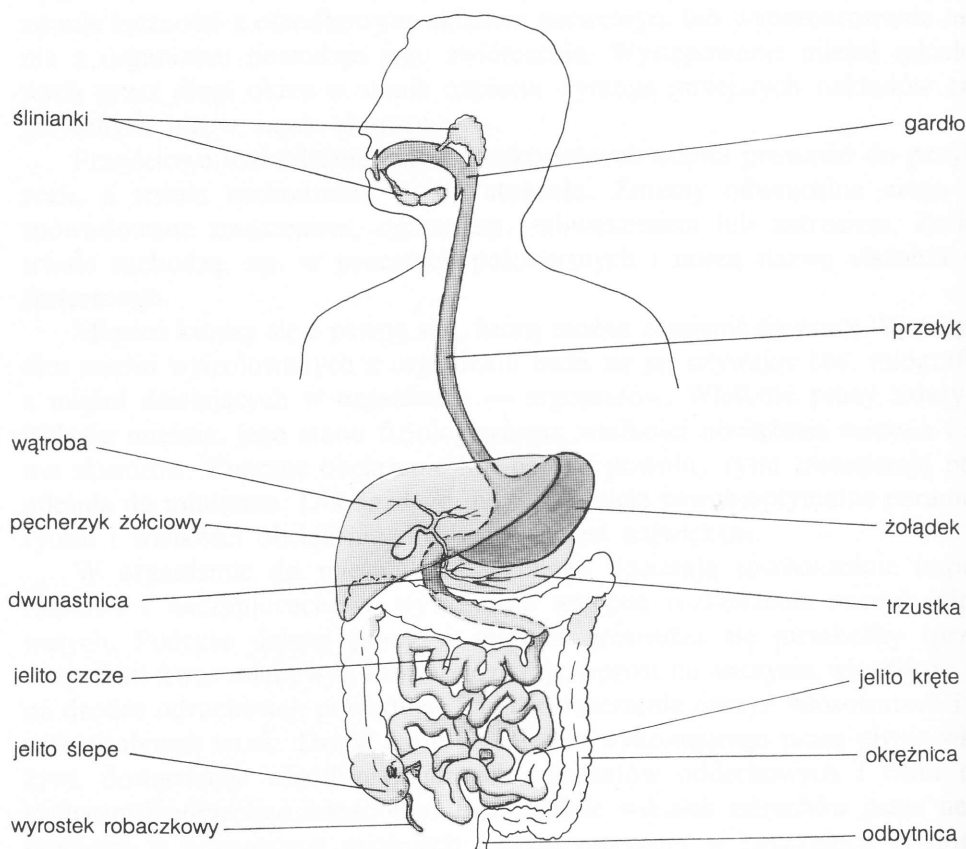


UKŁAD POKARMOWY

Do układu pokarmowego zaliczamy **przewód pokarmowy** wraz z jego **gruczołami** oraz **zęby** i **język**. Przewód pokarmowy rozpoczyna się **otworem ustnym**, a kończy **otworem odbytowym**. Kolejne odcinki tego przewodu to: **jama ustna**, **gardło**, **przelyk**, **żołądek**, **jelito cienkie** i **jelito grube** (ryc. 68). Ściana przewodu pokarmowego zbudowana jest zazwyczaj z trzech zasadniczych warstw.

Od strony światła przewodu występuje **błona śluzowa**, której podstawę



Ryc. 68. Schemat budowy układu pokarmowego

stanowi tkankę właściwą łącznotkankową włosowate występują w wowe. Pom mięśni gładkiwość prze

Drugą dających się — podłużną Najdale zbudowana zewnętrzna zewnętrzna

JAMA

Otwór u Między war jamy ustnej jama ustna między jama dzieli. Od składające si rzonego prze biennych, or i będącego f kowej, podn nego. Od po podniebienne

Zęby

Zęby są kowy i doln Poszczególne lem. Korzeń łącznotkank pokryta jest l styjka zęba.

stanowi tkanka łączna wiotka, zwana **blaszką właściwą błony śluzowej**. Błaskę właściwą pokrywa **nabłonek**, a głębszą warstwę błony śluzowej stanowi łącznotkankowa **błona podśluzowa**. W blaszce właściwej znajdują się naczynia włosowate krwionośne, naczynia limfatyczne i nerwy. W błonie podśluzowej występują większe naczynia krwionośne i limfatyczne oraz sploty i zwoje nerwowe. Pomiędzy blaszką właściwą a błoną podśluzową mieści się warstwa mięśni gładkich, zwana **blaszką mięśniową błony śluzowej** stwarzająca możliwość przesuwania śluzówki.

Drugą warstwą jest **błona mięśniowa** zbudowana z mięśni gładkich układających się przeważnie w dwie warstwy: wewnętrzną — okrężną i zewnętrzną — podłużną.

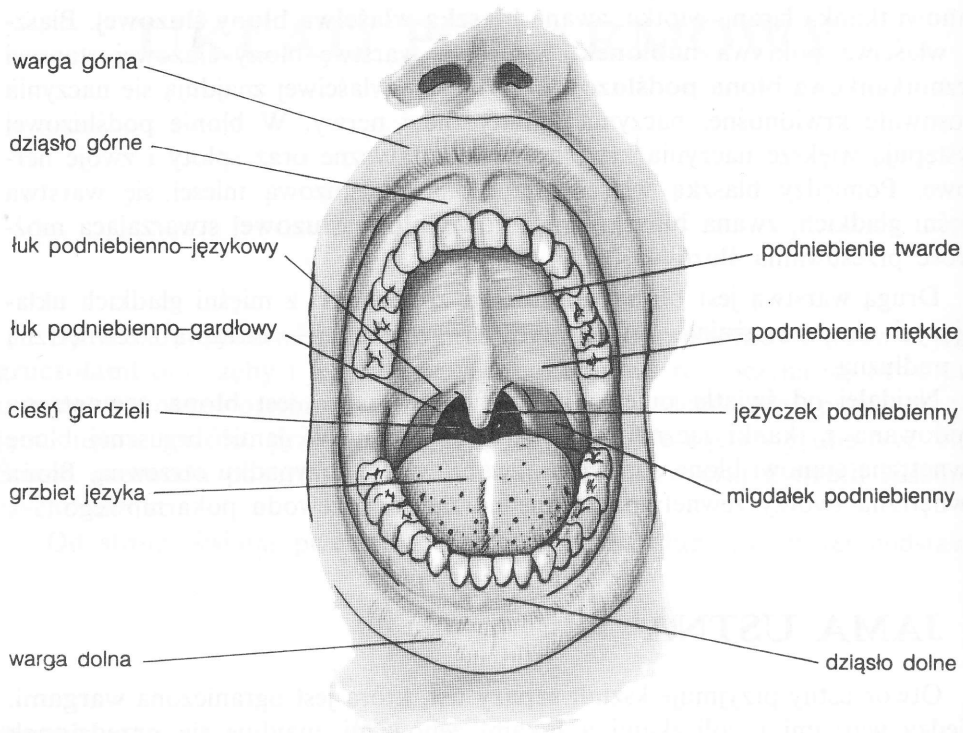
Najdalej od światła przewodu położoną warstwą jest **błona zewnętrzna** zbudowana z tkanki łącznej wiotkiej bądź zbitej. W jamie brzusznej błonę zewnętrzną stanowi błona surowicza, zwana w tym przypadku otrzewną. Błona zewnętrzna tworzy zewnętrzną osłonę narządów przewodu pokarmowego.

JAMA USTNA

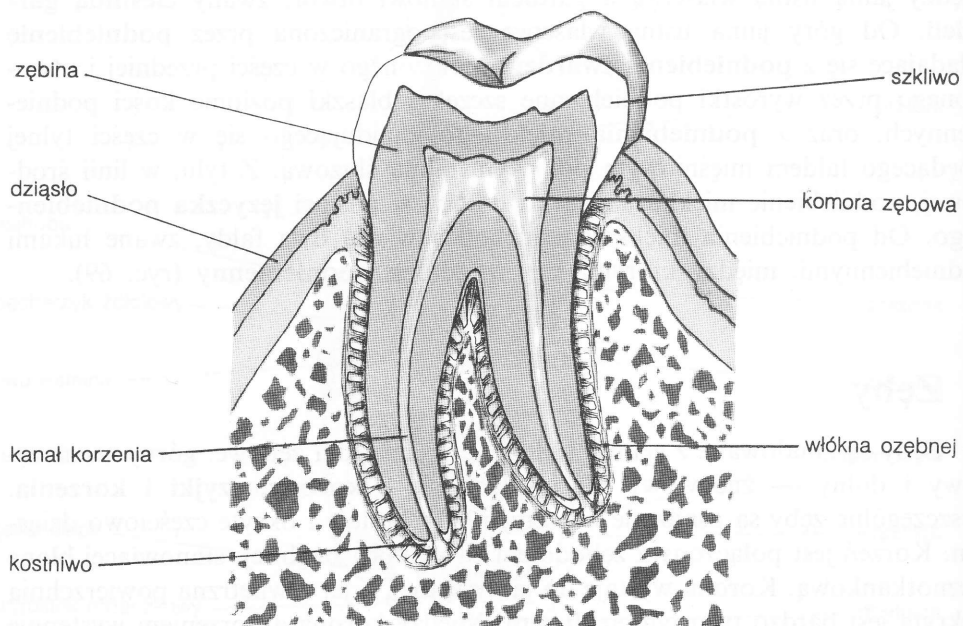
Otwór ustny przyjmuje kształt **szpary ust**, która jest ograniczona **wargami**. Między wargami i policzkami a łukami zębowymi znajduje się **przedsionek jamy ustnej**. Natomiast wewnątrz w stosunku do łuków zębowych występuje **jama ustna właściwa**, która w części tylnej przechodzi w gardło. Granicę między jamą ustną właściwą a gardłem stanowi otwór, zwany **cieśniną gardzieli**. Od góry jama ustna właściwa jest ograniczona przez **podniebienie** składające się z **podniebienia twardego** położonego w części przedniej i utworzonego przez wyrostki podniebienne szczęk i blaszki poziome kości podniebniennych, oraz z **podniebienia miękkiego** znajdującego się w części tylnej i będącego fałdem mięśniowym pokrytym błoną śluzową. Z tyłu, w linii środkowej, podniebienie miękkie zwisa ku dołowi w postaci **języczka podniebiennego**. Od podniebienia miękkiego odchodzą w dół dwa fałdy, zwane łukami podniebniennymi, między którymi leży **migdałek podniebienny** (ryc. 69).

Zęby

Zęby są zbudowane z zębiny i ułożone w dwa łuki zębowe: górny — szczękowy i dolny — żuchwowy. Ząb składa się z **korony**, **szyjki** i **korzenia**. Poszczególne zęby są osadzone korzeniem w zębodole i okryte częściowo dziąsłem. Korzeń jest połączony z zębodołem za pomocą **ozębnej**, stanowiącej błonę łącznotkankową. Korona wystaje do jamy ustnej, a jej zewnętrzna powierzchnia pokryta jest bardzo twardym **szkliwem**. Między koroną a korzeniem występuje szyjka zęba. Korzeń i szyjka zęba pokryte są **kostniwem = cementem**. Wnętrze



Ryc. 69. Jama ustna



Ryc. 70. Budowa zęba

zęba stanowią się otworem zwaną z tkanki

W uzębieniu zęby przebiegają zębów — w drugiej połowie życia zwyczajnie 10 par zębów i dwa zęby śluzowe schematycznie

2.1.2
2.1.2

Zęby w czasie życia od się zmieniają. Między innymi czynią wyrostki, w czasie wyrzynania dwa siekacze, połowce i sposób:

3.2.1.2
3.2.1.2

Człowiek cechuje się uzębieniem gryzającym przystosowanym do łuki zębów mają korony krótką, z wierzchnią powierzchnią wyposażoną w kształt czworokątny ma guzka

Ryc. 71. Zębiny i łowia uzębienie

zęba stanowi **komora zębowa**, która przechodzi w **kanal korzenia** kończący się otworem szczytowym. Komora ta wypełniona jest **miazgą zębową** zbudowaną z tkanki łącznej wiotkiej (ryc. 70).

W uzębieniu człowieka rozróżnia się cztery rodzaje zębów: **siekacze**, **kły**, **zęby przedtrzonowe** i **zęby trzonowe** oraz to, że występują dwa pokolenia zębów — **zęby mleczne** i **zęby stałe**. Pierwsze zęby mleczne wyrzynają się w drugiej połowie pierwszego roku życia i do 30 miesiąca życia wyrasta zazwyczaj 10 zębów mlecznych górnych i 10 dolnych. Są to: dwa siekacze, jeden kieł i dwa zęby trzonowe w każdej połowie obu łuków zębowych; co można schematycznie zapisać wzorem:

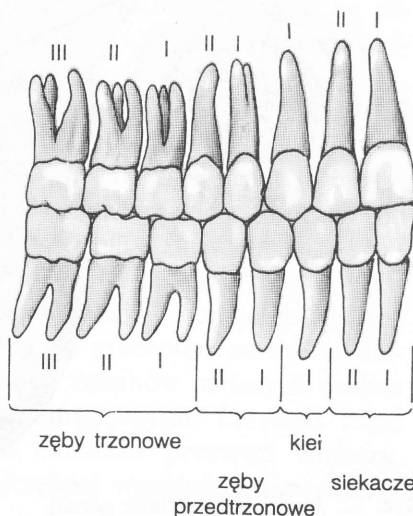
$$\begin{array}{c|c} 2.1.2 & 2.1.2 \\ \hline 2.1.2 & 2.1.2 \end{array}$$

Zęby wyrastają symetrycznie w obu połówkach szczęki i żuchwy, poczynając od siekaczy.

Miedzy 7. a 12. rokiem życia zęby mleczne wypadają, a od 6. roku zaczynają wyrastać zęby stałe. Proces ten kończy się około 13. roku życia. W tym czasie wyrasta po 16 zębów stałych w szczękę i żuchwie, na które składają się: dwa siekacze, jeden kieł, dwa zęby przedtrzonowe i trzy zęby trzonowe w każdej połowie obu łuków zębowych, co schematycznie zapisuje się w następujący sposób:

$$\begin{array}{c|c} 3.2.1.2 & 2.1.2.3 \\ \hline 3.2.1.2 & 2.1.2.3 \end{array}$$

Człowiek należy do organizmów wszystkożernych, stąd jego uzębienie łączy cechy uzębienia roślinożercy i drapieżcy. Zęby przednie służą jedynie do odgryzania kęsów pokarmowych i dlatego ich kształt jest inny niż zębów tylnych, przystosowanych do żucia pokarmów i dla których ciśnienie wywierane przez łuki zębowe jest wyraźnie większe. Siekacze mają koronę w kształcie dłuta, a kły stożkowatą, zakończoną ostrym szczytem. Powierzchnia żucia zębów przedtrzonowych wyposażona jest w dwa guzki, a analogiczna powierzchnia zębów trzonowych ma kształt czworoboku z czterema bądź pięcioma guzkami (ryc. 71).

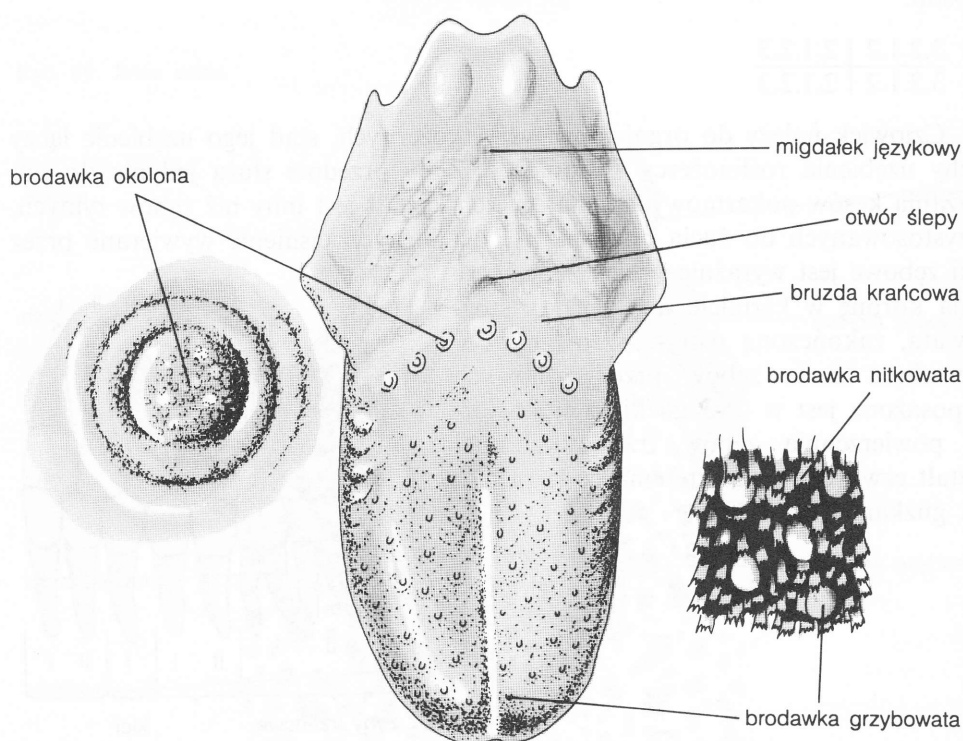


Ryc. 71. Zęby stałe o prawidłowym zgryzie (lewa połowa uzębienia)

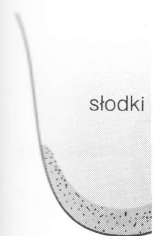
Język

Język jest fałdem mięśniowym pokrytym błoną śluzową, leżącym na spodzie jamy ustnej. Składa się z **trzonu**, który ku tyłowi przechodzi w **nasadę języka**, a ku przodowi zwęża się, tworząc **koniec języka**. Powierzchnia górna, czyli **grzbiet języka**, podzielona jest podłużnie biegnącym rowkiem pośrodkowym na dwie połowy. Granicę między trzonem a nasadą języka wyznacza **bruzda krańcowa** w kształcie litery V, na której szczycie znajduje się zagłębienie, zwane **otworem ślepym**. Na grzbiecie języka występują cztery rodzaje **brodawek**, będących wyrostkami tkanki łącznej, które wystają ponad powierzchnię błony śluzowej. Są to:

- * **brodawki nitkowate** — naliczniejsze i najmniejsze; pokrywają przednią część grzbietu języka,
- * **brodawki grzybowate** — mniej liczne i wyraźnie większe niż brodawki nitkowate; występują w analogicznej okolicy co poprzednie,
- * **brodawki okolone** — największe; znajdują się na granicy trzonu i nasady języka,
- * **brodawki liściaste** — mają kształt małych pionowych fałdów błony śluzowej; są ułożone na bocznych powierzchniach języka (ryc. 72).



Ryc. 72. Język (powierzchnia górna)



Ryc. 73. Rozn

W brodawki smakowy (ryc. 73).
Dolna nieparzysty powierzchni

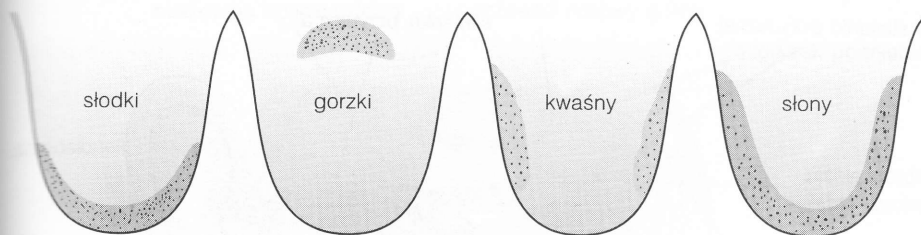
Gruc

Rozróżn w ścianach noszą nazwę biennych. I należą: ślini zykowe.

Ślinianki to gruczoł s nianki uchod wego.

Ślinianki podżuchwowe-słuzowy. wędzidełka j

Ślinianki błoną śluzową zowych. Ślini przewody wy ślinianki star otwierający s ślinianki pod



Ryc. 73. Rozmieszczenie kubków smakowych na powierzchni języka

W brodawkach językowych — prócz brodawek nitkowatych — występują kubki smakowe reagujące na cztery rodzaje smaków: słodki, słony, gorzki i kwaśny (ryc. 73).

Dolna powierzchnia języka jest gładka. W linii pośrodkowej przebiega nieparzysty fałd błony śluzowej, zwany **wędzidełkiem języka**, który łączy tę powierzchnię z dnem jamy ustnej.

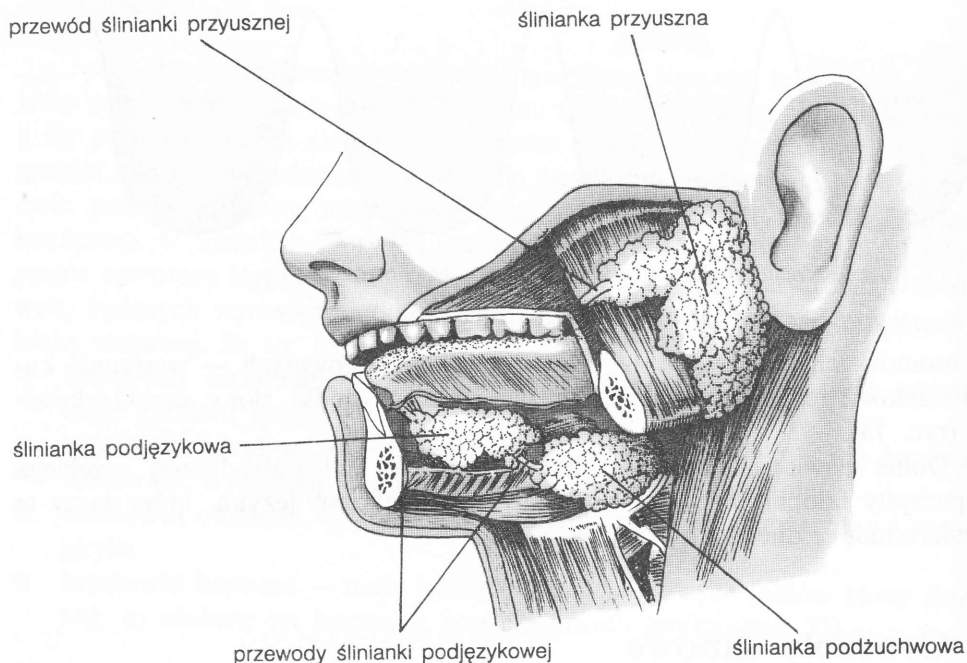
Gruczoły ślinowe

Rozróżniamy małe i duże gruczoły ślinowe. Pierwsze z nich są rozrzucone w ścianach jamy ustnej i w zależności od miejsca, w którym występują one noszą nazwę **gruczołów: wargowych, policzkowych, językowych i podniebiennych**. Duże gruczoły, zwane **śliniankami**, występują parami i do nich należą: **ślinianki przyuszne, ślinianki podżuchwowe oraz ślinianki podjęzykowe**.

Ślinianka przyuszna leży na zewnętrznej powierzchni mięśnia żwacza. Jest to gruczoł surowiczy, a zarazem największy gruczoł ślinowy. Przewód tej ślinianki uchodzi do przedsionka jamy ustnej na wysokości drugiego zęba trzonowego.

Ślinianka podżuchwowa — mniejsza od poprzedniej — leży w okolicy podżuchwowej. Jest ona częściowo pokryta żuchwą. Stanowi gruczoł surowiczo-śluzowy. Przewód jej otwiera się na dolnej powierzchni języka bocznie od wędzidełka języka.

Ślinianka podjęzykowa — najmniejsza ze ślinianek — znajduje się pod błoną śluzową okolicy podjęzykowej. Należy ona do gruczołów surowiczo-śluzowych. Ślinianka ta składa się z kilku oddzielnych zrazików mających osobne przewody wyprowadzające, zwane **przewodami mniejszymi**. Przednią część ślinianki stanowi gruczoł główny, od którego odchodzi **przewód większy**, otwierający się na mięśniu podjęzykowym, najczęściej wspólnie z przewodem ślinianki podżuchwowej (ryc. 74).



Ryc. 74. Gruczoły ślinowe prawej strony

GARDŁO

Gardło ma kształt lejkowatej, spłaszczonej cewy, która rozciąga się od podstawy czaszki do VI kręgu szyjnego, gdzie przechodzi w przełyk. Jamę gardła dzielimy na część górną — **nosową**, środkową — **ustną** i dolną — **krtaniową**.

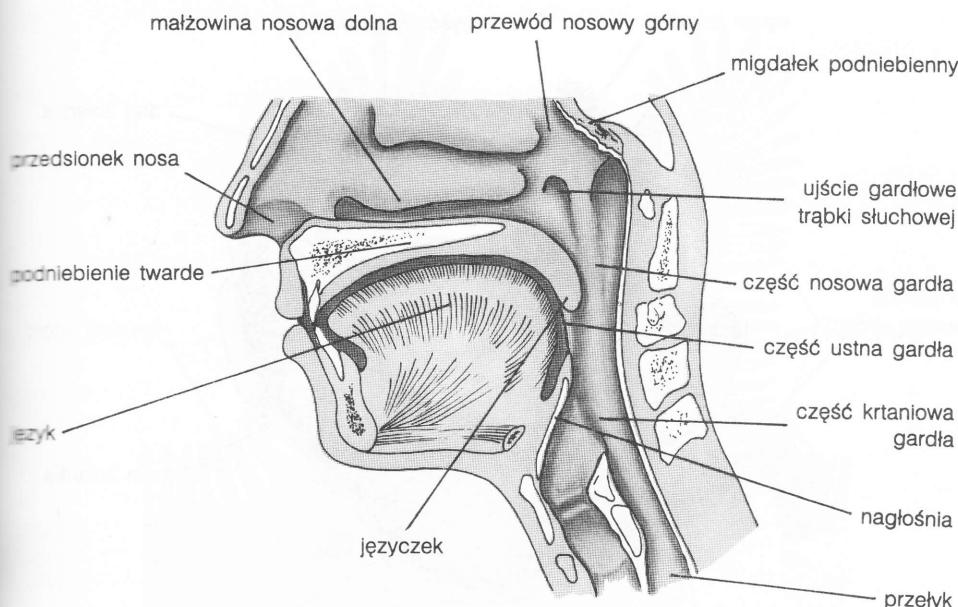
Część nosowa gardła otwiera się z przodu do jamy nosowej i dlatego czynnościowo związana jest z układem oddechowym. Na sklepieniu gardła występuje zgrupowanie tkanki limfatycznej, tworzące nieparzysty **migdałek gardłowy**. W bocznej ścianie tej części gardła znajduje się otwór stanowiący **ujście gardłowe trąbki słuchowej**, inaczej **trąbki Eustachiusza**.

Część ustna gardła położona jest bezpośrednio za cieśnią gardzieli.

Część krtaniowa gardła znajduje się z tyłu za krtanią. Od przodu w stosunku do tej części gardła występuje chrząstka nagłośniowa i wejście do krtani, a bocznie od niego — głęboki zachyłek gruszkowaty, będący drogą kęsa pokarmowego przy przełykaniu (ryc. 75).

PRZEŁYK

Przełyk przyjmuje postać długiej wąskiej cewy ciągnącej się od części krtaniowej gardła do wpustu żołądka znajdującego się na wysokości X—XI kręgu



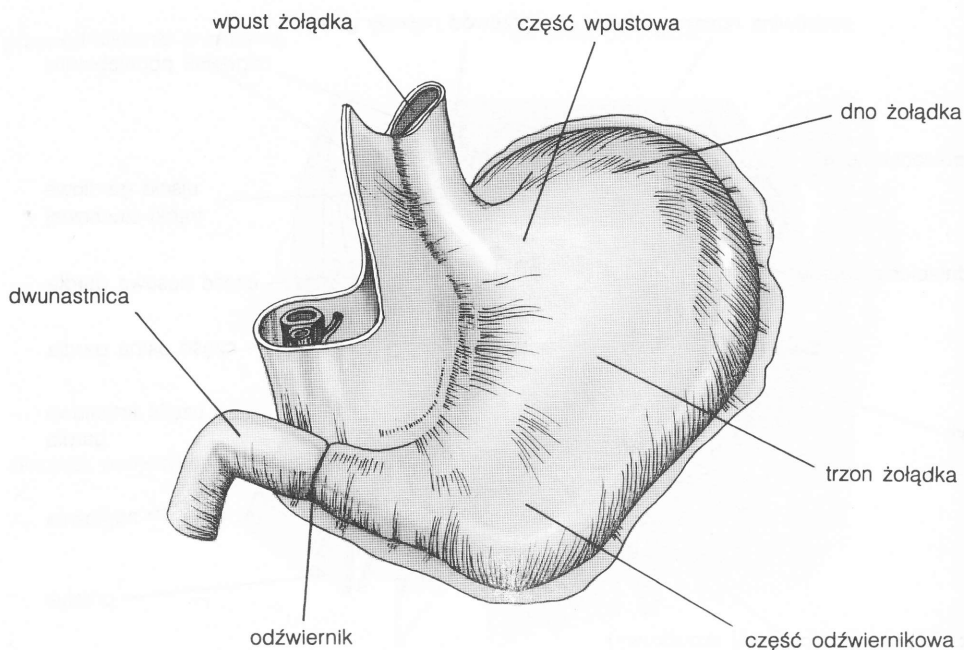
Ryc. 75. Gardło (przekrój strzałkowy)

piersiowego. Składa się z części **szyjnej**, **piersiowej** i **brzusznej**. W jego przebiegu występują trzy zwężenia: na granicy z gardłem, na wysokości rozdwojenia tchawicy i w obrębie przepony. W zwężeniach mogą zatrzymywać się przelykane ciała obce.

ŻOŁĄDEK

Żołądek znajduje się w części nadpępkowej jamy brzusznej. Jest ułożony w ten sposób, że jego większa część leży po lewej stronie płaszczyzny pośrodkowej. Stanowi on workowate rozszerzenie przewodu pokarmowego, spełniające funkcje zbiornika pokarmu, który tu przez pewien czas przebywa podczas trawienia. Kształt i położenie żołądka zmienia się w zależności od pozycji i stopnia wypełnienia go pokarmem. Żołądek lekko wypełniony ma kształt łaski. Na jego lewym górnym końcu znajduje się **wpust żołądka**, kontaktujący się z brzuszną częścią przełyku. Obszerna, wpuklająca się ku górze część żołądka, nazywa się **dnem żołądka**, poniżej którego występuje **trzon żołądka**. Spód żołądka stanowi **część odźwiernikowa**. Jest ona wyposażona w mięsień **zwieracz odźwiernika**, którego skurcz uniemożliwia przedostawanie się pokarmu do dalszej części przewodu pokarmowego.

Blona śluzowa żołądka zawiera liczne gruczoły, wśród których wyróżniamy: **gruczoły żołądkowe właściwe** i **gruczoły odźwiernikowe**. Pierwsze z nich są gruczołami cewkowymi prostymi, występującymi w okolicy dna i trzonu żołąd-



Ryc. 76. Żołądek

ka. Zawierają one dwa rodzaje komórek nabłonkowych: **komórki główne** produkujące pepsynogen i **komórki okładzinowe** wytwarzające kwas solny. Gruczoły odźwiernikowe należą do prostych lub złożonych gruczołów cewkowo-pęcherzykowych znajdujących się w części odźwiernikowej żołądka. Wydzielają śluz (ryc. 76).

JELITO CIENKIE

Jelito cienkie ciągnie się od odźwiernika do ujścia do jelita grubego. Składa się z trzech odcinków: **dwunastnicy**, **jelita czczego** i **jelita krętego**. Długość jelita cienkiego wynosi około 6 m. W błonie śluzowej początkowego odcinka dwunastnicy występują cewkowo-pęcherzykowe **gruczoły dwunastnicze podśluzówkowe**, a na całej długości jelita cienkiego — proste cewkowe **gruczoły jelitowe**.

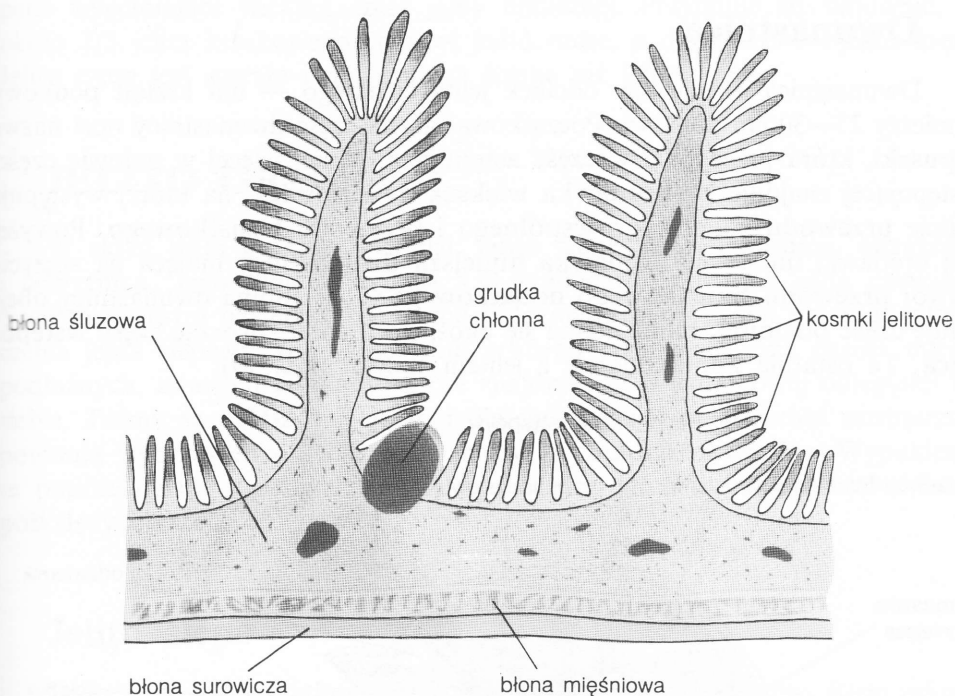
Powierzchnia błony śluzowej jelita cienkiego tworzy liczne **faldy okrężne**, które najlepiej widoczne są w obszarze dwunastnicy i jelita czczego. Obserwacje w mikroskopie świetlnym wykazały, że powierzchnię błony śluzowej całego jelita cienkiego pokrywają **kosmki jelitowe**, których liczba sięga kilku milionów (ryc. 77). Ich funkcja wiąże się z wchłanianiem strawionego pokarmu. Wewnątrz pojedynczego kosmka znajduje się sieć naczyń włosowatych krwionośnych, do których ze światła jelita przenikają: cukry proste (głównie gluko-

błona śluzowa

Ryc. 77. Błona śluzowa

za), aminy, w postaci j. ilość kwasów. Innej części k. limfatyczne ze światła j. stkich prod (kwasów tł. dów, dwugl. (ryc. 78). P. błonka pok. jelita cienkie tworzy bar. (patrz Cytol. 67).

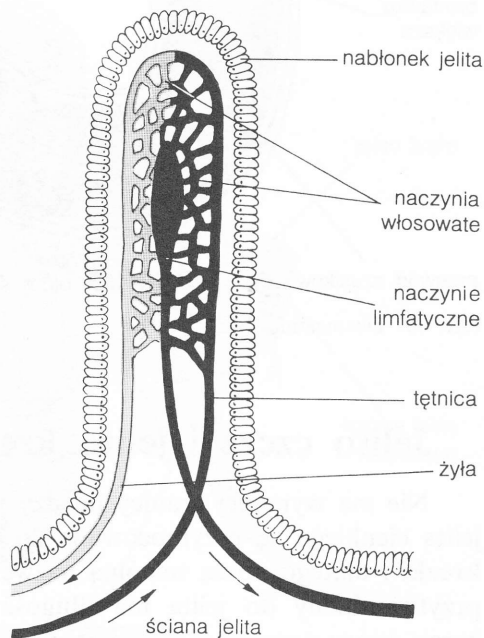
Występc kosmków i bardzo wyd. mię chłonną



Ryc. 77. Błona śluzowa jelita cienkiego

za), aminokwasy, sole mineralne w postaci jonów, witaminy, niewielka ilość kwasów tłuszczowych. W centralnej części kosmka występuje naczynie limfatyczne odpowiedzialne za odbiór ze światła jelita większej części wszystkich produktów trawienia tłuszczów (kwasów tłuszczowych, monoglicerydów, dwuglicerydów i trójglicerydów), (ryc. 78). Powierzchnia komórek nabłonka pokrywającego błonę śluzową jelita cienkiego od strony światła jelita tworzy bardzo liczne **mikrokosmki** (patrz *Cytologia...*, s. 66 i ryc. 65 na s. 67).

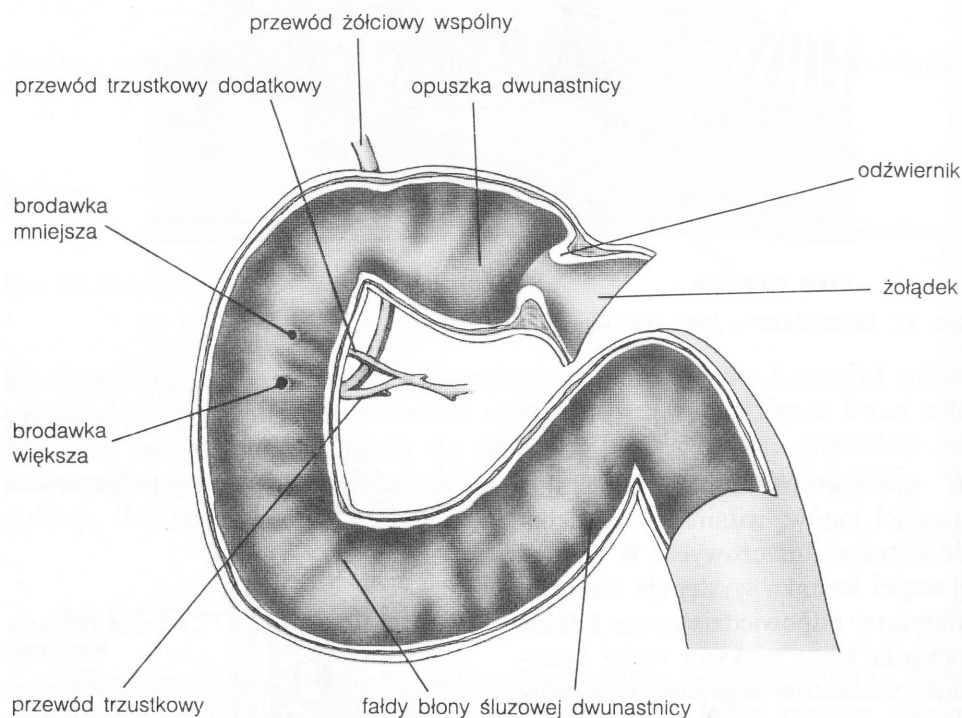
Występowanie fałdów okrężnych, kosmków i mikrokosmków w sposób bardzo wydatny zwiększa powierzchnię chłonną jelita.



Ryc. 78. Kosmek jelitowy

Dwunastnica

Dwunastnica — pierwszy odcinek jelita cienkiego — ma kształt podkowy i mierzy 25—30 cm długości. Początkowa, górna część dwunastnicy nosi nazwę **opuszki**, która przechodzi w **część zstępującą**. Mniej więcej w połowie części zstępującej znajduje się **brodawka większa dwunastnicy**, na której występuje ujście **przewodu żółciowego wspólnego** i **przewodu trzustkowego**. Powyżej tej brodawki mieści się **brodawka mniejsza dwunastnicy** mająca na szczycie otwór **przewodu trzustkowego dodatkowego**. Część dolna dwunastnicy obejmuje **część poziomą**, która zagina się ukośnie ku górze, tworząc **część wstępującą**. Ta ostatnia kontaktuje się z jelitem czczym (ryc. 79).



Ryc. 79. Dwunastnica

Jelito czcze i jelito kręte

Nie ma wyraźnej granicy między jelitem czczym a krętym. Oba te odcinki jelita cienkiego są przymocowane do tylnej ściany jamy brzusznej za pomocą **kreзки** i dlatego noszą wspólną nazwę **jelita krezkowego**. Wolny brzeg krezki przytwierdzony do jelita ma długość równą jego długości, natomiast drugi brzeg, który przytwierdzony jest do ściany jamy brzusznej, ma zaledwie około 15 cm długości. Powoduje to konieczność ułożenia jelita cienkiego w liczne

pętle wyp
około 2/5
Jelito czcz

JEL

W skł
i odbytni
z jelitem g
czenia jeli
podłużnych
siebie. Taś
powstają w
te poprzec
półksiężyc

Jelito

Jelito ś
czony wor
pokryte ot

okreźnica wst

zastawka
krętniczko-kątn

ujście wyrostk
robaczkowego

jelito ślepe

Ryc. 80. Jelito

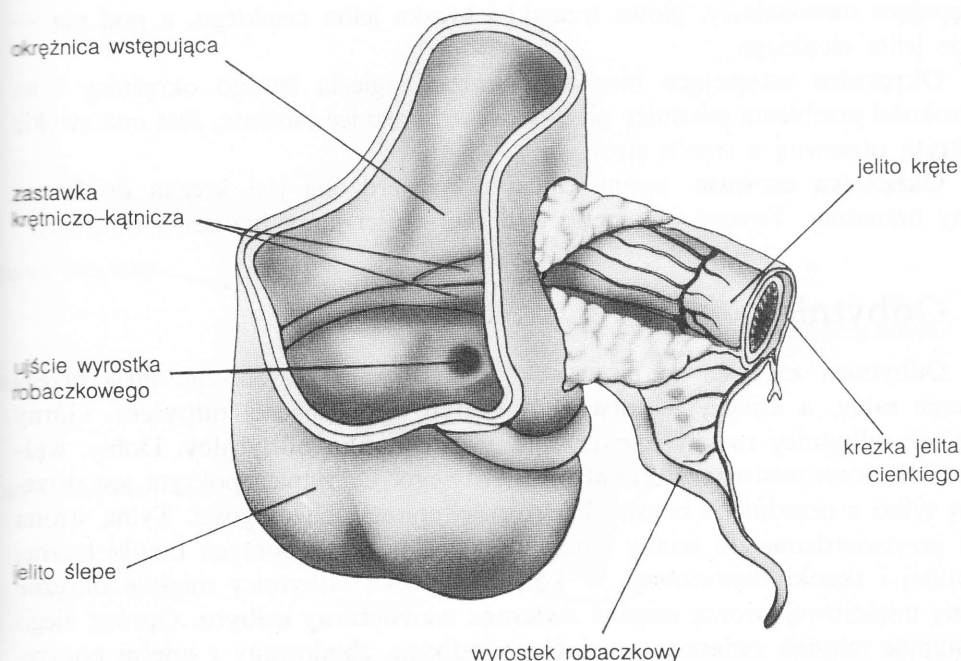
pętle wypełniające większą część jamy brzusznej. Przyjmuje się umownie, że około 2/5 jelita krezkowego stanowi jelito czcze, a około 3/5 — jelito kręte. Jelito czcze jest szersze i ma grubsza ścianę niż jelito kręte.

JELITO GRUBE

W skład jelita grubego wchodzi: **jelito ślepe**, inaczej **kątnica**, **okreznica** i **odbytnica**. Jego długość wynosi 130—150 cm. Połączenie jelita cienkiego z jelitem grubym następuje w miejscu położonym około 7 cm powyżej zakończenia jelita ślepego. W ścianie jelita grubego przebiegają trzy pasma mięśni podłużnych, zwanych **taśmami**, które znajdują się w jednakowej odległości od siebie. Taśmy są krótsze niż jelito i dlatego na jego powierzchni zewnętrznej powstają wybrzuszenia, które noszą nazwę **wypukleń okreznicy**. Wypuklenia te poprzedzielane są zagłębieniami wystającymi do światła jelita jako **faldy półksiężycowate**.

Jelito ślepe

Jelito ślepe — początkowy odcinek jelita grubego — stanowi ślepo zakończony worek leżący w prawym dole biodrowym. Jest ono zwykle w całości pokryte otrzewną. Na granicy z okreznicą mieści się ujście jelita krętego,



Ryc. 80. Jelito ślepe z wyrostkiem robaczkowym

ograniczone **zastawką krętniczo-kątniczą**, która uniemożliwia cofanie się treści pokarmowej z jelita grubego do jelita cienkiego. Zastawka ta ma postać dwóch fałdów otaczających poprzecznie położony, szczelinowaty otwór jelita cienkiego. Nieco poniżej zastawki krętniczo-kątniczej, w ścianie jelita ślepego znajduje się ujście wyrostka robaczkowego.

Wyrostek robaczkowy ma postać ślepo zakończonej cewki, będącej uwypukleniem jelita ślepego. Mierzy on około 8 cm długości. U człowieka wyrostek robaczkowy nie bierze udziału w trawieniu pokarmu i należy do narządów szczątkowych. W stanach zapalnych jest operacyjnie usuwany, co nie wywołuje negatywnych następstw (ryc. 80).

Określtnica

Określtnicę dzieli się na: **wstępującą**, **poprzeczną**, **zstępującą** i **esowatą**.

Określtnica wstępująca biegnie ku górze od ujścia jelita krętego do trzewnej powierzchni wątroby, gdzie tworzy **zgięcie prawe określtnicy** i przechodzi w określtnicę poprzeczną. Określtnica wstępująca jest najczęściej pokryta otrzewną tylko z trzech stron i wówczas nie tworzy krezki.

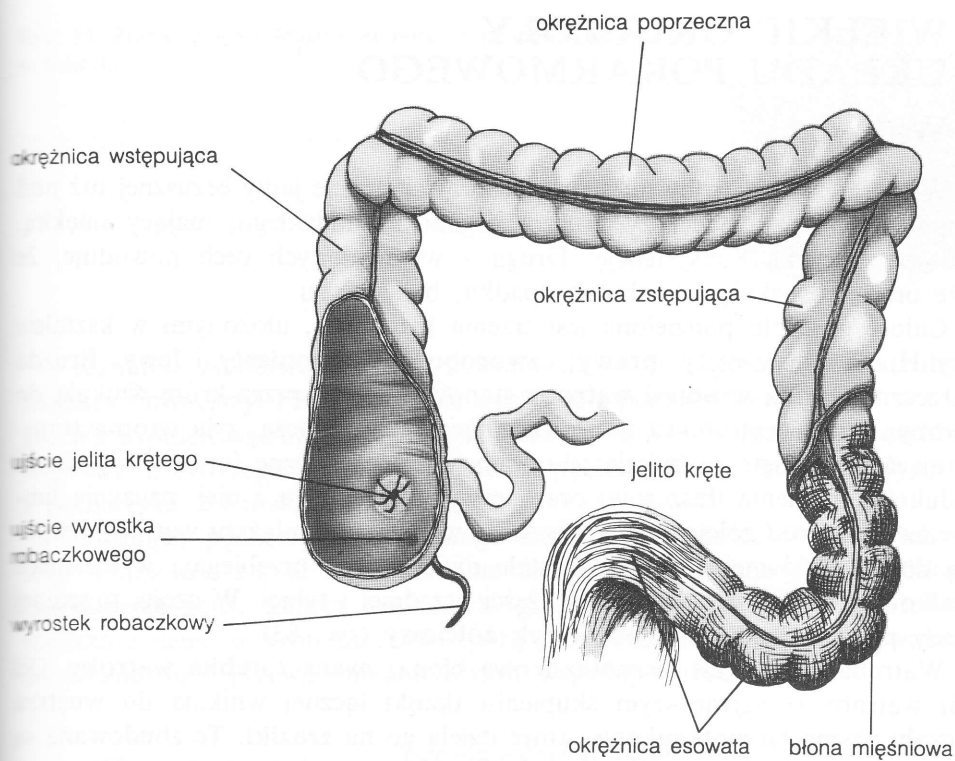
Określtnica poprzeczna ciągnie się łukowato od prawego podżebrza ku lewej stronie ciała, gdzie poniżej śledziony tworzy **zgięcie lewe określtnicy** przechodząc w określtnicę zstępującą. Określtnica poprzeczna jest połączona z tylną ścianą jamy brzusznej za pomocą **krezki określtnicy poprzecznej**. Ponad tą częścią określtnicy leży: wątroba, pęcherzyk żółciowy i żołądek, za nią — część zstępująca dwunastnicy, głowa trzustki i krezka jelita cienkiego, a pod nią — pętle jelita cienkiego.

Określtnica zstępująca biegnie w dół od zgięcia lewego określtnicy i na wysokości grzebienia miednicy przechodzi w określtnicę esowatą. Jest ona zwykle pokryta otrzewną z trzech stron.

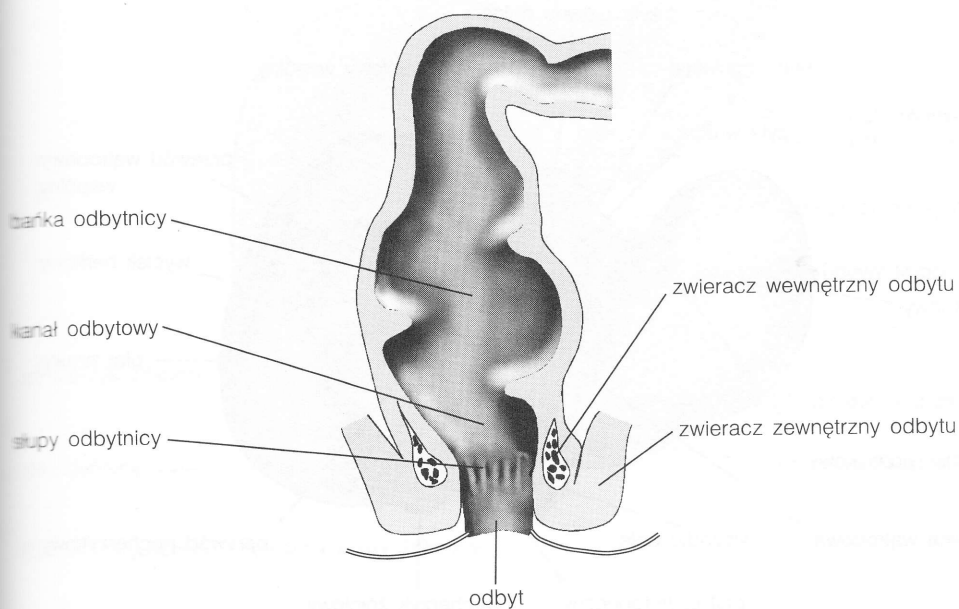
Określtnica esowata, zwana **esicą**, przytwierdzona jest kreską do ściany jamy brzusznej. Tworzy ona pętlę w dolnej części jamy brzusznej (ryc. 81).

Odbyttnica

Odbyttnica zaczyna się na wysokości III kręgu krzyżowego jako przedłużenie **esicy**, a kończy — **otworem odbytowym**, inaczej **odbytem**. Górny odcinek odbytnicy tworzy rozszerzenie, zwane **bańką odbytnicy**. Dolny, węższy odcinek — nosi nazwę **kanalu odbytowego**. Odbyttnica pokryta jest otrzewną tylko z przedniej i bocznych stron do połowy ich długości. Tylna strona jest przytwierdzona do ściany i narządów miednicy za pomocą tkanki łącznej wiotkiej i tkanki tłuszczowej. W końcowej części odbytnicy mięśnie określtnie błony mięśniowej tworzą mięsień **zwieracz wewnętrzny odbytu**. Oprócz niego występuje mięsień **zwieracz zewnętrzny odbytu**, zbudowany z mięśni poprzecznie prążkowanych ułożonych określtnie (ryc. 82).



Ryc. 81. Okreznica



Ryc. 82. Odbytnica i odbyt

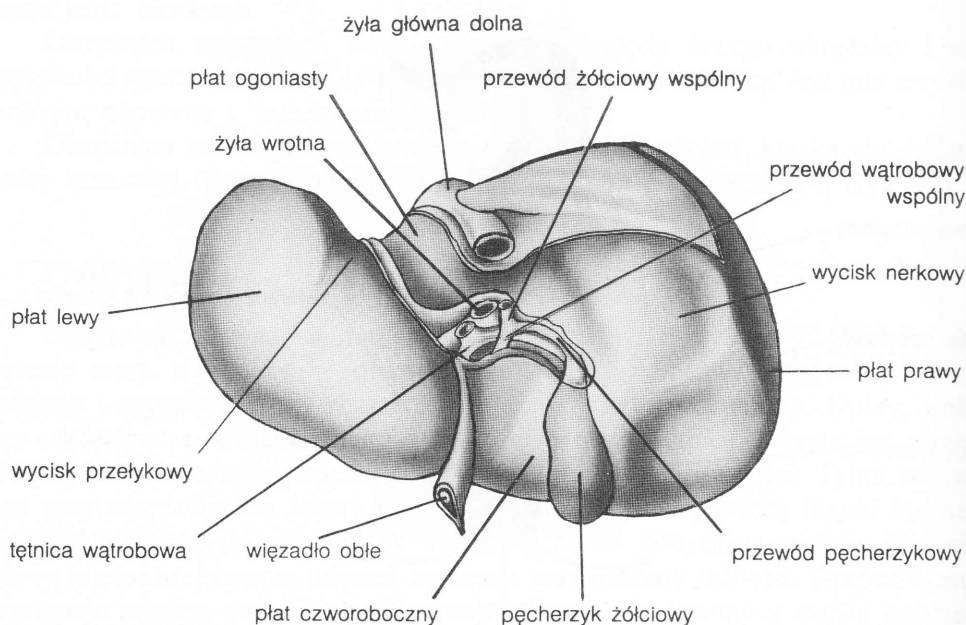
WIELKIE GRUCZOŁY UKŁADU POKARMOWEGO

Wątroba

Większa część wątroby mieści się po prawej stronie jamy brzusznej tuż pod przeponą. Jest to największy gruczoł organizmu ludzkiego, mający miękką, a zarazem kruchą konsystencję. Druga z wymienionych cech powoduje, że może ona ulec pęknięciu wskutek upadku, bądź urazu.

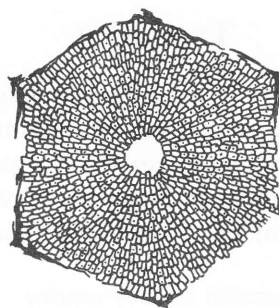
Całość gruczołu podzielona jest trzema **bruzdami**, ułożonymi w kształcie litery H, na cztery płaty: **prawy, czworoboczny, ogoniasty i lewy**. Bruzda poprzeczna, zwana **wrotami wątroby** stanowi miejsce, przez które wnikają do wątroby: tętnica wątrobowa doprowadzająca krew tętniczą, żyła wrotna transportująca wchłonięte ze światła jelita substancje chemiczne (oprócz większości produktów trawienia tłuszczów) oraz nerwy, a wychodzą z niej: naczynia limfatyczne i przewód żółciowy. Żyły wątrobowe biegną z miąższu wątroby i wpadają do żyły głównej dolnej. Pozostałe dwie bruzdy przebiegają w kierunku strzałkowym, a każda składa się z części przedniej i tylnej. W części przedniej bruzdy prawej znajduje się **pęcherzyk żółciowy** (ryc. 83).

Wątroba okryta jest łącznotkankową błoną, zwaną **torebką wątroby**. Od wrót wątroby o największym skupieniu tkanki łącznej wnikają do wnętrza gruczołu pasma łącznotkankowe, które dzielą go na **zraziki**. Te zbudowane są z wielu komórek ułożonych w promieniście biegnące beleczki (ryc. 84).



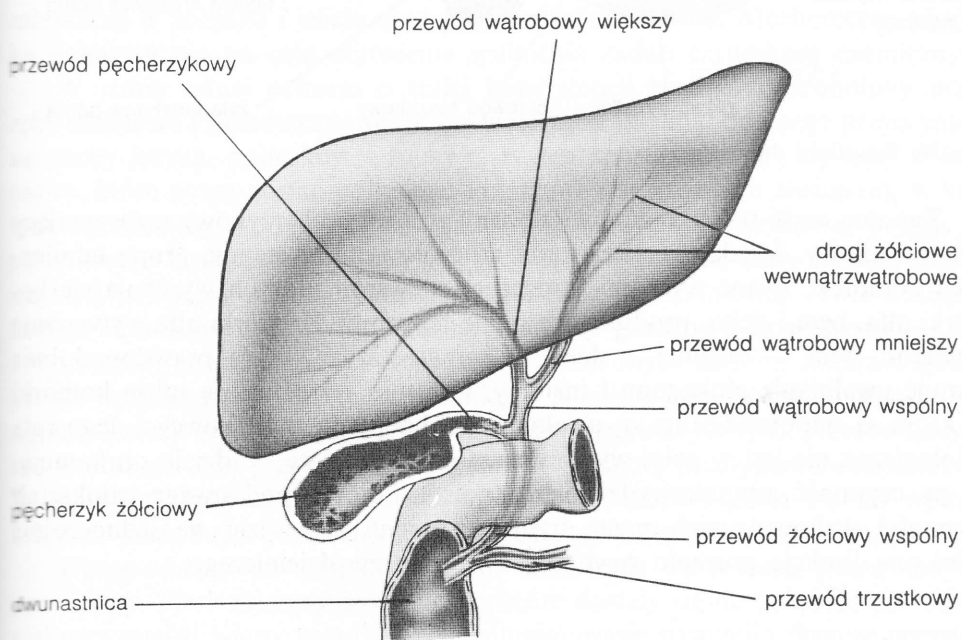
Ryc. 83. Wątroba (powierzchnia trzewna)

Ryc. 84. Zrzutek przedstawiający komórki wątrobowe ułożone w beleczki



Kanaliki żółciowe wątroby zbierają się w dwa **przewody wątrobowe: większy i mniejszy**. Pierwszy z nich wychodzi z płata prawego, drugi — z lewego. We wrotach wątroby przewody te łączą się ze sobą w **przewód wątrobowy wspólny**, a do niego ma ujście **przewód pęcherzykowy**, którym spływa żółć z pęcherzyka żółciowego.

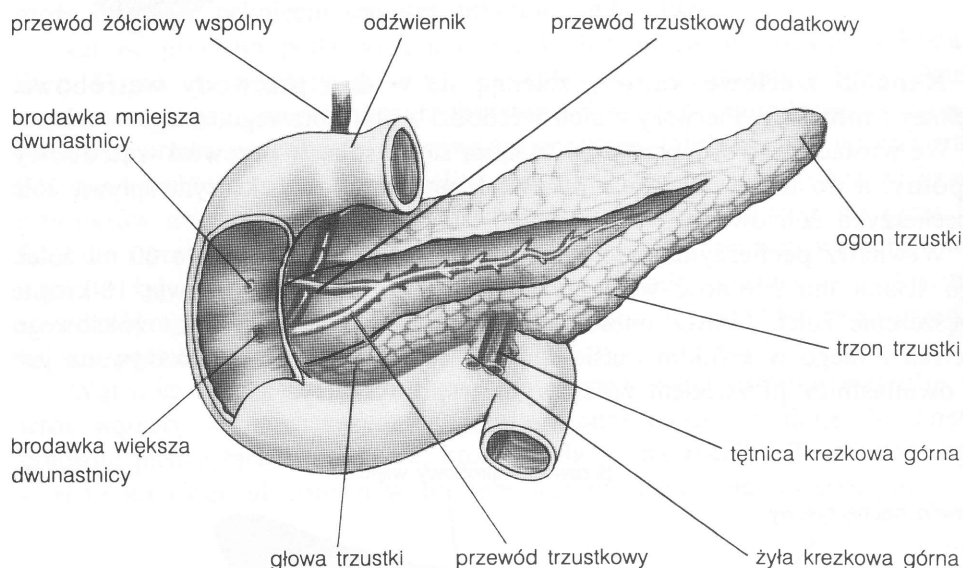
Wewnątrz **pęcherzyka żółciowego** może się gromadzić około 60 ml żółci. Jego ściana ma zdolność wchłaniania wody, co powoduje prawie 10-krotne zagęszczenie żółci. Skurcz mięśniówki gładkiej ściany pęcherzyka żółciowego wyciska z niego w krótkim czasie sporą porcję żółci, która przekazywana jest do dwunastnicy przewodem **żółciowym wspólnym** (ryc 85).



Ryc. 85. Pęcherzyk żółciowy i drogi żółciowe

Trzustka

Trzustka znajduje się na tylnej ścianie jamy brzusznej, za żołądkiem. Składa się ona z **głowy**, **trzonu** i **ogona**. Centralnie, wzdłuż osi trzustki, począwszy od ogona, przez trzon i głowę biegnie **przewód trzustkowy**, do którego dochodzą mniejsze przewody. Przewód ten rozgałęzia się na dwa, które kończą się ujściami do dwunastnicy (porównaj: Dwunastnica, s. 86), (ryc. 79).



Ryc. 86. Trzustka i dwunastnica

Znaczna część trzustki stanowi złożony gruczoł pęcherzykowy wytwarzający sok trzustkowy. Między pęcherzykami gruczołowymi występują grupy odmiennych komórek, zwane wyspami Langerhansa, wśród których wyróżnia się komórki alfa, beta i delta, produkujące różne hormony. Komórki alfa wytwarzają glukagon, beta — insulinę, a delta — somatostatynę, która prawdopodobnie hamuje uwalnianie glukagonu i insuliny. Ostatnio wyróżnia się także komórki F, które są odpowiedzialne za uwalnianie polipeptydu trzustkowego. Jego rola fizjologiczna nie jest w pełni wyjaśniona. Przypuszcza się, że działa on hamująco na czynność zewnątrzwydzielniczą trzustki. Biorąc pod uwagę całokształt czynności wykonywanych przez trzustkę, można stwierdzić, że jednocześnie pełni ona funkcję gruczołu zewnątrz- i wewnątrzwydzielniczego.

U

POB
CZY
W P

Człowiek

w postaci p
na bezpoś
czynników
gryzienie
wałków po
mieszanie
ka pokarm

W jam
zęby trzon
się ruchy j
mowe, któ
rym wyróż
presunięci
języka i p
fazy są akt
ordynowan
gardła wpi
stępnie ku
kęs wzdłuż
W tej fazi
żołądka, p

Wprov
jego ściany
rozkurcz m
tyczne błon
pokarmow
Pokarmy p
być przetrz

FIZJOLOGIA UKŁADU POKARMOWEGO

POBIERANIE POKARMU I DZIAŁANIE CZYNNIKÓW MECHANICZNYCH W PRZEWODZIE POKARMOWYM

Człowiek jako organizm cudzożywny musi pobrać związki organiczne w postaci pokarmu. Pobierany pokarm ma w większości postać nie pozwalającą na bezpośrednie wykorzystanie i dlatego musi on zostać poddany działaniu czynników mechanicznych i chemicznych. Do czynników mechanicznych należy: **gryzienie** powodujące wprowadzenie do jamy ustnej odpowiednio małych kawałków pokarmu, **żucie** prowadzące do roztarcia pokarmu, a także **połykanie**, **mieszanie** w żołądku i jelicie oraz **przesuwanie** pokarmu. Mechaniczna obróbka pokarmu ma na celu ułatwienie spełnienia zadań czynnikom chemicznym.

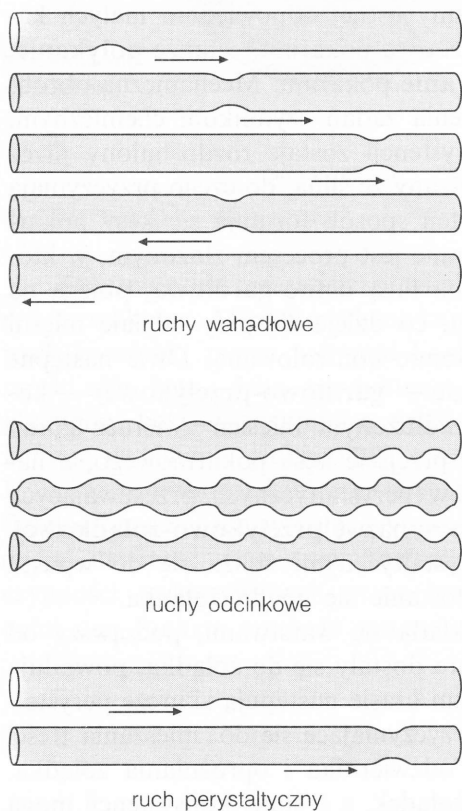
W jamie ustnej pokarm o stałej konsystencji zostaje rozdrobniony przez zęby trzonowe i przedtrzonowe oraz wymieszany ze śliną, do czego przyczyniają się ruchy języka, policzków i żuchwy. W ten sposób formują się kęsy pokarmowe, które mogą zostać połknięte. Połykanie jest procesem złożonym, w którym wyróżniamy trzy fazy. Pierwsza, zwana fazą **ustno-gardłową**, polega na przesunięciu kęsa z jamy ustnej do gardła, co dzieje się przy udziale mięśni języka i policzków i jest czynnością świadomie kontrolowaną. Dwie następne fazy są aktami odruchowymi. W drugiej fazie — **gardłowo-przelykowej** — koordynowanej przez ośrodki w rdzeniu przedłużonym mięsień zwieracz górny gardła wpierw rozkurcza się, umożliwiając przejście kęsa pokarmowego, a następnie kurczy się, wywołując falę skurczów perystaltycznych przesuwających kęs wzdłuż gardła i przełyku. Trzecia faza nosi nazwę **przelykowo-żołądkowej**. W tej fazie kęs przesuwany ruchami perystaltycznymi zbliża się do wpustu żołądka, powodując jego rozkurcz i przedostanie się go do żołądka.

Wprowadzony do żołądka pokarm układu się warstwami, począwszy od jego ściany. Pierwsze kęsy pokarmowe, które dostały się do żołądka, powodują rozkurcz mięśni ściany żołądka. W niedługim czasie następują skurcze perystaltyczne błony mięśniowej ściany żołądka, przyczyniające się do: mieszania treści pokarmowej, przesuwania jej w kierunku odźwiernika i opróżniania żołądka. Pokarmy płynne szybko przechodzą przez żołądek, a o stałej konsystencji mogą być przetrzymywane nawet przez kilka godzin. Opróżnianie żołądka odbywa się

w następujący sposób. Gdy fala perystaltyczna dociera do odźwiernika, następuje jego otwarcie i wyciśnięcie płynnej treści pokarmowej do dwunastnicy, a treść stała zostaje cofnięta do żołądka. Taka procedura powtarza się wielokrotnie w ciągu kilku godzin. Dzięki temu cofana do żołądka stała treść pokarmowa jest dalej mieszana oraz rozdrabniana i stopniowo zamieniana na płynną. Za zwiększenie częstotliwości skurczów mięśniówki ściany żołądka i przyspieszenie jego perystaltyki odpowiadają włókna przywspółczulne nerwu błędnego.

W jelicie rozróżniamy ruchy: **wahadłowe**, **odcinkowe** = **dzielące** i **perystaltyczne** = **robaczkowe**. Ruchy wahadłowe i odcinkowe nie przesuwają treści pokarmowej w jednym kierunku, ale powodują jej mieszanie z sokami trawieninymi. Podczas ruchów wahadłowych powstające przewężenie jelita jest przesuwane na krótkim odcinku w jedną stronę, a następnie powraca do miejsca wyjściowego. Ruchy odcinkowe polegają na równoczesnych skurczach mięśni okrężnych w różnych miejscach jelita przy rozluźnieniu mięśni podłużnych, po czym miejsca skurczone ulegają rozkurczowi, a skurcze występują w innych odcinkach. Podczas ruchu perystaltycznego przewężenie powstałe wskutek skur-

czu mięśni okrężnych ściany jelita wędruje jako fala perystaltyczna począwszy od dwunastnicy w kierunku odbytu (ryc. 87). Przed falą skurczu biegnie równocześnie fala zwiócenia. Najczęściej ruch perystaltyczny odbywa się powoli z prędkością 2 cm/s i obejmuje odcinki 5–10 cm. Co pewien czas pojawia się szybka i długa fala perystaltyczna przesuwająca treść pokarmową z prędkością 20–25 cm/s na większej przestrzeni. Jest ona zwykle konsekwencją odruchu powstającego np. podczas napełniania żołądka pokarmem lub pod wpływem działania jądów bakteryjnych, względnie środków przeczyszczających. Ruchy robaczkowe odbywają się w zasadzie w jednym kierunku. Tylko w niektórych przypadkach dochodzi do ruchów w odwrotnym kierunku, zwanych **aniperystaltyką**, co może prowadzić do wymiotów kałowych. Skurcze perystaltyczne są podstawowym czynnikiem powodującym przesuwanie treści pokarmowej od żołądka do odbytnicy. Ruchy jelita są pobudzane przez włókna przy-



Ryc. 87. Schemat ruchów jelita

współczulne
pięcie zwie
jelit, a wzr

TRA POK

Proces
rozpuszcza
związków
wych — m
aminokwas
oraz zasad
trawiając wy
ganizmu ze
związków
z kolejnośc

Enzy

Enzymy
hydrolitycz
kład, rozłoż
ków bardzi
dzielane w
gę rodzaj z

* **enzymy**
wych. Z
endope
Pierwsz
miejsc
należą:
koniec
kwasów
boksyl
aminow
działa

* **enzymy**
stępują
skrobię
rozszc
cą sach
glukoze

współczulne i działanie acetylcholino. Jednocześnie czynniki te zwalniają napięcie zwieraczy. Natomiast włókna współczulne i adrenalina hamują ruchy jelit, a wzmacniają napięcie zwieraczy.

TRAWIENIE — CHEMICZNA OBRÓBKA POKARMU

Proces trawienia polega na enzymatycznej hydrolizie makrocząsteczek na rozpuszczalne monomery, które mogą zostać wchłonięte. Rozkład złożonych związków chemicznych na proste — w przypadku białek i kwasów nukleinowych — ma jeszcze inne znaczenie. Powstające w wyniku hydrolizy białek aminokwasy, a z kwasów nukleinowych: cukier — pentoza, kwas ortofosforowy oraz zasady purynowe i pirymidynowe są związkami nieswoistymi, a więc trawiąc wyżej wymienione makrocząsteczki zapobiega się wprowadzeniu do organizmu ze światła jelita — uważanego za uchylek środowiska zewnętrznego — związków „cudzych”, to znaczy o innej kolejności monomerów w porównaniu z kolejnością występującą we „własnych” białkach i kwasach nukleinowych.

Enzymy trawienne

Enzymy katalizujące trawienie należą do grupy **hydrolaz**, inaczej enzymów hydrolitycznych (przedrostek hydro — oznacza wodę, a liza lub lityczny — rozkład, rozłożenie, rozpad). Zgodnie z nazwą enzymy te katalizują rozkład związków bardziej złożonych do prostszych, z przyłączeniem wody. Hydrolazy wydzielane w przewodzie pokarmowym można ogólnie podzielić, biorąc pod uwagę rodzaj związku chemicznego na który działają, na następujące grupy:

- * **enzymy proteolityczne.** Katalizują one rozszczepienie wiązań peptydowych. Ze względu na miejsce ataku na łańcuch polipeptydowy wyróżnia się **endopeptydazy = proteazy = proteinazy** i **egzopeptydazy = peptydazy**. Pierwsze z nich rozszczepiają białka i wyższe polipeptydy w określonych miejscach w środku łańcucha na niższe polipeptydy i peptydy. Do nich należą: **pepsyna, trypsyna, chymotrypsyna**. Egzopeptydazy działają na koniec łańcucha peptydowego powodując uwalnianie końcowych aminokwasów. Jedne z nich atakują wiązania peptydowe od strony końca karboksylowego i te noszą nazwę **karboksypeptydaz**, inne — od strony końca aminowego i wówczas zwą się **aminopeptydazami**. Wiele egzopeptydaz działa głównie na małe fragmenty: oligopeptydy i niższe polipeptydy;
- * **enzymy amylolityczne.** Katalizują one rozkład wiązań glikozydowych występujących w cukrach. Do nich zaliczamy: **alfa-amylazę** rozkładającą skrobię i glikogen poprzez dekstryny (oligosacharydy) do maltozy, **maltozę** rozszczepiającą maltozę na dwie cząsteczki glukozy, **sacharazę** rozkładającą sacharozę na glukozę i fruktozę oraz **laktazę** rozszczepiającą laktozę na glukozę i galaktozę;

- * **enzymy lipolityczne**, inaczej **lipazy**. Katalizują one rozszczepienie wiązań estrowych w tłuszczach (trójglicerydach). W wyniku ich działania następuje stopniowe odłączanie cząsteczek kwasów tłuszczowych od cząsteczki glicerolu (alkoholu trójwodorotlenowego);
- * enzymy trawiące kwasy nukleinowe, zwane **nukleazami**. Wyróżnia się, podobnie jak w przypadku enzymów proteolitycznych, **endonukleazy** i **egzonukleazy**. W zależności od rodzaju kwasu nukleinowego, na który działają, dzieli się je na **rybonukleazy** i **dezoksyrybonukleazy**. Końcowymi produktami trawienia kwasów nukleinowych są: ryboza (bądź dezoksyryboza), zasady purynowe i pirymidynowe oraz kwas ortofosforowy.

Etapy trawienia w przewodzie pokarmowym

Enzymy trawienne wydzielane są do światła przewodu pokarmowego tylko w pewnych jego odcinkach (jamie ustnej, żołądka i jelicie cienkim).

Do jamy ustnej jest wydzielana ślina o pH około 7, będąca produktem trzech par dużych ślinianek oraz drobnych gruczołów występujących w jej błonie śluzowej. Wyróżnia się **ślinę surowiczą** zawierającą **alfa-amylazę**, zwaną opisowo **ptaliną**, i **ślinę śluzową**, w której występuje mucyna (glikoproteina). Ślina śluzowa ułatwia połykanie kęsa pokarmowego. Ślinianki przyuszne wydzielają ślinę surowiczą, a podżuchwowe i podjęzykowe — ślinę śluzowo-surowiczą. W związku z obecnością w ślinie alfa-amylazy ślinowej — enzymu działającego na skrobię, w jamie ustnej dochodzi do jej rozkładu na dekstryny i maltozę.

Do światła żołądka jest wydzielany przez gruczoły błony śluzowej żołądka **sok żołądkowy** o pH około 1 (treść żołądka ma pH w granicach 1,8—2,3; zastanów się skąd bierze się różnica pH w soku żołądkowym i treści żołądka). Zawiera on HCl, enzymy trawienne, sole mineralne, śluz i wodę. W silnie kwaśnym środowisku enzymy amylolityczne nie działają i nie są one zawarte w soku żołądkowym, ale skrobia występująca w kęsach pokarmowych, wypełniających środkową część światła żołądka (z dala od jego ściany), jest jeszcze dość długo trawiona alfa-amylazą ślinową. Trwa to do momentu zakwaszenia pokarmu po wymieszaniu go z sokiem żołądkowym, w którym znajdują się:

- * **pepsynogen** — proenzym (enzym nieaktywny) proteolityczny; w silnie kwaśnym środowisku zostaje on aktywowany w czynną **pepsynę** (wydzielanie enzymów proteolitycznych pod postacią nieaktywnych proenzymów ma na celu zabezpieczenie komórek gruczołowych przed strawieniem ich białek),
- * **renina** = **podpuszczka** = **chymozyna** — wydzielana u młodych ssaków (jej obecność u niemowląt nie jest pewna); powoduje „ścinianie” rozpuszczalnego białka mleka (kazeinogenu) w nierozpuszczalną parakazeinę i zapoczątkowuje jej trawienie;

* **lipaza**
najlepiej
kwaśny
ona tyl
jajku (i
kowej)).
Zakwas
stnicy, uleg
śluzu wydzi
kowego pro
nicy przewo
* proenzy
enteroki
w czynn
się do c
* proenzy
w czynn
* **proamin**
* **alfa-am**
* **lipazę t**
* **nukleaz**
Oprócz
produktem w
trawienia w
rzykowa, a g
wątrobową.

Zawiera
powierzchnio
cząsteczek tu
wraz z witan
Do świat
odcinku dwur
ty zasadowy
kwaśną treść
jelitowe prod
* **proamin**
* **amylazę**
* **maltozę**,

- * **lipaza żołądkowa** — jej funkcjonowanie jest ograniczone, ponieważ lipazy najlepiej działają w środowisku zasadowym, obojętnym lub najwyżej lekko kwaśnym i tam, gdzie tłuszcze zamieniane są na emulsję. W żołądku trawi ona tylko tłuszcz przyjęty w formie zemulgowanej, np. w mleku, śmietanie, jajku (niektórzy fizjologowie podają w wątpliwość istnienie lipazy żołądkowej).

Zakwaszona treść żołądka, przedostająca się małymi porcjami do dwunastnicy, ulega alkalizacji do pH w granicach 7,1—8,4 pod wpływem zasadowego śluzu wydzielanego przez **gruczoły dwunastnicze podśluzowe** i **soku trzustkowego** produkowanego przez trzustkę, a przekazywanego do światła dwunastnicy przewodem trzustkowym. **Sok trzustkowy** zawiera:

- * proenzym proteolityczny — **trypsynogen**, który pod wpływem enzymu enterokinazy zawartego w błonie śluzowej jelita zostaje aktywowany w czynną **trypsynę**, a ta aktywuje następne porcje trypsynogenu dostające się do dwunastnicy,
- * proenzym proteolityczny — **chymotrypsynogen**, który zostaje aktywowany w czynną **chymotrypsynę** przez trypsynę,
- * **proaminopeptydazy** i **prokarboksypeptydazy**,
- * **alfa-amylazę trzustkową**,
- * **lipazę trzustkową**,
- * **nukleazy**.

Oprócz soku trzustkowego do dwunastnicy wydzielana jest **żółć** będąca produktem wątroby magazynowanym w pęcherzyku żółciowym. Na początku trawienia w jelicie cienkim do dwunastnicy wpływa gęsta i ciemna żółć pęcherzykowa, a gdy jej zaczyna brakować, pojawia się jaśniejsza i mniej gęsta żółć wątrobowa.

Żółć nie jest enzymem

Zawiera ona głównie sole kwasów żółciowych, które zmniejszają napięcie powierzchniowe i emulgują tłuszcze, przez co ułatwiają dostęp lipazom do cząsteczek tłuszczu. Ponadto: aktywują lipazę, ułatwiają wchłanianie tłuszczów wraz z witaminami rozpuszczalnymi w tłuszczach, zwiększają ruchy jelit.

Do światła jelita cienkiego wydzielany jest **sok jelitowy**. W początkowym odcinku dwunastnicy **gruczoły dwunastnicze podśluzówkowe** wydzielają gęsty zasadowy śluz chroniący błonę śluzową jelita przed uszkodzeniem przez kwaśną treść żołądka, a występujące w błonie śluzowej jelita cienkiego **gruczoły jelitowe** produkują wydzielinę zawierającą następujące enzymy trawienne:

- * **proaminopeptydazy**,
- * **amylazę jelitową** (w małych ilościach),
- * **maltazę, sacharazę i laktazę**,

* lipazę jelitową,

* nukleazy.

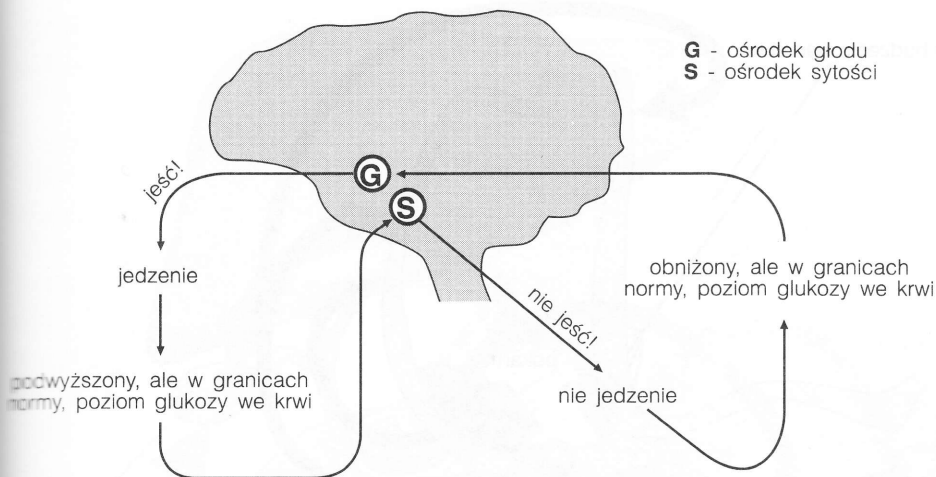
Gruczoły występujące w ścianie jelita grubego nie produkują enzymów; wydzielają jedynie śluz. Jednak pokarm dostający się do jelita grubego jest jeszcze przez pewien czas trawiony przez enzymy zawarte w miazdze pokarmowej z jelita cienkiego.

REGULACJA NERWOWA I HUMORALNA WYDZIELANIA SOKÓW TRAWIENNYCH

Oddziaływanie humoralne polega na wpływie czynników chemicznych (np. hormonów, glukozy), przenoszonych za pośrednictwem płynów, na czynności regulowanych przez nie narządów.

Przyjmowanie bądź nieprzyjmowanie pokarmu związane jest z odczuwaniem głodu lub niechęci do jedzenia, a to wiąże się z funkcjonowaniem **ośrodką pokarmowego** mieszczącego się w podwzgórz. Składa się on z **ośrodką głodu** wyzwalającego łaknienie i **ośrodką sytości** hamującego to odczucie. Ośrodki głodu i sytości działają na zasadzie ujemnych sprzężeń zwrotnych, to znaczy, że pobudzenie ośrodką głodu hamuje ośrodek sytości i odwrotnie. Podstawowym czynnikiem wpływającym na pracę ośrodką pokarmowego jest zapotrzebowanie na energię i jej zużycie, a odzwierciedleniem tego są wahania (w fizjologicznych granicach) stężenia glukozy we krwi. Działanie ośrodką pokarmowego w powiązaniu ze zmianami stężenia glukozy we krwi nosi nazwę **podwzgórzowego mechanizmu glukostatycznego**. Po spożyciu posiłku, strawieniu i wchłonięciu zwiększa się nieco stężenie glukozy we krwi (tylko w żyłę wrotnej biegnącej od jelita do wątroby poziom glukozy rośnie znacznie), a wówczas odczuwa się niechęć do jedzenia. (Zastanów się, dlaczego nie należy jeść słodczy przed obiadem?). Niejedzenie a zarazem zużywanie glukozy w komórkach organizmu powoduje obniżenie jej poziomu we krwi. Jest to sygnał dla ośrodką głodu, który wyzwała łaknienie. Stresy wywołują zwiększenie wydzielania adrenaliny, która między innymi działa na rzecz wzrostu stężenia glukozy we krwi poprzez uwalnianie jej z glikogenu z wątroby, toteż w tych momentach nie odczuwa się głodu (ryc. 88).

Wydzielanie śliny podlega wyłącznie regulacji nerwowej i odbywa się na drodze odruchowej. Zetknięcie pokarmu z błoną śluzową jamy ustnej wyzwała wrodzoną reakcję odruchu bezwarunkowego, powodującą wydzielanie śliny, a widok lub zapach pokarmu — nabytą reakcję odruchu warunkowego. Ślinianki unerwione są przez układ autonomiczny. Włókna przywspółczulne pobudzają wydzielanie śliny. Podobnie działa neuroprekaźnik (mediator) w układzie autonomicznym — **acetylocholina**. Inny mediator — **noradrenalina** funkcjonuje jak układ współczulny, tzn. nie wpływa na wydzielanie śliny przez śliniankę przyuszną, a podżuchwową i podjęzykową stymuluje (pobudza) do wydzielania niewielkiej ilości gęstnej śliny. Ubytek wody w organizmie zmniej-

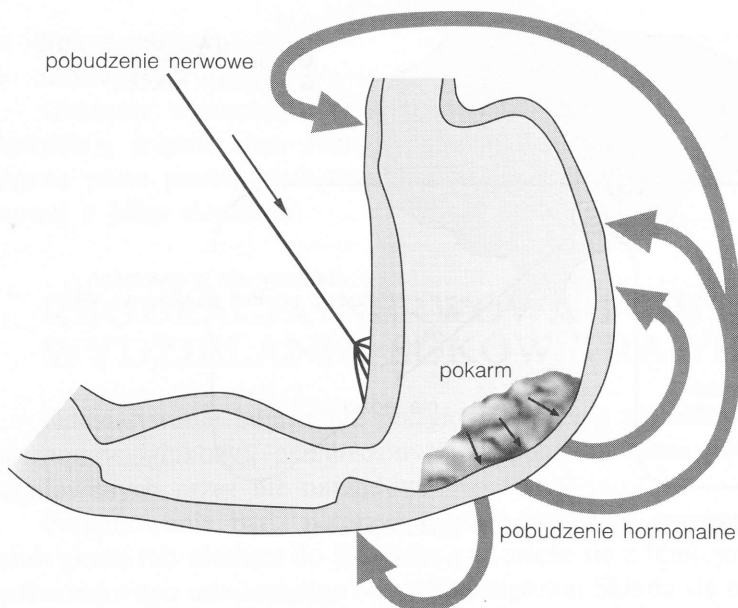


Ryc. 88. Uproszczony schemat działania ośrodków głodu i sytości

szą wydzielanie śliny, powodując wysychanie w jamie ustnej, a przez to pobudzenie receptorów, i w konsekwencji — ośrodka pragnienia.

Wydzielanie soku żołądkowego jest procesem złożonym i podlega kontroli zarówno nerwowej, jak i humoralnej. Pobudzenie włókien przywspółczulnych nerwu błędnego zmusza żołądek do wydzielania śluzu oraz znacznych ilości soku żołądkowego. Mechanizm wydzielania soku żołądkowego dzieli się na trzy fazy. W **fazie głodowej**, będącej fazą nerwową, wydzielanie soku żołądkowego odbywa się na drodze odruchów bezwarunkowych lub odruchów warunkowych. Pierwsze z nich powstają wówczas, kiedy pokarm znajduje się jeszcze w jamie ustnej i drażni receptory w jej błonie śluzowej. Impuls nerwowy, przekazywany nerwem błędnym do żołądka, powoduje uwolnienie z zakończeń nerwowych włókien przywspółczulnych **acetylocholiny**, która pobudza komórki główne błony śluzowej żołądka bezpośrednio i pośrednio — poprzez **gastrynę** — do wydzielania pepsynogenu, a komórki okładzinowe — dodatkowo za pośrednictwem **histaminy** — do wydzielania HCl. Wydzielanie soku żołądkowego w tej fazie może wywołać sam widok lub zapach pożywienia, bądź wyobrażenie jedzenia. Wówczas wydzielanie odbywa się na drodze odruchu warunkowego bez konieczności stykania się pokarmu z receptorami jamy ustnej. Brak wypełnienia żołądka wywołuje skurcze głodowe, które wywołują impulsy przekazywane do ośrodka pokarmowego i do kory mózgu.

W **fazie żołądkowej** czynnikiem pobudzającym jest fizyczne (mechaniczny nacisk na ścianę żołądka) lub chemiczne (np. roztwory kwasów, cukrów, soli kuchennej, a nawet wody) oddziaływanie pokarmu, który znalazł się w żołądku. Pod wpływem tych czynników komórki dokrewne ściany żołądka wydzielają do krwi hormon — **gastrynę**, który na drodze humoralnej pobudza gruczoły żołądkowe do wydzielania soku żołądkowego. W **fazie jelitowej** występuje pobudzanie lub hamowanie działalności wydzielniczej żołądka na drodze ner-



Ryc. 89. Schemat pobudzenia wydzielania soku żołądkowego

wowej i humoralnej. Odbywa się to pod wpływem miazgi pokarmowej przechodzącej z żołądka do dwunastnicy (pobudzenie trwa tak długo, aż ostatnia porcja treści pokarmowej przejdzie do jelita). Wytwarzane przez komórki ściany dwunastnicy hormony: **gastryna** i **cholecystokinina** pobudzają wydzielanie soku żołądkowego, a **sekretyna** hamuje tę czynność (ryc. 89).

Wydzielanie soku trzustkowego następuje pod wpływem impulsów nerwowych przesyłanych włóknami przywspółczulnymi nerwu błędnego i czynników humoralnych. Wyróżnia się trzy fazy wydzielania, tak samo nazwane jak w przypadku wydzielania soku żołądkowego. Trzustka wydziela sok trzustkowy na drodze odruchowej już wówczas, kiedy pokarm jest w jamie ustnej. Pod wpływem zakwaszonej treści pokarmowej, trafiającej z żołądka do dwunastnicy, komórki ściany dwunastnicy wydzielają do krwi hormon — **sekretynę**, która na drodze humoralnej pobudza wydzielanie znacznych ilości soku trzustkowego, zawierającego mało enzymów, ale bogatego w wodorowęglany zobojętniające kwaśną treść żołądka oraz soku jelitowego i żółci. Głównie na skutek pojawienia się w dwunastnicy kwasów tłuszczowych, komórki jej ściany wydzielają do krwi inny hormon — **cholecystokininę**, który jako czynnik humoralny pobudza trzustkę do wydzielania soku trzustkowego o dużej zawartości enzymów oraz wywołuje skurcze pęcherzyka żółciowego, a w konsekwencji — wydzielanie żółci.

Wydzielanie soku jelitowego jest najsilniej pobudzane przez mechaniczne drażnienie błony śluzowej przez przesuwającą się miazgę pokarmową oraz następuje pod wpływem stymulującego działania czynników humoralnych, tj. hormonów żołądkowo-jelitowych (ryc. 90).

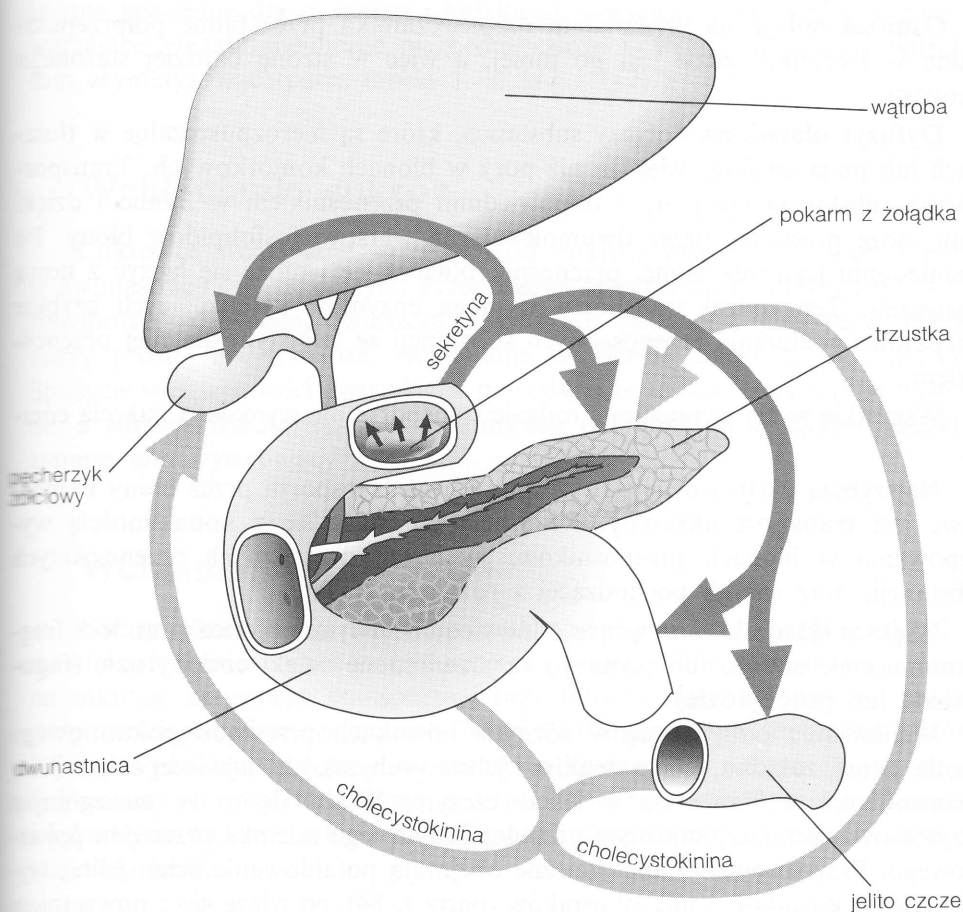
pęcherzyk
żółciowy

dwunastnica

Ryc. 90. Schem

WCH

Wchłanianie
błony komórki
lub limfatycznej
z nich zaliczane
Filtracja
puszczonego
ciśnienia hydraulicznego
Dyfuzja
Transport substancji
temu, że nie



Ryc. 90. Schemat regulacji hormonalnej wydzielania soku trzustkowego i jelitowego oraz żółci

WCHŁANIANIE

Wchłanianie polega na przetransportowaniu produktów trawienia przez błony komórkowe nabłonka jelitowego do naczyń włosowatych krwionośnych lub limfatycznych. Rozróżnia się **transport bierny** i **aktywny**. Do pierwszego z nich zaliczamy: filtrację, dyfuzję, osmozę i dyfuzję ułatwioną.

Filtracja polega na przenikaniu przez błonę rozpuszczalnika i ciała rozpuszczonego o średnicy mniejszej niż pory w błonie; zachodzi dzięki różnicy ciśnienia hydrostatycznego.

Dyfuzja przebiega zgodnie z zasadą dążności do wyrównania stężeń. Transport przez błonę biologiczną na zasadzie dyfuzji zachodzi m.in. dzięki temu, że nie jest ona idealną błoną półprzepuszczalną.

Osmoza polega na przenikaniu rozpuszczalnika przez błonę półprzepuszczalną w kierunku, gdzie jest go mniej, a więc w stronę bardziej stężonego roztworu.

Dyfuzja ułatwiona dotyczy substancji, które są nierozpuszczalne w tłuszczach lub mają średnicę większą niż pory w błonach komórkowych. Transportowana substancja łączy się z odpowiednim przenośnikiem w błonie i dzięki temu może przenikać przez dwumolekularną warstwę fosfolipidów błony. Po przeniesieniu jej przez błonę, przenośnik odłącza się i może się łączyć z nową cząsteczką. Ten rodzaj transportu wymaga enzymów katalizujących szybkie przejściowe połączenie przenoszonych substancji ze swoistym dla niej przenośnikiem.

Wszystkie wyżej wymienione rodzaje transportu nie wymagają zużycia energii.

Najszybszą i najbardziej powszechną formą transportu przez błony komórkowe jest **transport aktywny**. Realizacja go wiąże się z koniecznością występowania w błonach przenośników, swoistych dla różnych przenoszonych substancji, oraz energii pochodzącej z rozkładu ATP.

Większe składniki, nie będące odpowiednio małymi cząsteczkami, lecz fragmentami ciała stałego lub płynnego są przenoszone dzięki **endocytozie (fagocytozie lub pinocytozie)**.

Wchłanianie odbywa się w różnych odcinkach przewodu pokarmowego (jamie ustnej, żołądku, jelicie cienkim i jelicie grubym), ale najwięcej składników pokarmowych wchłania się w jelicie czczym. Wiąże się to ze szczególnym przystosowaniem anatomicznym i fizjologicznym tego odcinka przewodu pokarmowego. Przystosowania anatomiczne obejmują pofałdowania ścian jelita, występowania kosmków i mikrokosmków (patrz s. 84), co wiąże się z powstaniem ogromnej powierzchni chłonnej. Do przystosowań fizjologicznych należy obecność — zróżnicowanych jakościowo — przenośników w błonach, umożliwiających aktywny transport.

Związki chemiczne rozpuszczalne w lipidach mogą być wchłaniane z każdego odcinka przewodu pokarmowego.

W jamie ustnej panują najgorsze warunki do realizacji wchłaniania (pokarm przebywa krótko, a błona śluzowa pokryta jest nabłonkiem wielowarstwowym). Mimo to, są tu wchłaniane substancje łatwo dyfundujące i drobne, rozpuszczalne w lipidach, np. nikotyna, nitrogliceryna, cyjanki, alkohol, hormony (podawane jako leki), trucizny.

W żołądku m.in. łatwo wchłania się alkohol, cyjanki, strychnina, jod, salicylany, a znacznie trudniej — woda, glukoza.

W jelicie grubym, przede wszystkim, wchłania się woda, niektóre sole i witaminy, a także alkohol, leki, narkotyki oraz niewielkie ilości glukozy i aminokwasów. Wchłanianie dużych ilości wody z jelita grubego prowadzi do zagęszczania nie strawionych, bądź nie wchłoniętych składników pożywienia, czyli do formowania kału. Możliwość wchłaniania witamin w jelicie grubym ma

istotne zn
warzające
sam zsyn

Wchl

Cukro
w dwunas
transportu
cukry pro
Spożycie w
ne, a ich
zymom ta

Wchl

Kwas
ny wiązan
na zasadzi
jelita cienk
czynnie wy
fatycznych
węgla) dyf
kiego do l

Wchl

W jeli
transportu
w niewielk
nokwasy (a
dyfuzji.

Zasad
komórkow

Wchl

Witam
ności tłuszcz
do krwi. V

istotne znaczenie dla organizmu ludzkiego, ponieważ żyją w nim bakterie wytwarzające związki chemiczne niezbędne człowiekowi, a których nie potrafi on sam zsintetyzować (patrz tabela 1. s. 111 i 112).

Wchłanianie cukrów

Cukrowce wchłaniane są w postaci cukrów prostych (heksoz i pentoz) w dwunastnicy i jelicie czczym. Przenoszone są przez błony głównie na zasadzie transportu aktywnego, zwłaszcza dotyczy to glukozy i galaktozy. Nieliczne cukry proste, np. fruktoza, wchłaniane są biernie dzięki dyfuzji ułatwionej. Spożycie większej ilości dwucukrów powoduje, że są one w tej formie wchłaniane, a ich rozkład następuje w komórkach nabłonka jelita czczego dzięki enzymom tam występującym.

Wchłanianie tłuszczów

Kwasy tłuszczowe o długich łańcuchach i monoglicerydy (glicerol połączony wiązaniem estrowym z jedną cząsteczką kwasu tłuszczowego) są przenoszone na zasadzie aktywnego transportu i przy udziale żółci do komórek nabłonka jelita cienkiego, gdzie ulegają estryfikacji do trójglicerydów (tłuszczów), które są czynnie wydzielane w formie drobniutkich kuleczek do naczyń chłonnych (limfatycznych). Kwasy tłuszczowe o krótkich łańcuchach (poniżej 13 atomów węgla) dyfundują w postaci nie zmienionej przez komórki nabłonka jelita cienkiego do krwi.

Wchłanianie białek i kwasów nukleinowych

W jelicie cienkim, w obecności jonów sodowych, na zasadzie aktywnego transportu wchłaniane są L-aminokwasy (aminokwasy lewoskrętne), a także w niewielkich ilościach dwupeptydy i jeszcze mniejszych oligopeptydy. D-aminokwasy (aminokwasy prawoskrętne) wchłaniane są biernie zgodnie z prawami dyfuzji.

Zasady purynowe i pirymidynowe są aktywnie przenoszone przez błony komórkowe nabłonka jelita cienkiego.

Wchłanianie witamin, soli mineralnych i wody

Witaminy rozpuszczalne w tłuszczach (A, D, E, K) są wchłaniane w obecności tłuszczów i żółci. Witaminy rozpuszczalne w wodzie wchłaniają się łatwo do krwi. Wyjątek stanowi witamina B₁₂, która wchłania się wyłącznie w jelicie

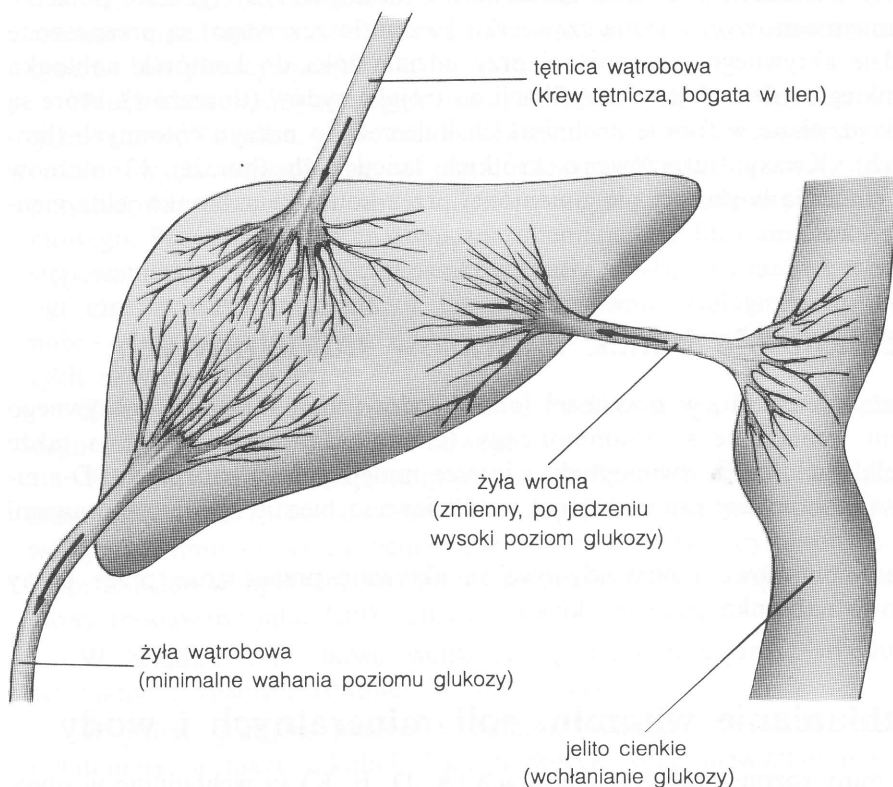
krętym i wymaga utworzenia kompleksu z wewnętrznym czynnikiem krwiotwórczym produkowanym w żołądku.

Elektrolity wchłaniane są aktywnie lub biernie z różnym stopniem trudności; jony: Ca^{2+} , Mg^{2+} i Fe^{2+} — najtrudniej, a: Cl^- , Na^+ , K^+ — najłatwiej.

Woda wchłania się z żołądka i jelit bardzo łatwo zgodnie z rosnącym gradientem ciśnienia osmotycznego.

TRANSPORT I MAGAZYNOWANIE

Wchłonięte cukry, aminokwasy i kwasy tłuszczowe o niewielkim łańcuchu dostają się do naczyń włosowatych krwionośnych jelita cienkiego, które zbierają się w większe naczynia żylne trafiające do żyły wrotnej, a ta kieruje się do wątroby. Taka budowa krwioobiegu zapobiega gwałtownemu wzrostowi stężenia związków organicznych (przede wszystkim chodzi o poziom glukozy) we krwi obwodowej (poza żyłą wrotną, gdzie wahania są bardzo znaczne) po spożyciu posiłku. Dostarczana z krwią do wątroby glukoza stanowi substrat do syntezy nierozpuszczalnego glikogenu i pod tą postacią jest na miejscu magazynowana. W miarę zużycia glukozy w komórkach organizmu zostają uwalniane z wąt-



Ryc. 91. Krążenie wrotne wątroby

roby now
we krwi (z
ny wpływ
Kwas
w tłuszcz
Amino
tek stanow
na to, że
nych amin
wytworzyć
s. 106), a
problem z
kształcona
łączeniu g
nienie bio
Trójgl
gazy nowar
nej.

Witam

ODŻ ODŻ

Odżyw
lizmem, k
w żywym
anabolizm
zem z kum
rozpadu i
W roz
anabolizmu
płodowym
i kataboliz

Ryc. 92. Zmia
bolizmie (A, B

roby nowe porcje glukozy. Stały, zgodny z normą fizjologiczną poziom glukozy we krwi (z wyjątkiem żyły wrotnej) podlega regulacji hormonalnej i ma korzystny wpływ na utrzymanie równowagi osmotycznej komórek (ryc. 91).

Kwasy tłuszczowe, które dostają się do wątroby, są tam częściowo wiązane w tłuszczce, a częściowo służą powstawaniu acetylo-Co A (aktywnego octanu).

Aminokwasy u człowieka (a także u zwierząt) nie są magazynowane (wyjątek stanowią oocyty), lecz zostają zużyte do bieżącej syntezy białek. Ze względu na to, że pobrany pokarm ma na ogół inną zawartość procentową poszczególnych aminokwasów niż własne białka, oraz że nie wszystkie aminokwasy można wytworzyć w organizmie z innych aminokwasów (patrz aminokwasy egzogenne, s. 106), a także przy spożywaniu pokarmów bogatych w białka, powstaje problem z nadwyżką niepotrzebnych aminokwasów. Część z nich zostaje przekształcona w inne aminokwasy, a pozostałe po uprzedniej dezaminacji (odłączeniu grupy aminowej) służą jako materiał energetyczny (dezaminacja i utlenienie biologiczne aminokwasów zachodzą w wątrobie).

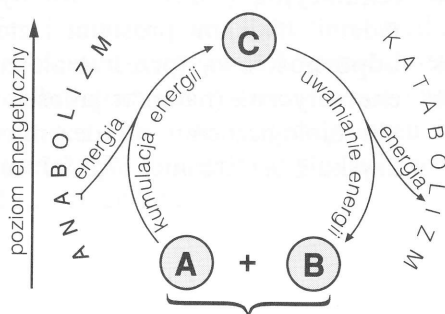
Trójglicerydy są transportowane z chłonką w układzie limfatycznym, a magazynowane początkowo w wątrobie, a następnie w tkance tłuszczowej poskórnej.

Witaminy rozpuszczalne w tłuszczach magazynowane są w wątrobie.

ODŻYWIANIE I ZNACZENIE SKŁADNIKÓW ODŻYWCZYCH

Odżywianie jest jednym z elementów złożonego procesu, zwanego **metabolizmem**, który polega na wszelkich przemianach materii i energii zachodzących w żywym organizmie. Na metabolizm składają się dwa przeciwstawne procesy: anabolizm i katabolizm. Pierwszy z nich wiąże się z reakcjami syntezy, a zarazem z kumulacją energii w powstających produktach. Drugi — z reakcjami rozpadu i uwalnianiem energii (ryc. 92).

W rozwoju osobniczym obserwuje się zmianę proporcji między procesami anabolizmu i katabolizmu. W rozwoju zarodkowym, życiu płodowym i pozapłodowym okresie wzrostu przeważa anabolizm. Później reakcje anaboliczne i kataboliczne ulegają zrównoważeniu, a pod koniec biologicznego okresu życia



Ryc. 92. Zmiany poziomu energetycznego w metabolizmie (A, B, C — oznaczają związki chemiczne)

dominuje katabolizm. Zmieniający się podczas ontogenezy stosunek procesów przyswajania i rozkładu rzutuje na problem odżywiania, w wyniku którego organizm otrzymuje związki chemiczne przeznaczone na:

- budulec własnych struktur,
- „paliwo” stanowiące źródło energii potrzebnej do przebiegu wielu przemian zachodzących w organizmie, jak reakcje syntezy, skurcz mięśni, ruch wici i rzęsek itp.,
- budowę związków biologicznie czynnych, umożliwiających i regulujących metabolizm, jak enzymy, hormony.

W pożywieniu, oprócz podstawowych składników odżywczych, do których należą: białka, lipidy i cukrowce, zawarte są: witaminy, sole mineralne i woda.

Białka i ich funkcje

Białka należą do związków chemicznych wybitnie swoistych co oznacza, że kolejność aminokwasów, ułożonych w każdym białku zgodnie z szyfrem genetycznym, jest charakterystyczna dla poszczególnych gatunków, a nawet różnych osobników. W wyniku strawienia wprowadzonego z pokarmem białka, w świetle przewodu pokarmowego powstają aminokwasy, będące związkami nieswoistymi i dopiero te mogą zostać wchłonięte. W żywych komórkach organizmu z dostarczonych aminokwasów są syntetyzowane własne białka. Organizm ludzki nie potrafi utworzyć (w drodze przemian aminokwasów lub w wyniku aminowania ketokwasów) dziewięciu z dwudziestu rodzajów aminokwasów występujących w białkach. Muszą one zostać wprowadzone z zewnątrz (z pokarmem) i dlatego noszą nazwę **aminokwasów egzogennych** (egzo — zewnątrz, zewnętrzny; geneza — pochodzenie). Są to: **fenyloalanina, tryptofan, leucyna, izoleucyna, walina, treonina, metionina, lizyna i cysteina.**

Białka spełniają w organizmie różne, a zarazem fundamentalne funkcje:

- * **strukturalną**, inaczej budulcową (białka błon biologicznych; histony w chromatynie jądrowej; kolagen — składnik włókien tkanki łącznej; keratyna — składnik włosów, paznokci, zewnętrznych warstw komórek naskórka; tubulina mikrotubul wrzeciona kariokinetycznego; białka mięśni — miozyna, aktyna);
- * **regulacyjną** (enzymy, hormony będące pochodnymi aminokwasów, peptydami, białkami prostymi i złożonymi);
- * **odpornościową** (przeciwciała należące do gamma-globulin),
- * **energetyczną** (nadmiar jakościowy i ilościowy aminokwasów ulega utlenieniu biologicznemu po dezaminacji w wątrobie; z utlenienia 1 g białka uzyskuje się średnio 17,2 kJ energii).

Lipidy i ich funkcje

W skład lipidów wchodzi:

- **tłuszcze właściwe** będące estrami glicerolu i wyższych kwasów tłuszczowych,
- **woski naturalne** stanowiące mieszaniny różnych substancji,
- **fosfolipidy** będące dwuestrami kwasu ortofosforowego połączonego z jednej strony z glicerolem lub sfingozyną, a z drugiej — najczęściej z choliną (przykład wzoru strukturalnego fosfolipidu — patrz *Cytologia...*, ryc. 3, s. 10).
- **lipidy izoprenowe** obejmujące **steroidy** (hormony sterydowe, to jest: hormony kory nadnercza i płciowe, witaminę D, kwasy żółciowe, cholesterol) i **karetonoidy** (karoten, ksantofil, witamina A).

Kwasy tłuszczowe powstałe w wyniku trawienia tłuszczów dzielą się na **nasycone** (są nasycone wodorem i dlatego nie mają wiązań podwójnych) i **nienasycone** (mające od 1 do 4 podwójnych wiązań). Kwasy tłuszczowe nienasycone o dwóch i więcej podwójnych wiązaniach są egzogenne dla człowieka i muszą być dostarczone w pokarmie.

Lipidy spełniają następującą funkcję w organizmie ludzkim:

- * **strukturalną** (fosfolipidy i cholesterol w błonach biologicznych, fosfolipidy w osłonkach mielinowych rdzennych włókien nerwowych),
- * **zapasową** (tkanka tłuszczowa podskórna, krezka, torebka tłuszczowa nerek, i trzustki, wątroba); tłuszcz zapasowy ma zadanie termoizolacyjne, podporowe i osłaniające,
- * **energetyczną** (jako „paliwo” wykorzystywany jest tłuszcz zapasowy; ze spalenia 1 g tłuszczu uzyskuje się średnio 38,9 kJ energii),
- * **regulacyjną** (hormony sterydowe).

Cukrowce i ich funkcje

Człowiek w pożywieniu pobiera cukry, głównie pod postacią wielocukrów (skrobia, glikogen, celuloza), w mniejszym stopniu — dwucukrów (sacharoza, maltoza, laktoza) i w niewielkim procencie — cukrów prostych, np. fruktozę. Biorąc pod uwagę budowę chemiczną wielo- i dwucukrów, a także możliwość ich trawienia (człowiek i zwierzęta nie wytwarzają celulazy — enzymu trawiącego celulozę) i sposób wchłaniania, do żyły wrotnej trafia przede wszystkim glukoza, która magazynowana jest w wątrobie pod postacią **glikogenu**. Jest to cukier spełniający **funkcję zapasową**. W miarę potrzeby zostaje z niego uwalniana glukoza, która po przetransportowaniu z krwią do poszczególnych żywych komórek organizmu stanowi **główny materiał energetyczny** (z utlenienia biologicznego 1 g glukozy uzyskuje się 17,2 kJ energii).

Woda i składniki mineralne

Woda i składniki mineralne nie są źródłem energii, ale pełnią różne ważne funkcje:

- * tworzą właściwe środowisko dla zachodzenia metabolizmu,
- * wpływają na ciśnienie osmotyczne i oddziaływanie kwasowo-zasadowe,
- * wpływają na przepuszczalność i polaryzację błon, a w konsekwencji na pobudliwość i przewodnictwo,
- * mają wpływ na wydzielanie, trawienie, wchłanianie, wydalanie, krzepliwość krwi itp.

Woda stanowi około 70% masy dojrzałego organizmu. Występuje w komórkach i płynach ustrojowych. Musi być pobierana regularnie we właściwych ilościach. Przeciętnie człowiek potrzebuje około 2500 ml wody na dobę; jej źródłem są: napoje (około 1200 ml), pokarmy (około 1000 ml) i woda metaboliczna powstająca w procesach oddychania komórkowego (około 300 ml). Jednocześnie podobną ilość wody traci: z moczem (około 1400 ml), z potem (około 500 ml), przez płuca (około 400 ml) i z kałem (około 200 ml).

Zaburzenie bilansu wodnego doprowadza znacznie szybciej do śmierci niż zmiany w odżywianiu

Składniki mineralne nie są równomiernie rozmieszczone w organizmie. Wiąże się to z pełnionymi przez nie funkcjami, np. żelaza jest najwięcej w hemoglobinie, jodu w tarczycy, kobaltu w szpiku, a cynku w trzustce.

Sód i potas występują przeważnie w postaci jonów. Biorą udział w polaryzacji elektrycznej błon komórkowych. Wraz z jonami chlorkowymi są odpowiedzialne za utrzymanie stałego ciśnienia osmotycznego. Potas działa odwadniająco. Jony sodowe występują głównie w płynach ustrojowych, potasowe — w komórkach, zawartość Na i K, a przede wszystkim ich równowagę i usuwanie z organizmu, regulują hormony kory nadnercza zaliczane do mineralokortykoidów (patrz s. 236).

Wapń nieodzownie występuje w cytoplazmie i płynach ustrojowych. W postaci soli znajduje się w kościach i zębach. Jony wapnia odgrywają istotną rolę w mechanizmie skurczu mięśni (patrz *Cytologia...*, s. 87), procesie krzepnięcia krwi (patrz — podręcznik jak wyżej, s. 102) oraz jako aktywator wielu enzymów. Poziom wapnia w osoczu podlega regulacji hormonalnej (patrz s. 234).

Fosfor występuje w organizmie w postaci fosforanów nieorganicznych (głównie jako fosforan wapnia w kościach) i organicznych (jako grupy fosforanowe w kwasach nukleinowych, fosfolipidach, ATP/ADP). Jony fosforanowe (HPO_4^{2-} i H_2PO_4^-) biorą ważny udział w tworzeniu układu buforowego krwi. Poziom fosforanów jest regulowany przez hormony (patrz s. 234).

Żelazo
śladowy s
innych en
Jod z
monów: t
Miedź
skład).

Wit.

Witamin
nicowanej
trofów (au
organiczne
ną (jeśli n
chemiczny
jest witam
go sam sy
tylko taki
związków
związkami

Witamin
dukcyjne.
w skład l
B oraz **wi**
w całoksz
ganizmie,
Do tych v
Ze wz
szczach —
grupy B
i **witamin**

Brak
nozą lub
(tabela 1)
Chara

Żelazo uczestniczy w budowie hemoglobiny i mioglobiny oraz stanowi śladowy składnik enzymów oddechowych, zwanych cytochromami, a także innych enzymów.

Jod znajduje się głównie w tarczycy, gdzie jest potrzebny do syntezy hormonów: tyroksyny i trójjodotyroniny (patrz s. 232).

Miedź bierze udział w tworzeniu hemoglobiny (ale nie wchodzi w jej skład).

Witaminy

Witaminami nazywamy egzogenne związki organiczne o prostej, ale zróżnicowanej chemicznie budowie. Pojęcie witamin odnosi się tylko do heterotrofów (autotrofy potrafią same zsyntetyzować wszystkie niezbędne im związki organiczne). Ten sam związek organiczny dla jednych organizmów jest witaminą (jeśli nie potrafią go wyprodukować), a dla innych jest tylko związkiem chemicznym (gdy same go wytwarzają), np. kwas askrobinowy dla człowieka jest witaminą **C**, a np. dla szczura — tylko kwasem askorbinowym, ponieważ go sam syntetyzuje. Witaminy muszą stanowić proste związki organiczne, gdyż tylko takie mogą być wchłonięte w niezmienionej postaci (gdyby należały do związków złożonych musiałyby ulec strawieniu, a wówczas stawałyby się innymi związkami niż te, które nazwano witaminami).

Witaminy ze względu na funkcje można podzielić na: **prostetyczne** i **indukcyjne**. Pierwsze z nich występują we wszystkich komórkach, gdzie wchodzi w skład koenzymów czynnych enzymów. Do nich należą **witaminy grupy B** oraz **witamina K**. Do drugiej kategorii zalicza się witaminy nie uczestniczące w całokształcie metabolizmu, a więc mniej równomiernie rozmieszczone w organizmie, które spełniają funkcję indukcyjną w tworzeniu innych ciał czynnych. Do tych witamin należą: **A, C, D, E**.

Ze względu na rozpuszczalność dzieli się witaminy na **rozpuszczalne w tłuszczach** — **A, D, E, K** i **rozpuszczalne w wodzie** — witaminy należące do grupy **B** (**B₁, B₂, PP, kwas foliowy, kwas pantotenowy, biotyna, B₆, B₁₂**) i **witamina C**.

Brak lub niedobór witaminy wywołuje negatywne skutki, zwane **awitaminozą** lub **hypowitaminozą**, a nadmiar może prowadzić do **hyperwitaminozy** (tabela 1).

Charakterystykę witamin przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyka witamin

Symbol i nazwa chemiczna	Funkcje	Awitaminoza	Hiperwitaminoza	Źródło
1 A (grupa witamin) akserofol, retinol	2 * zapewnienia prawidłowe funkcjonowanie nabłonków: skóry, przewodu pokarmowego, układu oddechowego i moczopłciowego oraz gruczołów, * wpływa na prawidłowe widzenie * u młodocianych wpływa korzystnie na prawidłowy wzrost	3 * huszczenie nabłonków przez co stają się one mniej odporne na infekcje, * kurza ślepota = ślepotą zmierzchowa — upośledzenie widzenia przy słabym oświetleniu wskutek braku retinenu (pochodnej witaminy A) potrzebnego do odtworzenia rodopsyny — białka złożonego, niezbędnego w procesie widzenia, * kseroftalmia — nadmierne suchosć spojówki i wysychanie rogówki, rogowacenie nabłonka rogówki prowadzące do ślepoty, * u młodocianych osłabia wzrost	4 zmiany skórne	5 pokarmy bogate w karoten (np. marchew, pomidory), który jako provitamina A w organizmie zostaje rozszereżony na dwie cząsteczki witaminy A, tran (tłuszcz z wąrob, ryb), masło, jaja, wąroba
D (grupa witamin) kalcyferol	* wzmacnia wchłanianie wapnia i fosforu ze światła przewodu pokarmowego, a utrudnia ich wydalanie z moczem i kałem, * wpływa na odkładanie wapnia i fosforu w tkance kostnej (wapnienie kości)	krzywica — dzięki odwapnieniu, kości stają się miękkie i ulegają zniekształceniu	* porowatość kości * złamania kości * nudności, * bóle głowy	tran, wąroba, masło, jaja, mleko; witamina D ₃ powstaje pod wpływem światła nadfioletowego z provitaminy D (pochodna cholesterolu)

1 E (grupa witamin) tokoferol	2 * dzięki łatwemu utlenianiu działa jako „przeciwutleniacz”, * wpływa na prawidłowy przebieg przemian w tkance mięsnej	3 * osłabienie pracy mięśni, * prawdopodobnie zaburzenia płodności	4 nieznana	5 jarzyny, oleje roślinne, kiełki zboż, masło, jaja
--	---	--	---------------	--

E (grupa witamin) tokoferol	* dzięki łatwemu utlenianiu działa jako „przeciwutleniacz”, * wpływa na prawidłowy przebieg przemian w tkance mięśniowej, * u szczurów zapobiega bezpłodności	* osłabienie pracy mięśni, * prawdopodobnie zaburzenia płodności	nieznana	jarzyny, oleje roślinne, kiełki zbóż, masło, jaja
K (grupa witamin) filochinon	* warunkuje prawidłowe krzepnięcie krwi, uczestnicząc w procesie tworzenia protrombiny w wątrobie, * bierze udział w utlenianiu biologicznym	zaburzenia krzepnięcie krwi	nieznana	jarzyny, olej sojowy, wątroba; wytwarzana przez bakterie jelitowe (przyswajalna tylko w obecności soli żółciowych)
B₁ tiamina, aneuryna	* uczestniczy w procesie utleniania biologicznego * bierze udział w przemianie cukrów i tłuszczów, * odpowiada za prawidłowy stan tkanki nerwowej	choroba beri-beri (osłabienie mięśni, zanik oślonek mieliniowych w nerwach prowadzący do porażenia ruchowego, utrata łaknienia, chudnięcie, niewydolność krążenia)	nieznana	drożdże, ciemne pieczywo, podroby, ziarna zbóż; syntetyzowana przez bakterie jelitowe
B₂ ryboflawina (dawniej: laktoflawina)	* uczestniczy w procesie utleniania biologicznego (wchodzi w skład FAD-u), * bierze udział w syntezie hemoglobiny	* zapalenie błon śluzowych i skóry, * pęknięcie kącików ust, * zmiany w rogowce, * hamuje wzrost	nieznana	drożdże, wątroba, mleko, jaja, jarzyny
PP niacyna (amid kwasu nikotynowego)	uczestniczy w procesie utleniania biologicznego (wchodzi w skład NAD-u)	pelagra (zaczernienia skóry przemieniające się w pęcherze, a potem owrzodzenia, biegunka, wymioty, odwodnienie organizmu, o-tępienie)	nieznana	wątroba, mięso, drożdże

1	2	3	4	5
kwas foliowy	bierze udział w syntezie zasad purynowych wchodzących w skład kwasów nukleinowych	* niedokrwistość, anemia, * zaburzenia jelitowe	nieznana	jarzyny, drożdże, wątroba; syntetyzowany przez bakterie jelitowe
kwas pantotenowy (wchodzi w skład koenzymu A)	uczestniczy w przemianach cukrowców i tłuszczów	zaburzenia czucia	nieznana	wątroba, mięso, jaja, jarzyny; wytwarzany przez bakterie jelitowe
H biotyna	* wpływa na prawidłowy stan skóry i włosów, * chroni przed łojotokiem	* zmiany skórne, * wypadanie włosów	nieznana	żółtko jaj, wątroba, drożdże, nasiona roślin strączkowych; syntetyzowana przez bakterie jelitowe
B₆ pirydoksyna, adermina	* bierze udział w przemianach aminokwasów, * uczestniczy w procesach krwiotwórczych	* zmiany w szpiku, * zmiany w skórze, * zmiany w błonach śluzowych	nieznana	drożdże, mięso, wątroba, jarzyny, ziarna zbóż, fasola
B₁₂ cyjanokobalamina	niezbędna przy tworzeniu erytrocytów, a także leukocytów	niedokrwistość, inaczej anemia	nieznana	wątroba, mięso; wytwarzana przez bakterie jelitowe (wchłanianie wyłącznie w obecności wewnętrznego czynnika — mukopolisacharydu produkowanego w żołądku)
C kwask askorbinowy	* uczestniczy w procesach oksydo-redukcyjnych, * wzmacnia odporność organizmu na infekcje, * ułatwia przyswajanie żelaza, * bierze udział w wytwarzaniu kolagenu, wpływając na prawidłowy stan tkanki łącznej	gnilec = skorbut (uszkodzenie naczyń włosowatych, zapalenie i krwawienie dziąseł, rozchwianie i wypadanie zębów)	nieznana	owoce (szczególnie: czarna porzeczka, róża, głóg), jarzyny, np. kapusta kiszona, papryka

Układ
i wymianie
je, że obej
substratu o
narządów o
narząd odd
Drogi
dechowe d
w płucach,

DRO

Nos

Część r
boczne nos
sian jest r
poziomo p
nimi, które
Rusztow
wyróżnia si
boczne nos
i chrząstki

Jama

W płasz
nosową na
kostną twor
chrząstka p
Każda p
sianach jar
środkowy i