žlučník. Z něj je poté dávkována do dvanáctníku podle potřeby. Základní funkcí žluče je emulgace lipidů. Lipidy jsou látky nepolární či amfifilní (část lipidu je polární, část nepolární). Ve vodném prostředí dochází k jejich shlukování, což by mohlo způsobovat vážné zdravotní komplikace. Žluč obsahuje látky amfifilní povahy, které mohou oddělovat tyto velké agregáty lipidů (tukové kapénky) na menší částičky – micely (tomuto procesu se říká emulgace). Na micely se pak vážou lipasy, které dané lipidy, v micelách obsažené, rozštěpí.

Ve žluči se nachází tyto látky:

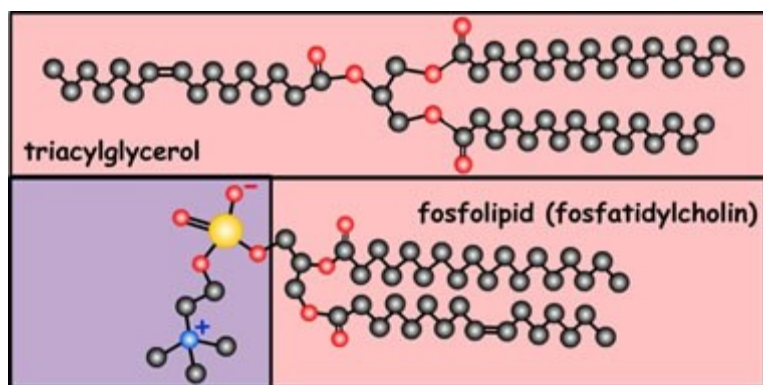
- **mucin** – je označení pro skupinu glykoproteinů (viz *Obr. 7*). Tyto sloučeniny vytvářejí hlen a tím usnadňují průchod tráveniny trávicím traktem.
- **žlučová barviva** – jsou to látky určené zejména k vyloučení z organismu. Mezi nejvýznamnější patří bilirubin, který vzniká degradací hemové skupiny hemoglobinu *Obr. 9*. Střevní mikroflóra metabolizuje bilirubin na urobilinogen, který ve výsledku zodpovídá za typické zbarvení stolice.
- **cholesterol** – patří do skupiny odvozených lipidů. Cholesterol je nezbytnou sloučeninou, která hraje v lidském těle mnoho významných rolí. Je součástí buněčných membrán, uplatňuje se při syntéze některých steroidních hormonů či vit. D. Také slouží jako výchozí látka při tvorbě žlučových kyselin. Ve žluči se využívá jeho amfifilní charakter, kdy napomáhá emulgovat tuky. Vylučování žlučí je také hlavní cestou, kterou se tělo zbavuje přebytečného cholesterolu.
- **žlučové kyseliny** – jsou to deriváty cholesterolu (látky od něj odvozené) vytvářející se v játrech. Ve formě aniontů či solí žlučových kyselin jsou hlavní složkou žluči, která emulguje lipidy ve dvanáctníku. Nejběžnější žlučovou kyselinou je cholová kyselina a její deriváty glykocholová a taurocholová kyselina.



Obr. 9 - Vzorec žlučového barviva bilirubinu.

Emulgace lipidů

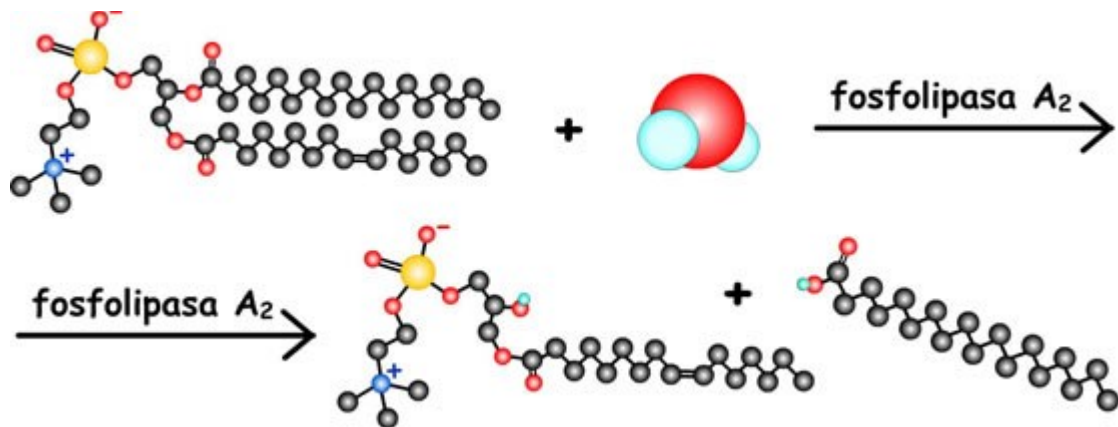
Lipidy jsou látky zcela nebo alespoň z části nepolární. To podstatně zhoršuje jejich štěpení, protože ve vodném prostředí střeva se lipidy shlukují do tukových kapének a lipasy nemají šanci se ke všem molekulám dostat. Z toho důvodu je do dvanáctníku vylučována žluč, která obsahuje látky pomáhající rozbít tukové kapénky na menší částičky, tzv. micely (takto lze shrnout proces emulgace). Dalším faktorem pomáhajícím při emulgaci lipidů je střevní peristaltika (pravidelné stahy hladké svaloviny střeva). Ve žluči jsou obsaženy amfifilní sloučeniny. Ty se vyznačují tím, že jejich molekuly mají jednak část nepolární (která se orientuje ve vodném prostředí směrem k nepolárním lipidům, např. triacylglycerolu) a část polární (ta interaguje s vodním prostředím) – viz Obr. 10. Díky této vlastnosti mohou amfifilní sloučeniny vytrhávat lipidy z tukových kapének, tvořit s nimi menší micely a tím pádem i zvyšovat povrch, na kterém mohou působit lipasy. Mezi molekuly ryze nepolární řadíme např. triacylglycerol. Žlučové kyseliny a jejich soli, cholesterol a fosfolipidy jsou naopak látky amfifilní.



Obr. 10 - Struktura a polarita molekul triacylglycerolu a fosfolipidu. Modrý rámeček značí polární část, červený rámeček značí nepolární část molekuly. Barevné označení atomů: C – černě, O – červeně, P – žlutě, N – modře. Pro přehlednost nejsou vyznačeny atomy vodíku.

Trávení lipidů

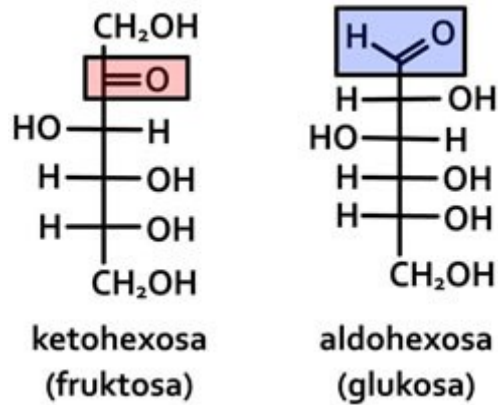
Poté, co jsou lipidy emulgovány žlučí, mohou lipasy zahájit trávicí procesy. Ve dvanáctníku se enzymaticky hydrolyzují triacylglyceroly na 2-monoacylglycerol a dvě mastné kyseliny za spotřeby dvou molekul vody (tuto reakci katalyzuje triacylglycerollipasa). Dochází zde také ke štěpení fosfolipidů za vzniku lysofosfolipidu, jedné mastné kyseliny a spotřeby jedné molekuly vody (zde působí jako katalyzátor fosfolipasa A₂) – viz *Obr. 11*. Rozštěpené lipidy jsou poté vstřebány střešní stěnou.



Obr. 11 – Enzymaticky katalyzovaná hydrolýza fosfolipidu lecithinu (fosfatidylcholinu) za vzniku lysofosfolipidu a stearové kyseliny. Barevné označení atomů: C – černě, O – červeně, P – žlutě, N – modře. Pro přehlednost jsou atomy vodíku bíle označeny jen u molekuly H₂O a na -OH skupinách glycerolu lysofosfolipidu a stearové kyseliny. Poměr velikostí jednotlivých molekul není zachován.

Trávení sacharidů

Do dvanáctníku se dostávají sacharidy již částečně rozštěpené díky slinné amylase. Zbytek nerozštěpeného škrobu hydrolyzuje pankreatická amylasa za vzniku dextrinů. Dextriny jsou dále štěpeny oligosacharasami až na disacharidy (např. maltosu). Disacharidy jsou následně hydrolyzovány disacharasami (např. maltasou, sacharasou apod.) až na jednotlivé monosacharidy. Na rozdíl od všech ostatních enzymů účastnících se trávení ve dvanáctníku se oligosacharasy a disacharasy nenachází v pankreatické šťávě, ale jsou součástí střešní sliznice. Mezi nejčastěji se vyskytující monosacharidy, které z naší stravy získáváme, patří aldohexosy glukosa a galaktosa a ketohexosa fruktosa. Aldohexosa je sacharid složený ze šesti atomů uhlíku a obsahující aldehydovou skupinu. Ketohexosa je sacharid složený opět z šesti atomů uhlíku, ale obsahující funkční ketoskupinu (viz *Obr. 12*).



Obr. 16 – Dva běžné monosacharidy vznikající hydrolýzou sacharidů ve dvanáctníku. Jedná se o hexosy (oba mají 6 atomů uhlíku), modře je vyznačena aldehydová skupina, červeně pak ketoskupina.

Trávení proteinů

Ve dvanáctníku dochází také k dokončení štěpení bílkovin. Proteiny jsou denaturovány a částečně štěpeny už v žaludku enzymem pepsinem. V tenkém střevě jsou katalyticky hydrolyzovány enzymy, které vylučuje slinivka břišní v pankreatické šťávě. Tyto enzymy jsou vylučovány ve formě zymogenů, neaktivních enzymů (viz oddíl „Složení pankreatické šťávy“). Proteinové řetězce jsou tráveny dvěma typy proteas – endopeptidasami (štěpí řetězec aminokyselin uprostřed) a exopeptidasami (odštěpují jednotlivé aminokyseliny od konců řetězce). Všechny proteasy jsou do dvanáctníku vylučovány ze slinivky břišní, jen aminopeptidasa, exopeptidasa štěpící aminokyseliny od N–konce, je obsažena ve sliznici tenkého střeva. Jednotlivé aminokyseliny jsou následně vstřebány střevní stěnou.

Tenké střevo

Tenké střevo je nejdelším úsekem trávicí trubice, měří 3–5 m. Délka tenkého střeva dospělého člověka je velmi variabilní, závisí na stupni kontrakce nebo uvolnění svaloviny stěny. Tenké střevo můžeme rozdělit na tři úseky: dvanáctník, lačník a kyčelník.

1. **Dvanáctník** – 25–30 cm dlouhá trubice, tvořící přechod mezi žaludkem a zbytkem trávicí soustavy. Do duodena ústí žlučovod a vývod ze slinivky břišní a to většinou společným vývodem.
2. **Lačník a kyčelník** – dva zbylé úseky tenkého střeva smotané do kliček. Zejména v těchto částech dochází ke vstřebávání živin.

Všechny oddíly tenkého střeva jsou k zadní stěně dutiny břišní přichyceny okružím. Velikost tohoto vazivového závěsu určuje, jak moc se mohou odtáhnout střevní kličky od zadní stěny břišní například při operaci.

Krevní zásobením tenkého střeva je zajištěno sítí tepen, které se oddělují z břišní aorty. Absorbované živiny jsou poté odváděny složitým žilním systémem do jaterní (portální) žíly a z té rovnou do jater.

Úvod

Stěna tenkého střeva má stejnou strukturu jako stěna zbytku trávicího traktu. Na povrchu střeva je tenká vazivová blána (serosa), pod ní se nachází svalová vrstva složená z podélné a kruhové svaloviny, následuje podslizniční vazivo a sliznice se střevním epitelem. Vzhledem k primární funkci tenkého střeva, tedy štěpení a následné resorpci živin, je sliznice speciálně strukturována. Celá její plocha je poseta drobnými štíhlými výběžky zvanými střevní klky. Ty jsou vysoké 0,3–1 mm a na plochu epitelu 1 mm² jich připadá, dle místa v tenkém střevě, 10–40. Klky jsou vaskularizované (protkané cévami) a díky tomu je zajištěna resorpce živin z tenkého střeva. Na povrchu klků se vyskytují tzv. enterocyty, buňky zajišťující vstřebávání látek z lumen (z vnitřku) tenkého střeva. Každý enterocyt je pokryt až 3 000 miniaturních výběžků zvaných mikroklky. Klky a mikroklky vytvářejí tzv. kartáčový lem a spolu s řasami sliznice zvětšují plochu tenkého střeva až na 200–300 m². Dále se zde nacházejí buňky produkující ochranný hlen, popř. oblasti s buňkami, které spolupracují s lymfatickou tkání (čím dále od žaludku, tím více těchto oblastí přibývá). Sliznice tenkého střeva produkuje také některé hormony. Za všechny jmenujme alespoň sekretin, který zvyšuje sekreci pankreatických šťáv a částečně tlumí produkci šťáv žaludečních, a cholecystokinin, jenž stimuluje kontrakce žlučníku. Ochranný hlen, hormony a některé enzymy (v zásadě jde o specifické sacharasy, popř. proteasy), které jsou buňkami střevní stěny produkovány, spoluvytvářejí střevní šťávu. Té se za den vyprodukuje asi 1,5–2,6 l a její pH se pohybuje od 7,5 do 8.

V následujících animacích bylo upuštěno od zachování velikostních poměrů mezi jednotlivými objekty. Proto jsou např. molekuly glukosy stejně velké jako ionty Na⁺, či cévy jsou mnohem užší ve vztahu k enterocyty než ve skutečnosti.

Resorpce monosacharidů

Enzymy štěpí polysacharidy a dextriny v tenkém střevě až na monosacharidy. Ty jsou poté vstřebány střevní stěnou. Většina monosacharidů (zejména glukosa a galaktosa) přechází do enterocytů spřaženým transportem (symportem) s ionty Na^+ . Spolu s jedním iontem Na^+ se do buňky dostane jedna molekula monosacharidu. Při tom se využívá koncentračního spádu iontů Na^+ , kterých je vně buňky více než uvnitř. Monosacharidy se hromadí v enterocyту a postupně po koncentračním spádu přecházejí do krevního řečiště přes přenašeče. Ionty Na^+ je ale potřeba dostat ven z buňky, pro obnovení akčního potenciálu buněčné membrány. Proto se v membráně vyskytují sodno–draselné pumpy ($\text{Na}^+/\text{K}^+ \text{-ATPasy}$), které přenášejí vždy 3 ionty Na^+ z a 2 ionty K^+ dovnitř enterocyту. Tento děj probíhá za spotřeby jedné molekuly ATP. Některé monosacharidy (např. fruktosa) prochází do enterocyту usnadněnou difuzí, nepotřebují tedy ionty Na^+ .

Resorpce monosacharidů probíhá zejména v druhém oddílu tenkého střeva, v lačníku.

Resorpce aminokyselin

Resorpce aminokyselin (AMK) je v mnoha ohledech podobná resorpci monosacharidů. AMK jsou do enterocytů přenášeny na základě symportu s ionty Na^+ , kdy se na jeden ion Na^+ přeneše jedna molekula AMK. Opět je zde využito koncentračního spádu Na^+ iontů. AMK se v buňce hromadí a do krevního řečiště se dostávají usnadněnou difuzí přes specifické přenašeče. Ionty Na^+ jsou následně z buňky odstraněny antiportem s ionty K^+ . Tento děj zajišťuje enzym $\text{Na}^+/\text{K}^+ \text{-ATPasa}$ nacházející se v membráně enterocyту a vyměňující tři ionty Na^+ za dva ionty K^+ za spotřeby jedné molekuly ATP. Takto se do enterocyту dostávají AMK aniontové a neutrální. Kationtové AMK se do buněk střevního epitelu dostávají antiportem s AMK neutrálními, které jsou následně do enterocyту opět přeneseny symportem s ionty Na^+ .

Resorpce aminokyselin probíhá zejména v druhém oddílu tenkého střeva, v lačníku.

Resorpce lipidů

Lipidy (TAG) se v tenkém střevě nejčastěji štěpí na monoacylglyceroly a mastné kyseliny (MK). Není přesně znám mechanismus, kterým se tyto látky dostávají do enterocytů, předpokládá se, že zde dochází buď k difuzi (u MK s krátkými a středně dlouhými řetězci), nebo k transportu pomocí přenašečů. Jakmile jsou naštěpené lipidy přeneseny přes membránu, putují do endoplasmatického retikula, membránové organely buňky. Zde jsou lipidy opět resyntetizovány (např. zpět v triacylglyceroly). Kvůli své nepolární povaze jsou TAG zabudovány do struktury tzv. chylomikronu (viz *Obr. 13*). Ten ve svém obalu obsahuje amfifilní lipidy, které mohou bez komplikací interagovat s vodným prostředím. Chylomikrony jsou následně exocytovány (vypuzeny) ven z buňky do mizních cév (nikoli do krevního řečiště!). Mízou jsou pak roznášeny až do mizního kmene, který nakonec ústí do horní duté žíly.

Obr. 13 – Struktura chylomikronu. (Apo-b48.org [online]. [cit. 2018-07-16]. Dostupné z: <https://www.docsoption.com/2017/01/30/vldl-triglyceride-remnant-cholesterol>).

Játra, žlučník a slinivka břišní

Anatomie a funkce jater není v animaci zpracována (kromě oddílů „Složení žluče“ a „Složení pankreatické šťávy“). Nicméně tvoří důležitý přídatný orgán trávicí soustavy a z toho důvodu jsou v následujících odstavcích shrnuty nejdůležitější informace.

Játra jsou největší žlázou lidského těla. V játrech dochází k syntéze žluči, nezbytné pro vstřebávání tuků, ale také představují centrum katabolických a anabolických reakcí. Doklad nezbytnosti jater pro lidský organismus udává fakt, že procesy v játrech probíhající spotřebovávají okolo 12 % veškerého kyslíku vázaného v krvi a krev, která tento orgán opouští, je těmito procesy zahřátá až na teplotu přes 40 °C. Játra se tak podílí i na termoregulaci těla.

Krevní zásobenění jater je zajištěno jednak díky jaterní tepně a jednak díky jaterní žíle (*portální*), která vede do jater krev ze střev, žaludku, sleziny a slinivky. Jaterní tkáň je tvořena jaterními buňkami, hepatocyty. Hepatocyt je buňka vylučující žluč, jejíž povrch je tvořen mikrokly. Na styku dvou hepatocytů je vždy žlučový kanálek, který se proplétá mezi buňkami a ústí do stále širších kanálů, které se nakonec sbíhají ve žlučovod. V jaterních kapilárách se pohybují speciální buňky, které pohlcují mikroorganismy a toxiny přicházející z portální žíly, a také buňky podílející se na regeneraci jater. Schopnost regenerace jaterní tkáně, např. kvůli mechanickému či toxickému poškození, je velmi vysoká.

Přídatnou strukturou trávicí soustavy je žlučník. Je to vak hruškovitého tvaru dosahující délky kolem 10 cm a nacházející se pod spodní stěnou jater. Žlučník slouží jako zásobárna žluči vyprodukované v játrech. Jeho buňky jsou schopny částečné resorpce vody a NaCl a tím žluč zahušťují. Ve stěně žlučových cest i žlučníku se nachází hladká svalovina, která svou kontrakcí vypuzuje žluč do dvanáctníku.

Slinivka břišní je žláza, která produkuje trávicí enzymy, jež jsou přes vývody dopraveny do duodena, a zároveň je místem syntézy hormonů, jež jsou krevním řečištěm roznášeny po celém těle. Společně s játry se přes trávicí šťávy podílí na katabolismu (štěpení) živin a tím usnadňuje jejich vstřebávání. Vnitřní tkáň slinivky břišní je charakteristická drobnými shluky buněk označovanými jako Langerhansovy ostrůvky. Ty vyměšují do krve hormony insulin a glukagon, které se podílejí mimo jiné na metabolismu sacharidů.

Složení žluči a pankreatické šťávy viz kapitolu o dvanáctníku.

Tlusté střevo

Tlusté střevo je posledním anatomicky odlišeným úsekem trávicí trubice, dlouhým zhruba 1,5 m. Primární funkcí tlustého střeva, které ze střeva tenkého přijímá kašovitý až tekutý obsah téměř bez živin, je absorbovat vodu, soli a některé vitaminy a následně shromažďovat nestravitelné nebo nestrávené zbytky potravy, jako jsou vazy, šlachy, vláknina apod., a vytvářet tak stolici.

Anatomie tlustého střeva

Tlusté střevo začíná úsekem, který se nazývá střevo slepé. To tvoří jakýsi vak pod ústím tenkého střeva. Slepé střevo vybíhá v 10–15 cm dlouhý červovitý výběžek zvaný též apendix. Za slepým střevem pokračuje střevo tlusté tračníkem, který dělíme na vzestupný, příčný, sestupný a esovitý. Esovitému tračníku se také jinak říká esovitá klička. Po ní následuje konečník, který ústí z těla ven řitním otvorem.

Stěna tlustého střeva se až na slizniční vrstvu neliší od zbytku trávicí soustavy. Povrch tlustého střeva kryje tenká vazivová blána serosa, pod ní se nachází vrstva svaloviny, která peristaltikou posouvá obsah střeva ke konečníku. Následuje podslizniční vazivo a sliznice. Ta má odlišnou strukturu od sliznice tenkého střeva. Není zvrásněná v klky, ale naopak se v ní nachází mnoho jamek, krypt, které obsahují dva důležité typy buněk. Jednak buňky sekreční, které vylučují hlen a napomáhají tak snadnému průchodu obsahu střevem, jednak tzv. kolonocyty, jež zajišťují resorpci vody, iontů a částečně i vitaminů. Kolonocyty mají membránu zvlněnou do záhybů, díky čemuž se zvětšuje resorpční plocha. Pod epitelem tlustého střeva se nachází lymfatické uzlíky, které jsou roztroušeny po celém povrchu střeva nejvíce je jich ve střevu slepém.

Velká část vody a iontů je resorbována už v tenkém střevě. Tyto procesy se dokončují v tračníku a dochází k zahuštění obsahu střeva a postupnému vytvoření stolice. Při její tvorbě se uplatňují nejen resorpční procesy, ale také působení tzv. střevní mikroflóry. Pod tímto pojmem rozumíme zejména bakterie, které trvale sídlí v tlustém (a v menší míře i v tenkém) střevě a pro lidský organismus zpravidla nejsou nebezpečné. Mnohé z nich dokonce přispívají k dokončení trávicích procesů tím, že vyvolávají kvasné nebo hnilobné produkty. Některé bakterie zčásti zpracovávají jinak nestravitelnou vlákninu. Při kvasných a hnilobných procesech se vytvářejí střevní plyny (metan (CH₄), vodík (H₂), sulfan (H₂S) a oxid uhličitý (CO₂)) a další metabolity vznikající rozkladem aminokyselin a dodávající stolici charakteristický zápach. Střevní mikroflóra je ale důležitá i z hlediska produkce vitaminů, konkrétně vitaminu K a B₁₂. Nicméně vstřebávání vitaminů vytvořených bakteriemi v tlustém střevě se zdá být minimální. Většinovým zdrojem vitaminů je tedy potrava.

Před vyloučením stolice dojde k naplnění konečníku a vyvolaný tlak způsobí reflexní uvolnění vnitřního svěrače (tvořeného hladkou na vůli nezávislou svalovinou). Zároveň se však aktivuje vnější svěrač (z příčně pruhované svaloviny ovládané vůlí), u něhož dochází naopak ke kontrakci. V této chvíli pocítí člověk nucení na stolici. V momentě volního uvolnění vnějšího svěrače dochází za pomoci peristaltiky a svalů břišního lisu k vyloučení stolice z těla.

Resorpce vody a iontů

Resorpce vody a iontů probíhá ve velké míře již v tenkém střevě. V tračníku dochází jen k finálnímu zahuštění stolice. Ionty jsou resorbovány přes iontové kanály převážně díky usnadněné difuzi (jedná se především o ionty Na^+ a Ca^{2+}). Voda se na rozdíl od iontů resorbuje zejména mimobuněčnou cestou přes tzv. těsné spoje mezi jednotlivými buňkami v epitelu.

Použitá literatura

- ŠARBOCH, D. *Trávení lipidů a jejich transport v lidském těle*. Praha, 2016. Bakalářská práce. Katedra učitelství a didaktiky chemie, Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce doc. RNDr. Helena Klímová, CSc.
- CAMPBELL, N. *Biologie*. Brno: Computer press, a.s., 2008. ISBN 80-251-1178-4.
- JELÍNEK, J. a ZICHÁČEK, V. *Biologie pro gymnázia*. Olomouc: Nakladatelství Olomouc, s. r. o., 2002. ISBN 80-7182-089-X.
- KOČÁREK, E. *Biologie člověka*. Praha, Nakladatelství Scientia, spol. s. r. o., 2010. ISBN 978-80-86960-47-0.
- MAREČEK, A., HONZA, J. *Chemie pro čtyřletá gymnázia, 3. díl*. Olomouc: Nakladatelství Olomouc, s. r. o., 2005. ISBN 80-7182057-1.
- WINSTON, R., et al. *Člověk*. Překlad JEBÁČKOVÁ, J. a kol. Praha: Euromedia Group k. s. - Knižní klub, 2005. ISBN 80-242-1455-5.
- ČIHÁK, R. a kol. *Anatomie 2 (Třetí, upravené a doplněné vydání)*. Praha: Grada Publishing, a. s., 2013. ISBN 978-80-247-4788-0.
- NEDOROST, L. a kol. *Atlas histologie tvrdých tkání* [online]. Lékařská fakulta UK v Plzni, Ústav histologie a embryologie, 2009. Příručka pro studenty. ISSN 1804-4409. [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: http://histologie.lfp.cuni.cz/education/guides/hardtissues/atlas_zub_kost_lowres.pdf.
- MADER, Sylvia S. *Human biology, sixth edition*. McGraw-Hill, 2001. ISBN 0-07-117940-2.
- NETTER, Frank H. *Netterův anatomický atlas člověka*. Brno: CPress, 2012. ISBN 978-80-264-0079-0.
- KOOLMAN, J. a kol. *Barevný atlas biochemie (Překlad 4. vydání)*. Praha: Grada Publishing, a. s., 2012. ISBN 978-80-247-2977-0.
- SILBERNAGL, S. a kol. *Atlas fyziologie člověka (Překlad 8. německého vydání)*. Praha: Grada Publishing, a. s., 2016. ISBN 978-80-247-4271-7.
- KOLEKTIV AUTORŮ. *Biochemie - Základní kurz*. Praha: Nakladatelství Karolinum, 2009. ISBN 978-80-246-1678-0.
- KODÍČEK, M., VALENTOVÁ, O., HYNEK, R. *Biochemie, chemický pohled na biologický svět (2. přepracované vydání)*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2018. ISBN 978-80-7592-013-3.