

FISIOLOGIA DEL DIGERENTE

CONSIDERAZIONI GENERALI

Gli alimenti che compongono le diete delle varie specie animali sono costituiti da una mistura di principi nutritivi a struttura molecolare più o meno complessa. Essi sono rappresentati da **PROTEINE , LIPIDI, GLUCIDI, VITAMINE SALI MINERALI e ACQUA**, che per la maggior parte non possono esser assorbiti come tali dall'intestino; è necessario che , lungo il canale alimentare, le molecole complesse dei principi nutritivi vengano scisse nei loro costituenti elementari facilmente assorbibili. La serie dei processi meccanici, enzimatici e microbiologici, che determina la conversione dei principi nutritivi contenuti negli alimenti in piccole molecole diffusibili ed assimilabili prende il nome di **digestione**.

In base alle loro caratteristiche digestive gli animali sono divise in quattro categorie:

- **Carnivori** : (canidi, felini...) digestione quasi esclusivamente enzimatica
- **Erbivori poligastrici** (bovini, caprini, ovini camelidi) Intenso processo di fermentazione microbica , nell'apparato prestomacale, prima di sottostare all'attività degli enzimi digestivi dell'abomaso e dell'intestino.
- **Erbivori monogastrici** (equidi conigli) I processi fermentativi microbici sono di notevole entità ma si realizzano nel cieco e nel colon dopo l'attacco enzimatico in sede gastrica e intestinale.
- **Onnivori** (suidi Homo) Hanno digestione prevalentemente enzimatica anche se nell'intestino crasso avvengono dei processi fermentativi microbici di una certa entità.

L'attività di tutto il canale alimentare è caratterizzata da fenomeni meccanici e secretori. Tutti i processi sono coordinati da influenze nervose ed umorali che assicurano una ordinata sequenza delle diverse fasi della digestione: **Prensione - Masticazione - Deglutizione - Digestione gastrica - Digestione enterica - Assorbimento - Evacuazione**. Anche le ghiandole annesse all'apparato digerente, sono controllate nella loro attività secretiva da influenze : *esclusivamente nervose* , come per le ghiandole salivari ; *nervose ed umorali* come per le gastriche; *prevalentemente umorali* come si verifica per la secrezione biliare, pancreatica ed enterica. Gli ormoni del tratto digerente sono secreti, non da ghiandole endocrine differenziate o da raggruppamenti di cellule, ma da cellule disperse nella mucosa gastrointestinale.

Prensione degli alimenti solidi

- Il bovino utilizza la lingua rugosa e prensile, con la quale prende l'alimento e lo porta sotto i molari, se si tratta di fieno, mentre al pascolo, avvolge con la lingua il foraggio e lo porta fra gli incisivi inferiori ed il cuscinetto dentale e con brusco movimento in avanti della testa lo trancia, le labbra scarsamente mobili non partecipano attivamente.
- Nella pecora e nella capra al contrario, il labbro superiore è mobile e coadiuva notevolmente l'azione della lingua, nell'assunzione del cibo
- Nel cavallo, le labbra estremamente mobili e sensibili, sono le strutture prensili principali e con esse l'animale assume l'alimento dalla mangiatoia, al pascolo retrae le labbra permettendo ai robusti incisivi di addentare e tranciare l'erba alla base, che poi la lingua conduce sotto le arcate molari.
- Nel maiale, allo stato brado, il grugno viene utilizzato per scavare nel terreno tuberi e radici , che il labbro inferiore appuntito, conduce nella cavità buccale.

- Nei carnivori si può osservare anche l'utilizzo degli arti anteriori, che immobilizzano al suolo la preda o il cibo da cui vengono strappati con gli incisivi e canini brandelli di carne che vengono deglutiti dopo sommara masticazione.

Assunzione di liquidi

I carnivori assumono bevande utilizzando la porzione libera della lingua. Il maiale introduce le bevande nella cavità orale mediante un atto inspiratorio eseguito a bocca semiaperta. Gli altri animali domestici assumono le bevande con un processo di suzione che attuano dopo aver immerso la rima labiale semichiusa al di sotto del livello del liquido, retraendo la lingua a guisa di stantuffo di una pompa, creando, in questo modo, una pressione negativa nel cavo orale, con il conseguente richiamo di liquido. Questo meccanismo è analogo a tutti i mammiferi neonati al momento dell'assunzione del latte dalla mammella, in questo caso oltre alla lingua che abbraccia il capezzolo, anche le guance concorrono a creare la pressione negativa.

Masticazione

Questo processo, eminentemente meccanico, ha lo scopo di sminuzzare e tritare l'alimento per aumentarne la superficie e di facilitarne, quindi, l'azione idrolizzante degli enzimi. Alla masticazione si accompagna sempre una profusa secrezione salivare che contribuisce al rammollimento del cibo, all'estrazione di sostanze solubili nell'acqua, alla formazione del lobo e alla sua lubrificazione. La masticazione, intesa come fine triturazione, viene effettuata con i denti ed è particolarmente accurata negli erbivori monogastrici. Nei ruminanti, al contrario, la masticazione che fa seguito alla prensione dell'alimento (*masticazione primaria*) è piuttosto sommara, con il solo compito di formare un grossolano bolo che viene deglutito e convogliato nel rumine, a questa farà seguito la **masticazione mericica** lunga ed accurata. Anche i carnivori deglutiscono boli grossolanamente masticati, sia perché i loro molari hanno una conformazione poco adatta ai processi di fine triturazione, sia perché questi animali li usano come cesoie compiendo atti masticatori che avvicinano la mascella alla mandibola esclusivamente su piani verticali. Gli erbivori hanno, invece, molari piuttosto voluminosi e forniti di cuspidi atti a tirare, inoltre i movimenti masticatori che fanno scorrere la mandibola sulla mascella sono in senso antero laterale. La mascella avendo una larghezza superiore alla mandibola consente agli erbivori alternativamente da un solo lato, la masticazione è coadiuvata dalla lingua e dalle guance. La masticazione è un atto volontario regolato dai centri superiori, ma in pratica essa si espleta come un atto riflesso involontario ogniqualvolta viene introdotto alimento nella bocca. Le vie sensitive sono nella 2° e 3° branca del trigemino, le vie efferenti motrici sono nei nervi V° VII° e XII° cranici.

Secrezione salivare

La *saliva* è il prodotto delle tre principali ghiandole salivari pari: Parotidi- Sottomascellari e Sottolinguali nonché delle numerose ghiandole parietali sparse per tutta la mucosa della cavità buccale.

In base al tipo delle cellule secrettrici si distinguono:

- **SIEROSE**: secreto acquoso contenente proteine, tra cui un enzima la ptialina (amilasi) solo negli onnivori, che scinde i legami 1.4-alfa-glucosidici dell'amido con formazione e scissione di queste sino a maltosio (87%) e glucosio (13%)
- **MUCOSE**: contiene una proteina la mucina

La saliva è un liquido incolore, contenente piccoli quantitativi (1%) di elettroliti, proteine (mucine) e nel maiale ptialina, il resto è acqua (99%). Gli elettroliti sono rappresentati da cloruri, fosfati, bicarbonati di potassio di sodio e di calcio. La saliva è ipotonica rispetto al plasma .

Le ghiandole salivari presentano una doppia innervazione simpatica e parasimpatica. In generale, il parasimpatico, determina vasodilatazione, inducendo una secrezione più abbondante, il simpatico vi è riduzione di secrezione da parte delle ghiandole sierose ma una produzione di saliva più ricca di mucina. L'alimento stimola i recettori tattili del cavo orale, nonché i recettori gustativi della lingua, i quali attraverso le radici sensitive dei V°, VII° e XII° paio di nervi cranici trasferiscono l'informazione ai centri bulbari salivatori che , elaborano risposte secretrici che, con fibre parasimpatiche inducono in via riflessa l'attività ghiandolare. Per la produzione della saliva è sufficiente anche la vista e l'odore del cibo o anche i rumori collegabili alla somministrazione del cibo, ed è una secrezione di tipo psichico. Le funzione della saliva sono:

- Azione protettiva del cavo orale, impedendo l'essiccamento della mucosa.
- Facilita la masticazione e la deglutizione degli alimenti
- Esercita un'azione estrattiva sulle sostanze idrosolubili favorendone la percezione gustativa
- Nei ruminanti la saliva è prodotta in notevole quantità da 100 a 190 litri al giorno (bovini), da 6 a 16 (ovini) ed è ricca di bicarbonati e di urea (pH 8,1)
- Negli onnivori (e in minor grado nel cane e nel cavallo) la presenza di ptialina svolge una funzione digestiva sugli amidi, che continua anche nello stomaco finche non viene inattivata dal pH acido (6,2 optimum). La saliva al pari di altri secreti (gh. salivari) contiene pure un fattore capace di dissolvere i batteri (lisozima)..

Deglutizione

È l'atto mediante il quale il bolo passa dalla bocca, attraverso la faringe ed esofago, direttamente nello stomaco. L'atto deglutitorio inizia come fenomeno volontario, ma diventa successivamente riflesso durante la sua prosecuzione. Inizia con movimenti della bocca e della lingua che convogliano il bolo fra la base della lingua e il palato duro, qui viene a contatto con la mucosa del retrobocca, della faringe e dell'epligottide e stimola i ricettori che tramite le fibre sensitive del IX° e X° attivano i centri del V, IX, X, XI, XII paio di nervi cranici richiamano in attività i muscoli del pavimento della lingua, della faringe e laringe. Questi movimenti hanno lo scopo di escludere possibili comunicazioni tra cavità buccale, nasofaringe e trachea , ad essi si accompagna pure l'inibizione riflessa della respirazione; una volta che il bolo ha valicato lo sfintere faringo-esofageo, questo si chiede ed inizia un'onda peristaltica che pervade progressivamente l'esofago e trasferisce l'alimento ad di là del cardias nello stomaco (o rumine).

DIGESTIONE

Lo stomaco dei monogastrici è un serbatoio semplice di conformazione diversa a seconda della specie considerata: da un lato in diretta comunicazione con l'esofago, dall'altro con l'intestino tenue (duodeno). Svolge le seguenti funzioni:

- **contenitore** - accoglie grossi volumi di alimento ingerito in tempi anche brevi
- **digestiva** - Inizia la digestione ad opera del SUCCO GASTRICO secreto dalle sue ghiandole
- **motoria** - mescola ed immette ad intermittenza il CHIMO così ottenuto, nel duodeno.

Anatomicamente viene distinto in tre regioni :

- il fondo cieco posta dorsalmente allo sbocco dell'esofago
- il corpo che segue ventralmente
- la regione pilorica che comunica con il duodeno:

La mucosa viene distinta in aghiandolare e ghiandolare .

- La aghiandolare manca nei carnivori, mentre è abbondante nel cavallo, dove il passaggio tra i due tipi di mucosa prende il nome di margine plicatus. La mucosa aghiandolare è costituita da un epitelio stratificato non cheratinizzato simile a quello dell'esofago
- La ghiandolare si divide in zone
 - **mucosa cardiaca** - con ghiandole tubulari ramificate secernenti muco e con poche cellule argentaffini.
 - **mucosa del fondo** che contiene le ghiandole gastriche propriamente dette.
 - La mucosa si solleva in pliche con una miriade di cripte nel cui fondo si aprono 2 o 3 ghiandole gastriche che presentano tre tratti:
 - il collo con cellule secernenti un denso muco,
 - il corpo dove prevalgono le *cellule parietali (ossintiche)* che secernono l'**ac. cloridrico e il fattore intrinseco** e la maggior parte dell'acqua e le *cellule principali (peptiche)* che secernono proenzimi **pepsinogeni e rennina**,
 - il fondo dove troviamo *cellule principali e rare argentaffini* che producono **serotonina, gastrina e bradichinina**.

Una caratteristica della mucosa è che le cellule superficiali si rinnovano continuamente; le vecchie si desquamano e vengono sostituite da altre provenienti dalle cripte; le nuove cellule si differenziano poi in principali e parietali, il turnover si realizza in 2-3 giorni.

Succo gastrico

È sempre ipotonico rispetto al plasma (170-279 mOsm/l), varia per composizione in rapporto con l'attività secretiva, risultando acquoso e spiccatamente acido (pH 1) quando questa è intensa, più ricco di mucine ed ad acidità più blanda durante il digiuno. Nell'uomo la produzione giornaliera può oscillare da 1,5 a 3 litri nel cavallo anche 30 litri. Il succo gastrico è composto dalla miscela delle secrezioni delle cellule mucose ossintiche e peptiche delle gh. gastriche, può essere contaminato dalla saliva- dalla secrezione duodenale e ovviamente dagli alimenti.

Ha due componenti chimiche :

- una **Acida** data da $H_2O + HCl$ (cellule ossintiche) mq/l : H^+ 141; K^+ 17; Cl^- 164.
- una **Basica** data dai **Pepsinogeni** (cellule peptidiche) Mucine (cellule mucose) ed elettroliti con composizione simile al L.E.C. : mEq/l Na^+ 133; K^+ 9; Cl^- 126; HCO_3^- 19

Inoltre sono presenti una **lipasi** , un **fattore intrinseco antipernicioso** (mucoproteina secreto dall'GH. parietali; nei giovani animali è presente la **rennina** (chimosina) che coagula il latte (caglio).

Funzioni:

- Digestiva per le proteine con i Pepsinogeni ed HCl
- Germicida per la sua forte acidità
- Diluente per il suo volume rende isotonic il chimo
- Antianemico per il fattore intrinseco che permette l'assorbimento della vit. B12 nell'ileo.

Costituenti organici

Acido Cloridrico

Viene secreto dalle cellule ossintiche caratterizzate da numerosi canalicoli intracellulari nei quali l' HCl raggiunge concentrazioni di 170 mEq/l . Le ossintiche rappresentano 1/10 del volume della mucosa gastrica. Aumentano le concentrazioni dell' H⁺ di 3.000.000 di volte rispetto al plasma .Gli ioni H⁺ sono attivamente pompati contro un enorme gradiente di concentrazione (da 5.10⁻⁵ mEq/l del plasma a 150-160 mEq/l del succo gastrico) e che sono scambiati con Na⁺ , derivano dalla ionizzazione endocellulare dell'acqua in H⁺ e OH⁻ . Alla neutralizzazione degli OH⁻ con formazione di H₂O provvedono gli ioni H⁺ derivati dalla ionizzazione del H₂CO₃ che si attua per idratazione della CO₂ metabolica ad opera dell' anidriasi carbonica , mentre il HCO₃⁻ diffonde nel plasma come NaHCO₃ . Nei canalicoli di secrezione , assieme agli ioni H⁺ vengono attivamente estrusi per formare Acido Cloridrico , Cl⁻ , con un processo attivo contro un gradiente elettrico e chimico, sostenuto da una pompa metabolica detta del Cloro , attivata dall' ATP prodotto dal ciclo di KREBS ed in parte dalla glicolisi .Nel plasma gli ioni Cl sono 108 mEq/l mentre nel succo gastrico 160 .

L'acido cloridrico nello stomaco adempie a funzioni diverse:

- - Agisce da batteriostatico sui germi eventualmente introdotti con l'alimento ed impedisce i processi putrefattivi.
- - Denatura le proteine e le rende strutturalmente più idonee all'attacco degli enzimi proteolitici
- - Attiva i pepsinogeni presenti nel succo gastrico trasformandoli in pepsine
- - Crea condizioni di pH (1 - 2,5) ottimali per l'azione di questi enzimi.

Costituenti Organici

Pepsine e Pepsinogeni

Le pepsine sono delle proteasi secrete dalle cellule principali come zimogeni inattivi (pepsinogeno) , hanno un PM 42.500 , vengono attivati dall'acidità a pepsine attive PM 35.000. Sono delle **Endopeptidasi** (pH ottimale 2) che idrolizzano il legame peptidico CO-NH esistente tra aminoacidi Aromatici (fenil-alanina, tirosina) con altri aminoacidi alifatici o ciclici. Pepsinogeni e pepsine sono un gruppo eterogeneo di proteine enzimatiche separabili elettroforicamente ; si possono riconoscere otto frazioni proteolitiche di cui sette pepsinogeni e una catepsina (pH > 4-5) .Le protamine , le mucine , le cheratine non sono attaccate dalle pepsine.

Rennina o Chimosina

Nel succo gastrico del vitello, agnello, capretto e sembra nel maiale è stato messo in evidenza un'enzima proteolitico che agisce determinando, in presenza di ioni Ca⁺⁺ , la precipitazione della Caseina , proteina del latte, sotto forma di *paracaseinato di Calcio* .Ha un pH ottimale intorno a 6; anch'essa è secreta come proenzima e viene attivata dall' Hcl.

Lipasi Gastrica

È una tributirasi prodotta oltre che dalla mucosa gastrica anche dalle ghiandole sierose linguali. Ha il pH ottimale < 6 . Esercita la sua azione lipolitica solo sui grassi naturalmente emulsionati, quali quelli del latte e delle uova; inizia l'idrolisi dei Trigliceridi preparando i grassi all'attacco del complesso lipasi-colipasi del duodeno.

Mucosostanze

Sono macromolecole costituite da glicoproteine - mucopolissaccaridi - mucoproteine che formano un **gel** tenute insieme da forze elettrostatiche a livello dei gruppi carbossilici - gruppi solfato e da legami idrogeno. Hanno la funzione di proteggere la mucosa dello stomaco.

Fattore Intrinseco

È una mucoproteina (PM 44.000) prodotta dalle cellule ossintiche che lega la Vit. B 12 in un complesso non dializzabile e la protegge nell'intestino fino all'ileo dove può essere assorbita come tale.

BARRIERA MUCOSA GASTRICA

L'HCl e la pepsina sono potenzialmente capaci di danneggiare la mucosa gastrica. Il meccanismo di difesa è attuato con la formazione di una barriera composta da due componenti:

- Strutturale dovuta all'organizzazione dell'epitelio della mucosa gastrica con le membrane citoplasmatiche delle cellule gastriche ben serrate tra di loro con le giunzioni strette.
- Funzionale dovuta alla secrezione di mucine e di HCO_3^-

Gli effetti sono di due tipi:

- 1) **Estrinseco**: a livello preepiteliale; come componente funzionale, con la formazione di gel di muco e di HCO^- e a livello postepiteliale,
 - L'HCl viene neutralizzato dal muco alcalino prodotto dalla zona pilorica (in maggior misura) con HCO^- che reagendo con H^+ forma H_2CO_3 che si dissocia in CO_2 e H_2O ; l'anidride carbonica costituisce il prodotto della neutralizzazione dell'acido cloridrico, il gas si accumula in una bolla che distendendo la parte dorsale dello stomaco provoca il riflesso dell'eruttazione.
- 2) **Intrinseco**: a livello epiteliale la componente strutturale si oppone alla permeazione degli ioni H^+ se la mucosa si danneggia entrano gli ioni H^+ ed escono gli ioni Na^+ .
 - La presenza di acido negli spazi interstiziali stimola la motilità gastrica causando una sensazione di dolore, viene liberata istamina che a sua volta stimola la liberazione di HCl e pepsinogeno, causa anche vasodilatazione ed iperemia con conseguente aumento della permeabilità dei capillari gastrici che può portare con la fuoriuscita di plasma ad formazioni di edema della mucosa, se vengono lesi anche i capillari si ha anche emorragia gastrica (ulcera)

CONTROLLO DELL'ATTIVITÀ SECRETIVA DELLO STOMACO

La secrezione gastrica ha inizio come risposta alla introduzione dell'alimento nella bocca; varia di intensità e durata in funzione della natura degli alimenti ingeriti e a seconda della specie animale. Vengono stimolati i recettori della cavità buccale e della faringe che richiamano in attività il centro bulbare gastro-secretorio che con fibre del nervo vago (X) induce in via riflessa la secrezione delle ghiandole gastriche **secrezione cefalica**. Anche la vista, l'odorato o il solo pensiero

del cibo possono indurre l'attivazione dei centri bulbari **secrezione psichica**. Con l'arrivo dell'alimento nello stomaco inizia la **fase gastrica** caratterizzata da una più copiosa secrezione. Questa è determinata sia da riflessi nervosi insorgenti per stimolazioni sensitive delle regioni del fondo e piloriche sia da riflessi umorali per l'immissione in circolo di *gastrina* prodotta dalle cellule **G** della mucosa della regione pilorica. Questo ormone secreto in circolo passa al fegato e quindi nella circolazione generale e poi a contatto con le cellule secernenti. La gastrina stimola la secrezione di un succo gastrico ad elevato contenuto di HCl ma povero di enzimi, questi ultimi sembrano essere regolati da influenze nervose vagali. L'attività secretoria dello stomaco viene pure influenzata da stimoli che insorgono dalla porzione iniziale dell'intestino tenue al sopraggiungere del chimo acido **fase intestinale** ed è dovuta alla immissione in circolo di una gastrina analogo. Anche l'istamina come già detto stimola la secrezione gastrica.

Meccanismi inibitori della secrezione gastrica

- **Inibizione Centrale** In stati emozionali quali paura dolore ecc., il sistema vegetativo (parasimpatico) inibisce l'attività sia secretoria che motoria dello stomaco.
 - La stimolazione del centro della sazietà (nucleo ventro-mediale dell'ipotalamo)
 - Oppure per inibizione alla vista di cibo o per la percezione di odori non appetibili. (inibizione cefalica psichica)
- **Inibizione antrale** Avviene quando in questa regione in prossimità del piloro arriva del chimo molto acido, il fattore umorale responsabile è la Somatostatina che inibisce la secrezione di HCl e di gastrina.
- **Inibizione intestinale** Insorge quando un chimo fortemente acido, ipertonico o ricco di lipidi in forma assorbibile perviene in sede duodenale, il fattore umorale responsabile è l'Enterogastrone.
 - Sotto questo nome vanno considerati una serie di fattori intestinali quali: l'enteroglucagone, la secretina, il GIP (gastric inhibitory polypeptide), il VIP (vaso active intestinal polypeptide) e la pancreoenzima.

MOTILITÀ GASTRICA

Tre sono le principali funzioni motorie

- Lo stomaco è un serbatoio capace di adattarsi a grosse quantità di materiale ingerito, le sue cellule muscolari lisce si distendono
- Mescola il cibo ingerito con il succo gastrico agevolandone la fluidificazione
- Spinge il materiale gastrico nel duodeno in modo ordinato

Per la motilità si distinguono due aree funzionali

1. Proximale (fondo e corpo) con funzione di serbatoio con scarsa attività contrattile
2. Distale (corpo distale e antro) con funzioni di pompa che mescola e sciaborda il contenuto per poi immetterlo nel duodeno.

DIGESTIONE GASTRICA

Il pH dello stomaco vuoto in condizioni basali è attorno alla neutralità. In concomitanza dell'assunzione del cibo (stimoli emotivi, fisici, meccanici) inizia la produzione di HCl (pH 1,5-2). Il cibo tende a far diminuire l'acidità per diluizione e anche perché può contenere basi e proteine che neutralizzano l'HCl (pH 4-6) ma ne stimola altresì la produzione (pH 2 - 1,5)

- Proteine - sono denaturate dall'HCl e dal calore. Le pepsine agiscono per un 10%, anche per il pH non sempre ottimale, e solo alla periferia della massa ingerita. La funzione delle pepsine è anche quella di rendere disponibili i legami peptidici delle proteine alimentari alle successive idrolisi degli enzimi intestinali
- Lipidi - Sono scarsamente modificati dall'HCl e pepsine che ne rompono le emulsioni, favoriscono il raccogliersi dei trigliceridi in grosse gocce oleose, ma nel contempo ne rendono meno agevole la digestione da parte delle lipasi linguali e gastriche.
- Glucidi - Amido e polisaccaridi vengono scissi in maltosio e piccole quantità di glucosio dall'amilasi salivare, la cui azione (pH ottimale 5- 8,5) continua nello stomaco finché la pepsina non determina l'inattivazione dell'enzima

DIGESTIONE NEI POLIGASTRICI

La digestione nello stomaco ghiandolare abomaso è preceduta da una digestione meccanica ed una fermentazione microbica che avvengono nel reticolo rumine ed omaso. La saliva (pH 8) viene prodotta abbondantemente (100- 150 litri /die), tampona gli H⁺ che derivano dalla dissociazione sia degli AGV (Acidi Grassi Volatili) sia da quella dell'acido carbonico, e mantiene un pH di 5,6 - 6,8 necessario per la sopravvivenza dei microrganismi e per l'assorbimento degli AGV. I prestomaci svolgono un'azione **meccanica**, questa:

- Facilita la macerazione dell'ingesta
- Determina una uniforme distribuzione dei microrganismi,
- Provoca il rimescolamento del contenuto con la saliva
- Agevola la mobilitazione degli AGV dai punti a più elevata produzione e ne aumenta il loro riassorbimento attraverso le pareti del rumine
- Provvede alla rimozione di CO₂ e del CH₄ derivate dai processi fermentativi.

Tutte le parti dei prestomaci sono collegate al sistema nervoso centrale dal quale ricevono impulsi mediante i rami del vago (X paio N.C.)

I movimenti sono di due tipologie

- - CICLO A - Parte inizialmente con una contrazione bifasica del reticolo che induce una sua parziale riduzione di volume che si completa di seguito. Segue poi una contrazione del sacco dorsale che si propaga in direzione cranio-caudale per poi continuarsi nel sacco ventrale con direzione caudo-craniale.
- - CICLO B - Interessa solo le pareti del rumine con contrazioni ad andamento caudo - craniale.

Il ciclo A ha il significato funzionale con la contrazione bifasica del reticolo, di separare il materiale più grossolano che ritorna nel rumine, mentre poi spinge nell'omaso il materiale più fine, poi i movimenti del rumine hanno il compito di rimescolamento del contenuto ruminale di rimescolamento del contenuto ruminale.

Il ciclo B contribuisce anche al rimescolamento, ma principalmente spinge la massa dei gas che occupa la cupola verso la zona cardiaca per l'eruttazione.

Eruttazione

È un evento riflesso indotto dai gas ruminale che distendono la regione cardiaca attivando i recettori (meccanocettori) in essa presenti provocando il rilasciamento dello sfintere cardiaco, aumentano i movimenti di tipo B

Ruminazione

Consta di diverse fasi

1. Fase inspiratoria Inizia un secondo dopo una contrazione del reticolo, l'animale fa un'ispirazione forzata a glottide chiusa, con il conseguente aumento della pressione negativa intratoracica. L'esofago si dilata; contemporaneamente, per via riflessa, il cardias si apre ad imbuto e l'alimento viene aspirato nell'esofago.
2. Fase espulsiva Dopo la chiusura del cardias, l'animale fa un atto espiratorio forzato sempre a glottide chiusa, con aumento della pressione positiva che si ripercuote sull'esofago con una compressione sulle sue pareti; unitamente si ha l'insorgenza dell'onda ANTIPERISTALTICA.
3. Fase masticatoria La masticazione mericica, con abbondante salivazione, si compie con movimenti lenti della mandibola contro la mascella.
4. Fase della deglutizione Conclude il ciclo ruminativo, il bolo essendo costituito da materiale più finemente sminuzzato ha un peso specifico maggiore e tende quindi a sedimentare ed a depositarsi in prevalenza nel sacco ventrale, da dove poi verrà spinto nel reticolo e da qui attraverso lo sfintere reticolo-omasale nel settore omaso-abomaso.

Microrganismi del rumine

La digestione microbiologica è sostenuta da enzimi secreti da una imponente schiera di microrganismi: **Flora microbica e Fauna protozoaria**; la prima valutabile, in media, 10 Miliardi/cm³ di contenuto ruminale la seconda in un milione di protozoo per miliardo di batteri. Le fermentazioni sono di tipo anaerobico, il rendimento complessivo è inferiore alla digestione dei monogastrici. I batteri, però, sono in grado di digerire composti quali la CELLULOSA, EMICELLULOSE, altrimenti indigeribili, nonché di poter sintetizzare vitamine del gruppo B e la vit. K. I batteri che vivono ad un pH 5,5 -7, in ambiente privo di ossigeno ed ad una temperatura di 39-40 C. Sono classificati in base al substrato che utilizzano, questo permette una visione ecologica della microbiologia ruminale e, dal punto di vista della pratica zootecnica, ci permette di associare le attività biochimiche microbiche con il tipo di alimento utilizzato nel rumine.

- - Batteri Cellulosolitici emicellulosolitici
- - Batteri Amilolitici Amido e carboidrati di riserva
- - Quasi tutti i ceppi poi sono proteolitici cioè attaccano le proteine dell'alimento e arrivano a degradare gli aminoacidi a NH₃ e chetoacidi
- - I batteri sono in grado anche di produrre delle lipasi e quindi i grassi alimentari nel rumine vengono scissi in glicerolo ed AGV

I protozoi del rumine sono anch'essi anaerobi e fermentano i costituenti dei materiali vegetali per utilizzare l'energia chimica in essi presenti. La maggior parte sono Ciliati e si dividono in Olotrici e Entodiniomorfi. I substrati utilizzati dai protozoi: gli olotrici assimilano rapidamente glucidi solubili che vengono trasformati in amido. Gli endodiniomorfi utilizzano l'amido, degradano la cellulosa ed altri polisaccaridi. I protozoi hanno esigenze nutritive più complesse rispetto a quelle dei batteri, infatti necessitano di aminoacidi, base azotate, acidi grassi e vitamine.

Digestione ruminale dei glucidi

Con l'alimentazione vegetale il ruminante introduce:

- Zuccheri semplici :fruttosio, glucosio galattosio
- Disaccaridi :saccarosio , maltosio
- Polisaccaridi : amidi e cellulose
- Sostanze Peptiche : polimeri di acidi uronici
- Emicellulose : polimeri insolubili in acqua tipo xilosio-arabinosio-galattosio-mannosio
- Lignina : polimero di aldeidi con gruppi benzenici

Gli enzimi dei microrganismi demoliscono i polisaccaridi fino a zuccheri semplici e questi sono in parte utilizzati per il metabolismo batterico con produzione finale di acidi grassi volatili AGV.

I principali sono : **ACETICO 65-75 % , PROPIONICO 15-20 % , BUTIRRICO 10 %**. Con l'aumento di concentrati amilacei nella razione **ACETICO 55 % PROPIONICO 35 %**

Digestione ruminale delle proteine

Con l'alimentazione vegetale i ruminanti introducono proteine e sostanze azotate non proteiche: aminoacidi liberi, acidi nucleici, basi puriniche e pirimidiniche , ammoniaca ammonio , urea , nitrati, nitriti (15-20 % della razione) tutte utilizzate dalla flora microbica. Gli aminoacidi liberi possono esser utilizzati dalla flora e fauna microbica per la propria sintesi proteica oppure vengono deaminati con formazione di ammoniaca e liberazione delle catene carboniose degli aminoacidi; queste vengono utilizzate dai batteri come fonte energetica e trasformate in AGV. La flora batterica è capace di sintetizzare le catene di tutti gli aminoacidi e di ammarle partendo dalla NH₃ o partendo da altri aminoacidi. Essa può utilizzare azoto non proteico, infatti hanno un'enzima ureasi che idrolizza l'urea ad ammoniaca e CO₂ e sono in grado di ridurre ad ammoniaca anche l'azoto dei nitrati e nitriti. Le proteine batteriche e protozoarie hanno un valore biologico maggiore perchè contengono tutti gli aminoacidi essenziali.

Digestione dei lipidi

Negli alimenti vegetali i lipidi più rappresentati sono :

- I galattogliceridi di acidi grassi in prevalenza insaturi palmitioleico,oleico,linoleico,arachidonico.
- I trigliceridi sono scarsamente presenti 3%
- Inoltre si trovano acidi grassi liberi , fosfolipidi carotenoidi ecc.

I batteri hanno una intensa attività lipolitica che porta all'idrolisi dei trigliceridi, fosfolipidi con formazione di glicerolo. I protozoi inglobano cloroplasti ricchi di lipidi e li digeriscono. Gli acidi grassi insaturi vengono idrogenati e trasformati in acidi grassi saturi.

Sintesi delle vitamine

- Le vitamine del gruppo B (idrosolubili) vengono sintetizzate nel rumine :Tiamina (B1)- Riboflavina (B2) - Nicotinamide (PP) Acido Pantotenico, Acido Folico, Piridissina (B6) Cianocobalamina(B12) sono prodotte in quantità sufficienti per l'economia dell'animale ma nelle vacche da latte, dato l'intenso sfruttamento, è utile l'integrazione di Riboflavina, acido Pantotenico, insitolo.
- La vitamina C è sintetizzata dall'organismo ma non nel rumine, infatti in esso l'acido Ascorbico viene demolito.

- Le Vitamine liposolubili devono essere introdotte con la dieta
- I Caroteni - precursori della Vit. A - sono abbondanti nei vegetali e vengono trasformati in Vitamina nel fegato e nell'epitelio intestinale.
- La Vitamina D ha due precursori Ergosterolo (vegetale) ed il Colesterolo che per azione dei raggi ultravioletti vengono convertiti in vit D2 e D3
- La Vitamina E è presente in molti foraggi freschi mentre nei conservati viene distrutta
- La Vitamina K viene sintetizzata dalla flora microbica del ruminante.

Fermentazione dei glucidi

Per semplificare le complesse reazioni delle fermentazioni dei glucidi che hanno luogo nel ruminante si può immaginare che tutto il materiale glucidico alimentare subisca ad opera dei batteri e dei protozoi in tre fasi:

1. una dovuta all'azione degli enzimi che idrolizzano oligosaccaridi e polisaccaridi sino a monosaccaridi.
2. possono essere utilizzate le vie enzimatiche di EMP, dei pentosi, di Entner-Doudorof e della fosfochetolasi in rapporto al tipo di batteri
3. l'acido piruvico dal quale si formano Acido Formico (che a sua volta dà H_2 , CO_2 e CH_4) acido acetico, propionico, butirrico, alcool etilico, acido lattico

Sia i batteri che i protozoi sono in grado di decomporre la cellulosa e l'emicellulosa produrrebbero degli enzimi extracellulari per degradarle; prodotti finali sono fruttosio 1,6 difosfato e trifosfati che poi vengono convertiti in acido piruvico. Questo raramente è presente nel ruminante in quantità misurabile in quanto è un intermedio chiave per la produzione di acetato, propionato e butirato.

Metabolismo dei composti ad 1 - C

È noto che il ruminante perde circa il 10 % delle sostanze alimentari digeribili in forma di gas. Nell'eruttazione la miscela di gas è composta da: CO_2 (65 %) metano (27%) Azoto molecolare (7%) tracce di O_2 (0,6 %) di idrogeno (0,2 %) e di idrogeno solforato (0,01 %). La produzione di metano avviene per riduzione dell'anidride carbonica. L'idrogeno è il fattore limitante nella reazione una mole di acido formico dà 0,25 moli di CH_4 . La produzione di metano da parte dei microrganismi non è una perdita assoluta, in quanto l'idrogeno prodotto dal metabolismo, verrebbe altrimenti eliminato con l'eruttazione ed inoltre il ΔG^0 della reazione di riduzione della CO_2 a CH_4 è di -31 kcal/mol; ciò comporta di poter utilizzare questa energia per sintesi di materiale microbico. Si cerca di limitare la produzione di metano, per aumentare la quantità di carbonio organico utilizzabile.

Degradazione dei composti organici azotati

- Proteolisi: Gli enzimi dei batteri e dei protozoi operano l'idrolisi di proteine dietetiche oltreché di quelle degli stessi microrganismi. Due ore dopo la foraggiatura il 27 % dell'azoto è ancora sotto forma vegetale, dopo 10 ore si riduce al 16 %, mentre tra le 16 e le 24 ore copre soltanto l'11 % dell'azoto totale ruminale. Se si suppone che questo 11 % dopo le 24 ore rappresenti azoto vegetale non proteico ne deriva che entro le 16 ore la degradazione delle proteine ad opera dei microrganismi è completa.
- Catabolismo degli aminoacidi: Si ritiene che l'azoto derivato dal catabolismo degli aminoacidi rientri nel pool dell'ammoniaca, mentre la catena carboniosa appartenga a quello degli acidi grassi volatili.

- Degradazione dell'azoto non aminoacidico : L'ammoniaca è importante per la sintesi *ex novo* di aminoacidi . È interessante l'idrolisi dell'urea che da luogo alla produzione di NH₃. Altri composti organici contenenti azoto possono formare AGV , CO₂ e NH₃ . Xantina, acido urico, e guanina sono completamente demoliti. Nel rumine è attiva la riduzione dei nitrati ad ammoniaca e le fonti per la riduzione è rappresentata da H₂, formiato, lattato, citrato , glucosio.

Degradazione dei lipidi

I lipidi alimentari sono costituiti da lipidi polari (fosfolipidi- glicolipidi) e da lipidi apolari (grassi neutri) , i primi sono presenti nelle foglie mentre i secondi nei semi dei cereali, delle leguminose e nei grassi animali. Gli animali al pascolo o con foraggi verdi introducono Ac. grassi saturi , monoinsaturi e polinsaturi che hanno prevalenza 18:3 sul 18:2 ; acidi grassi questi che si trovano nei lipidi polari. Mentre negli animali che vengono alimentati con concentrati assumono Ac grassi polinsaturi con prevalenza del 18:2 sul 18:3. I grassi alimentari vengono immediatamente idrolizzati nel rumine da specifici enzimi. Come conseguenza di questa intensa attività si trovano nel rumine alti livelli di Acidi grassi liberi che rappresentano il 40-80 % degli acidi grassi totali.

DIGESTIONE INTESTINALE

Il chimo acido proveniente dallo stomaco contiene materiale proteico parzialmente digerito, carboidrati solo in parte intaccati dalle diastasi salivare e lipidi praticamente immodificati dalla digestione gastrica. Quando passa nell'intestino tenue (duodeno) si mescola con il succo pancreatico, con la bile e il succo enterico, questi con il loro corredo enzimatico completano l'azione digestiva riducendoli a strutture elementari assorbibili attraverso la mucosa intestinale. Il materiale alimentare sfuggito ai processi enzimatici in sede gastrica ed intestinale , nei monogastrici come il cavallo, il maiale ed il coniglio viene sottoposto ad un successivo processo di tipo fermentativo a livello dell'intestino crasso.

Le funzioni dell'intestino tenue sono:

- Digestiva Completa la digestione iniziata nella bocca e nello stomaco
- Assorbente Attiva il passaggio nel sangue e nella linfa dei prodotti della digestione e di altre sostanze ingerite (acqua, sali minerali, vitamine)
- Motoria : Causa il mescolamento del contenuto e il suo progressivo spostamento in senso aborale.
- Endocrina : Secerne ormoni CCK , GIP, VIP, Secretina che regolano le funzione dell'apparato digerente .

Succo pancreatico

È prodotto dal pancreas esocrino, contiene tre gruppi principali di enzimi Proteasi, Lipasi e Amilasi.

- Fase acquosa 98 % ricca di bicarbonato di sodio ed in minor grado di cloruri.
 - I bicarbonati conferiscono a questo secreto un valore di pH che varia da 7,16 nel cane al 8,42 nel bovino. Hanno il compito di neutralizzare l'acidità del chimo.
- Fase organica Il tripsinogeno è attivato a tripsina nel duodeno ad opera di un enzima enterico *enterochinasi* nonché da un processo autocatalitico accelerato dalla presenza di ioni

Calcio. La tripsina è responsabile altresì dell'attivazione del chimotripsinogeno, procarbossipeptidasi e della proelastasi.

- **La tripsina** (*endopeptidasi*) scinde i legami tra aminoacidi basici quali la lisina e l'arginina agendo all'interno della catena polipeptidica.
- **La chimotripsina** idrolizza preferibilmente legami peptidici tra aminoacidi aromatici quali la tirosina e fenilalanina. Inoltre in presenza di Ca^{++} si comporta come la rennina
- **L'elastasi** ha la capacità di idrolizzare le scleroproteine dei tendini e legamenti; è specifica per i legami peptidici tra aminoacidi alifatici quali valina leucina serina .
- **La Carbossipeptidasi** si comporta da *esopeptidasi* ed attacca le catene aminoacidiche all'estremità
 - La A dove è presente un aminoacido basico con gruppo carbossilico libero determinandone il distacco.
 - La B determina il distacco indifferentemente di aminoacidi aromatici alifatici e neutri ma sempre con il gruppo carbossilico COOH libero.
- **Le ribonucleasi** idrolizzano gli acidi nucleici DNA e RNA a nucleotidi.
- **L'amilasi** è secreta in forma attiva , agisce sugli amidi, sia cotti che crudi , trasformandoli in destrina e maltosio.
- **Le lipasi** è secreta in forma attiva ed ha come substrato i trigliceridi che trasforma in acidi grassi liberi e in 2-monogliceride. La sua azione è accentuata da diversi fattori fra i quali gli ioni calcio e sali biliari. L'attività delle lipasi viene mantenuta a lungo nel duodeno prece il pancreas produce anche una proteina che si lega ad esse la colipasi proteggendola dall'attività proteolitiche.

Controllo della secrezione pancreatica

In analogia a quanto riscontrato per la secrezione gastrica quella pancreatica è regolata da fattori riflessi ed umorali, questi ultimi sono i più importanti; vi sono stimoli fisici dovuti all'ingestione del cibo che agiscono per via vagale.

Fattori Umorali

- La secretina è un polipeptide di 27 AA (è stata la prima sostanza *ormonale* che sia stata descritta 1902), determina un aumento della secrezione del succo pancreatico acquoso, contenete quindi molti bicarbonati ma povero di enzimi. Viene prodotta dalle cellule epiteliali del duodeno ed è stimolata da una elevata concentrazione di H^+ , influenza la secrezione biliare ma inibisce quella gastrica.
- La colicistochinina- pancroenzima CCK -PP E' un unico polipeptide si 33 AA , viene prodotta della mucosa dell'intestino tenue. Induce la secrezione enzimatica del pancreas ed eccita la contrazione della cistifellea. Lo stimolo più potente per la sua liberazione è dato dai peptoni che sono dei prodotti intermedi della digestione proteica.

La bile

La bile è il prodotto di secrezione degli epatociti che il fegato riversa nel lume duodenale. La bile che non ha soggiornato nella cistifellea si presenta come un liquido vischioso, di colore verdastro o verde giallastro di sapore amarissimo. Nella sua composizione troviamo il 97 % di acqua e 3 % di **sali inorganici** e di costituenti organici: **sali degli acidi biliari, pigmenti biliari, colesterolo, lecitina**. I sali inorganici sono bicarbonati e cloruri di sodio e potassio. I due cationi Na^+ e K^+ hanno la medesima concentrazione nel sangue, quando aumenta la secrezione di bile diminuiscono i cloruri ed aumentano i bicarbonati (pH 7,8) , tampona l'acidità del chimo che giunge dallo

stomaco. Nella cistifellea la bile viene immagazzinata e varia nella sua composizione in quanto l'epitelio che la riveste ha la capacità di riassorbimento.; il volume della bile si può ridurre anche del 80-90 % in seguito al riassorbimento di acqua che segue passivamente il riassorbimento attivo degli elettroliti (Cl^- e HCO_3^-) mentre la concentrazione dei pigmenti e degli acidi biliari può aumentare di 10 volte nei carnivori, meno nei poligastrici e nel maiale. L'**acido colico** e il capostipite degli acidi biliari (suoi derivati sono ac. chenodesossicolico e litocolico) proviene dal metabolismo del colesterolo. I pigmenti sono rappresentati dalla **bilirubina** e dal prodotto della sua ossidazione **biliverdina**. Questi derivano dalla distruzione degli eritrociti o meglio dal catabolismo dell'emoglobina attuato nella milza, midollo osseo, fegato. I pigmenti sono quindi un prodotto di escrezione che nel crasso vanno incontro a processi di riduzione che li trasforma in **urobilinogeno** e quindi per esposizione alla luce e all'aria (autossidazione) in **urobiline e stercobiline** che danno il caratteristico colore alle feci e alle urine.

I fattori che influenzano la secrezione di bile (fluttuazione continua) sono i sali biliari ritorna dalla circolazione enteroepatica e la secretina (sostanze coleretice). Tra i fattori che influenzano l'immissione di bile ciò è la Colicistochinina (sostanze colagoghe). L'azione digestiva sui grassi è legata alla presenza di sali biliari

- con la loro azione detergente abbassano la tensione superficiale dell'interfaccia acqua - trigliceridi e ne favoriscono l'emulsione.
- provvedono alla suddivisione dei grassi in minutissime goccioline favorendo così l'azione delle lipasi
- si combinano con i derivati dell'idrolisi dei trigliceridi (ac. grassi, 2-monogliceride, lecitine) formando le micelle che sono dei complessi idrosolubili che sono capaci di incorporare lipidi insolubili tipo il colesterolo, vitamine liposolubili e permetterne l'assorbimento intestinale.
- stimolano la riesterificazione degli acidi grassi in trigliceridi, a livello degli enterociti favorendo la formazione dei chilocromi.
- con la loro azione coleretica stimolano l'attività del fegato e la motilità intestinale.

Succo enterico

Il duodeno, digiuno ed ileo sono le sedi dove si completano i processi digestivi enzimatici di tutte le specie animali, si realizzano anche i principali processi di assorbimento dei prodotti finali della digestione. Questo compito è svolto dagli enterociti che non solo hanno una funzione assorbitiva, ma anche digestiva legata alla presenza di enzimi dislocati sia a livello di membrana che nel citoplasma. Il succo enterico è il prodotto di secrezione degli **enterociti**, nonché delle cellule delle **ghiandole di Lieberkuhn** dell'intestino tenue e delle **ghiandole di Brunner** del duodeno. La sua quantità è minima, contiene enzimi (**enterochinasi, amilasi, peptidasi**), sali minerali Na^+ , Cl^- , K^+ , HCO_3^- . La sua funzione è quella di proteggere la mucosa dal chimo acido dello stomaco. Il secreto intestinale del digiuno ed ileo presenta elettroliti in concentrazione isotonica con il plasma, il corredo enzimatico è rappresentato da peptidasi che agiscono anche nel citoplasma (enzimi intracellulari), oligosaccarasi (maltasi, saccarasi, lattasi) lipasi enteriche (endocellulari) ed inoltre l'enterochinasi che attiva il tripsinogeno in tripsina.

ASSORBIMENTO NELL'INTESTINO TENUE

L'assorbimento si realizza per mezzo dei villi, propaggini digitiformi emergenti dalla superficie della mucosa. I prodotti della digestione o per diffusione o per trasporto attivo, entrano in questi e

ne sono drenati o attraverso il chilifero centrale o da una o due vene che originano dalla fitta rete di capillari che irrorano queste strutture. I processi di assorbimento avvengono per:

- Migrazione passiva dei materiali digeriti (diffusione) attraverso la membrana degli enterociti. È dipendente dalla concentrazione, la dimensione, la polarità e la carica elettrica dei composti che devono diffondere.
- Migrazione attiva che è dovuta da specifiche funzioni degli enterociti, è determinante la capacità di interagire tra cellula-carrier- composto da assorbire, il limite è dato dal numero di molecole da trasportare la specificità dei carrier.
- Gli enterociti mediante pinocitosi possono assorbire composti di notevoli dimensioni (Immunoglobuline)

Digestione ed assorbimento dei lipidi

La digestione è operata esclusivamente da enzimi intraluminari

- **Fase gastrica** : l'attività lipolitica è buona sui trigliceridi a catena media e modesta in quelli a catena lunga
- **Fase intestinale** : nel duodeno l'olio dei lipidi alimentari si mescola ai lipidi (lecitine e colesterolo) secreti dalla bile e tenuti in soluzione micellare dai sali biliari. Le micelle hanno forma di un cilindro, costituito da un doppio strato di lipidi polari (lecitine e monogliceridi) con i loro gruppi idrofili rivolti all'esterno .

La lipasi pancreatica agisce solo nell'interfaccia olio acqua, catalizza l'idrolisi dei trigliceridi dando origine ad una miscela di ac. grassi liberi e di 2-monogliceridi .La fosfolipasi A trasforma le lecitine in isolecitine, lipidi più polari e quindi più solubili in acqua. La digestione pancreatica dei trigliceridi ad opera della lipasi (in presenza di > bile) da origine ad una miscela di 2-monogliceridi e ac. grassi liberi (75%) che si sciolgono nelle micelle miste dei sali biliari (idrosolubili) . La soluzione acquosa micellare è in equilibrio con la fase oleosa emulsionata contenente i trigliceridi non ancora idrolizzati.

- Penetrazione nella mucosa : per diffusione semplice che dipende dal gradiente di concentrazione. le micelle non vengono assorbite - sono solo un veicolo che trasporta i monogliceridi ed ac. grassi liberi, nel citoplasma quelli a catena lunga (>10) poi vengono riesterificati a trigliceridi. Una volta risintetizzati vengono rivestiti da una membrana proteica e insieme a colesterolo e fosfolipidi formano i chilocromi .
- Passaggio in circolo I chilocromi escono dal lato basale dell'enterocita e penetrano nel lume del vaso chilifero centrale del villo, gli ac grassi liberi a catena corta (< 10) vanno nei capillari del villo e poi nel fegato con la vena porta.

Digestione ed assorbimento delle proteine

- **Fase gastrica** L'HCl denatura le proteine alimentari rendendo più accessibili i legami peptidici alle proteasi specifiche luminali. Le pepsine (endopeptidasi) catalizzano l'idrolisi dei legami peptici all'interno della molecola dando origine a polipeptidi con aminoacidi terminali aromatici (tirosina - fenilalanina) digestione al 10-15 %.
- **Fase intestinale** Interessa sia le proteine alimentari denaturate e parzialmente idrolizzate, sia i protidi endogeni (succhi digestivi, cellule intestinali) . Nel duodeno l'idrolisi raggiunge il 50/60 % del totale ad opera delle proteasi pancreatiche e prosegue nel digiuno 80 / 85 %..

La digestione intracellulare è ad opera delle peptidasi degli enterociti che agiscono sui peptidi dalle proteasi pancreatiche, liberando aminoacidi. L'assorbimento di proteine intatte (Immunoglobuline) avviene solo nel neonato e solo per pochissimi giorni. Le proteasi gastriche e pancreatiche idrolizzano le proteine liberando aminoacidi 15-20 % e peptidi 75-85 % (n < 6 aminoacidi). A livello dei microvilli i peptidi vengono ulteriormente idrolizzati a mono e di-peptidi che entrano nella cellula per trasporto specifico, qui enzimi citoplasmatici li idrolizzano fino ad aminoacidi liberi che passano nei capillari del villo. L'assorbimento degli aminoacidi avviene per trasporto attivo a mezzo di carrier Na^+ dipendente. I sistemi di trasporto sono specifici per le forme levogire, mentre le forme destrogire passano per diffusione semplice.

Digestione ed assorbimento dei glucidi

I glucidi della dieta costituiscono mediamente il 50 % delle calorie ingerite. Sono costituite per il 60 % da polisaccaridi (amido, glicogeno) per il 40 % da disaccaridi (saccarosio 30 %, lattosio 10 %). Gli enzimi che intervengono sono:

- enzimi intraluminari *alfa*-amilasi che sono secreti nella saliva e dal pancreas; agisce sui legami 1,4 α -glucosidici. I prodotti finali dell'amido e del glicogeno sono α -destrine (30 %) maltoso (40%) e maltotrioso (25 %).
- enzimi intracellulari i disaccaridi vengono scissi da oligosaccarasi localizzate nella superficie cellulare degli enterociti, sono delle glicoproteine:
- maltasi scinde i legami 1-4 α glucosidici del maltosio e del maltotrioso formando glucosio
- saccarasi idrolizza il saccarosio dando glucosio e fruttosio
- α -dextrinasi idrolizza le α -destrine a livello del legame 1,6 glucosidico dando glucosio
- lattasi idrolizza il lattosio dando galattosio e fruttosio

Quindi l'80 % dei glucidi alimentari viene idrolizzato a glucosio. Il sistema di trasporto attraverso l'epitelio intestinale è di tipo specifico. Il carrier (PM 3400.000) è una proteina di membrana. Il meccanismo è analogo a quello del tubulo contorto prossimale del rene. Il glucosio entrato con il Na trasportato dal carrier, si libera da quest'ultimo e si concentra nel citoplasma (15 volte); esce dall'enterocita nei capillari per diffusione (nel senso del gradiente) passando nel sangue dove la sua concentrazione è inferiore. Il Na^+ entrato con il carrier, viene poi pompato negli spazi interstiziali con spesa di energia..

Assorbimento delle vitamine

La vitamina B 12 ha un processo di assorbimento complesso :

- Nello stomaco
 - L'HCl distacca dalla cobalamina le proteine apoenzimatiche
 - Si forma un legame tra la cobalamina libera con la proteina R salivare
- Nell'intestino
 - Le proteasi pancreatiche distaccano la proteina R
 - C'è una rapida combinazione tra la cobalamina con il fattore intrinseco antipernicioso
 - Assorbimento a livello dell'ileo favorito dal Ca^{++} .

Le vitamine idrosolubili : sono composti di natura chimica diversi e sono adsorbite con meccanismi specifici a vari livelli dell'intestino tenue se a concentrazioni basse, altrimenti per semplice diffusione.

Le vitamine Liposolubili (A, β -carotene, E,D,K) vengono assorbite con modalità simili a quelle degli acidi grassi liberi a catena corta quindi per diffusione semplice.

MOTILITÀ DELL'INTESTINO TENUE

Le finalità della motilità intestinale è duplice: Facilitare i processi digestivi e di assorbimento, esercitare un'azione propulsiva su quanto di ingerito deve venire allontanato dal canale alimentare.

- Movimenti di segmentazione ritmica : che possono insorgere e scomparire contemporaneamente e alternativamente in più tratti dell'intestino; consistono in serie di contrazioni concentriche della muscolatura circolare, la porzione compresa tra due anelli di contrazione è rilasciata, successivamente l'anello di contrazione interesserà la porzione rilasciata mentre quelle adiacenti prima contratte si rilasceranno. Lo scopo è quello di rimescolare il contenuto con i succhi digestivi, non fa progredire che minimamente il contenuto lungo il canale alimentare
- Movimenti pendolari : hanno un significato funzionale analogo al precedente ma interessa solo la muscolatura longitudinale, anch'essi non hanno effetto propulsivo
- Movimenti peristaltici : insorgono essenzialmente come riflessi locali che coinvolgono - meccanoettori a bassa ed alta soglia di attivazione, situati nella mucosa- plessi intramurali - fibrocellule muscolari lisce.

La distensione delle pareti dell'intestino , provocata dal cibo, eccita i recettori a bassa soglia che determinano la contrazione della muscolatura longitudinale insieme alla inibizione reciproca della muscolatura circolare. L'aumentata distensione radiale stimola i recettori ad alta soglia che determinano un energico anello di contrazione della muscolatura circolare a valle del rilasciamento di quella longitudinale. Questo anello di contrazione si propaga ad una velocità di 5-25 cm/sec.

DIGESTIONE NELL'INTESTINO CRASSO

La secrezione del crasso è prevalentemente mucosa (pH 7,5- 8) Nei **carnivori** - compito principale dell'assorbimento di elettroliti, di vitamine, di sali minerali, e di acidi grassi , l'assorbimento di acqua trasforma il chimo semiliquido in un materiale poltaceo che viene eliminato come feci. Negli **erbivori monogastrici** cavallo; coniglio e nel onnivori maiale - nel grosso intestino degli equidi le fermentazioni microbica è piuttosto intensa, ma i microrganismi che attuano i processi fermentativi non vengono utilizzati attraverso la digestione del succo gastrico ed enterico come nei ruminanti, gli AGV prodotti vengono assorbiti dalla mucosa del crasso, ma giocano un ruolo metabolico minore . Nel coniglio le fermentazioni degli alimenti fibrosi avvengono nel cieco e nel colon, che consente di poter disporre non solo di AGV per il metabolismo energetico, ma di arricchire di materiale fermentato una imponente schiera di microrganismi che può utilizzare come fonte proteica della sua razione. Ciò è possibile per l'attività motoria del crasso che separa a livello del cieco il materiale solido da quello più colliquato, lo convoglia rapidamente al retto, questo materiale fecale soffice non conformato in scibale viene reintrodotta in bocca dal coniglio che può così utilizzarlo come una supplementazione proteica e anche un apporto di vitamine idrosolubili.(questo fenomeno è detto ciecotrofismo).

DEFECAZIONE

La defecazione si ha per contrazione delle pareti intestinali e per la modificazione del tono degli sfinteri interno costituito da m.lisci involontari ed esterno costituito da m. striati. Quando i movimenti peristaltici del colon hanno determinato il riempimento del retto si ha il rilasciamento dello sfintere interno, mentre quello esterno è mantenuto in uno stato di contrazione tonica. la

defecazione è un atto riflesso che può esser inibito , mantenendo volontariamente contratto lo sfintere esterno, o facilitato , rilasciando detto sfintere e contraendo i muscoli addominali a glottide chiusa.

PRINCIPALI ENZIMI DIGESTIVI DEL TUBO GASTROENTERICO

Sede produzione	Enzima	Attivatore	Substrato	Azione Prodotti	pH
Gh salivari	Ptialina		amido cotto	destrine- maltotrioso maltoso e glucosio	6,7
Stomaco	Pepsina (Pepsinogeni)	HCl	Proteine Poliipeptidi	Endopeptidasi aa. aromatici	1,5 3,5
	Tripsina (Tripsinogeno)	Enterochinasi	Proteine Poliipeptidi	idrolizza legami peptidici tra aa basici ed altri aa	7,8
	Chimotripsine A e B (Chimotripsinogeni)	Tripsina	Proteine Poliipeptidi	idrolizza legami peptidici tra aa aromatici ed altri aa	7,8
Pancreas esocrino	Carbossipeptidasi A e B (Procarbossipeptidasi)	Tripsina	Proteine Poliipeptidi	A idrolizza COOH aa catene laterali aromatiche o alifatiche B idrolizza COOH aa catene laterali basiche	7,8 8,5
	Elastasi (Proelastasi)	Tripsina	Elastina ed altre prot. del collagene	Legami peptidici adiacenti ad aa neutri	8,5

	Ribonucleasi		RNA	Nucleotidi	7,7
	Desossiribonucleasi		DNA	Nucleotidi	6,7
	Lipasi	Agenti emulsionanti	Trigliceridi	2-monogliceridi ac. grassi	7 8,5
	Fosfolipasi (Profosfolipasi)	Tripsina	Lecitine	Lisolecitina	7
	α -amilasi	Cl ⁻	Amidi anche crudi	destrine- maltotrioso maltoso e glucosio	7
	Enterochinasi		Tripsinogeno	Tripsina	5,8
	Aminopeptidasi		Polipeptidi	Idrolizza l'aa con il gruppo NH ₂ libero	8 8,5
Mucosa Intestnale	Dipeptidasi		Dipeptidi	Due aminoacidi	8
	Oligosaccarasi: Maltasi Lattasi Saccarasi Isomaltasi		Maltosio Lattosio Saccarosio Destina	Glucosio Galattosio e glucosio Fruttosio e glucosio Glucosio	6
	Nucleasi		Ac nucleico	Pentoso e basi puriniche e pirimidiniche	-

FUNZIONI DEL FEGATO

Nel fegato si attuano una miriade di processi metabolici di ossidazione e di riduzione, di degradazione e di sintesi nell'ambito del metabolismo dei glicidi, dei protidi, dei lipidi, dei composti azotati non proteici, degli acidi biliari, dei pigmenti biliari, e di numerose vitamine .

Metabolismo glucidico

Glicogenosintesi- il glicogeno epatico (3-6% peso org.) nei monogastrici e nel vitello non divezzo, viene sintetizzato principalmente a partire da glucosio ematico, può altresì da altri metaboliti quali aminoacidi glucogenetici e lipogenetici, il cui scheletro carbonioso dà luogo a formazione di glucosio come l'acido lattico, gli ac. grassi a numero dispari di atomi di carbonio, il glicerolo e l'ac. proprionico. Nel bovino divezzo la sintesi di glicogeno avviene attraverso la gluconeogenesi dai metaboliti predetti ma principalmente dall'ac. proprionico di origine ruminale che entra nel processo gluconeogenetico attraverso il ciclo dell'acido citrico. Da ricordare nei ruminanti il valore basso della glicemia, gli acidi grassi volatili acetico, proprionico e butirrico costituiscono un apporto energetico di ca. 80 % . La glicogenosintesi epatica è regolata da vari fattori soprattutto ormonali, l'insulina la stimola ed inibisce la glicogenolisi, i glucocorticoidi la stimolano, l'adrenalina favorisce la glicogenolisi a livello epatico e muscolare, il glucagone solo a livello epatico. Glicogenolisi è il processo di demolizione del glicogeno che si svolge nel fegato, nel muscolo e nel rene. Quella epatica è importante per la regolazione della glicemia gluconeogenesi è il processo mediante il quale il fegato realizza la sintesi di glucosio a partire da precursori quali i lipidi, le proteine ed il proprionato . Gli ormoni *glucocorticoidi*, il *glucagone* e l'*adrenalina* la favoriscono stimolando la sintesi di enzimi specifici mentre l'insulina la deprime. Glicolisi attraverso la via Embden-Meyerhof, anche se non esclusiva del fegato costituisce la più importante via di utilizzazione sia del glucosio che del glicogeno. Gli esosi vengono degradati a piruvato che per decarbossilazione ossidativa , dà origine all'acetato e quindi a citrato -- ciclo degli acidi tricarbossilici di Krebs

Glicogenesi è il processo di sintesi di glucosio a partire dai suoi metaboliti e si realizza per via inversa a quella di Embden-Meyerhof. Il fegato è capace di trasformare il fruttosio, mannosio e galattosio in glucosio.

Metabolismo lipidico

La funzione più importante del fegato è la biosintesi delle lipoproteine plasmatiche . inoltre sintetizza, utilizza e rimangono gli acidi grassi liberi (NEFA), che specialmente per i ruminanti, rappresentano metaboliti energetici ancora più importanti del glucosio, nonché la sintesi dei fosfolipidi e del colesterolo.

Sintesi degli acidi grassi

Questa attività è presente negli adipociti e anche negli epatociti e nelle cellule di Kupffer. L'anabolismo degli acidi grassi saturi può realizzarsi attraverso le vie mitocondriale e citoplasmatica. è importante l'acetil-CoA-carbossilasi che consente la trasformazione dell'acetato in malonato. Nei ruminanti il glucosio fornisce modeste quantità di acetil-CoA che in gran parte viene fornito dall'acetato di origine ruminale. Il fegato capta una quota importante dei NEFA derivante dalla dissociazione dei chilomicroni o dalla lipolisi adipocitaria e li utilizza attraverso le vie metaboliche:

- 1) la beta ossidazione
- 2) la trasformazione in corpi chetonici quali acetoacetato, acetone, beta idrossibutirrato.
- 3) l'esterificazione. l'esterificazione dei NEFA porta attraverso il colesterolo, il glicerofosfato e il glicerolo a steroidi, fosfolipidi, e soprattutto a trigliceridi che possono essere legati a proteine a formare lipoproteine o essere depositati nel fegato. La sintesi delle lipoproteine consiste nel legame dei trigliceridi, NEFA, colesterolo libero e fosfolipidi a alfa e beta globuline. In base alla loro densità e quindi al rapporto percentuale tra lipidi e proteine presenti in essi si distinguono tre classi:

- VLDL (very low density lipoproteins) ricche di trigliceridi 53% e povere di proteine 10%
- LDL (low density lipoproteins) proteine 21% esteri del colesterolo 37% trigliceridi 11%
- HDL (high density lipoproteins) proteine 50%
- Sintesi dei fosfolipidi vengono sintetizzati a livello del reticolo endoplasmatico liscio a partire dagli acidi grassi liberi metabolismo epatico del colesterolo la biosintesi del colesterolo è tipica dell'epatocita anche se tutte le cellule possono effettuarlo. il catabolismo del colesterolo porta alla formazione degli acidi biliari , degli ormoni steroidei e degli esteri del colesterolo.

Gli acidi biliari sono prodotti specifici dell'attività metabolica degli epatociti ed in essi risulta convertito l'80 % del colesterolo epatico

Metabolismo proteico

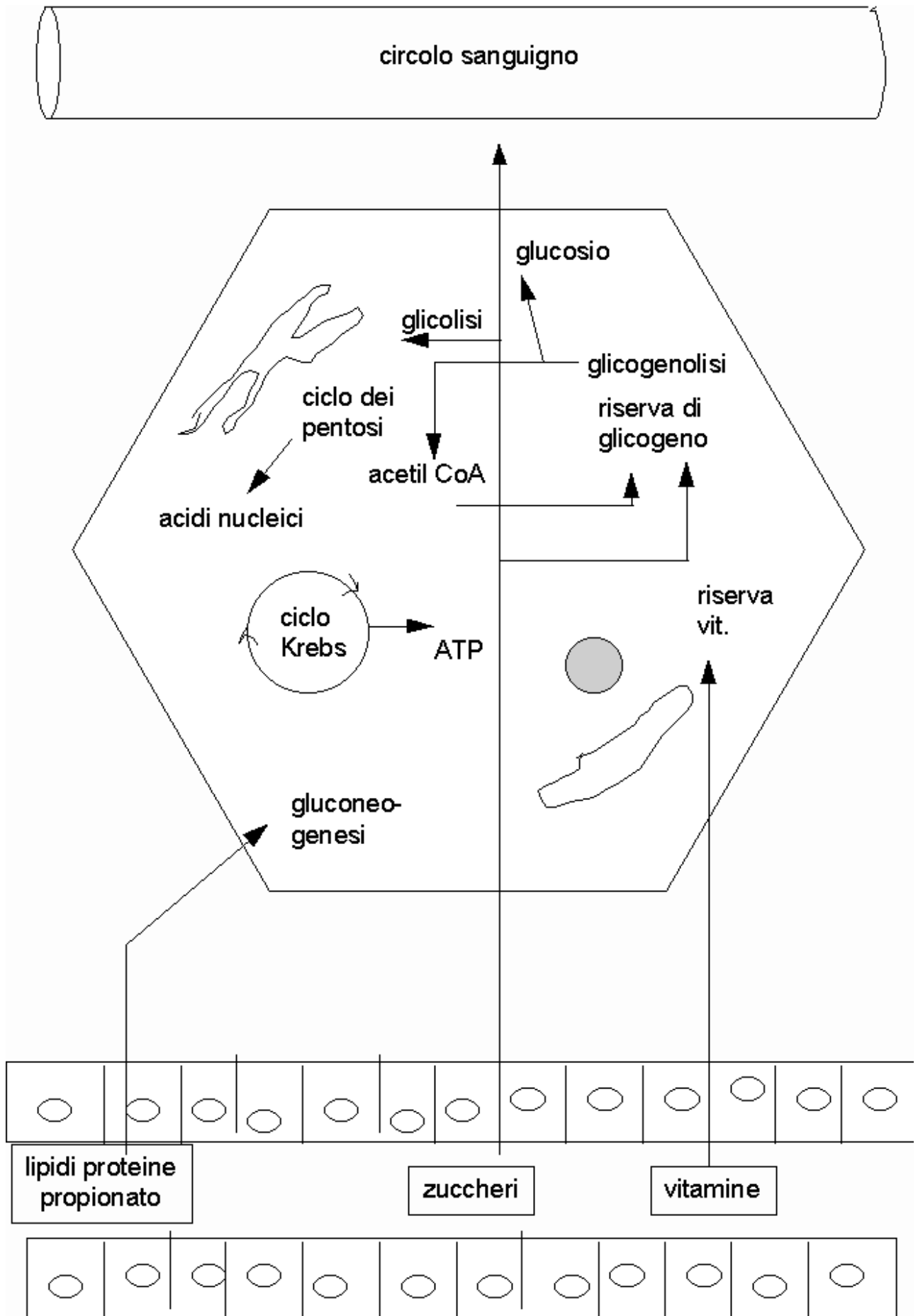
Per le proteine , differenza dei lipidi e dei glucidi, non esistono forme di deposito da utilizzare in caso di necessità. Le proteine dell'organismo sono soggette di continuo a scissione e resintesi e, pertanto, i componenti cellulari vanno incontro ad un intenso ricambio di proteine. Le nuove molecole proteiche vengono sintetizzate a partire da aminoacidi presenti in circolo, il pool di questi presente nel plasma è condizionato sia dall'idrolisi delle proteine di origine alimentare e tissutali e per gli aminoacidi non essenziali dalla loro biosintesi, dalla loro captazione ed utilizzazione tissutale particolarmente da parte del fegato ed infine dalla loro eliminazione urinaria.

Biosintesi delle proteine plasmatiche

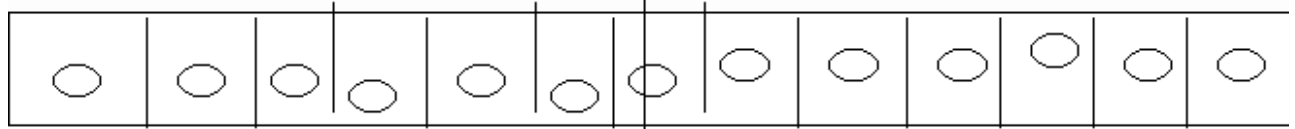
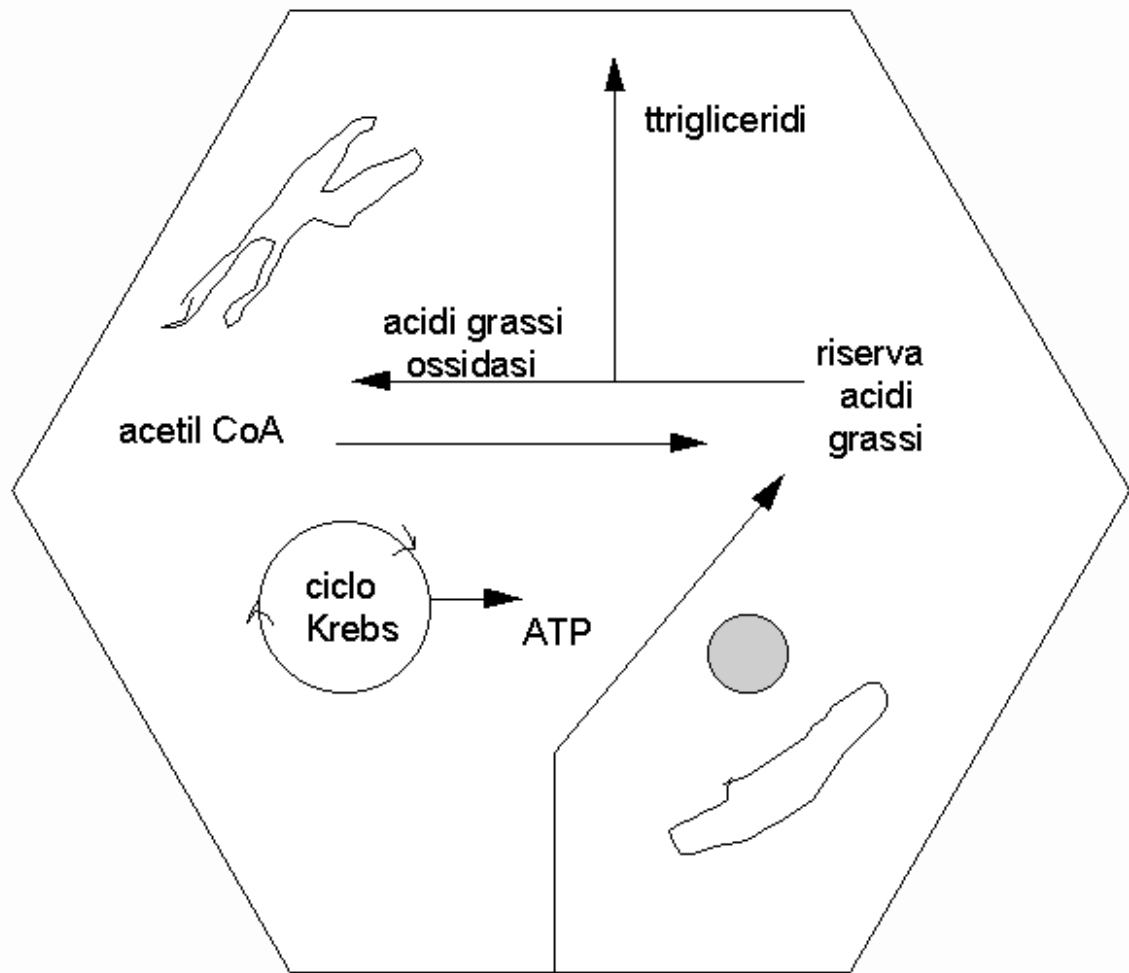
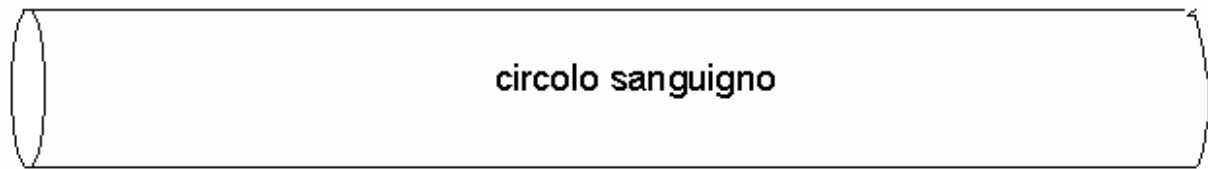
Sono l'*albumina*, le *alfa 1*, *alfa 2*, *beta* e *gamma globuline* ed il *fibrinogeno*. Nel fegato avviene la biosintesi delle albumine, della maggior parte delle alfa e beta globuline e del fibrinogeno. Sintesi di proteine cellulari le catene polipeptidiche sono sintetizzate a livello dell'ergastoplasma a partire da aminoacidi liberi secondo il codice del DNA nucleare, trasmesso dall'RNA messaggero. Gli ormoni corticosteroidi che hanno in genere un effetto catabolizzante sulle proteine , a livello epatico manifestano un'azione nettamente anabolizzante.

Trasformazione degli aminoacidi

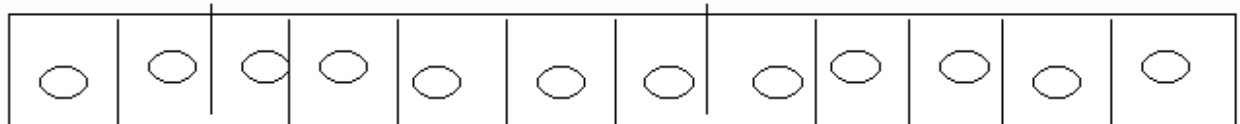
Le **transaminazioni** sono reazioni di grande rilievo che consentono di raccogliere i gruppi aminici dei vari aminoacidi nella forma di uno solo aminoacido, di solito l'acido glutammico e rendono poi possibile la degradazione ossidativa indiretta dei L aminoacidi. La transaminasi glutammico-ossalacetica (**GOT**) e la glutammico-piruvica (**GPT**) sono particolarmente attive .Gli aminogruppi che sono stati raccolti dalle transaminasi vengono ulteriormente mobilizzati dalla reazione catalizzata dalla glutammato deidrogenasi una reazione di deaminazione ossidativa che da origine a chetocidi . Le caratteristiche di demolizione degli aminoacidi sono anche importanti ai fini dei processi anabolici dell'area comune del metabolismo. infatti gli aminoacidi si possono dividere in glucogenetici, glucochetogenetici e lipogenetico (chetogenetici) e lipogenetici.



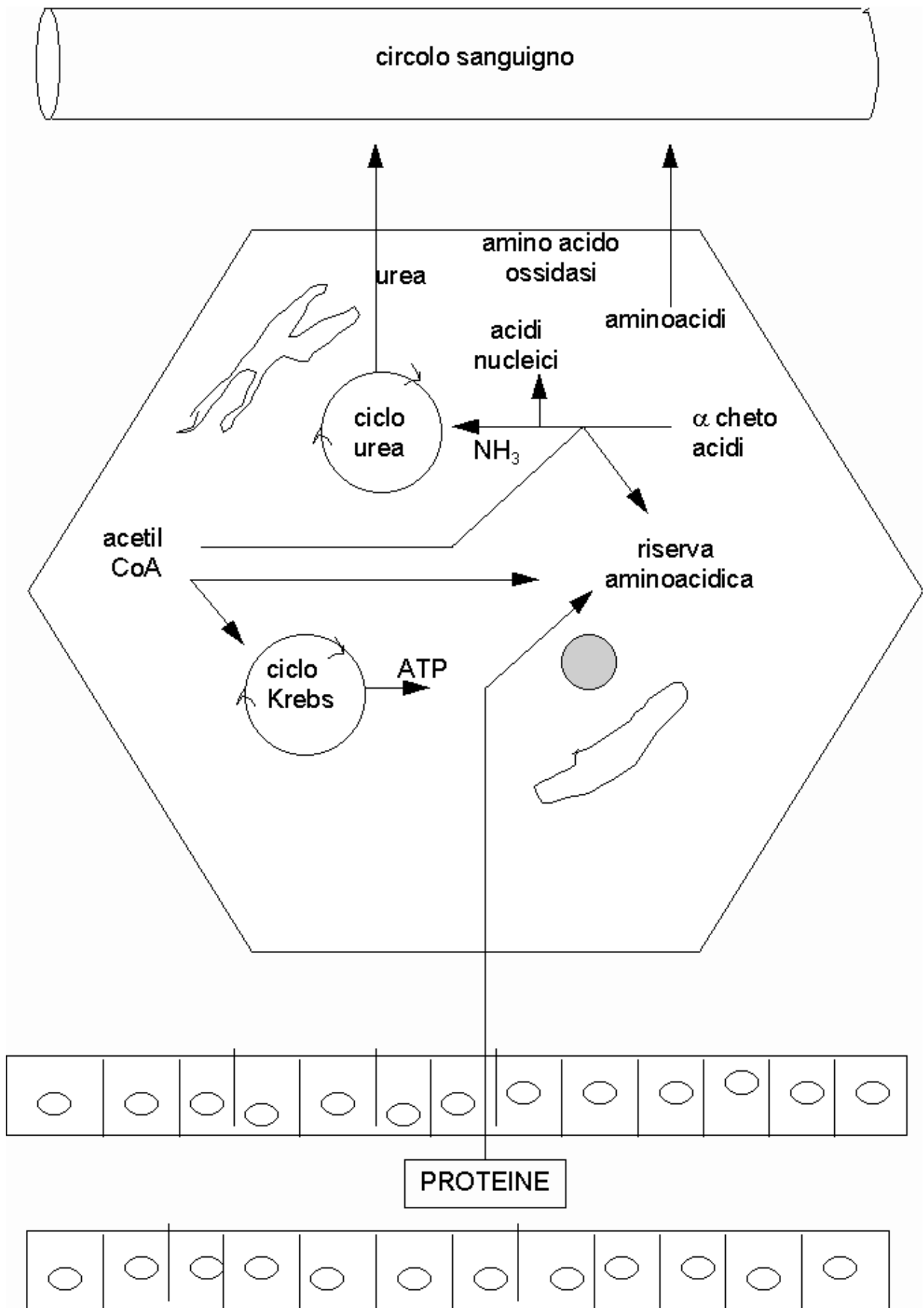
Fegato e metabolismo glucidico



lipidi



Fegato e metabolismo lipidico



Fegato e metabolismo proteico

Fegato metabolismo generale

Metabolismo dei composti azotati non proteici

L'ureogenesi è una funzione di particolare importanza in quanto permette di neutralizzare l'ammoniaca, altamente tossica, che insieme alla CO₂, l'ornitina, la citrullina, l'acido aspartico e l'arginina nel ciclo di Krebs-Henseleit che si chiude con la formazione dell'urea che liberata nel sangue viene eliminata con le urine. Nei ruminanti l'urea attaccata dall'ureasi dei microrganismi libera a livello ruminale ammoniaca in grande quantità.