

Trawienie i wchłanianie

Działanie enzymów trawiennych

Trawienie białek – Podpuszczka

Podpuszczka jest enzymem **proteolitycznym** występującym w żołądkach młodych zwierząt i być może niemowląt. W stanie krystalicznym można ją otrzymać z żołądka cielęcia. Optimum pH dla podpuszczki leży między 3,5 a 4,0. Wywołuje ona proteolizę kazeiny prowadzącą, w obecności jonów Ca^{2+} , do powstania nierozpuszczalnej soli – **parakazeininianu wapnia (twaróg)**.

Zawartość próbówki (czas inkubacji 15 minut)	Wynik reakcji
3 ml świeżego mleka i 1 ml 2% roztworu podpuszczki + Temp. 4°C	
3 ml świeżego mleka i 1 ml 2% roztworu podpuszczki + Temp 40°C	
3 ml świeżego mleka i 1 ml 2% przegotowanego i ostudzonego roztworu podpuszczki + Temp 40°C	
3 ml świeżego mleka, 1 ml 1,5% roztworu szczawianu amonowego oraz 1 ml 2% roztworu podpuszczki + Temp 40°C	

Polecenie: Po przeanalizowaniu tabelki – wyników doświadczenia dotyczącego proteolizy kazeinianu mleka krowiego przez enzym podpuszczkę napisz, jakie czynniki środowiska reakcji są przyczyną obecności lub braku twarogu w próbówce?

- W pierwszej próbówce temperatura inkubacji była
- W drugiej próbówce panowały do działania podpuszczki
- W trzeciej próbówce enzym był, więc
- W czwartej próbówce, poprzez zastosowanie szczawianu amonu, które są substratem tej reakcji są powstaje w jej przebiegu

Trawienie białek – Pepsyna

Pepsyna jest enzymem **proteolitycznym** należącym do **hydrolaz** działających na wiązania **peptydowe** występujące wewnątrz łańcuchów białkowych. Rozszczepia ona tylko niektóre z tych wiązań, doprowadzając do powstania mieszaniny peptydów o masie cząsteczkowej od 600 do 3000. Pepsyna jest bardzo aktywną hydrolazą – 1 g krystalicznego enzymu może w ciągu 2 godzin rozłożyć 50 kg zdenaturowanej albuminy jaja kurzego.

Zawartość próbówki (czas inkubacji 30 minut)	Wynik reakcji
2 ml roztworu pepsyny i 4 ml 0,4% roztworu HCl + Temp. 4°C	
2 ml roztworu pepsyny i 4 ml 0,4% roztworu HCl + Temp. 38°C	
2 ml roztworu pepsyny i 4 ml wody destylowanej + Temp. 38°C	
2 ml wody destylowanej i 4 ml 0,4% roztworu HCl + Temp. 38°C	
2 ml zagotowanego i ostudzonego roztworu pepsyny i 4 ml 0,4% roztworu HCl + Temp. 38°C	

Polecenie: Po przeanalizowaniu wypełnionej przez Ciebie tabeli – wyników doświadczenia dotyczącego proteolizy albuminy białka jajka kurzego przez enzym pepsynę napisz, jakie czynniki środowiska reakcji są przyczyną obecności lub braku albuminy w próbówce?

- Pierwsza próbówka –..... .
- Druga próbówka –..... .
- Trzecia próbówka –..... .
- Czwarta próbówka –..... .
- Piąta próbówka –..... .

Trawienie wielocukrów – α -amylaza

W procesie trawienia, enzymatyczny rozkład polisacharydów pod wpływem hydrolaz polega na hydrolitycznym rozszczepieniu skrobi i glikogenu przez α i β -amylazy. **α -amylazy**, enzymy dekstrynogenne, zwane **endoamylazami** atakują środek makrocząsteczki wielocukru, rozszczepiając hydrolitycznie tylko środkowe wiązania α -1,4-glikozydowe, nie naruszając wiązań α -1,6 ani α -1,4 występujących zarówno za miejscami rozgałęzień łańcucha, jak i na końcu cząsteczki. Te ostatnie wiązania są rozszczepiane przez **β -amylazy** zwane **egzoamylazami**. Dalszy rozpad oligosacharydów odbywa się z udziałem enzymów jelita cienkiego.

Zawartość próbówki (czas inkubacji 20 minut)	Wynik reakcji*
	*roztwory skrobi zabarwiają się na niebiesko w obecności jodu (płyn Lugola – roztwór jodu w jodku potasu); w innych, gdzie skrobia uległa częściowemu rozłożeniu , może wystąpić zabarwienie niebiesko-fioletowe , czerwono-niebieskie (erytrodekstryna), czerwono-żółte lub żółte (achrodekstryna); jeśli jednak skrobia ulegnie całkowitemu hydrolitycznemu rozszczepieniu pod wpływem α -amylazy to roztwór pozostaje bezbarny .
2 ml roztworu śliny, 1 ml skrobi, 1 ml H ₂ O + Temp. 4°C	
2 ml roztworu śliny, 1 ml skrobi, 1 ml H ₂ O + Temp. 38°C	
2 ml przegotowanego roztworu śliny, 1 ml skrobi, 1 ml H ₂ O + Temp. 38°C	
2 ml roztworu śliny, 1 ml skrobi, 1 ml 0,5% HCl + Temp. 38°C	
2 ml roztworu śliny, 1 ml skrobi, 1 ml 0,5% NaOH + Temp. 38°C	

Polecenie: Po przeanalizowaniu wypełnionej przez Ciebie tabeli – wyników doświadczenia dotyczącego rozkładu skrobi przez enzym α -amylazę ślinową napisz, jakie są przyczyny obecności, zróżnicowanego zabarwienia lub braku zabarwienia roztworu w próbówce?

- Pierwsza próbówka – rozpad z powodu
- Druga próbówka – działania enzymu.
- Trzecia próbówka – enzym
- Czwarta próbówka – pH do działania enzymu, który w silnie kwaśnym środowisku żołądka
- Piąta próbówka – środowisko odpowiednie do działania enzymu i prawdopodobnie reakcja zaszła całkowicie, ale, dodatkowo w zasadowym środowisku nie ujawnia się reakcja barwna skrobi z jodem, stąd bezbarwny roztwór.

Oznaczanie enzymu α -amylazy w moczu ludzkim metodą Wohlgemutha

Wpływ rozcieńczenia α -amylazy na stopień rozłożenia skrobi.

numer próbki	rozcieńczenie moczu	intensywność zabarwienia prób („+”, „++”, „+++”; brak zabarwienia „–”)	przyczyna obserwowanych zmian zabarwienia prób
1	1:2		
2	1:4		
3	1:8		
4	1:16		
5	1:32		
6	1:64		
7	1:128		
8	1:256		
9	1:512		
10	1:1024		
11	1:2048		
12	1:4096		
13	próba ślepa		

Polecenie: Na podstawie tabeli, stwierdzając, przy którym rozcieńczeniu próbka była jeszcze bezbarwna określ ilość α -amylazy w moczu (w jednostkach Wohlgemutha)?

.....

Zastanów się, czym jest spowodowana obecność enzymu w moczu?

.....

Czy wynik próby jest prawidłowy?

.....

Pokarm – substancje pokarmowe – makroskładniki

Makroskładniki zwane też makroelementami lub po prostu składnikami odżywczymi, to substancje chemiczne, związki organiczne zbudowane z pierścieni lub łańcuchów atomów przede wszystkim węgla i wodoru. Czasem w skład cząsteczki wchodzi inne atomy. Na przykład azot w aminokwasach i tlen w cukrach. Związki organiczne spotyka się w żywych organizmach. Różnią się one od związków syntetycznych (utworzonych w trakcie procesów laboratoryjnych) oraz związków nieorganicznych (występujących w minerałach). Związki te dostarczamy do organizmu poprzez spożywanie pokarmu, z którego uzyskiwane są w procesie trawienia. Termin makroskładnik pochodzi z dwóch słów **makro** oznaczający dużą skalę oraz **składnik** oznaczający element pożywienia. Organizm musi spożywać i metabolizować makroskładniki, aby utrzymać się przy życiu. Metabolizm obejmuje wszystkie procesy chemiczne podtrzymujące życie we wnętrzu organizmu. Procesy te zalicza się do dwu grup: katabolizmu i anabolizmu:

- **Katabolizm** – rozkład związków złożonych na prostsze cząsteczki w celu produkowania energii.
- **Anabolizm** – wykorzystuje energię produkowaną przez katabolizm do produkcji złożonych cząsteczek z prostych.

Węglowodany

Węglowodany stanowią grupę związków organicznych zwanych cukrami sacharydami, które dzielą się na proste i złożone:

- **Cukry proste – monosacharydy** są zbudowane tylko z jednej cząsteczki cukru.
 - **Fruktoza** jest monosacharydem, który wiąże się z monosacharydem glukozy, tworząc sacharozę. Sacharoza znajduje się w miodzie.
 - **Glukoza** jest głównym węglowodanem wykorzystywanym przez komórki w naszym ciele.
 - **Galaktoza** znajduje się w groszku jako monosacharyd lub w mleku jako część laktozy disacharydowej.
- **Cukry złożone**
 - **Di-sacharydy** są zbudowane z dwóch cząsteczek cukru połączonych wiązaniem glikozydowym.
 - **Laktoza** jest disacharydem złożonym z monosacharydów glukozy i galaktozy. Laktoza jest głównym węglowodanem występującym w mleku. Jest łatwo trawiony przez ciało; chociaż niektórzy ludzie tracą zdolność jej trawienia w wieku około czterech lat. Zmniejszona aktywność laktazy – enzymu jelitowego rąbka szczoteczkowego jest związana z nietolerancją laktozy. Wypicie mleka lub spożycie nabiału przez osobę z nietolerancją laktozy może skutkować biegunką. Ponadto bakterie w jelicie grubym powodują fermentację laktozy, produkując gazy i kwasy organiczne, co prowadzi do wzdęć.
 - **Maltoza** jest disacharydem złożonym z dwóch monosacharydów glukozy. Jest wytwarzany podczas rozkładu skrobi i jest spożywany przez jedzących kielki roślin.
 - **Oligosacharydy** zawierają 3-10 cząsteczek cukru połączonych wiązaniami glikozydowymi.

- **Polisacharydy** zawierają więcej niż 10 cząsteczek cukru połączonych **wiązaniami glikozydowymi**. Często tworzą one skomplikowane, rozgałęzione struktury.
 - **Celuloza** jest polisacharydem złożonym z cząsteczek glukozy. Celuloza tworzy ściany komórkowe roślin. Ciało ludzkie nie ma enzymu rozkładającego celulozę.
 - **Skrobia** jest polisacharydem stosowanym przez wiele roślin do przechowywania glukozy. Ciało ludzkie może łatwo trawić skrobię do glukozy.

Aby mogły zostać wchłonięte przez organizm Di-sacharydy, oligosacharydy i polisacharydy muszą zostać strawione – rozłożone na **monosacharydy**. Proces trawienia węglowodanów rozpoczyna się w **jamie ustnej**, gdzie enzymy **amylazy ślinowe** wytwarzane w śliniankach są mieszane z pokarmem. Pozostałe etapy procesu trawienia węglowodanów zachodzą w jelicie cienkim. Di-sacharyd maltoza w procesie trawienia rozdziela się na dwie cząsteczki glukozy. Najłatwiej trawionym polisacharydem jest skrobia. Rozdziela się ona na cząsteczki glukozy. Przewód pokarmowy człowieka nie ma enzymu trawiącego celulozę, zatem przechodzi ona przez przewód pokarmowy w niestrawionej formie. Jest ona nazywana **błonnikiem pokarmowym**, powoduje zatrzymywanie wody w przewodzie pokarmowym, przez co zapobiega zaparciom, zmiękcza stolec. Pokarmami zawierającymi większość błonnika (celulozy) są świeże owoce i warzywa, pełne ziarna, orzechy i siewki roślin. Pokarmy zawierające mało błonnika, to wszystkie te, w których części zawierające błonnik zostały usunięte w procesach technologicznych, na przykład biały ryż czy skrobia (mąka) kukurydziana. Celuloza przechodzi przez przewód pokarmowy niestrawiona.

Polecenie: Lekarz skierował Pawła do dietetyka, który zalecił mu jedzenie większych ilości błonnika pokarmowego. Wybierz i oznacz jakie pokarmy Paweł powinien spożywać, aby uzyskać więcej błonnika pokarmowego?

- a) Jabłka
- b) Fasola
- c) Groszek
- d) Makaron
- e) Ryż
- f) Stek (befsztyk)

Wchłanianie węglowodanów

Węglowodany wchłaniane są w jelicie cienkim w formie monosacharydów. Po strawieniu węglowodanów złożonych światło jelita zawiera pulę di-sacharydów. Zanim dostaną się do wnętrza komórek nabłonka jelitowego dzięki białkom transportującym muszą być przekształcone w monosacharydy poprzez enzymy związane z błonami komórek nabłonka jelita. Monosacharydy nie mogą przejść przez błonę komórkową komórek nabłonka jelita zgodnie z gradientem stężeń, więc ich absorbowanie ze światła jelita i przeniesienie do naczyń włosowatych umożliwiają białka transportujące. Kotransporter SGLT1 wykorzystuje gradient elektrochemiczny jonów sodowych (Na^+) do przeniesienia glukozy przez błonę komórkową. Cząsteczki glukozy przechodzą w ten sposób ze światła jelita do wnętrza komórek. Fruktaza wchodzi do komórki przy udziale kotransportera GLUT5. Aby przedostać się do płynu otaczającego jelito a następnie do naczyń włosowatych, oba te monosacharydy wykorzystują kotransporter GLUT2. Kiedy wejdą w ten obieg/cykl/krążenie monosacharydy są albo magazynowane, albo natychmiastowo zużywane w tkankach.

Białka

Białka (Proteiny) zbudowane są z łańcuchów aminokwasów, połączonych **wiązaniami peptydowymi**. Około 50% białek, które trawimy i wchłaniamy pochodzi ze spożywanego pokarmu. Kolejne 50% dostarczane jest z martwych (złuszczonych) komórek nabłonka wyściełających przewód pokarmowy oraz enzymów trawiennych. Białka naszego organizmu zawierają 20 różnych aminokwasów. Organizm produkuje większość z nich, ale jest wśród nich 9 aminokwasów, które nasz organizm może pozyskiwać jedynie ze spożytych pokarmów. Aminokwasy egzogenne to: histydyna, leucyna, izoleucyna, lizyna, metionina, fenyloalanina, treonina, tryptofan, walina. Tych aminokwasów nasz organizm nie może samodzielnie syntetyzować. Te dziewięć aminokwasów uzyskujemy wyłącznie spożywając białka pokarmowe. Białkiem kompletnym jest źródło białka zawierające wszystkie 9 aminokwasów egzogennych. Częsteczki białek często tworzą złożone struktury, które muszą zostać zdenaturowane zanim dojdzie do ich trawienia. W procesie denaturacji, w czasie którego złożona trójwymiarowa (trzeciorzędowa) struktura białek jest niszczona i cząsteczka białka rozprostowuje się. Proces ten umożliwia enzymom trawiennym na lepszy dostęp do wiązań peptydowych w złożonych łańcuchach polipeptydowych. Denaturacja białek następuje podczas gotowania potraw oraz w kwaśnym środowisku żołądka. Aby doszło do zapoczątkowania procesu trawienia białek, kwaśne środowisko, występujące w żołądku aktywuje enzym proteolityczny (proteazę) zwaną **pepsyną**. Pepsyna wiąże się z białkami i przerywa w nich niektóre wiązania peptydowe, w wyniku czego powstaje szereg **polipeptydów** i mniejszych **oligopeptydów**. Polipeptydy to długie, nierozgałęzione łańcuchy zbudowane z więcej niż 20 aminokwasów. Oligopeptydy są fragmentami białek krótszymi niż 20 aminokwasów. Te fragmenty cząsteczki białka wędrują do światła jelita cienkiego, gdzie podlegają działaniu wielu różnych **proteaz**. Kontynuują one zrywanie wiązań peptydowych, aby powstałe, coraz krótsze fragmenty mogły zostać wchłonięte przez organizm. W odróżnieniu od węglowodanów (które są w pełni trawione do monosacharydów), białka nie muszą być strawione w pełni do pojedynczych aminokwasów, żeby były wchłonięte. Łańcuchy zbudowane z czterech aminokwasów – **tetrametry** pozostają w świetle jelita cienkiego, dopóki nie połączą się z proteazą. Następnie enzym ten trawi je na mniejsze peptydy, które mogą zostać wchłonięte przez komórki nabłonkowe. Dłuższe peptydy mogą być zawracane wielokrotnie zanim zostaną w pełni rozłożone. Enzymy trawienne są zdolne do przerywania wiązań peptydowych, znajdujących się jedynie za określonymi aminokwasami. Na przykład, **trypsyna** zrywa wiązania peptydowe znajdujące się jedynie za aminokwasami lizyną lub arginina. Enzym ten wiąże się z właśnie tymi aminokwasami, które muszą mieć odpowiednią strukturę i dopiero wtedy może dojść do zerwania przylegające do danego aminokwasu wiązania peptydowego. Dany enzym nie może wiązać się z innymi aminokwasami. Enzymy trawienne wytwarzane w trzustce a działające w świetle jelita cienkiego przechowywane są w jej komórkach w formie nieaktywnej (tzw. **zymogenów**). Jeżeli te enzymy staną się aktywne zanim dotrą do jelita cienkiego, zaczynają trawić trzustkę. Na przykład, jeżeli trypsyna zostanie zaktywowana zanim opuści trzustkę, będzie aktywować kolejne enzymy trawienne. Może to spowodować trawienie tkanki trzustki, krwawienie i zniszczenie przylegających narządów.

Polecenie: Zaznacz które z produktów pokazanych na schemacie powyżej są wchłaniane bez dalszego trawienia?

- a) Aminokwasy
- b) Dipeptydy

- c) Polipeptydy
- d) Tetramery
- e) Tripeptydy

Wchłanianie białek

Produktami trawienia białek są wolne aminokwasy, dipeptydy i tripeptydy. Te fragmenty są wchłaniane przez komórki nabłonka jelita i białka transportujące, następnie są transportowane w krwi przez naczynia włosowate. Aminokwasy, dipeptydy i tripeptydy przechodzą przez błonę komórkową dzięki wielu różnym kotransporterom. We wnętrzu komórek nabłonka jelita, proteazy rozkładają dipeptydy i tripeptydy do pojedynczych aminokwasów, które opuszczają komórkę dzięki selektywnym uniporterom. Następnie, aminokwasy dyfundują do naczyń włosowatych i są transportowane przez krew. Jony wodorowe (H^+) są transportowane przez błonę apikalną (wierzchołkową) komórek nabłonka jelita do światła jelita. Krążenie H^+ powoduje powstanie stałego gradientu umożliwiającego wejście dipeptydów i tripeptydów do komórek nabłonkowych jelita.

Lipidy

Lipidy to cząsteczki, które nie rozpuszczają się w wodzie. Są one trawione przez grupę enzymów zwanych **lipazami**. Trawienie lipidów rozpoczynają **lipazy ślinowe** a następnie **lipazy żołądkowe**, które są aktywne w środowisku kwaśnym. Większość procesu trawienia lipidów zachodzi w jelicie cienkim i jest katalizowane przez **lipazę trzustkową**. Pokarmy bogate w tłuszcze/lipidy powodują opóźnienie opróżniania żołądka tak, że treść żołądka dociera do jelita cienkiego równocześnie z solami żółciowymi, wydzielanymi z pęcherzyka żółciowego. Lipidy wchodzące do jelita cienkiego podlegają **emulsyfikacji** przez **sole żółciowe** i fosfolipidy do postaci miceli. Emulsyfikacja jest procesem rozdzielania kropli tłuszczu na mniejsze kropelki, które formują się w postaci emulsji. Micele posiadają jedną warstwę soli żółciowych i fosfolipidów otaczającą lipidowy rdzeń. Forma miceli zwiększa powierzchnię kropli lipidów. To pozwala na wiązanie się enzymów i zwiększa tempo trawienia. Tworzenie się miceli następuje wskutek wydzielania soli żółciowych.

Polecenie: Zaznacz właściwą odpowiedź. Dlaczego tworzenie się miceli jest korzystne dla procesu trawienia lipidów?

- a) Tempo trawienia lipidów obniża się.
- b) Tempo trawienia lipidów podwyższa się.
- c) Stymulowane jest uwalnianie soli żółciowych.

Cząsteczka **lipidu** jest estrem wyższych **kwasów tłuszczowych** i **glicerolu** (triglicerydem). Kwasy tłuszczowe to cząsteczki zbudowane z długiego łańcucha atomów węgla z grupą karboksylową zlokalizowaną na jednym z końców. Długość łańcucha kwasu tłuszczowego decyduje o tym, czy jest on rozpuszczalny w wodzie. Krótkie (<5) i średnie (6-12 atomów węgla) łańcuchy kwasów tłuszczowych mogą rozpuszczać się zarówno w wodzie jak i w lipidach. Skutkiem tego, nie muszą być trawione i mogą przechodzić bezpośrednio do krwi. Długie (12-21) oraz bardzo długie (22+) łańcuchy kwasów tłuszczowych przed rozłożeniem muszą być emulsyfikowane z innymi lipidami.

Większość lipidów pokarmowych, które konsumujemy stanowią **triglicerydy**. Są one w świetle jelita **emulsyfikowane** przez sole żółciowe i fosfolipidy do formy **miceli**. Sole żółciowe działają jak **detergenty**, które pozwalają lipidom rozpuszczać się w wodzie. Lipazy mogą z nimi oddziaływać i trawić triglicerydy na powierzchni miceli, w wyniku czego powstają wolne kwasy

tłuszczowe i glicerol. Częstkami, które naturalnie tworzą micelle są **fosfolipidy**. Są one cząsteczkami trójglicerydów, w których jedna z grup kwasu tłuszczowego jest zastąpiona przez grupę fosforanową. Nadaje to cząsteczce polarność – ma polarną głowę i niepolarny ogon. W tych strukturach hydrofilowe głowy oddziałują z wodą a hydrofobowe ogony są ukryte w kulistych kroplach. Hydrofobowe produkty trawienia lipidów pozostają zemuulsyfikowane w micelach. Sole żółciowe są w dalszym ciągu potrzebne do emulsyfikacji kropli lipidu. Micela zawiera teraz mieszaninę kwasów tłuszczowych o różnej długości łańcucha.

Cholesterol należy do związków organicznych zwanych sterolami. Cechą charakterystyczną steroli są pierścienie atomów węgla, nie łańcuchy. Sterole mogą być przekształcane do cholesterolu albo użyte jako molekularny kręgosłup do syntezy hormonów sterydowych, tj. estrogen, testosteron kortyzol.

Polecenie: Uszereguj procesy, które zwykle zachodzą podczas trawienia lipidów.

1. Wydzielanie soli żółciowych
2. Opóźnienie opróżniania żołądka
3. Trawienie lipidów
4. Tworzenie się miceli
5. Interakcja miceli z enzymami

- a) 2-1-4-5-3
- b) 1-2-3-4-5
- c) 5-4-3-2-1

Wchłanianie lipidów

W jelicie cienkim, micelle łączą się z błoną komórkową komórek nabłonkowych jelita. Rozpuszczalne w tłuszczach lipidy dyfundują przez dwuwarstwę lipidową do wnętrza komórki. We wnętrzu komórki wolne kwasy tłuszczowe ponownie łączą się w trójglicerydy przy udziale gładkiego retikulum endoplazmatycznego (SER). Następnie są transportowane do Aparatu Golgiego i pakowane do eksportu w postaci chylomikronów. Chylomikrony opuszczają komórkę przechodząc do naczyń limfatycznych zwanych laktalami a następnie do żyły wrotnej.

Polecenie: Przypomnij sobie swoją ulubioną potrawę. Zidentyfikuj główne źródła każdego makroskładnika w tym pokarmie? Na przykład, jeżeli twoją ulubioną potrawą jest kanapka z grillowanym serem, to będzie ona głównym źródłem makroskładników: Ser dostarcza lipidy i białka. Pieczywo dostarcza węglowodany i białka

Budowa i czynność przewodu pokarmowego.

Narządy trawienne

Przewód pokarmowy jest rurą, która biegnie od jamy ustnej do odbytu. Tu odbywa się trawienie i transport substancji pokarmowych. Narządy układu pokarmowego, które **nie** są częścią przewodu pokarmowego, tj. gruczoły trawienne, uczestniczą w procesie trawienia poprzez wydzielanie enzymów i innych substancji chemicznych do światła (wnętrze struktury rurowatej) przewodu.

Polecenie: Obejrzyj film „Endoskopia przewodu pokarmowego” (wideo). Zwróć uwagę na, związaną z pełnioną funkcją, budowę ściany poszczególnych fragmentów przewodu pokarmowego, czynność mechaniczną układu pokarmowego (fala perystaltyczna) oraz ruchy masowe i odruch defekacji.

Czynność mechaniczna przewodu pokarmowego. Trawienie mechaniczne

Trawienie mechaniczne polega na dzieleniu dużych porcji pokarmu na mniejsze cząstki przy użyciu siły fizycznej. Po połknięciu kęsa pokarmu, warstwy mięśni gładkich w ścianie przewodu pokarmowego kurczą się w celu mieszania i poruszania pokarmu. Trawienie mechaniczne pokarmu obejmuje dwa rodzaje ruchów generowanych przez mięśnie gładkie ścian przewodu pokarmowego:

Segmentacja – skurcze mięśni które doprowadzają pokarm do wymieszania w jeden roztwór. Podczas tej czynności ruchowej przewodu pokarmowego, losowe skurcze mięśniowe mieszają cząstki pokarmowe z płynnymi wydzielinami. W jelicie cienkim pokarm jest głównie przesuwany i mieszany przez segmentację. Segmenty jelita na przemian kurczą się i rozkurczają mieszając cząstki pokarmowe z enzymami.

Perystaltyka – obejmuje skurcze mięśni, które przesuwają pokarm wzdłuż przewodu pokarmowego. Perystaltyka to odruch zapoczątkowany na skutek rozciągnięcia ściany przewodu pokarmowego przez zawartość znajdującą się w jego świetle. Fala perystaltyczna występuje na całej długości przewodu pokarmowego od przełyku do odbytu.

Reakcja: Rozluźnienie mięśni przed miejscem pobudzonym (2*)



Bodziec: Miejscowe rozciągnięcie ściany przewodu pokarmowego (1*)



Reakcja: okrężny skurcz mięśni za miejscem pobudzonym (2*)

* 1, 2 - oznacza kolejność obserwowanych reakcji

Fala perystaltyczna (fala skurczu) przesuwa się w kierunku od jamy ustnej do odbytnicy. Pokarm przesuwany jest z prędkością 2 – 25 cm/s.

Czynność wydzielnicza przewodu pokarmowego. Trawienie chemiczne

Wielkie cząstki chemiczne są dzielone na mniejsze w toku reakcji chemicznych. Wiele procesów trawienia chemicznego zachodzi w sposób naturalny w czasie. Ciało przyspiesza te reakcje za pomocą enzymów trawiennych. Enzymy są białkami, które rozpoznają określone makroskładniki, wiążą się z nimi i zrywają wiązania istniejące pomiędzy cząsteczkami.

Przegląd głównych enzymów trawiennych w przewodzie pokarmowym Człowieka i trawionych przez nie makroskładników (por. podrozdział: Pokarm – substancje pokarmowe – makroskładniki)

Miejsce działania: Jama ustna

α -amylaza ślinowa – enzym wydzielany przez gruczoły ślinowe, rozbija wiązania glikozydowe skrobi tworząc dekstryny, maltotriozę i maltozę.

Lipaza śliny – enzym wydzielany do jamy ustnej przez gruczoły językowe, rozbija wiązania estrowe triacylogliceroli tworząc kwasy tłuszczowe i 1,2-diacyloglicerole.

Miejsce działania: Żołądek

Pepsyna – enzym wydzielany do żołądka przez gruczoły jego błony śluzowej w postaci pepsynogenu aktywowanego przez HCl, rozbija wiązania peptydowe przyległe do aminokwasów aromatycznych.

Lipaza żołądkowa – enzym wydzielany do żołądka przez gruczoły jego błony śluzowej, rozbija triglicerydy do kwasów tłuszczowych i glicerolu.

Miejsce działania: Dwunastnica i jelito cienkie

Trypsyna – enzym wydzielany do dwunastnicy przez trzustkę w postaci nieaktywnej *trypsynogenu*, trawi białka i polipeptydy, rozbijając wiązania peptydowe przyległe do argininy lub lizyny.

Chymotrypsyna – enzymy wydzielane do dwunastnicy przez trzustkę w postaci nieaktywnej *chymotrypsynogenu* – trawi białka i polipeptydy, rozbijając wiązania peptydowe przyległe do aminokwasów aromatycznych.

Elastaza – enzym wydzielany do dwunastnicy przez trzustkę w postaci nieaktywnej *proelastazy*, trawi białka i polipeptydy, rozbijając wiązania peptydowe przyległe do aminokwasów alifatycznych.

Karboksypeptydazy – enzym wydzielany do dwunastnicy przez trzustkę w postaci prokarboksypeptydazy – trawi białka i polipeptydy, odcinając aminokwasy z terminalną grupą karboksylową.

Kolipaza – enzym wydzielany do dwunastnicy przez trzustkę, trawi krople zemulgowanego tłuszczu – rozbija wiązania soli kwasu żółciowego, triglicerydów u wody, co powoduje zakotwiczenie lipazy.

Lipaza trzustkowa – enzym wydzielany do dwunastnicy przez trzustkę, rozbija wiązania estrowe triglicerydów do monoglicerydów i kwasów tłuszczowych.

Hydrolaza estrów cholesterolu – enzym wydzielany do dwunastnicy przez trzustkę, trawi estry cholesterolu do cholesterolu.

α -amylaza trzustkowa – enzym wydzielany do dwunastnicy przez trzustkę, trawi skrobię podobnie jak ślinowa α -amylaza.

Rybonukleaza – enzym wydzielany do dwunastnicy przez trzustkę, trawi RNA do nukleotydów.

Dezoksirybonukleaza – enzym wydzielany do dwunastnicy przez trzustkę, trawi DNA do nukleotydów.

Fosfolipaza A₂ – enzym wydzielany do dwunastnicy przez trzustkę, trawi fosfolipidy do kwasów tłuszczowych, lizofosfolipidów.

Miejsce działania: Jelito cienkie

Enteropeptydaza – enzym wydzielany przez gruczoły błony śluzowej jelita, przekształca *trypsynogen* w aktywną trypsynę.

Aminopeptydazy – enzymy wydzielane przez gruczoły błony śluzowej jelita, rozbijają wiązania peptydowe od strony N-końcowych aminokwasów.

Dipeptydazy – enzymy wydzielane przez gruczoły błony śluzowej jelita, rozbijają wiązanie peptydowe dipeptydów na dwa aminokwasy

Glukoamylaza – enzym wydzielany przez gruczoły błony śluzowej jelita, rozbija wiązania glikozydowe w cząsteczce maltozy i maltotriozy do pojedynczych cząsteczek glukozy.

Laktaza – enzym wydzielany przez gruczoły błony śluzowej jelita, rozbija wiązania glikozydowe laktozy na galaktozę i glukozę. Brak tego enzymu lub jego niewłaściwe działanie jest przyczyną wielu poważnych dolegliwości ze strony układu pokarmowego. Osoby z tą dysfunkcją nie mogą spożywać produktów mlecznych.

Sacharaza – enzym wydzielany przez gruczoły błony śluzowej jelita, rozbija wiązania glikozydowe sacharozy na glukozę i fruktozę.

α -graniczna dekstrynaza – enzym wydzielany przez gruczoły błony śluzowej jelita, rozbija wiązania glikozydowe α -granicznych dekstryn do pojedynczych cząsteczek glukozy.

Nukleaza i odpowiednie enzymy – enzymy wydzielane przez gruczoły błony śluzowej jelita, trawią kwasy nukleinowe do pentoz oraz zasad purynowych i pirymidynowych.

Komórki błony śluzowej jelita

Różne peptydazy – enzymy działające w cytoplazmie komórek błony śluzowej jelita, rozbijają wiązania peptydów di-, tri- i tetrapeptydów na pojedyncze aminokwasy.