

David Sadava  
David M. Hillis  
H. Craig Heller  
Sally D. Hacker



# Η ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΤΗΣ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ

Γενική Βιολογία · Γενετική · Εξέλιξη

## Κεφάλαιο 38

Διατροφή, Πέψη και Απορρόφηση

Πρώτη ελληνική έκδοση  
Ενδέκατη αμερικανική Έκδοση

Επιστημονική επιμέλεια  
της ελληνικής έκδοσης  
Μαρία Γαζούλη



ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΠΑΠΑΖΙΣΗ

38.1 Food Provides Energy As Well As Materials for Biosynthesis

38.2 Diverse Adaptations Support Ingestion and Digestion of Food

38.3 The Vertebrate Gastrointestinal System Is a Disassembly Line

38.4 Nutrient Availability Is Controlled and Regulated

- The Pima population of Arizona experienced frequent periods of food deprivation—strong selection pressure for “thrifty genes” involved in digestion and energy storage and efficient conversion of food into fat.
- This population now also eat a high calorie, high-fat Western diet, instead of their traditional diet, and are more sedentary.
- These factors contribute to obesity and diabetes, and the Pima people in the United States suffer high rates of obesity, diabetes, and heart disease.

## Focus Your Learning

- Fats, carbohydrates, and proteins in food provide energy.
- Energy is stored in animal bodies as glycogen and fat.
- Some small organic molecules required for biosynthesis must come from food, including essential amino acids and fatty acids.
- Vitamins are organic compounds the animal cannot synthesize but are required for healthy cell function.
- Animals require a variety of mineral nutrients.



- Animals are heterotrophs: they derive their nutrition by eating other organisms.
- Autotrophs synthesize their own components using solar or chemical energy.
- Heterotrophs depend on this synthesis and have evolved a variety of adaptations to take advantage of it.

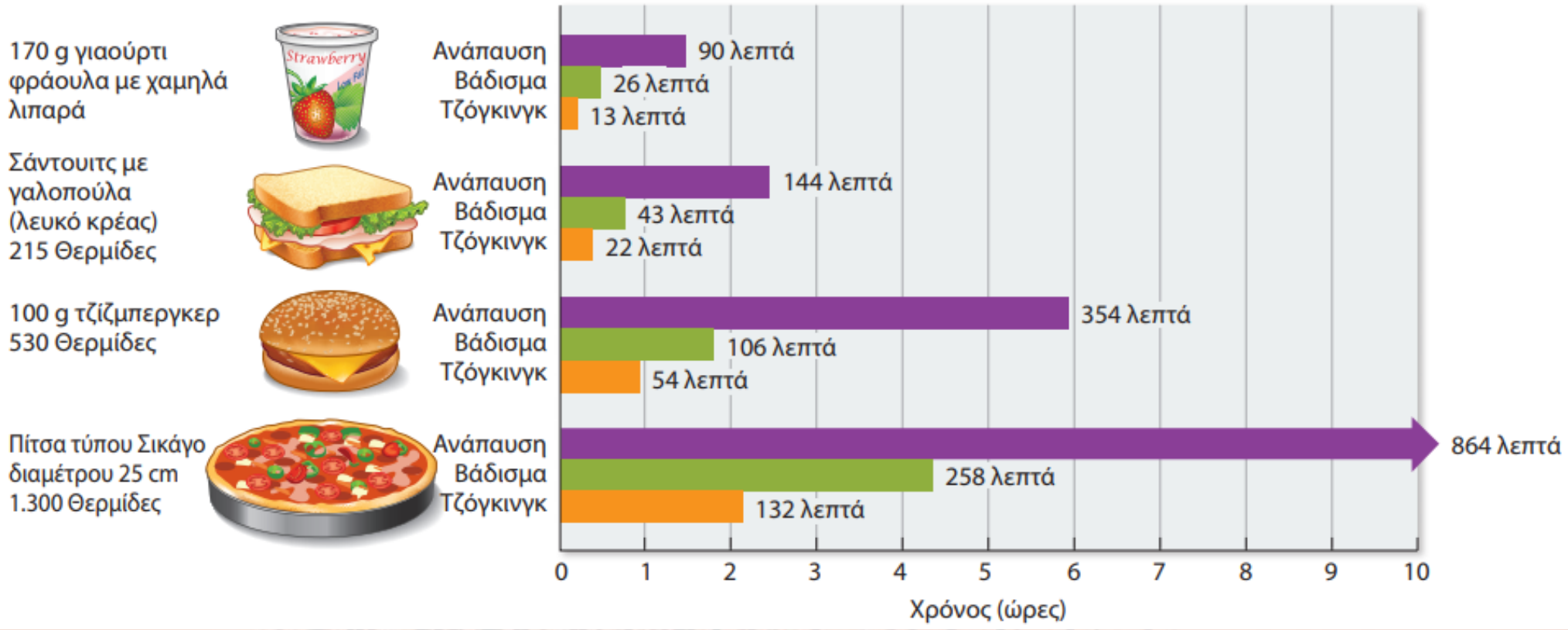
**Εικόνα 38.1** Οι Ετερότροφοι Οργανισμοί Λαμβάνουν Ενέργεια από τους Αυτότροφους (Α) Τα φυτοφάγα ζώα παίρνουν την ενέργειά τους άμεσα από τους αυτότροφους οργανισμούς. Τα ευμεγέθη φυτοφάγα ζώα των αφρικανικών λιβαδιών πρέπει να καταναλώσουν τεράστιες ποσότητες φυτικής ύλης για να καλύψουν τις διατροφικές τους ανάγκες. (Β) Η ενέργεια ενός σαρκοφάγου ζώου αποκτάται έμμεσα από τους αυτότροφους οργανισμούς, αφού η αποθηκευμένη ενέργεια σε ένα θήραμα είχε αποκτηθεί αρχικά από τους αυτότροφους οργανισμούς.

Energy—the capacity to do work—comes in different forms.

Measures of heat energy:

- A calorie is the amount of heat needed to raise 1 gram of water 1°C.
- A kilocalorie (kcal) = 1,000 calories. A Calorie (Cal) is the same as a kilocalorie.
- An animal's energy needs must be met by ingestion, digestion, and assimilation of food.
- The basal energy expenditure of a human is 1,300 to 1,500 Cal/day for an adult female and 1,600 to 1,800 Cal/day for an adult male.
- Physical activity adds to this basal metabolic rate (BMR).
- Foods that provide energy are fats, carbohydrates, and proteins.
- Caloric value of food and expenditure of energy for any activity can be measured.
- Energy budgets compare calories consumed and calories expended and allow a cost–benefit analysis of feeding behavior.

## Εικόνα 38.2 Η Ενέργεια της Τροφής και Πώς τη Χρησιμοποιούμε



**Εικόνα 38.2 Η Ενέργεια της Τροφής και Πώς τη Χρησιμοποιούμε** Η ενέργεια που περιέχεται σε τέσσερα κοινά φαγητά φαίνεται στα αριστερά. Τα διαγράμματα υποδηλώνουν πόσο χρόνο θα χρειαστεί ένα άτομο, με βασική ενεργειακή απαίτηση περίπου 1,800 Cal/ημέρα, για να καταναλώσει την αντίστοιχη ποσότητα ενέργειας, καθώς αναπαύεται, περπατάει ή κάνει τζόγκινγκ.

Animals must store food between meals.

Carbohydrates are stored in liver and muscle cells as glycogen—enough for about one day's energy needs.

Fat stores more energy per gram and with little water, which makes it more compact.

Proteins are not used for storage but can be metabolized as a last resort.

If an animal takes in too little food, metabolism of the body's own molecules begins.

- Glycogen and fat are broken down.
- Then proteins are metabolized, starting with blood plasma.

Metabolism of blood proteins leads to edema, a sign of kwashiorkor.

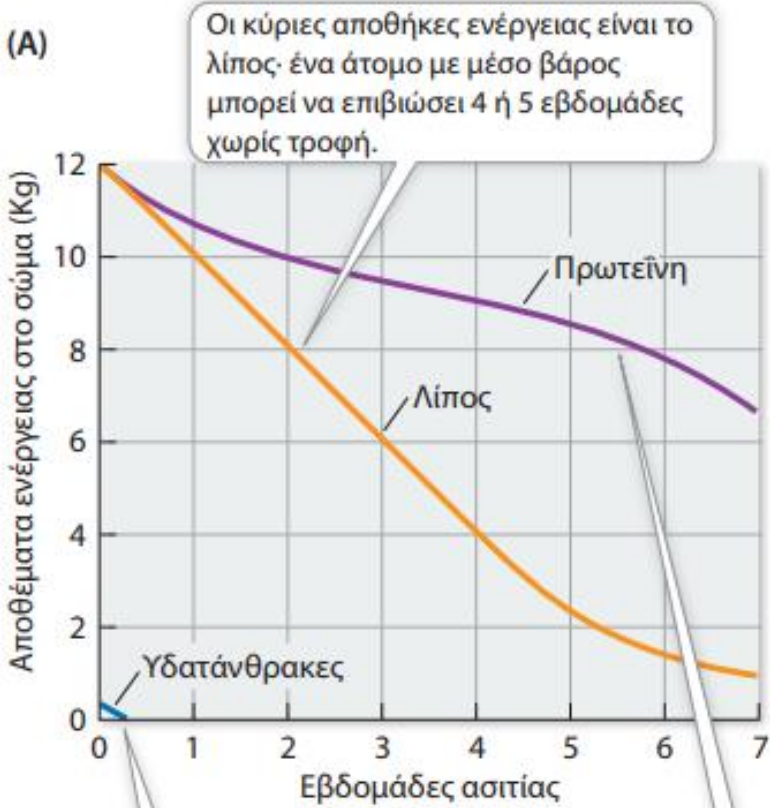
If an animal takes in more food than needed, the excess is stored as increased body mass.

- Glycogen reserves are built up.
- Extra carbohydrates, fats, and proteins are converted to body fat.



**Εικόνα 38.3** Η Επίδραση της Ασιτίας

(A) Όταν ένας άνθρωπος υποσιτιζείται, τα ενεργειακά αποθέματα του σώματος εξαντλούνται. (B) Η διογκωμένη κοιλιά, τα χέρια και τα πόδια αυτού του αγοριού οφείλονται σε οίδημα. Σε συνδυασμό με τα αδύνατα άκρα, αυτά είναι συμπτώματα του κβασιόρκορ, μιας ασθένειας που προκαλείται όταν το σώμα αποικοδομεί πρωτεΐνες του αίματος και μυϊκό ιστό για να τροφοδοτήσει τον μεταβολισμό.



Τα αποθέματα υδατανθράκων εξαντλούνται μέσα σε μία μέρα χωρίς πρόσληψη τροφής.

Όταν το σωματικό λίπος εξαντληθεί, η πρωτεΐνη εξαλείφεται με επιταχυνόμενο ρυθμό, γεγονός που έχει σοβαρές συνέπειες.



Animals require organic molecules to supply carbon skeletons, building blocks for larger organic molecules.

The acetyl group ( $\text{CH}_3\text{CO—}$ ) is used to build more complex molecules.

Acetyl groups must be obtained from food.

Amino acids are the building blocks of proteins.

Essential amino acids cannot be synthesized by an animal.

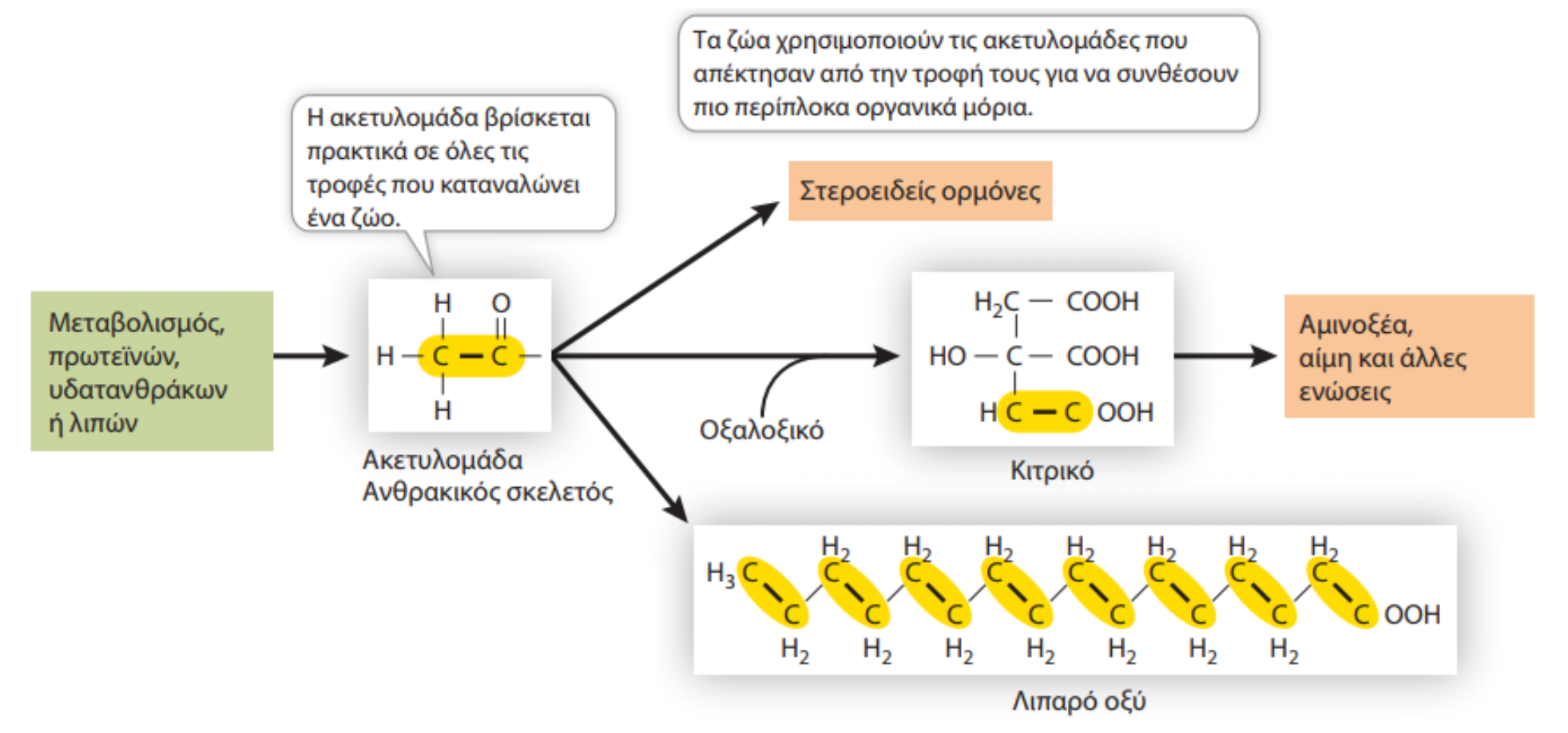
Adult humans must obtain 8 essential amino acids from their food.

A complementary diet of plant foods can supply all 8 essential amino acids for vegetarians.

Ingested proteins must be broken down to the constituent amino acids before being used by the body.

- Proteins are large and not readily absorbed by the gut.
- Protein structure and function vary by species.
- The immune system would attack protein molecules entering directly from the gut.

Εικόνα 38.34 Η Ακετυλομάδα είναι ένας Ανθρακικός Σκελετός που Λαμβάνεται με την Τροφή



**Εικόνα 38.34** Η Ακετυλομάδα είναι ένας Ανθρακικός Σκελετός που Λαμβάνεται με την Τροφή Τα ζώα δεν μπορούν να συνθέσουν την ακετυλομάδα, αλλά την προσλαμβάνουν μέσω της τροφής και τη χρησιμοποιούν για να συνθέσουν μια μεγάλη ποικιλία μορίων.

## Εικόνα 38.5 Μια Στρατηγική για τους Χορτοφάγους

Συνδυάζοντας σιτηρά με όσπρια, ένας ενήλικος χορτοφάγος μπορεί να προσλάβει και τα οκτώ απαραίτητα αμινοξέα.

Τα οκτώ απαραίτητα αμινοξέα για τους ενήλικους ανθρώπους

Δημητριακά (καλαμπόκι στα τσιπς τορτίγιας)	Τρυπτοφάνη Μεθειονίνη
	Βαλίνη Θρεονίνη Φαινυλαλανίνη Λευκίνη
	Ισολευκίνη Λυσίνη

Όσπρια (φασόλια σε άλειμμα φασολιών)

## 38.1 Food Provides Energy As Well As Materials for Biosynthesis

Humans also require essential **fatty acids** ( **$\alpha$ -linolenic acid:  $\omega$ -3 fatty acid and linoleic acid:  $\omega$ -6 fatty acid**) from their diet.

**Linoleic acid ( $\omega$ -6 fatty acid)** is one that helps synthesize other unsaturated fatty acids, including signaling molecules and membrane phospholipids.

**Macronutrients:** Elements required in large amounts, such as calcium.

**Micronutrients:** Elements required in tiny amounts, such as iron.

- Insufficient iron leads to anemia and is the most common mineral deficiency in the world today.

**Vitamins** are carbon compounds required for growth and metabolism that cannot be synthesized.

Most function as coenzymes or parts of coenzymes.

Required vitamins vary with species (e.g., primates cannot make vitamin C but other mammals can).

**Humans require 13 vitamins.**

- **Water-soluble vitamins:** eliminated in urine if there is an excess (e.g., vitamin C).
- **Fat-soluble vitamins:** can accumulate to toxic levels in body fat and the liver.

## Πίνακας 38.1 Απαραίτητα Μεταλλικά Στοιχεία για τα Ζώα (ΜΑΚΡΟΘΡΕΠΤΙΚΑ)

πίνακας 38.1 Απαραίτητα Μεταλλικά Στοιχεία για τα Ζώα

Στοιχείο	Πηγή στην ανθρώπινη διατροφή	Κύριες λειτουργίες
<b>ΜΑΚΡΟΘΡΕΠΤΙΚΑ</b>		
Ασβέστιο (Ca)	Γαλακτοκομικά, αυγά, πράσινα φυλλώδη λαχανικά, δημητριακά ολικής άλεσης, όσπρια, ξηροί καρποί, κρέας	Βρίσκεται στα οστά και στα δόντια· πήξη του αίματος· δραστηριότητα των μυών και των νεύρων· ενζυμική ενεργοποίηση
Χλώριο (Cl)	Επιτραπέζιο αλάτι (NaCl), κρέας, αυγά, λαχανικά, γαλακτοκομικά προϊόντα	Υδατικό ισοζύγιο· πέψη (ως HCl)· το βασικό αρνητικό ιόν στο εξωκυττάριο υγρό
Μαγνήσιο (Mg)	Πράσινα φυλλώδη λαχανικά, κρέας, δημητριακά ολικής άλεσης, ξηροί καρποί, γάλα, όσπρια	Απαιτείται από πολλά ένζυμα· βρίσκεται στα οστά και στα δόντια
Φώσφορος (P)	Γαλακτοκομικά προϊόντα, αυγά, κρέας, δημητριακά ολικής άλεσης, ξηροί καρποί	Συστατικό των νουκλεϊκών οξέων, του ATP και των φωσφολιπιδίων· σχηματισμός των οστών
Κάλιο (K)	Κρέας, δημητριακά ολικής άλεσης, φρούτα, λαχανικά	Δραστηριότητα νεύρων και μυών· πρωτεϊνοσύνθεση· κύριο θετικό ιόν στα κύτταρα
Νάτριο υγρό (Na)	Επιτραπέζιο αλάτι, γαλακτοκομικά προϊόντα, κρέας, αυγά	Δραστηριότητα νεύρων και μυών· υδατικό ισοζύγιο, κύριο θετικό υγρό στο εξωκυττάριο υγρό
Θείο (S)	Κρέας, αυγά, γαλακτοκομικά προϊόντα, ξηροί καρποί, όσπρια	Βρίσκεται σε πρωτεΐνες και συνένζυμα· αποτοξίνωση βλαβερών ουσιών

πίνακας 38.1 Απαραίτητα Μεταλλικά Στοιχεία για τα Ζώα		
ΜΙΚΡΟΘΡΕΠΤΙΚΑ		
Χρώμιο (Cr)	Κρέας, γαλακτοκομικά προϊόντα, δημητριακά ολικής άλεσης, όσπρια, μαγιά	Μεταβολισμός γλυκόζης
Κοβάλτιο (Co)	Κρέας, νερό βρύσης	Βρίσκεται στη βιταμίνη B <sub>12</sub> : σχηματισμός ερυθροκυττάρων
Χαλκός (Cu)	Συκώτι, κρέας, ψάρι, οστρακοειδή, όσπρια, δημητριακά ολικής άλεσης, ξηροί καρποί	Βρίσκεται στο ενεργό κέντρο πολλών οξειδοαναγωγικών ενζύμων και φορέων ηλεκτρονίων· παραγωγή αιμοσφαιρίνης· σχηματισμός οστών
Φθόριο (F)	Στα περισσότερα δημόσια δίκτυα ύδρευσης	Βρίσκεται στα οστά· βοηθάει στην πρόληψη της τερηδόνας
Ιώδιο (I)	Ψάρι, οστρακοειδή, ιωδιούχο αλάτι	Βρίσκεται στις ορμόνες του θυρεοειδούς
Σίδηρος (Fe)	Συκώτι, κρέας, πράσινα φυλλώδη λαχανικά, αυγά, δημητριακά ολικής άλεσης, όσπρια, ξηροί καρποί	Βρίσκεται στα ενεργά κέντρα πολλών οξειδοαναγωγικών ενζύμων και φορείς ηλεκτρονίων, αιμοσφαιρίνη, μυοσφαιρίνη
Μαγγάνιο (Mn)	Οργανικό κρέας, δημητριακά ολικής άλεσης, όσπρια, ξηροί καρποί τσάι, καφές	Ενεργοποιεί πολλά ένζυμα
Μολυβδαίνιο (Mo)	Οργανικό κρέας, γαλακτοκομικά προϊόντα, αυγά, δημητριακά ολικής άλεσης, πράσινα λαχανικά, όσπρια,	Βρίσκεται σε κάποια ένζυμα
Σελήνιο (Se)	Κρέας, θαλασσινά, δημητριακά ολικής άλεσης, αυγά, γάλα, σκόρδο	Μεταβολισμός λιπών
Ψευδάργυρος (Zn)	Συκώτι, ψάρι, οστρακοειδή, και πολλές άλλες τροφές	Βρίσκεται σε ορισμένα ένζυμα και σε κάποιους μεταγραφικούς παράγοντες

πίνακας 38.2 Βιταμίνες στην Ανθρώπινη Διατροφή

Βιταμίνη	Πηγή	Λειτουργία	Συμπτώματα Ανεπάρκειας
<b>ΥΔΑΤΟΔΙΑΛΥΤΕΣ</b>			
B <sub>1</sub> (θειαμίνη)	Συκώτι, όσπρια, δημητριακά ολικής άλεσης	Συνένζυμο στην κυτταρική αναπνοή	Μπέρι μπέρι, απώλεια όρεξης, κόπωση
B <sub>2</sub> (ριβοφλαβίνη)	Κρέας, αυγά, πράσινα φυλλώδη λαχανικά	Συνένζυμο στο FAD	Πληγές στις άκρες των χειλιών, ερεθισμός στα μάτια, δερματικές παθήσεις
B <sub>3</sub> (νιασίνη)	Κρέας, πουλερικά, συκώτι, μαγιά	Συνένζυμο σε NAD και NADP,	ελλάγρα, δερματικές παθήσεις, διάρροια, διανοητικές διαταραχές
B <sub>5</sub> (παντοθενικό οξύ)	Συκώτι, αυγά, μαγιά	Βρίσκεται στο ακέτυλο-CoA	Προβλήματα των επινεφριδίων, αναπαραγωγικά προβλήματα
B <sub>6</sub> (πυριδοξίνη δέρματος)	Συκώτι, δημητριακά ολικής άλεσης, γαλακτοκομικά προϊόντα	Συνένζυμο στον μεταβολισμό των αμινοξέων	Αναιμία, αργή ανάπτυξη, συσπάσεις του δέρματος
B <sub>7</sub> (βιοτίνη)	Συκώτι, μαγιά, βακτήρια στο έντερο	Βρίσκεται σε συνένζυμα	Προβλήματα στην επιδερμίδα, τριχόπτωση
B <sub>12</sub> (κοβολαμίνη)	Συκώτι, κρέας, γαλακτοκομικά προϊόντα	Σχηματισμός νουκλεϊκών οξέων πρωτεϊνών, ερυθροκύτταρα	Κακοήθης αναιμία
Φολικό οξύ	Λαχανικά, αυγά, συκώτι, δημητριακά ολικής άλεσης	Συνένζυμο στον σχηματισμό νουκλεοτιδίων	Αναιμία και αίμη
C (ασκορβικό οξύ)	Εσπεριδοειδή, ντομάτες, πατάτες	Σχηματισμός συνδετικού ιστού-αντιοξειδωτικό	Σκορβούτο, αργή επούλωση, φτωχή ανάπτυξη των οστών



πίνακας 38.2 Βιταμίνες στην Ανθρώπινη Διατροφή

ΛΙΠΟΔΙΑΛΥΤΕΣ			
A (ρετινόλη)	Φρούτα, λαχανικά, συκώτι, γαλακτοκομικά προϊόντα	Βρίσκεται στις οπτικές χρωστικές	Νυκτερινή τύφλωση
D (καλσιφερόλη)	Ενισχυμένο γάλα, ιχθυέλαια, ήλιος	Απορρόφηση ασβεστίου και φωσφορικών	Ραχίτιδα
E (τοκοφερόλη)	Κρέας, γαλακτοκομικά προϊόντα, δημητριακά ολικής άλεσης	Συντήρηση των μυών, αντιοξειδωτικό	Αναιμία
K (μεναδιόνη)	Εντερικά βακτήρια, συκώτι	Πήξη του αίματος	Προβλήματα στην πήξη του αίματος

- Vitamin D (calciferol) is essential for absorbing and metabolizing calcium.
- It is a special case because the body can synthesize it (by definition it is a hormone).
- Certain lipids are converted to vitamin D by UV light on the skin.
- People living at high latitudes may have evolved light skin to facilitate vitamin D production during the short winter days.
- Dark skin in the low latitudes protects against UV damage.
- Dark-skinned Inuit people get ample vitamin D from animal fat (especially whale blubber) and fish oils in their diet.

Nutrient deficiency leads to malnutrition; chronic malnutrition leads to deficiency diseases.

- Scurvy—lack of vitamin C
- Beriberi—lack of thiamin (vitamin B1) This disease led to the discovery of vitamins.

Deficiency disease can result from inability to absorb a nutrient.

In pernicious anemia, vitamin B12 (cobalamin) is not absorbed in the stomach.

Mineral deficiencies can also lead to disease.

- Iodine deficiency leads to hypothyroidism and goiter.
- Iron deficiency leads to anemia.

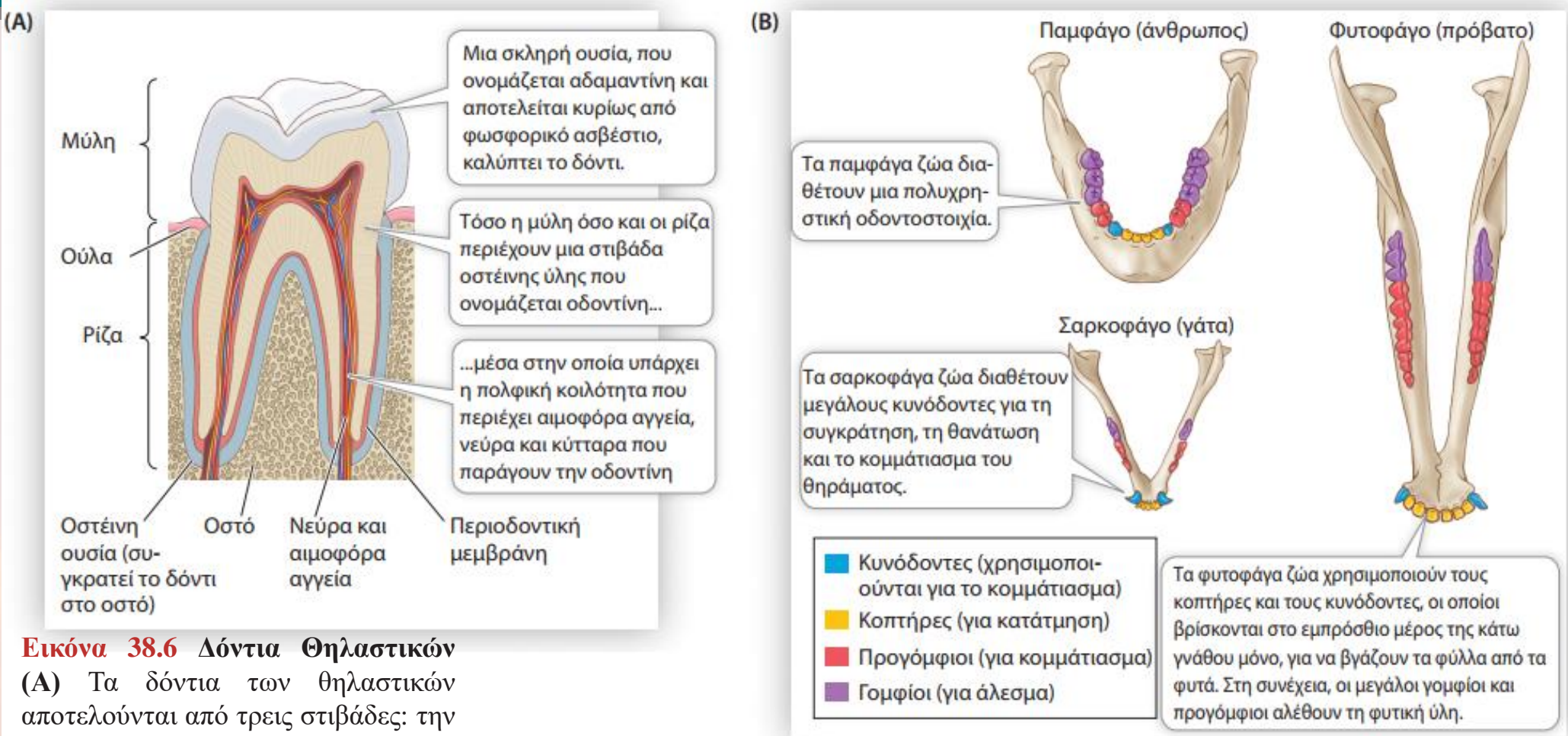
### Focus Your Learning

- Heterotrophs display a wide diversity of adaptations for acquiring and processing food.
- Digestion occurs in a body cavity where secreted enzymes break down large molecules into small molecules that cells can absorb.
- Heterotrophs rely on symbiotic bacteria residing in their digestive system to carry out essential tasks in digestion.

Heterotrophs acquire nutrition in different ways:

- Saprobies absorb nutrients from dead organic matter (e.g., protists and fungi).
- Detritivores or decomposers actively feed on dead organic matter.
- Predators feed on living organisms.
- Herbivores prey on plants.
- Carnivores prey on animals.
- Omnivores prey on plants and animals.
- Filter feeders filter small organisms from an aquatic environment.
- Fluid feeders include mosquitoes, leeches, aphids, hummingbirds.

Εικόνα 38.6 Δόντια Θηλαστικών



**Εικόνα 38.6** Δόντια Θηλαστικών  
**(A)** Τα δόντια των θηλαστικών αποτελούνται από τρεις στιβάδες: την αδαμαντίνη, την οδοντίνη και τον πολφό. **(B)** Τα δόντια διαφορετικών ειδών θηλαστικών εξειδικεύονται σε διαφορετικές δίαιτες. Αυτή η απεικόνιση δείχνει τα δόντια της κάτω γνάθου, όπως φαίνονται από πάνω.

Digestion begins with the teeth. Vertebrate teeth:

- Enamel, composed of calcium phosphate, covers the crown
- Dentine, (bony material) in the crown and root
- Pulp cavity, contains blood vessels, nerves, and dentine producing cells

Digestion usually begins in a body cavity.

**Gastrovascular cavities** connect to the outside through a single opening— jellyfish and other cnidarians.

**Tubular guts** have an opening at each end. A mouth takes in food, and wastes are eliminated through the anus.

Different regions in a tubular gut are specialized for particular functions.

Food is broken up in the mouth cavity by teeth, radula (snails), or mandibles (arthropods).

Most birds have gizzards with small stones for grinding food.

Some animals, such as snakes, simply ingest whole prey with little or no fragmentation.

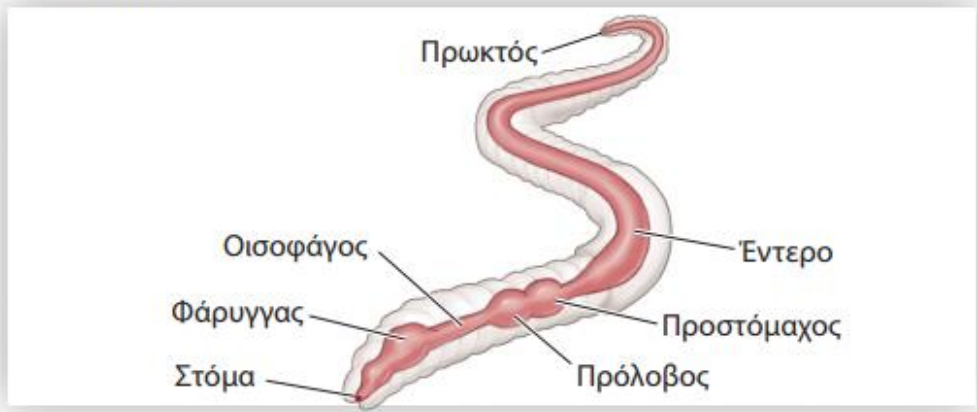
Stomachs and crops are storage chambers that allow for gradual digestion.

Food particles move from the stomach into the intestines.

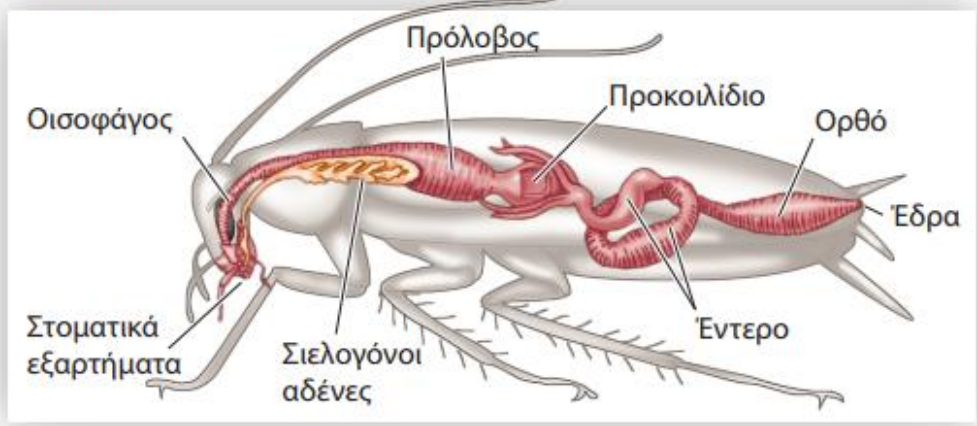
- Most digestion occurs in the intestine; nutrients, water, and ions are absorbed across its walls.
- Last segment recovers ions and water and stores undigested waste as feces.
- A muscular rectum expels feces.

# Εικόνα 38.7 Διαμερίσματα για Πέψη και Απορρόφηση

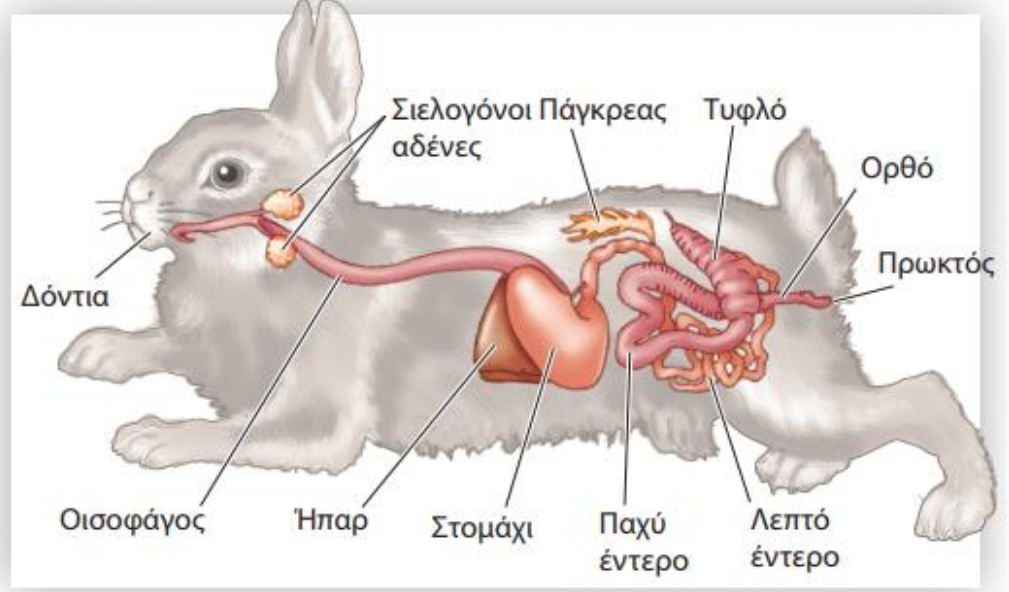
## Γαιοσκώληκας



## Κατσαρίδα



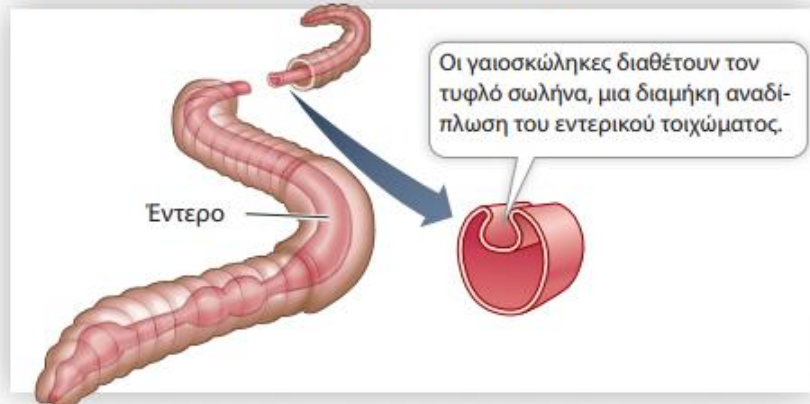
## Κουνέλι



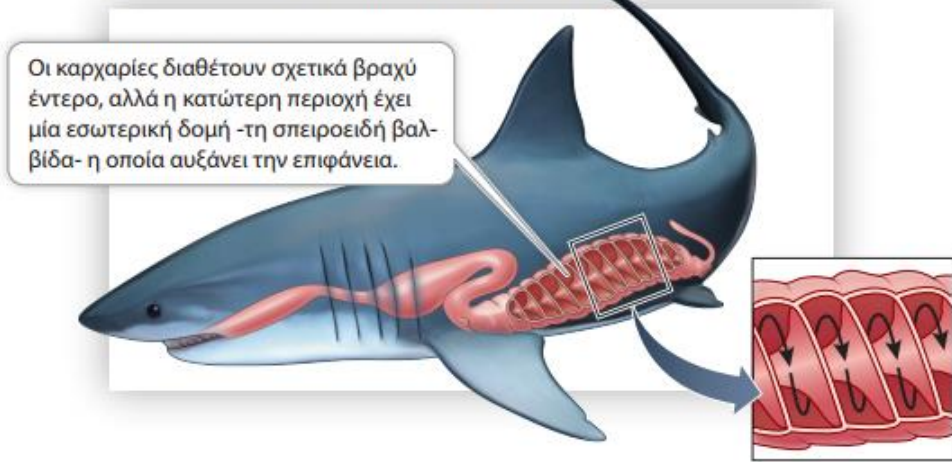
**Εικόνα 38.7 Διαμερίσματα για Πέψη και Απορρόφηση** Τα περισσότερα ασπόνδυλα και όλα τα σπονδυλωτά έχουν ένα σωληνοειδές γαστρεντερικό σύστημα που αρχίζει από το στόμα, όπου προσλαμβάνεται η τροφή, και καταλήγει στον πρωκτό, όπου απεκκρίνονται τα απόβλητα. Μεταξύ αυτών των δύο δομών βρίσκονται εξειδικευμένες περιοχές για την πέψη και την απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών· οι δομές σε αυτές τις περιοχές είναι προσαρμοσμένες σε διαφορετικές διατροφές και ποικίλλουν από είδος σε είδος.

# Εικόνα 38.8 Η Εντερική Επιφάνεια και η Απορρόφηση Θρεπτικών Συστατικών

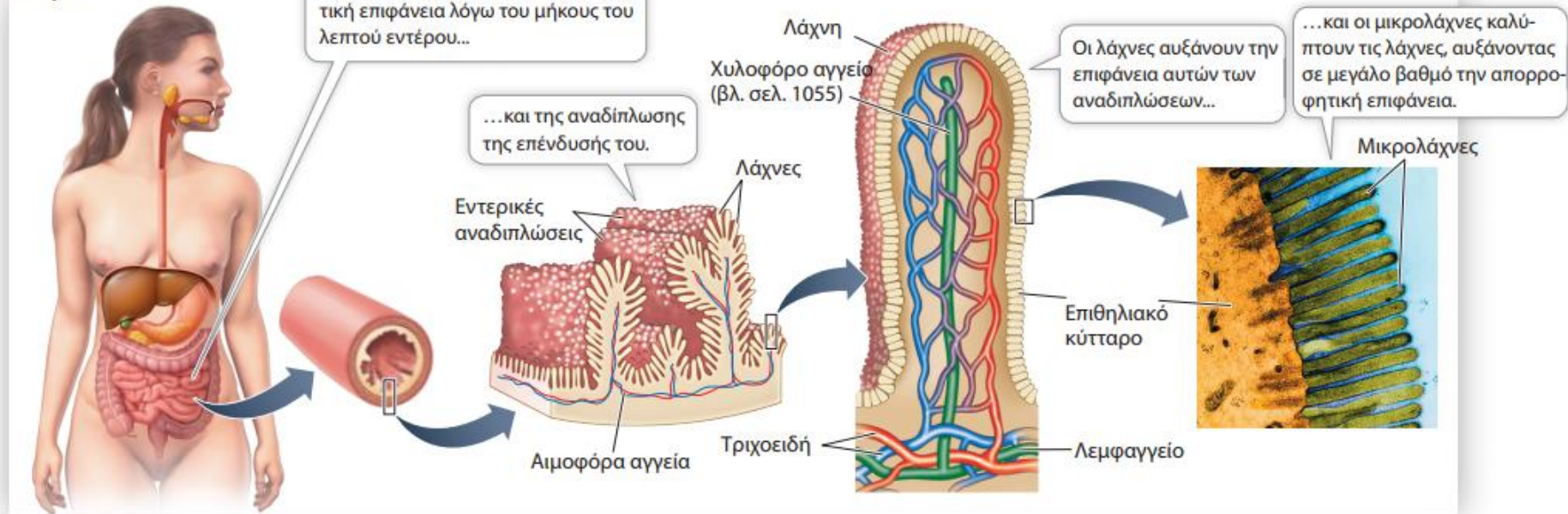
(Α) Η εντερική αναδίπλωση στον γαιοσκώληκα



(Β) Η σπειροειδής βαλβίδα στον καρχαρία



(Γ) Οι αναδιπλώσεις και οι λάχνες του ανθρώπινου εντέρου



**Εικόνα 38.8 Η Εντερική Επιφάνεια και η Απορρόφηση Θρεπτικών Συστατικών** Η μεγιστοποίηση της επιφάνειας του εντέρου αυξάνει την ικανότητα του ζώου να απορροφά τα θρεπτικά συστατικά.



Macromolecules are broken down by hydrolytic enzymes. They cleave bonds by hydrolysis and are classified according to the substance they hydrolyze:

- **Proteases**
- **Carbohydrases**
- **Peptidases**
- **Lipases**
- **Nucleases**

The gut is colonized by a huge population of microorganisms, mostly bacteria, called the microbiota.

Their cumulative genomes are called the microbiome.

Gut microbiota get nutrition from food passing through the gut and contribute to the host's digestive processes.

In humans, gut microbiota also produce vitamin K and biotin.

Gut microbiomes are not constant, but are influenced by diet and other factors, including medications.

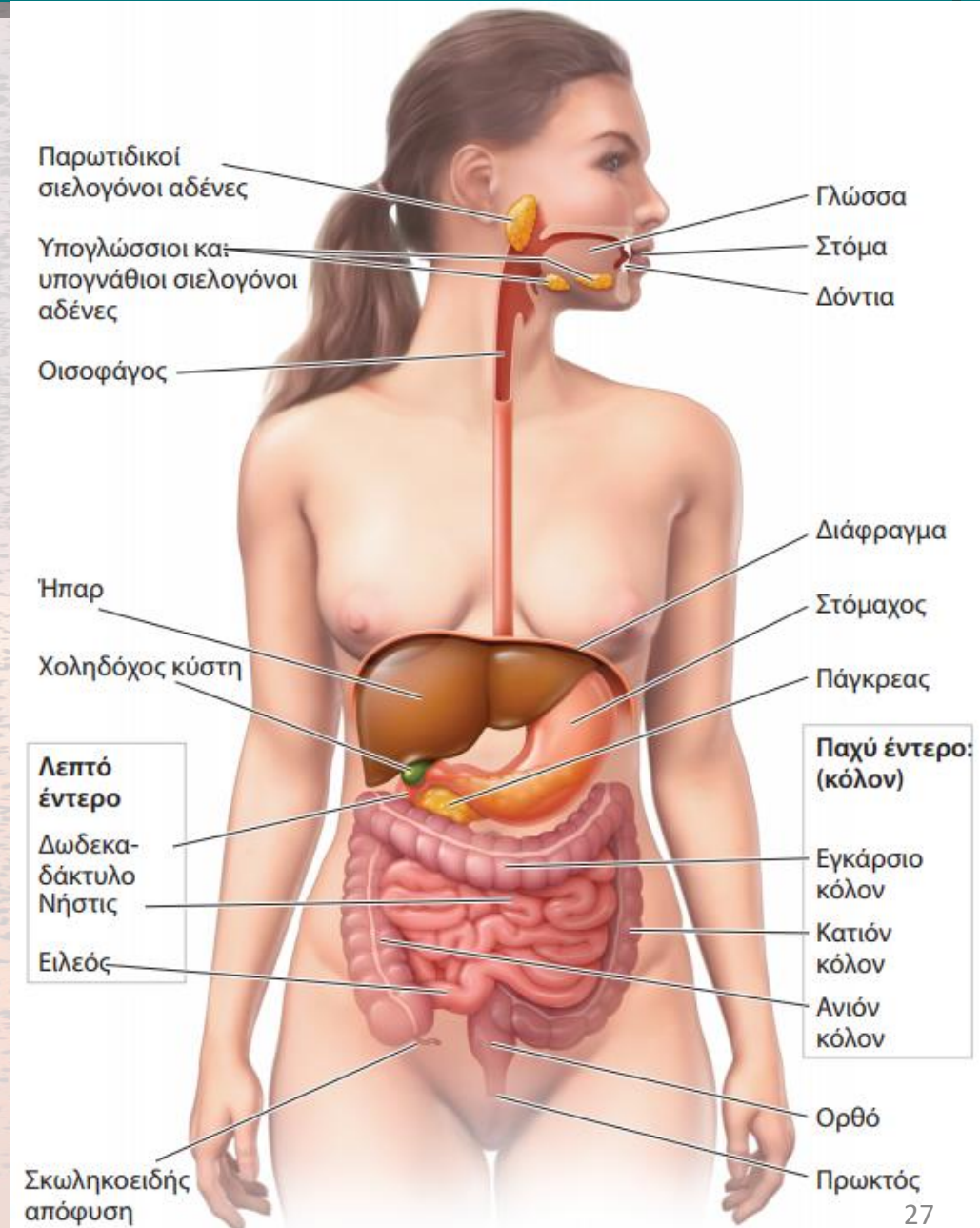
They may be more important than simply facilitating digestion.

### Focus Your Learning

- Movement of food through the gut is controlled by CNS reflexes and the enteric nervous system.
- A variety of chemical and physical processes take place in different parts of the digestive system to efficiently break down food into forms that the body can use.
- Herbivores do not produce the cellulases needed to digest cellulose in their plant diet, and thus require microbiota to carry out this task.

## Εικόνα 38.9 Το Γαστρεντερικό Σύστημα του Ανθρώπου

**Εικόνα 38.9** Το Γαστρεντερικό Σύστημα του Ανθρώπου  
Διαφορετικά διαμερίσματα στο επίμηκες, σωληνοειδές γαστρεντερικό σύστημα εξειδικεύονται στην πέψη της τροφής, στην απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών και στην αποβολή των άχρηστων ουσιών. Βοηθητικά όργανα συμβάλλουν με εκκρίσεις που περιέχουν ένζυμα και άλλα μόρια.



## 38.3 The Vertebrate Gastrointestinal System Is a Disassembly Line

Tissues of the vertebrate gut are arranged in layers:

- **Lumen:** The gut cavity.
- **Mucosa:** Epithelial cells that secrete mucus, digestive enzymes, or hormones; some absorb nutrients through microvilli; in the stomach some secrete hydrochloric acid.
- **Submucosa:** Blood and lymph vessels pick up nutrients.

Nerves in the submucosa have sensory functions and control various secretory functions.

**Two layers of smooth muscle** are outside the submucosa:

**Circular muscle layer:** Innermost cells oriented around the gut; constrict gut.

**Longitudinal muscle layer:** Outermost cells oriented along the gut; shorten gut.

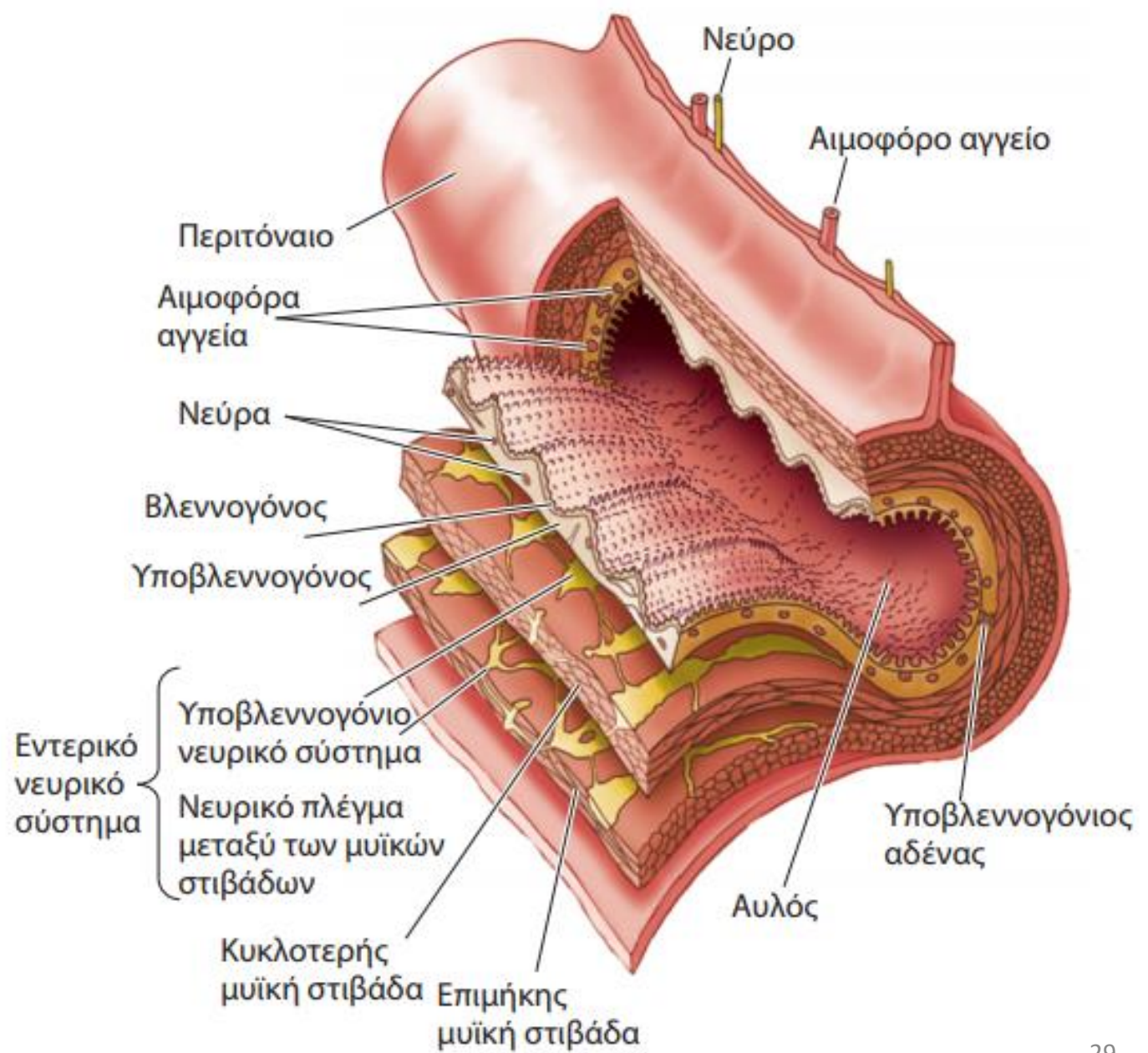
- Nerve nets in the submucosa and between smooth muscle layers form the **enteric nervous system**. These nerves only form synapses with other nerves in the network. They are responsible for communication within the gut. The CNS can influence the system, but it is autonomous.

- **Peritoneum:** Membrane surrounding the gut and lining the wall of the cavity.

Includes connective and epithelial tissues that secrete lubricating fluids so organs can easily slide against each other in the body cavity.

**Εικόνα 38.10** Στιβάδες Ιστού στο Γαστρεντερικό Σύστημα των Χορδωτών

Η οργάνωση των στιβάδων ιστού είναι η ίδια σε όλα τα διαμερίσματα του γαστρεντερικού συστήματος, αλλά εξειδικευμένες προσαρμογές συγκεκριμένων ιστών χαρακτηρίζουν διαφορετικές περιοχές.



## 38.3 The Vertebrate Gastrointestinal System Is a Disassembly Line

Movement of food through gut:

- Food is chewed and mixed with saliva.
- Tongue pushes a bolus to the soft palate, initiating swallowing—food passes into esophagus.
- Food is kept out of the trachea by the closed larynx and epiglottis.

**Peristalsis:** Waves of muscle contractions that move food toward the stomach.

The upper esophagus is skeletal muscle; the rest is smooth muscle.

As food reaches the smooth muscle, the esophagus contracts and pushes the food toward the stomach.

Nerves coordinate esophagus muscles:

- Contraction is always preceded by an anticipatory wave of relaxation.
- As an area contracts, the region below it relaxes so food does not move upward.
- As food moves down, it causes the next region to contract.

**The esophageal sphincter**, a ring of muscle, controls passage of food into stomach.

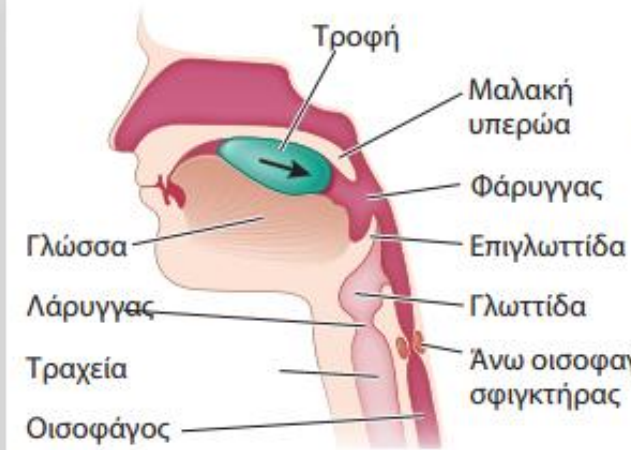
**Pyloric sphincter**—from stomach to intestine

**Ileocaecal sphincter**—between small and large intestines.

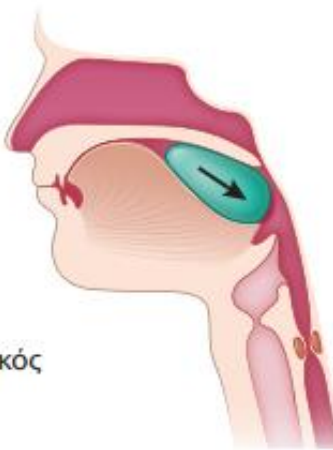
**Anal sphincter** relaxes to allow defecation.

# Εικόνα 38.11 Κατάποση και Περίσταλη

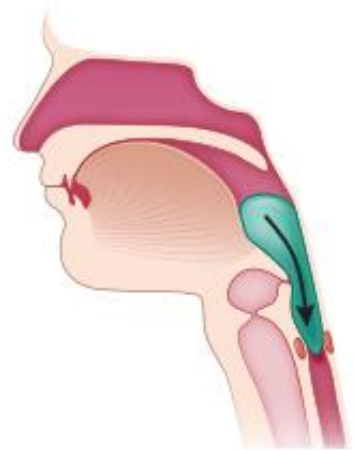
## (Α) Κατάποση



**1** Η τροφή μασιέται και η γλώσσα σπρώχνει τον βλωμό στο πίσω μέρος του στόματος. Αισθητήρια νεύρα διεγείρουν το αντανακλαστικό της κατάποσης.

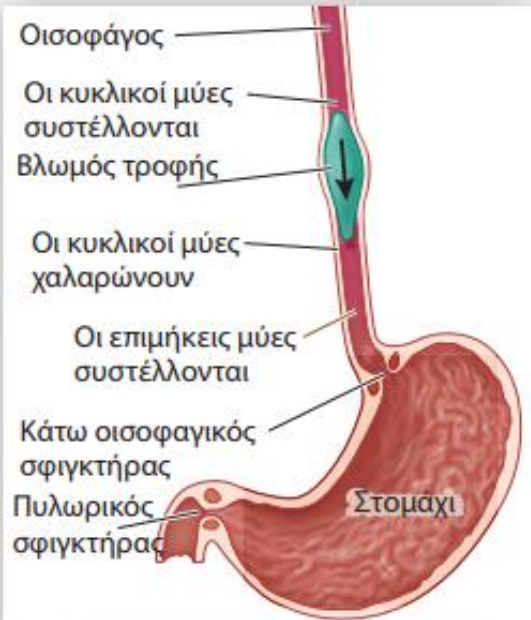


**2** Η μαλακή υπερώα ανασηκώνεται καθώς οι φωνητικές χορδές συγκλίνουν για να κλείσουν το λάρυγγα.



**3** Ο λάρυγγας ανασηκώνεται και καλύπτεται από την επιγλωττίδα. Ο οισοφαγικός σφιγκτήρας χαλαρώνει. Ο βλωμός της τροφής εισέρχεται στον οισοφάγο.

## (Β) Περίσταλη



**4** Περισταλτικές συσπάσεις προωθούν την τροφή στον στομάχο.

**Εικόνα 38.11 Κατάποση και Περίσταλη** (Α) Η τροφή που ωθείται στο πίσω μέρος του στόματος διεγείρει το αντανακλαστικό της κατάποσης. (Β) Μόλις ο βλωμός της τροφής εισέρχεται στον οισοφάγο, η περίσταλη τον προωθεί από το στόμα στον πρωκτό μέσω συντονισμένων κινήσεων της κυκλοτερούς και της επιμήκου μυϊκής σιβάδας του γαστρεντερικού σωλήνα.

Chemical digestion:

**Salivary glands** secrete *amylase* that breaks down carbohydrates.

Gastric pits in the stomach have 3 types of secretory cells:

- **Mucus secreting cells:** mucus protects tissues from the acids and enzymes.
- **Chief cells** secrete pepsinogen, the inactive form of the protease pepsin.

**Low pH** of the stomach denatures proteins, and converts *pepsinogen* to the active form, pepsin.

*Pepsin* activates other pepsinogen molecules—autocatalysis, a positive feedback process.

- **Parietal cells** secrete HCl; keeps stomach pH below 1.

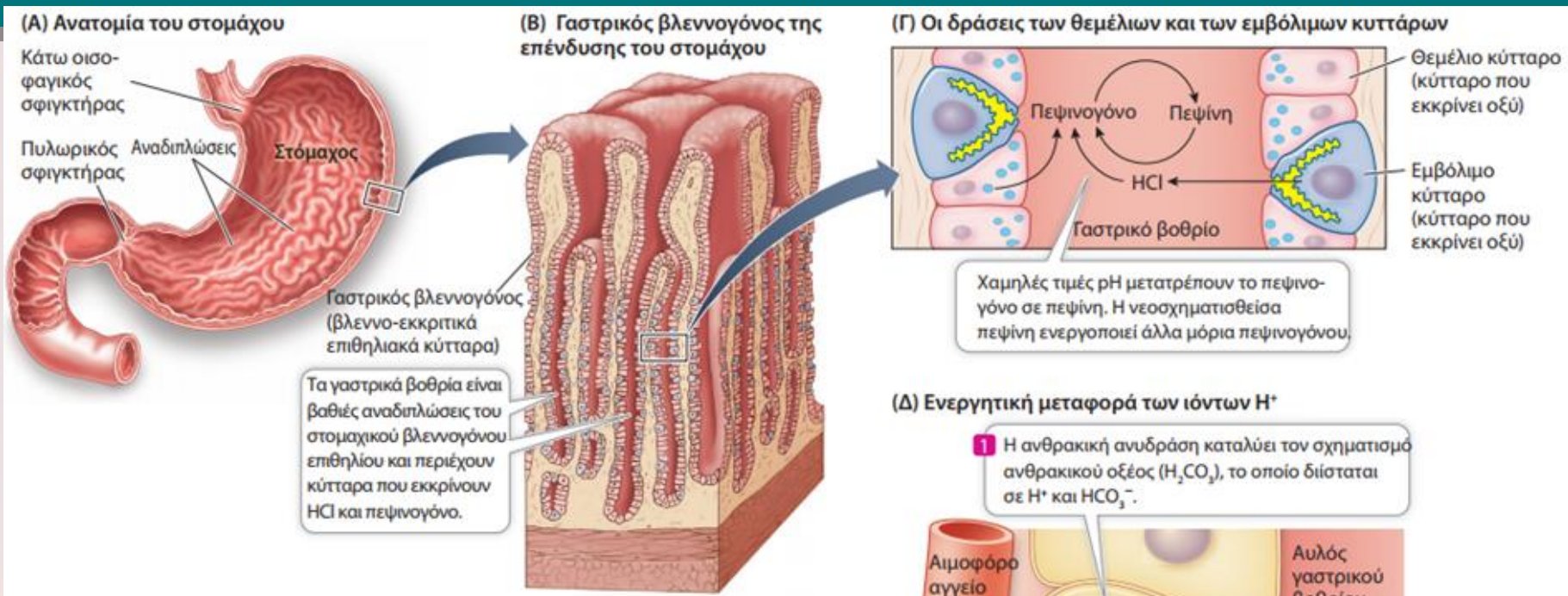
Carbonic anhydrase catalyzes formation of  $\text{H}_2\text{CO}_3$  from  $\text{CO}_2$ , which dissociates to  $\text{HCO}_3^-$  and  $\text{H}^+$ .

$\text{H}^+$  is exchanged for  $\text{K}^+$  in gastric pit lumens.

$\text{K}^+$  leaks back into the cells and  $\text{H}^+$  is continually returned to the stomach.

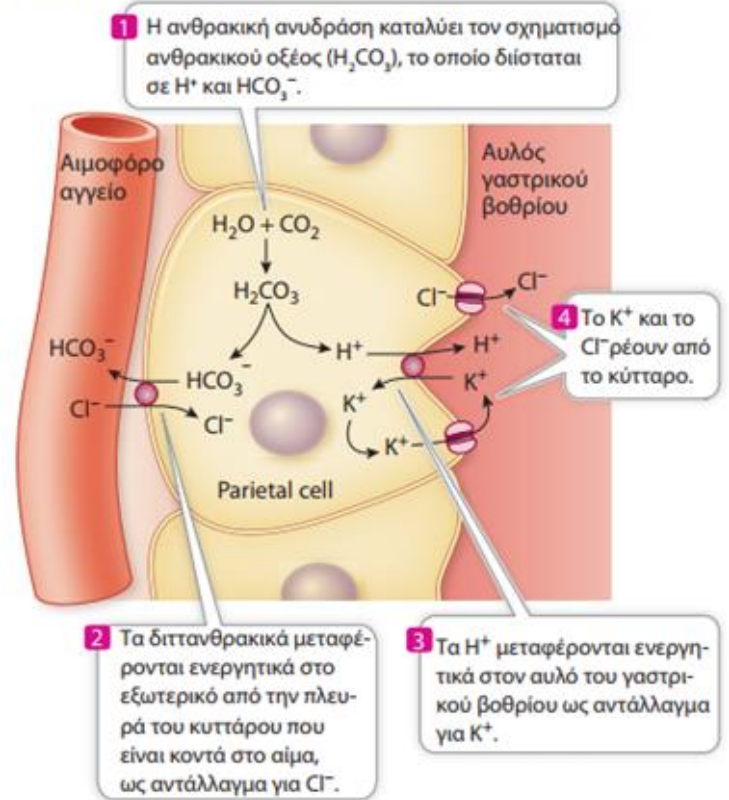


## Εικόνα 38.12 Η Στομαχική Δραστηριότητα



**Εικόνα 38.12 Η Στομαχική Δραστηριότητα (Α)** Ο ανθρώπινος στόμαχος αποθηκεύει την τροφή και την αναμειγνύει με πεπτικές εκκρίσεις. **(Β)** Τα γαστρικά βοθρία είναι αναδιπλώσεις της επένδυσης του στομάχου. **(Γ)** Τα εμβόλιμα κύτταρα στα γαστρικά βοθρία εκκρίνουν υδροχλωρικό οξύ, και τα θεμέλια κύτταρα εκκρίνουν πεψινογόνο. Το HCl και η αυτοκατάλυση μετατρέπουν το ανενεργό πεψινογόνο σε ενεργή πεψίνη. **(Δ)** Τα εμβόλιμα κύτταρα δημιουργούν μια μεγάλη διαφορά στη συγκέντρωση των H<sup>+</sup> μεταξύ του αυλού του γαστρεντερικού σωλήνα και του εξωκυττάριου υγρού, μεταφέροντας ενεργητικά στον αυλό των γαστρικών βοθρίων ιόντα H<sup>+</sup>, τα οποία παράγονται από την καταλυτική δράση της ανθρακικής ανυδράσης.

**(Δ) Ενεργητική μεταφορά των ιόντων H<sup>+</sup>**



## 38.3 The Vertebrate Gastrointestinal System Is a Disassembly Line

**Chyme:** Mixture of gastric juices and partly digested food.

Some things are absorbed from the stomach, including alcohol and caffeine, but most absorption occurs in the small intestine.

Stomach empties slowly, allowing small intestine to work on a little material at a time.

Most chemical digestion occurs in the small intestine.

Small intestine has 3 sections:

- **Duodenum**—site of most digestion
- **Jejunum** and
- **Ileum**—carry out most absorption

**Liver:** Synthesizes bile salts from cholesterol and secretes them as bile.

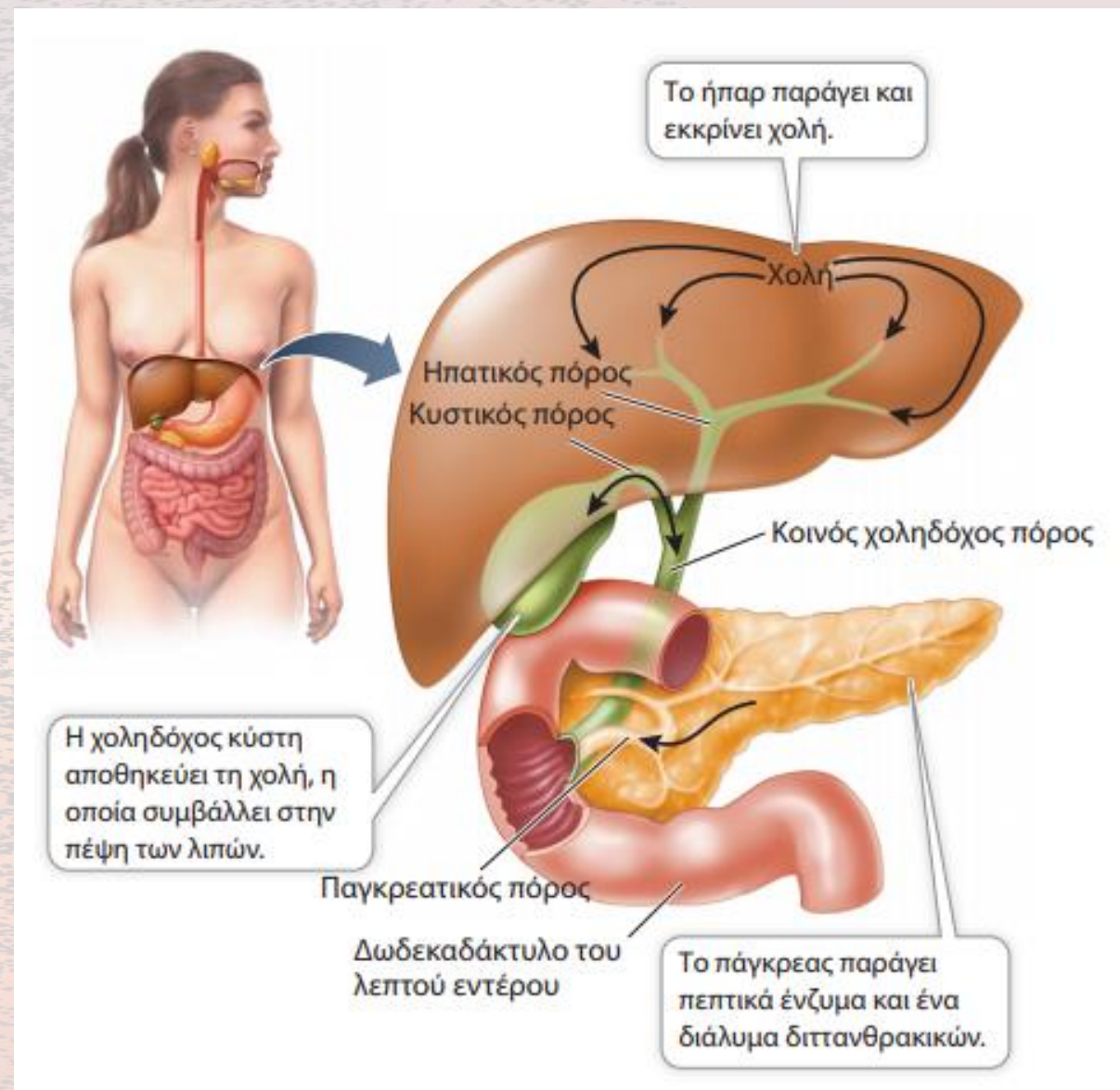
**Bile** also contains phospholipids and bilirubin (breakdown product of hemoglobin).

Bile flows through the **cystic duct** to the **gallbladder** where bile is stored.

Fat entering the duodenum signals the epithelial cells to release the hormone **cholecystinin (CCK)**. This hormone stimulates the walls of the gallbladder to contract rhythmically and squeeze bile into the duodenum.

**Bile emulsifies fats in the chyme.** One end of the molecule is lipophilic and the other end is hydrophilic. Lipophilic ends merge with fat droplets and keep them from sticking together, forming micelles. This enlarges the surface area exposed to lipases that digest fat

**Εικόνα 38.13** Πόροι της Χοληδόχου Κύστης και του Παγκρέατος Η χολή που παράγεται στο ήπαρ ρέει από αυτό μέσω του ηπατικού πόρου. Μία διακλάδωση του συγκεκριμένου πόρου είναι η χοληδόχος κύστη, η οποία αποθηκεύει τη χολή. Κάτω από τη χοληδόχο κύστη, ο ηπατικός πόρος ονομάζεται κοινός χοληδόχος πόρος και ενώνεται με τον παγκρεατικό πόρο πριν εισέλθει στο δωδεκαδάκτυλο.



## Εικόνα 38.14 Η Πέψη των Λιπών

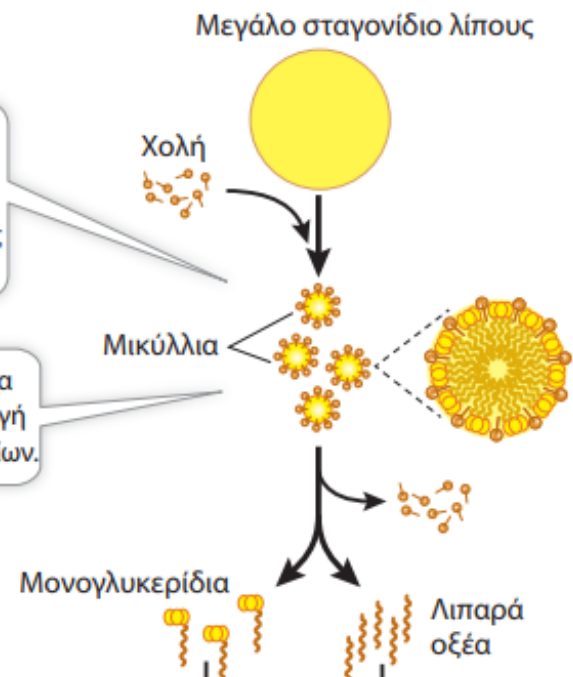
**Εικόνα 38.14 Η Πέψη των Λιπών (Α)** Τα λίπη της διατροφής διασπώνται από τη χολή σε μικρά μικύλλια, που διαθέτουν μια μεγάλη επιφάνεια για να δράσουν οι λιπάσες. **(Β)** Τα προϊόντα της πέψης των λιπών απορροφώνται από τα κύτταρα του εντερικού βλεννογόνου, όπου εκεί επανασυντίθενται σε τριγλυκερίδια και εξάγονται στα λεμφαγγεία.

**Ε:** Ένα μικρό ποσοστό των ατόμων που έχουν αφαιρέσει τη χοληδόχο κύστη τους πρέπει να ακολουθούν μια διατροφή χαμηλή σε λιπαρά, αλλιώς παθαίνουν διάρροια. Γιατί;

### (Α) Η πέψη των λιπών

**1** Τα λίπη της διατροφής γαλακτωματοποιούνται σε μικροσκοπικά σταγονίδια που ονομάζονται μικύλλια χάρη στη δράση της χολής στον εντερικό αυλό.

**2** Η παγκρεατική λιπάση υδρολύει τα λίπη στο μικύλλιο για την παραγωγή λιπαρών οξέων και μονογλυκεριδίων.

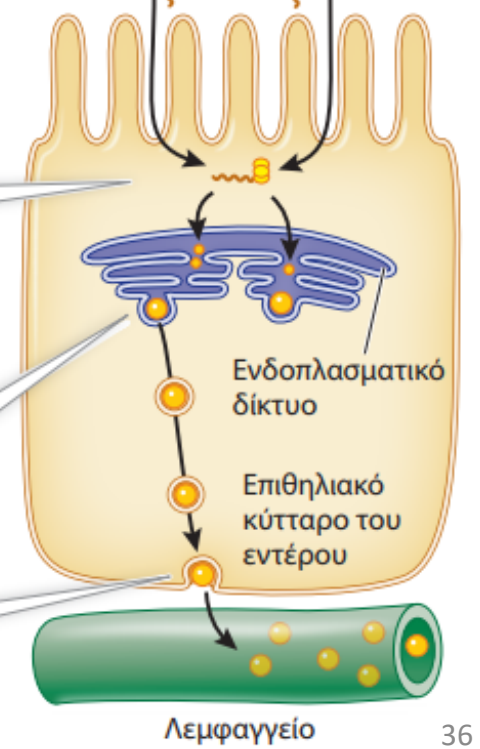


### (Β) Η απορρόφηση των λιπών

**3** Τα λιπαρά οξέα και τα μονογλυκερίδια εισέρχονται στο κύτταρο μέσω διάχυσης. Επανασυντίθενται σε τριγλυκερίδια στο ενδοπλασματικό δίκτυο.

**4** Τα τριγλυκερίδια συσκευάζονται με χοληστερόλη και φωσφολιπίδια, ώστε να σχηματιστούν τα καλυμμένα με πρωτεΐνη χυλομικρά.

**5** Τα χυλομικρά εγκλείονται σε κυστίδια. Φεύγουν από το κύτταρο μέσω εξωκυττάρωσης και εισέρχονται στο λεμφικό σύστημα.



**The pancreas is both an endocrine and exocrine gland.**

**Exocrine:** Secretes digestive juices to the duodenum via the pancreatic duct.

- Pancreas produces many digestive enzymes, including lipases, amylases, proteases, and nucleases.
- Protease enzymes are released in inactive forms called zymogens.
- Zymogens cannot digest the pancreas and its ducts before reaching the gut.
- The zymogen trypsinogen is activated by enterokinase to produce the active protease trypsin, which can activate other zymogens.
- The pancreas also secretes  $\text{HCO}_3^-$  to neutralize chyme in the intestine.
- Intestinal enzymes function best at neutral or slightly alkaline pH.
- ***In the small intestine, epithelial cells secrete various enzymes to cleave peptides, disaccharides, and lipids.***
- Many humans stop producing lactase after childhood, and cannot digest lactose.
  - The lactose is metabolized by bacteria in the large intestine, causing gas, diarrhea, and cramps.

## Πίνακας 38.3 Τα κυριότερα Ένζυμα του Γαστρεντερικού Σωλήνα στον Άνθρωπο

πίνακας 38.3 Τα κυριότερα Ένζυμα του Γαστρεντερικού Σωλήνα στον Άνθρωπο

Πηγή/ένζυμο	Δράση
<b>ΣΙΕΛΟΓΟΝΟΙ ΑΔΕΝΕΣ</b>	
Αμυλάση στη σίελο	Άμυλο → Μαλτόζη
<b>ΣΤΟΜΑΧΟΣ</b>	
Πεψίνη	Πρωτεΐνες → Πεπτίδια· αυτοκατάλυση
<b>ΠΑΓΚΡΕΑΣ</b>	
Παγκρεατική αμυλάση	Άμυλο → Μαλτόζη
Λιπάση	Λίπη → Λιπαρά οξέα και γλυκερόλη
Νουκλεάση	Νουκλεϊκά οξέα → Νουκλεοτίδια
Θρυψίνη	Πρωτεΐνες → Πεπτίδια· ενεργοποίηση ζυμογόνου
Χυμοθρυψίνη	Πρωτεΐνες → Πεπτίδια
Καρβοξυπεπτιδάση	Πεπτίδια → Μικρότερα πεπτίδια και αμινοξέα
<b>ΛΕΠΤΟ ΕΝΤΕΡΟ</b>	
Αμινοπεπτιδάση	Πεπτίδια → Μικρότερα πεπτίδια και αμινοξέα
Διπεπτιδάση	Διπεπτίδια → Αμινοξέα
Εντεροκινάση	Θρυψινογόνο → Θρυψίνη
Νουκλεάση	Νουκλεϊκά οξέα → Νουκλεοτίδια
Μαλτάση	Μαλτόζη → Γλυκόζη
Λακτάση	Λακτόζη → Γαλακτόζη και γλυκόζη
Σουκράση	Σουκρόζη → Φρουκτόζη και γλυκόζη

## 38.3 The Vertebrate Gastrointestinal System Is a Disassembly Line

- Epithelial cells absorb nutrients and inorganic ions by many mechanisms.
- $\text{Na}^+$  and other ions are actively transported; the osmotic concentration gradient that is created is important for water absorption.
- Water moves through spaces between cells and carries nutrients in solution— ***solvent drag or bulk transport***.
- Fructose transporters facilitate diffusion; a concentration gradient must be maintained—fructose is converted to glucose in the cells, so fructose concentration is always low.
- Symporters combine transport of nutrient molecules with  $\text{Na}^+$  as it diffuses down its concentration gradient.
- Products of fat digestion are lipid-soluble and pass through the microvilli membranes.
- In the cells, fats are re-formed into ***chylomicrons*** that pass into lacteals, vessels of the lymph system, before entering the blood stream.

## 38.3 The Vertebrate Gastrointestinal System Is a Disassembly Line

- Blood leaving the digestive tract goes to the liver via the hepatic portal vein.
- Liver cells absorb nutrients and store them or convert them for use.
- Glycogen is synthesized from sugars, proteins are made from amino acids, and lipids can be used to make lipoproteins.
- The large intestine, or colon, absorbs water and ions and produces feces.
- Too much water absorption in the colon leads to constipation; too little leads to diarrhea.
- In the colon, segmentation movements are due to contractions of circular muscles that repeatedly divide the colon into separate segments.
- This causes the chyme to slosh around in the colon and promotes absorption of ions and water by increasing contact with the epithelium.



### Focus Your Learning

- Hormones control actions of the digestive tract and its accessory organs.
- The liver interconverts and stores fuel molecules.
- The pancreas secretes hormones that help control glucose levels in the blood.
- Body mass and food intake behavior is influenced by stimulatory and inhibitory hormones that activate neurons in the arcuate nucleus region of the hypothalamus in the brain.

## 38.4 Nutrient Availability Is Controlled and Regulated

- Digestion is governed by neuronal and hormonal controls.
- Many autonomic reflexes coordinate activity in different regions of the digestive tract.
- The enteric nervous system coordinates movement of food; it also exchanges information with the CNS.

### Digestive hormones:

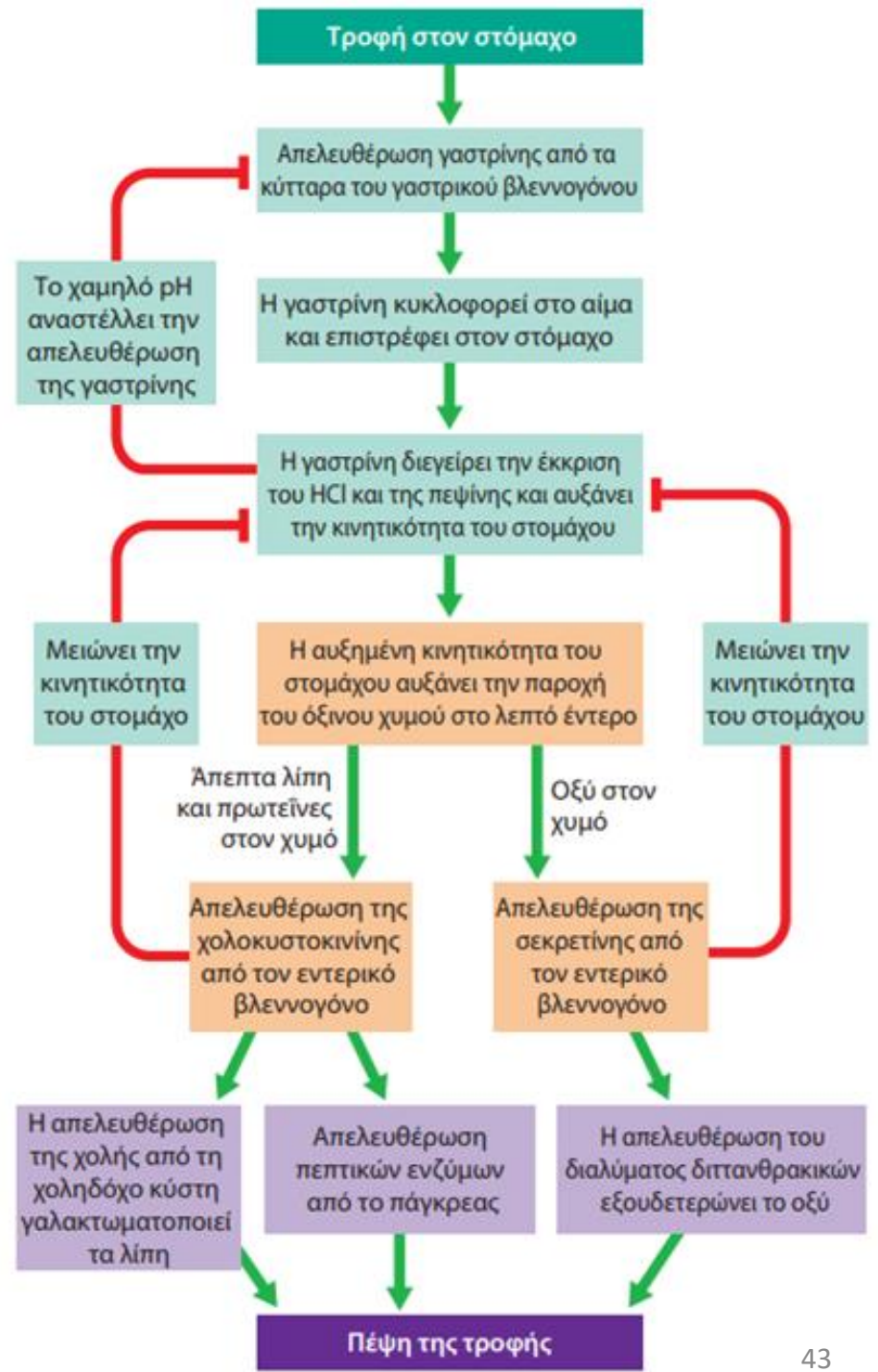
- **Secretin** from the *duodenum* causes pancreas to secrete bicarbonate ions.
- **Cholecystinin (*duodenum*)** causes gallbladder to release bile, stimulates pancreas, slows stomach action.
- **Gastrin (*stomach cells*)** stimulates stomach movements and secretion of digestive juices.

# Εικόνα 38.16 Οι Ορμόνες Ελέγχουν την Πέψη

## Εικόνα 38.16 Οι Ορμόνες Ελέγχουν την Πέψη

Οι ορμόνες γαστρίνη, χολοκυστοκινίνη (CCK) και σεκρετίνη συμμετέχουν σε βρόχους ανάδρασης που ελέγχουν τη διαδοχική επεξεργασία της τροφής στον γαστρεντερικό σωλήνα. Οι κόκκινες γραμμές υποδεικνύουν τις ανασταλτικές δράσεις, ενώ οι πράσινες τις επαγωγικές δράσεις

**Ε:** Γιατί η σεκρετίνη και η CCK διεγείρουν το πάγκρεας, αλλά αναστέλλουν τον στομάχο;



## 38.4 Nutrient Availability Is Controlled and Regulated

- Animals do not eat continuously; they exist in one of two states:
  - Absorptive state—after a meal when food is in the gut and nutrients are absorbed.
  - Postabsorptive state—stomach and small intestine are empty and metabolism runs on internal reserves.

### **The liver can interconvert fuel molecules.**

- Monosaccharides can be converted into glycogen or fats during the absorptive state; this can be reversed in the postabsorptive state.
- Gluconeogenesis is the conversion of amino acids and other molecules into glucose. Exercising muscles produce pyruvate and lactate that can enter the blood and get taken up by the liver and converted to glucose.
- The liver controls fat metabolism by lipoprotein production. Lipoproteins are the most abundant fuel reserve in the body; they also move fats in the blood.
- ***Chylomicrons are lipoproteins produced in the small intestine.***
- **Lipoproteins produced in the liver:**
  - High-density lipoproteins (HDLs) remove cholesterol from tissue and carry it to liver.
  - Low-density lipoproteins (LDLs) transport cholesterol around body.
  - Very-low-density lipoproteins (VLDLs) transport triglycerides to fat cells.

## 38.4 Nutrient Availability Is Controlled and Regulated

- **Insulin** is released by the **pancreas (from beta cells)** during the absorptive period, when blood glucose rises.
- Insulin promotes uptake and utilization of glucose for metabolic activities or synthesis of glycogen and fat from excess glucose.
- **Glucagon** is produced by **alpha cells in the pancreas** and has the opposite effect: it stimulates liver cells to break down glycogen and carry out gluconeogenesis.
- Glucose enters cells by facilitated diffusion, thus a concentration gradient is required and blood glucose levels must be regulated.
- Glucose transporters are sequestered in cytoplasmic vesicles until insulin binds to receptors on the cell surface and triggers insertion of transporters into the cell membrane.
- Insulin also controls how cells use the glucose they take up.
- In adipose cells, insulin inhibits lipase and promotes fat synthesis from glucose.
- In liver cells, insulin activates glucokinase, which phosphorylates glucose as it enters, so it cannot diffuse back out again.
- Insulin inhibits glucose phosphatase (which if active would enable glucose to leave the cell), activates glycogen synthase, and activates enzymes that increase the flow of glucose into glycolysis.

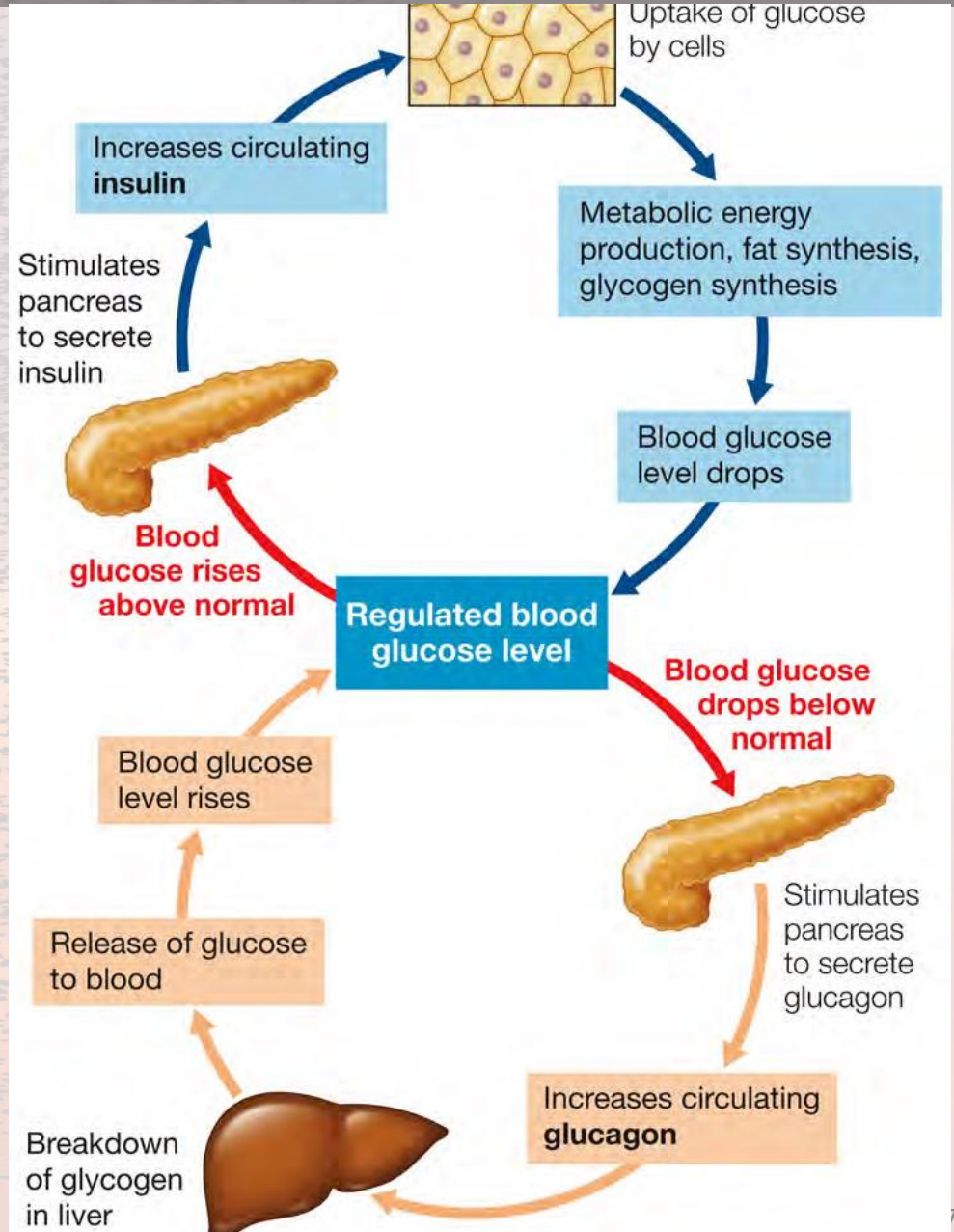
## 38.4 Nutrient Availability Is Controlled and Regulated

- In the postabsorptive state, insulin levels fall.
- To maintain blood glucose levels, liver cells break down stored glycogen, releasing glucose into the blood.
- Lipase activity increases in liver and adipose tissue, releasing fatty acids.
- Most cells use fatty acids for fuel in the postabsorptive state.
- Cells of the nervous system do not switch fuels and require a constant supply of glucose.
- Most neurons do not require insulin but a concentration gradient is needed to drive facilitated diffusion of glucose.
- If blood glucose level is very low, **glucagon** is released and stimulates the liver to break down glycogen and begin gluconeogenesis.
- Under conditions that stimulate glucagon release, the effects of low insulin are already in play.

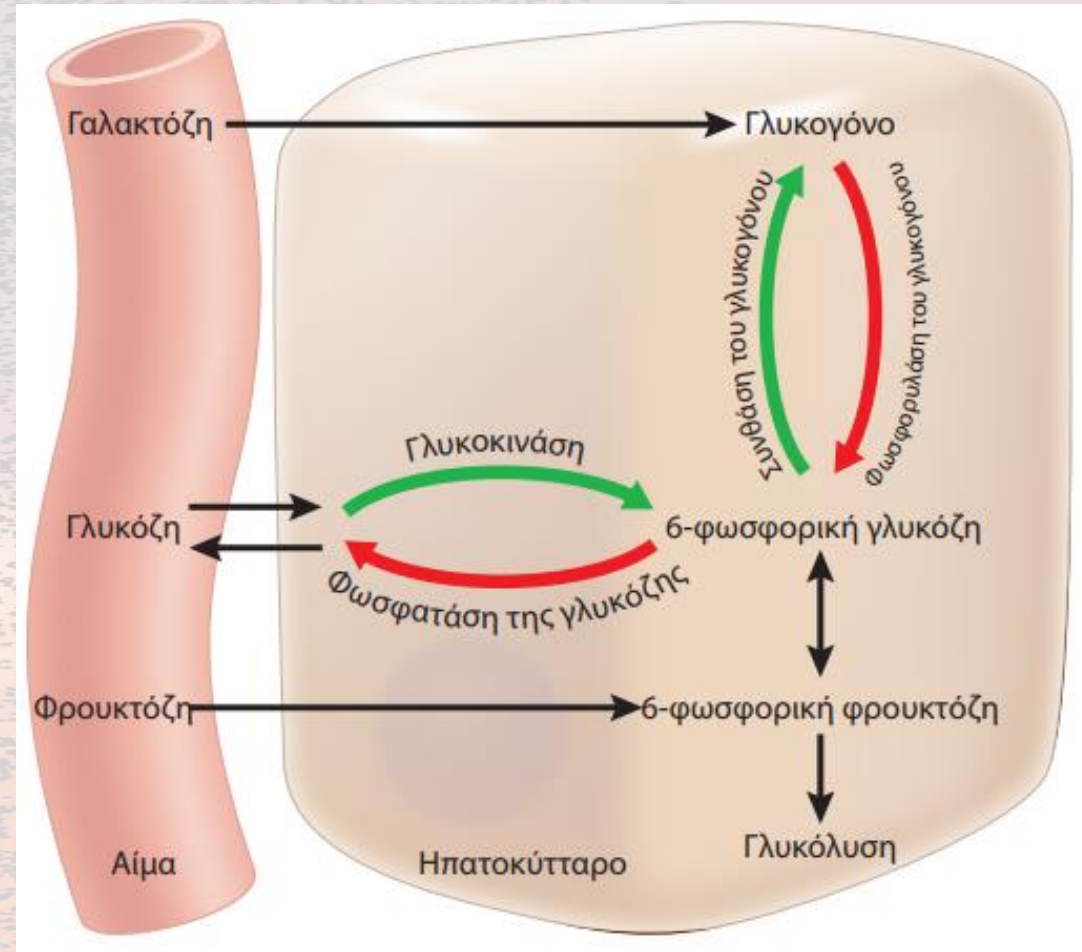
# Εικόνα 38.17 Η Ρύθμιση των Επιπέδων Γλυκόζης στο Αίμα

**Εικόνα 38.17 Η Ρύθμιση των Επιπέδων Γλυκόζης στο Αίμα** Η ορμόνη ινσουλίνη (μπλε) δρα για να προωθήσει την αξιοποίηση και την αποθήκευση της γλυκόζης, άρα μειώνει τη γλυκόζη του αίματος. Η ορμόνη γλυκαγόνη (καφέ) επιδρά στο ήπαρ όπου ενεργοποιεί την αποικοδόμηση του γλυκογόνου και την απελευθέρωση της γλυκόζης στο αίμα.

Ε: Το νευρικό σύστημα εξαρτάται από τη συνεχή παροχή γλυκόζης, όμως καμία από τις δράσεις της ινσουλίνης ή της γλυκαγόνης σε αυτή την εικόνα δεν αναφέρονται στην παροχή της γλυκόζης στο νευρικό σύστημα. Γιατί;



**Εικόνα 38.18 Η Ινσουλίνη Ελέγχει τη Διακίνηση της Γλυκόζης στο Αίμα** Η γλυκόζη εισέρχεται και εξέρχεται ελεύθερα στα ηπατικά κύτταρα μέσω της διάχυσης. Όμως, παρουσία ινσουλίνης (πράσινα βέλη), η γλυκόζη φωσφορυλιώνεται και δεν μπορεί να βγει από το κύτταρο. Η 6-φωσφορική γλυκόζη είτε εισέρχεται στη γλυκόλυση είτε συντίθεται σε γλυκογόνο. Η ινσουλίνη ενεργοποιεί τα ένζυμα της σύνθεσης του γλυκογόνου. Απουσία ινσουλίνης (κόκκινα βέλη), η γλυκοκινάση αναστέλλεται και ενεργοποιούνται η φωσφορυλάση του γλυκογόνου και η φωσφατάση της γλυκόζης. Συνεπώς, το γλυκογόνο αποικοδομείται σε φωσφορική γλυκόζη, η οποία αποφωσφορυλιώνεται για να μπορεί να φύγει από το κύτταρο και να εισέλθει στην κυκλοφορία. Άλλοι μονοσακχαρίτες –η γαλακτόζη και η φρουκτόζη– μπορούν επίσης να διαχυθούν στο κύτταρο και να μετατραπούν σε γλυκόζη μέσω αυτών των μονοπατιών.





## 38.4 Nutrient Availability Is Controlled and Regulated

- The hypothalamus provides signals of hunger or satiety and governs how much food is eaten.
- The arcuate nucleus integrates a variety of feedback signals that influence food intake and metabolism.
- Three proteins reflect the body's energy balance: **insulin, leptin, and ghrelin**.
- **Leptin** is released by fat cells in proportion to how much lipid they contain. It acts as a satiety signal.
- **Insulin and leptin** activate neurons in the arcuate nucleus that inhibit feeding.
- **Ghrelin** is released by the stomach when it is empty and has the opposite effect on the arcuate nucleus.
- Another signal in feeding regulation is the enzyme **AMP-activated protein kinase (AMPK)**.
- AMPK is activated in starved cells and stimulates oxidation of substrates to replenish ATP.
- Insulin and leptin decrease AMPK activity in the hypothalamus, and ghrelin increases it.