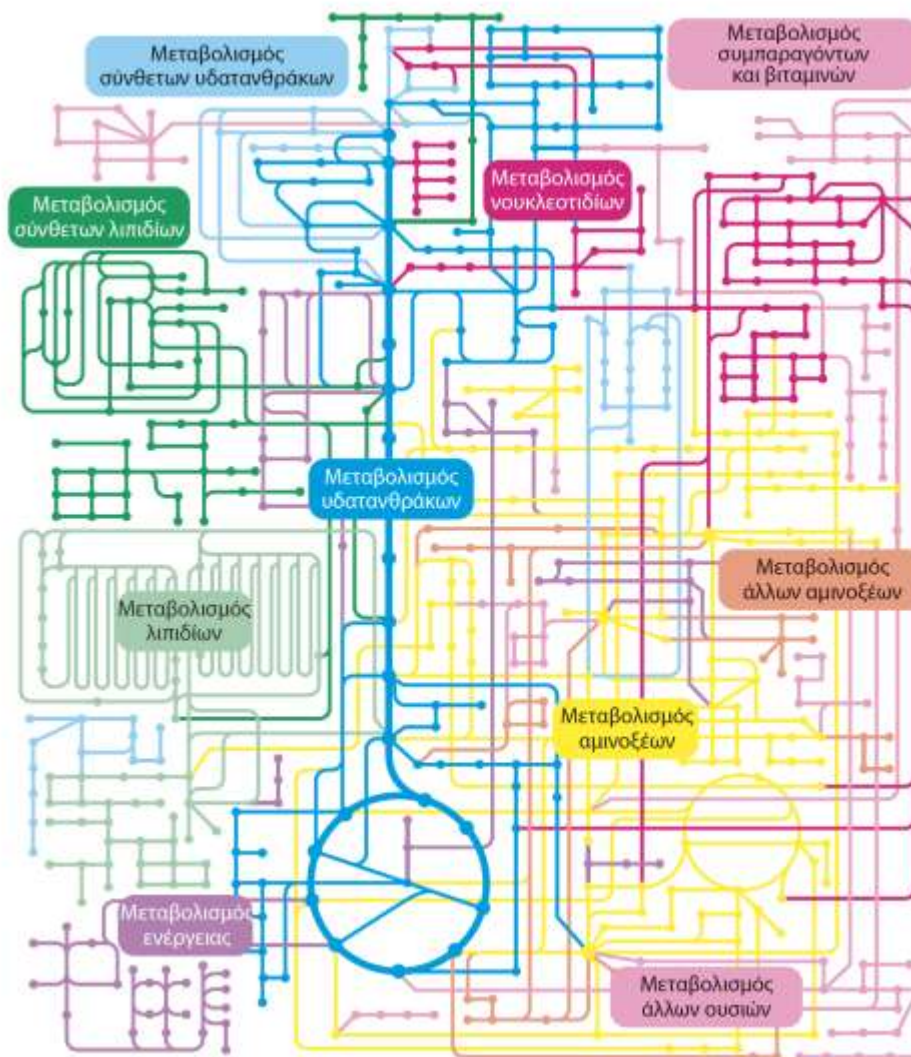


Μεταβολισμός



ΕΙΚΟΝΑ 15.2 Μεταβολικές πορείες. Κάθε κόμβος αντιπροσωπεύει έναν συγκεκριμένο μεταβολίτη. [Από Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes (www.genome.ad.jp/kegg).]



Οι χημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε έναν οργανισμό είναι χιλιάδες, αν και πολύπλοκες έχουν μεταξύ τους πολλά κοινά στοιχεία και μοτίβα που επαναλαμβάνονται.

Βασικές αρχές:

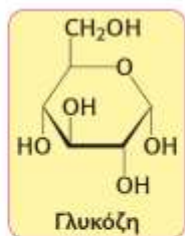
1. Τα **καύσιμα διασπώνται** και βήμα-βήμα κατασκευάζονται μεγάλα μόρια σε μια σειρά από συνδεδεμένες αντιδράσεις που ονομάζονται **μεταβολικές πορείες**.
2. Ένα νόμισμα **ενέργειας** κοινό σε όλες τις μορφές ζωής, η τριφωσφορική αδενοσίνη (ATP), συνδέει τις πορείες που απελευθερώνουν ενέργεια με τις πορείες που απαιτούν ενέργεια.
3. Η **οξείδωση των καύσιμων οργανικών μορίων** ωθεί στον σχηματισμό ATP.
4. Αν και υπάρχουν πολλές μεταβολικές πορείες, σε πολλές από αυτές είναι κοινός ένας περιορισμένος αριθμός **τύπων** αντιδράσεων και ιδιαίτερων ενδιάμεσων.
5. Οι μεταβολικές πορείες **ρυθμίζονται** σε πολύ υψηλό βαθμό.

Οι ζώντες οργανισμοί χρειάζονται **συνεχή τροφοδότηση με ελεύθερη ενέργεια** για:

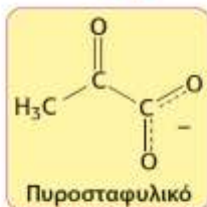
1. Την εκτέλεση μηχανικού έργου στη σύσπαση των μυών και στις κυτταρικές κινήσεις
2. Την **ενεργό μεταφορά μορίων και ιόντων**
3. Την σύνθεση μακρομορίων και άλλων βιομορίων από απλά πρόδρομα μόρια.

Οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί (ή φωτοτροφοί) αποκτούν την ενέργεια από το ηλιακό φως (π.χ. τα φυτά).

Οι χημειοτροφοί οργανισμοί αποκτούν την ενεργεία μέσω της οξείδωσης των τροφών που παράγονται από τους φωτοτροφούς οργανισμούς (τα ζώα είναι χημειοτροφά).

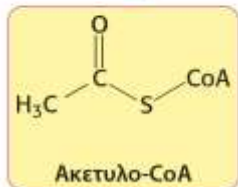


10 βήματα



Αναερόβιος

Αερόβιος



Ο μεταβολισμός είναι στην ουσία μια σειρά χημικών αντιδράσεων οι οποίες αρχίζουν από ένα μόριο και καταλήγουν στον σχηματισμό ενός άλλου μορίου (ή άλλων μορίων) μέσω από ένα προσεκτικά προκαθορισμένο τρόπο.

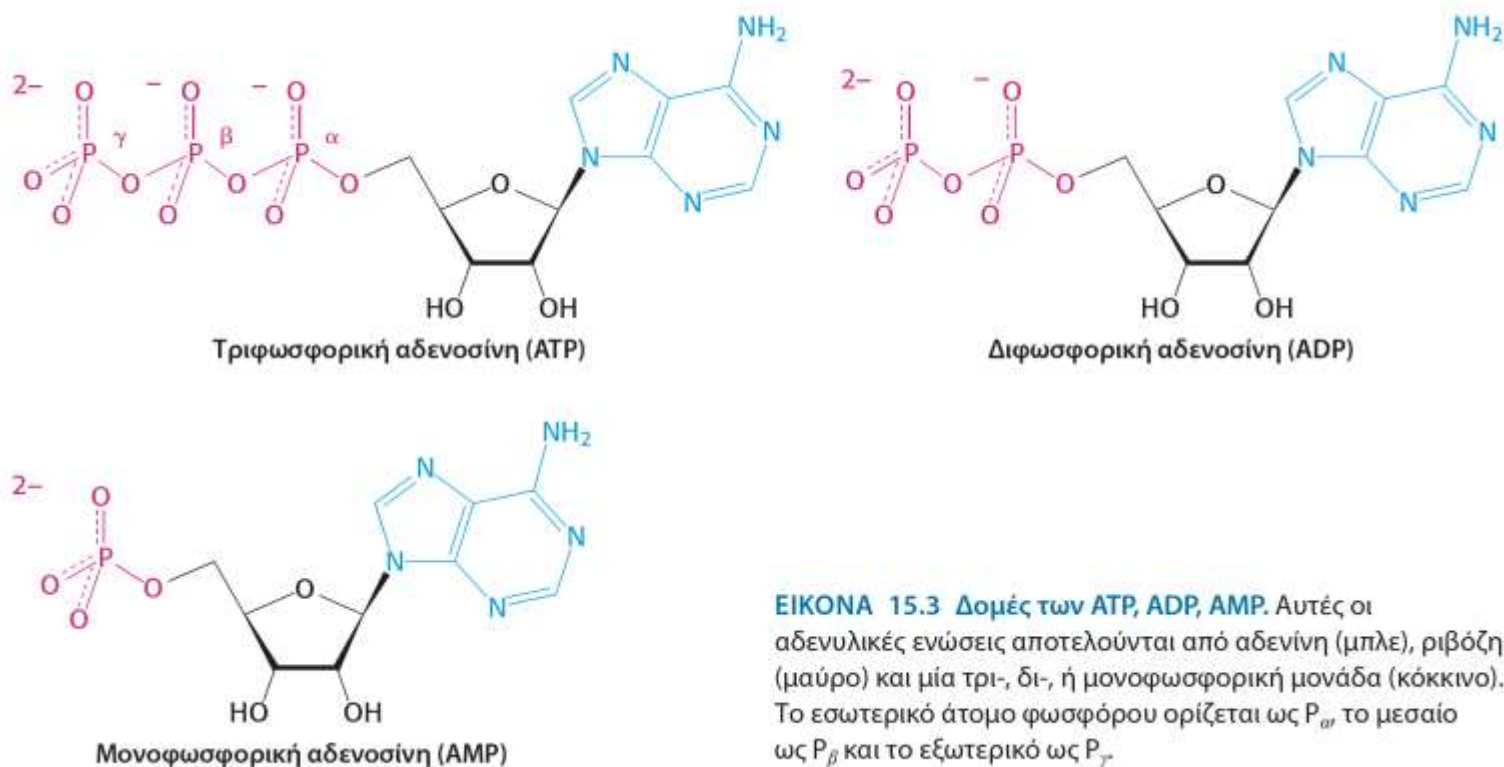
Καταβολισμός: καύσιμα -> ενέργεια

Αναβολισμός: ενέργεια και μικρά μόρια -> μεγάλα μόρια

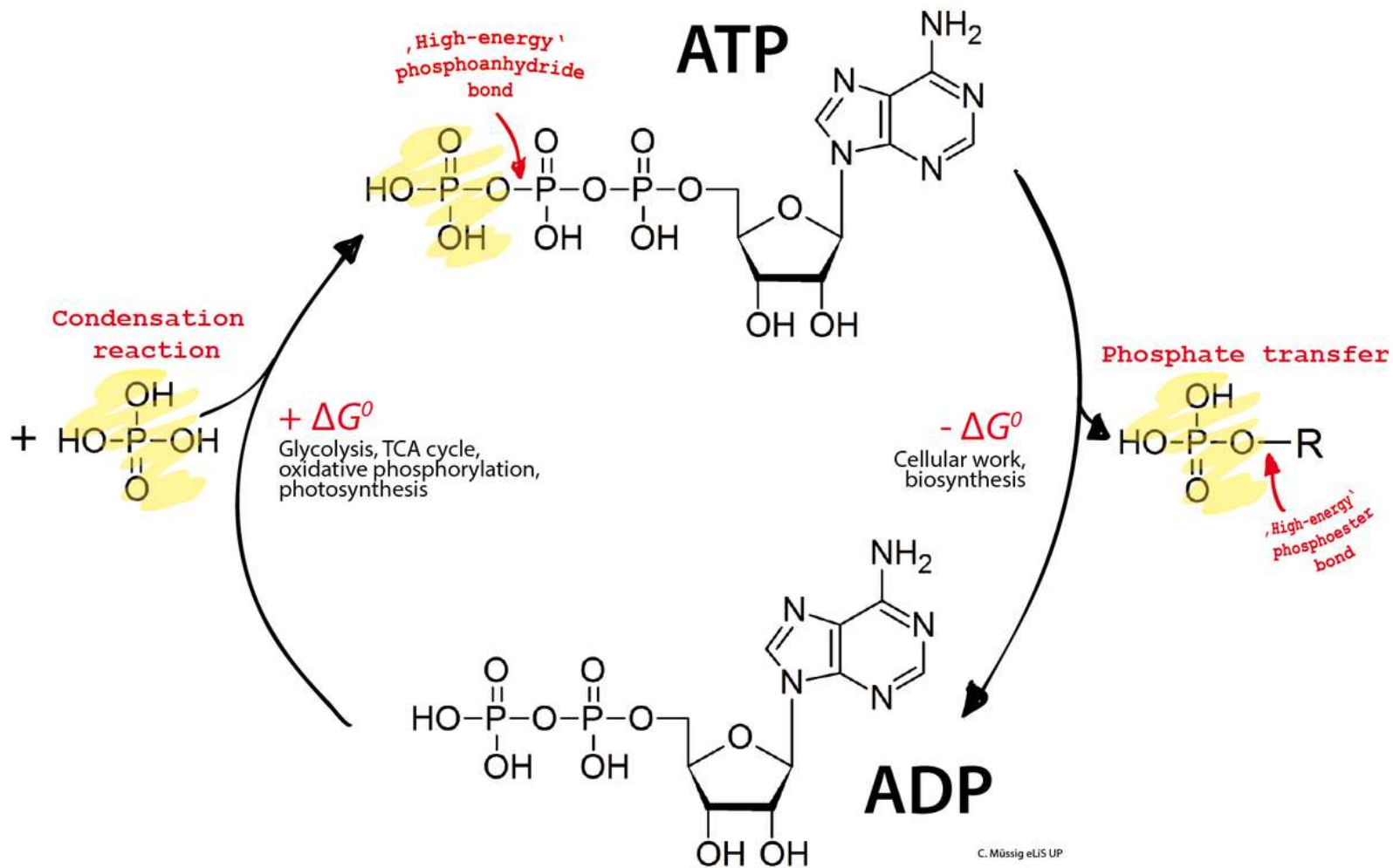
ΕΙΚΟΝΑ 15.1 Ο μεταβολισμός της γλυκόζης. Η γλυκόζη μεταβολίζεται σε πυροσταφυλικό σε 10 διασυνδεδεμένες αντιδράσεις. Υπό αναερόβιες συνθήκες, το πυροσταφυλικό μεταβολίζεται σε γαλακτικό και υπό αερόβιες συνθήκες σε ακετυλο-CoA. Τα άτομα του άνθρακα του ακετυλο-CoA που προέρχονται από τη γλυκόζη οξειδώνονται στη συνέχεια σε CO₂.

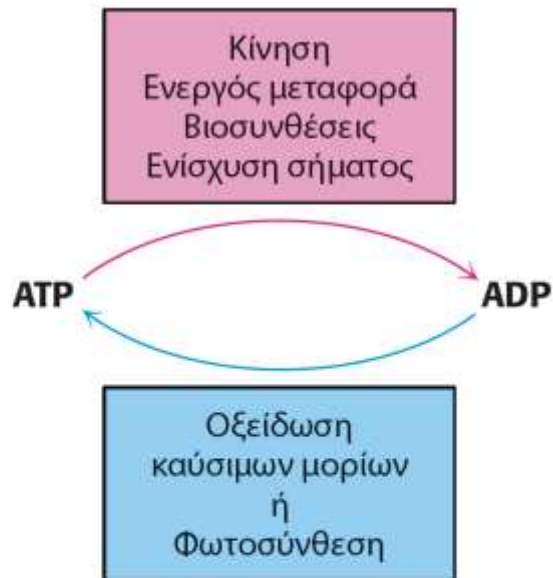


Η ATP είναι ένα ενεργειακά πλούσιο μόριο γιατί η τριφωσφορική ομάδα περιέχει δύο δεσμούς φωσφορικού ανυδρίτη. Όταν υδρολύεται μια φωσφορική ομάδα από το μόριο απελευθερώνεται μεγάλη ποσότητα ελεύθερης ενέργειας.



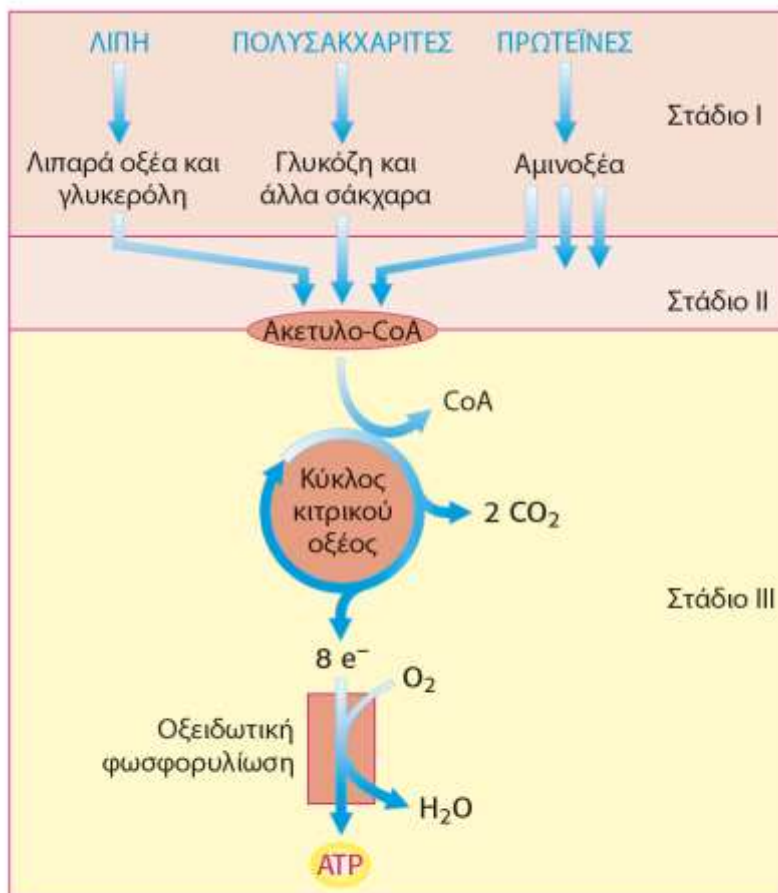
ΕΙΚΟΝΑ 15.3 Δομές των ATP, ADP, AMP. Αυτές οι αδενυλικές ενώσεις αποτελούνται από αδενίνη (μπλε), ριβόζη (μαύρο) και μία τρι-, δι-, ή μονοφωσφορική μονάδα (κόκκινο). Το εσωτερικό άτομο φωσφόρου ορίζεται ως P_{α} , το μεσαίο ως P_{β} και το εξωτερικό ως P_{γ} .





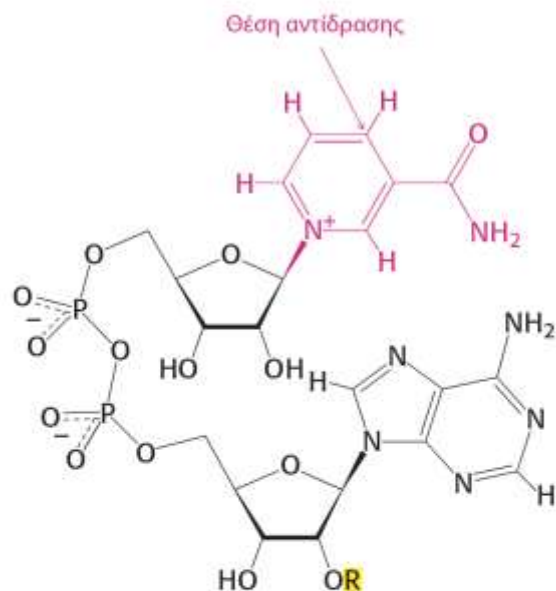
Σε ένα τυπικό κύτταρο, η ATP έχει καταναλωθεί σε **ένα λεπτό** από τον σχηματισμό του. Δηλαδή χρησιμεύει ως άμεσος δότης ελεύθερης ενέργειας και όχι ως **αποθήκη** ενέργειας.

ΕΙΚΟΝΑ 15.8 Κύκλος ATP-ADP. Αυτός ο κύκλος είναι ο θεμελιώδης τρόπος ανταλλαγής ενέργειας στα βιολογικά συστήματα.



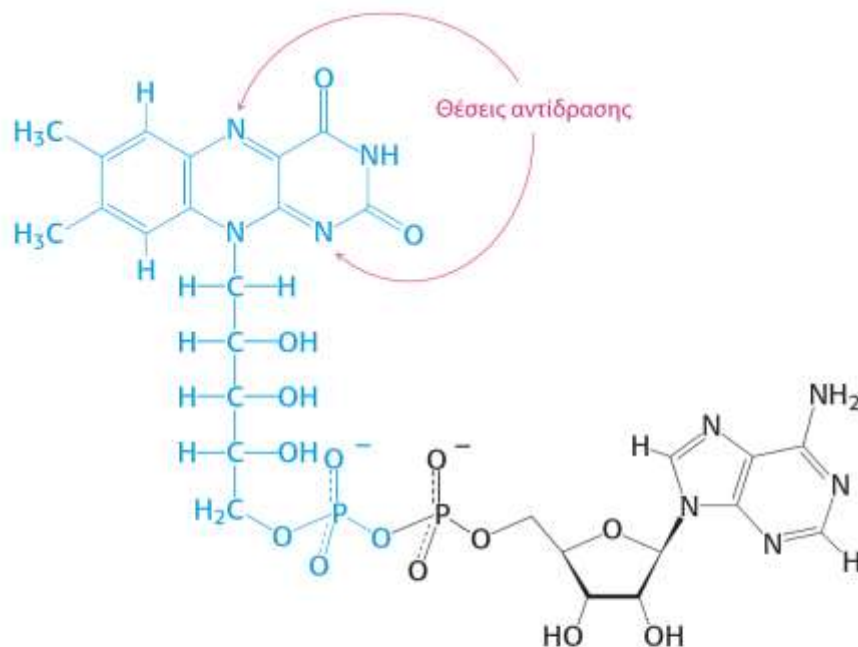
Η ενέργεια από τα τρόφιμα εξάγεται σε τρία στάδια. Στο πρώτο στάδιο, τα μεγάλα μόρια των τροφών διασπώνται σε μικρότερες μονάδες. Αυτή η διεργασία λέγεται **πέψη**. Στο δεύτερο στάδιο, αυτά τα πολυάριθμα μικρά μόρια **αποικοδομούνται** σε μερικές απλές μονάδες οι οποίες παίζουν σημαντικό ρόλο στον μεταβολισμό. Στο τρίτο στάδιο, η **ATP** παράγεται από την πλήρη οξείδωση της ακεταλικής μονάδας του ακετυλο-CoA.

ΕΙΚΟΝΑ 15.12 Στάδια του καταβολισμού. Η εξαγωγή ενέργειας από τα καύσιμα μπορεί να διαιρεθεί σε τρία στάδια.



ΕΙΚΟΝΑ 15.13 Δομές των οξειδωμένων μορφών φορέων ηλεκτρονίων που προέρχονται από νικοτιναμίδιο. Το νικοτιναμιδο-αδενινο-δινουκλεοσίδιο (NAD⁺) και το φωσφορικό νικοτιναμιδο-αδενινο-δινουκλεοσίδιο (NADP⁺) είναι σημαντικοί φορείς ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας. Στο NAD⁺, R = H⁻ στο NADP⁺, R = PO₃²⁻.

Κατά την οξείδωση των καύσιμων μορίων, το NAD⁺ είναι ένας από τους κύριους φορείς ηλεκτρονίων. Το ενεργό μέρος του είναι ο δακτύλιος του νικοτιναμιδίου, ένα παράγωγο της πυριδίνης που συντήθεται από την βιταμίνη νιασίνη. Κατά την οξείδωση ενός υποστρώματος, ο δακτύλιος νικοτιναμιδίου του NAD⁺ δέχεται ένα H⁺ και δύο ηλεκτρόνια, τα όποια είναι ισοδύναμα με ένα ιόν υδριδίου H⁻. Η ανηγμένη μορφή αυτού του φορέα ονομάζεται NADH.



ΕΙΚΟΝΑ 15.14 Δομή της οξειδωμένης μορφής του φλαβινο-αδενινουκλεοτιδίου (FAD). Αυτός ο φορέας ηλεκτρονίων αποτελείται από μια μονάδα φλαβινο-μονο-νουκλεοτιδίου (FMN) (δείχνεται με μπλε) και μια μονάδα AMP (δείχνεται με μαύρο).

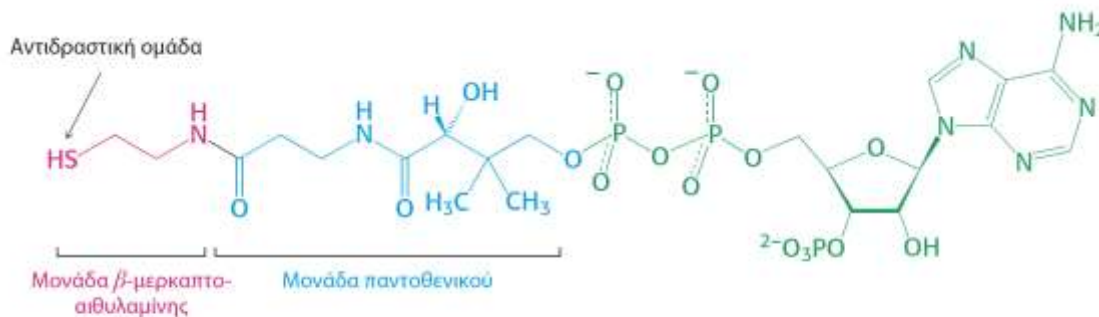
Κατά την οξείδωση των καύσιμων μορίων, ο άλλος κύριος φορέας ηλεκτρονίων είναι το συνένζυμο FAD.

Το δραστικό μέρος του FAD είναι ο δακτύλιος ισοαλλοξαζίνης, ένα παράγωγο της βιταμίνης ριβοφλαβίνης.

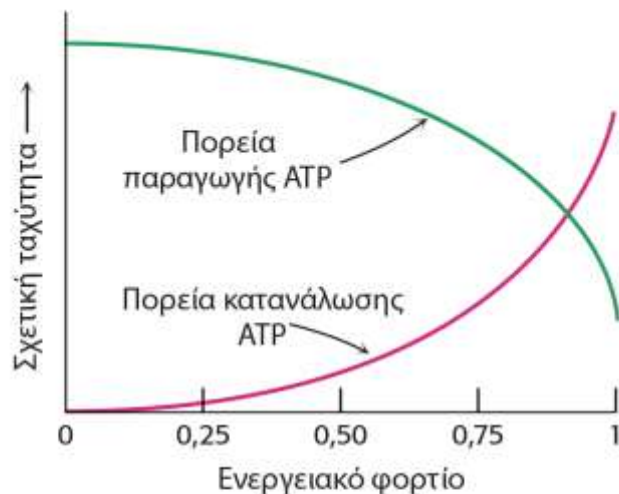
Το **FAD** όπως το NAD^+ μπορεί αν δεχτεί δύο ηλεκτρόνια, αλλά κατά την προσθήκη λαμβάνει και τα δύο ηλεκτρόνια.



Το συνένζυμο Α (CoA), ένα άλλο κεντρικό μόριο στον μεταβολισμό, παράγωγο της βιταμίνης παντοθενικό οξύ, είναι ένας φορέας ακυλομάδων. Οι ακυλομάδες είναι σημαντικά συστατικά στην οξείδωση των λιπαρών οξέων και στην βιοσύνθεση των μεμβρανικών λιπιδίων.



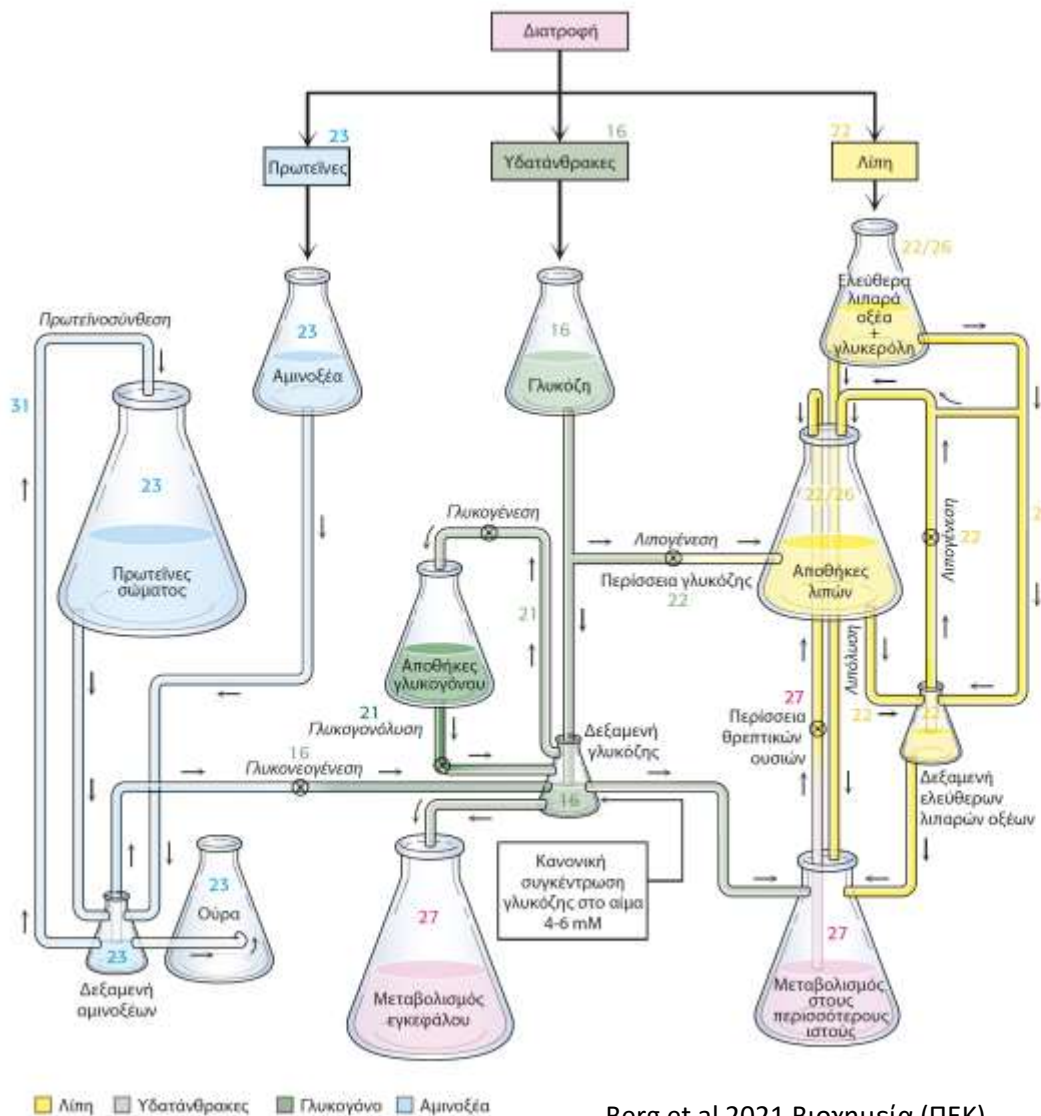
ΕΙΚΟΝΑ 15.16 Δομή του συνενζύμου Α (CoA-SH).



ΕΙΚΟΝΑ 15.20 Το ενεργειακό φορτίο ρυθμίζει τον μεταβολισμό. Όταν το ενεργειακό φορτίο είναι υψηλό, η ATP αναστέλλει τις σχετικές ταχύτητες μιας τυπικής πορείας παραγωγής ATP (καταβολική) και διεγείρει μια τυπική πορεία που χρησιμοποιεί ATP (αναβολική).

Οι μεταβολικές διεργασίες ρυθμίζονται με τρεις κύριους τρόπους:

1. Με τον έλεγχο της ποσότητας των ενζύμων (-> μεταβολή ταχύτητας μεταγραφής των γονιδίων που τα κωδικοποιούν)
2. Με τον έλεγχο της καταλυτικής δραστηριότητας των ενζύμων (π.χ. αλλοεστερικά από το τελικό προϊόν, μέσω ορμονών, λόγω ενεργειακής κατάστασης)
3. Με τον έλεγχο της ευκολίας πρόσβασης στα υποστρώματα. (π.χ. η διάσπαση της γλυκόζης μπορεί να συμβεί σε πολλά κύτταρα μόνο αν υπάρχει η ινσουλίνη για να προάγει την είσοδο της γλυκόζης στο κύτταρο.



ΕΙΚΟΝΑ 15.19 Ομοίσταση. Η διατήρηση ενός σταθερού κυτταρικού περιβάλλοντος απαιτεί πολύπλοκη μεταβολική ρύθμιση η οποία συντονίζει τη χρήση των αποθεμάτων των θρεπτικών ουσιών. Οι αριθμοί παραπέμπουν στα κεφάλαια όπου συζητούνται τα αντίστοιχα θέματα. [Κατά D. U. Silverthorn, *Human Physiology: An Integrated Approach*, 3rd ed. (Pearson, 2004), Figure 22-2.]