

## Κεφάλαιο 3. Μεταβολισμός

### 3.1. Ενέργεια και οργανισμοί

#### Γενικές έννοιες

- Πού χρησιμεύει η ενέργεια στο κύτταρο;  
Οι περισσότερες κυτταρικές λειτουργίες απαιτούν προσφορά ενέργειας, όπως:  
1) Σύνθεση συστατικών του κυττάρου και διατήρηση της δομής του.  
2) Μεταφορά ουσιών (π.χ., ενεργητική μεταφορά ουσιών δια μέσου των μεμβρανών)  
3) Επιτέλεση των διαδικασιών της μίτωσης και μείωσης.  
4) Παραγωγή θερμότητας  
5) Παραγωγή μηχανικού έργου (π.χ., κίνηση)  
6) Σύνθεση μορίων σε συγκεκριμένο τύπο κυττάρων πολυκύτταρων οργανισμών που εξάγονται και έχουν εξειδικευμένη δράση (π.χ., αντισώματα, ορμόνες κ.α.)
- Σε ποιές δύο μεγάλες κατηγορίες διακρίνονται οι ζωντανοί οργανισμοί με βάση το είδος της ενέργειας που εισέρχεται σε αυτούς;  
Διακρίνονται στους αυτότροφους και ετερότροφους οργανισμούς.  
Αυτότροφοι οργανισμοί είναι εκείνοι οι οργανισμοί που φωτοσυνθέτουν, έχουν δηλαδή την ικανότητα να δεσμεύουν την ηλιακή ενέργεια και να την αξιοποιούν για την παραγωγή γλυκόζης και άλλων υδατανθράκων από απλά ανόργανα μόρια, όπως διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Δηλ., κάνουν φωτοσύνθεση.  
$$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{ηλιακή ενέργεια} \rightarrow \text{γλυκόζη} + \text{O}_2$$
  
ή πιο αναλυτικά:  $6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} + \text{ηλιακή ενέργεια} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2$ .  
Ετερότροφοι οργανισμοί είναι αυτοί οι οποίοι δε φωτοσυνθέτουν και παραλαμβάνουν με την τροφή τους τις χημικές ουσίες που είναι απαραίτητες για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών τους. Δηλ., χρησιμοποιούν οργανικές χημικές ενώσεις που προέρχονται από άλλους οργανισμούς (ζωντανούς ή νεκρούς, φυτικούς ή ζωικούς).
- Από ποιά είδη κυττάρων αποτελούνται οι αυτότροφοι και ετερότροφοι οργανισμοί;  
Οι πολυκύτταροι ετερότροφοι οργανισμοί αποτελούνται αποκλειστικά από μη φωτοσυνθετικά (ετερότροφα) κύτταρα.  
Οι αυτότροφοι οργανισμοί, όπως τα φυτά, διαθέτουν και φωτοσυνθετικά (αυτότροφα) και μη φωτοσυνθετικά (ετερότροφα) κύτταρα. Τα μη φωτοσυνθετικά κύτταρά τους βρίσκονται στα μη πράσινα μέρη του φυτού (π.χ., ρίζες).
- Ποιά είδη ενεργειακών οργανιδίων υπάρχουν στα κύτταρα;  
Μιτοχόνδρια υπάρχουν σε όλα τα κύτταρα (φωτοσυνθετικά και μη φωτοσυνθετικά).  
Χλωροπλάστες υπάρχουν μόνο στα φωτοσυνθετικά (αυτότροφα) κύτταρα.
- Πώς πραγματοποιείται γενικά η αξιοποίηση της ενέργειας που εισέρχεται στα κύτταρα;  
Η ενέργεια που εξασφαλίζουν τα κύτταρα από το περιβάλλον τους συνήθως δεν μπορούν να την αξιοποιήσουν άμεσα.  
Στα αυτότροφα κύτταρα η φωτεινή ενέργεια μετατρέπεται πρώτα σε χημική και αποθηκεύεται στους δεσμούς της γλυκόζης. Η διάσπαση των δεσμών αυτών που πραγματοποιείται με την οξείδωση (καύση) της γλυκόζης, αλλά και άλλων ενώσεων που έχουν προέλθει από αυτή (ό-

πως υδατανθράκων ή λιπιδίων), είναι αυτή θα δώσει την απαιτούμενη ενέργεια στα κύτταρα. Η διαδικασία της φωτοσύνθεσης είναι ενδόθερμη αντίδραση, ενώ οι οξειδωτικές αντιδράσεις που ακολουθούν είναι εξώθερμες.

Στα ετερότροφα κύτταρα, όπου δεν υπάρχει η διαδικασία της φωτοσύνθεσης, η διάσπαση των δεσμών κυρίως υδατανθράκων ή λιπιδίων είναι αυτή θα δώσει την απαιτούμενη ενέργεια στο κύτταρο. Οι οξειδωτικές αυτές αντιδράσεις είναι εξώθερμες.

Και στις δύο περιπτώσεις οι οξειδωτικές αυτές αντιδράσεις δεν γίνονται μονομιάς, επειδή το ποσό της ενέργειας που θα εκλυόταν θα κατέστρεφε το κύτταρο. Οι αντιδράσεις αυτές πραγματοποιούνται σε διαδοχικά στάδια και σε κάθε στάδιο εκλύεται μικρό ποσό ενέργειας που χρησιμοποιείται άμεσα από το κύτταρο.

- **Ποιά είναι η χρησιμότητα των ουσιών που εισάγονται στα κύτταρα;**  
Οι ενώσεις που εισάγονται στα κύτταρα χρησιμεύουν:
  - 1) είτε στην παραγωγή ενέργειας, όπως περιγράφηκε πιο πάνω, με τη διαδικασία της οξείδωσης (καύσης).
  - 2) είτε ως «πρώτη ύλη» για τη σύνθεση μορίων που είναι απαραίτητα ως δομικά ή λειτουργικά συστατικά των οργανισμών.
- **Ποιά μακρομόρια έχουν κυρίως ενεργειακό ρόλο;**  
Τα μακρομόρια που έχουν ενεργειακό ρόλο είναι:
  - 1) κυρίως άμυλο, γλυκογόνο από τους πολυσακχαρίτες (υδατάνθρακες)
  - 2) κυρίως τα τριγλυκερίδια από τα λιπίδια
- **Ποιά μακρομόρια έχουν κυρίως δομικό ρόλο;**  
Τα μακρομόρια που έχουν δομικό ρόλο είναι:
  - 1) κυρίως κυτταρίνη από τους πολυσακχαρίτες (υδατάνθρακες)
  - 2) κυρίως φωσφολιπίδια από τα λιπίδια
  - 3) δομικές πρωτεΐνες
- **Ποιά μακρομόρια έχουν κυρίως λειτουργικό ρόλο;**  
Τα μακρομόρια που έχουν λειτουργικό ρόλο είναι:
  - 1) λειτουργικές πρωτεΐνες
  - 2) νουκλεϊκά οξέα
- **Τι είναι Μεταβολισμός ;**  
**Μεταβολισμός** είναι το σύνολο των χημικών αντιδράσεων που πραγματοποιούνται στο κύτταρο και του εξασφαλίζουν την ομαλή λειτουργία όλων των λειτουργιών του. Ο μεταβολισμός έχει δύο σκέλη, τον καταβολισμό και τον αναβολισμό
- **Τι επιτυγχάνουν τα κύτταρα με το μεταβολισμό;**  
Με το μεταβολισμό τους τα κύτταρα, και κατ' επέκταση οι οργανισμοί, διατηρούν σταθερές τις συνθήκες λειτουργίας τους παρά τις μεταβολές που μπορεί να συμβαίνουν στο περιβάλλον. Οι μεταβολές αυτές μπορεί να αφορούν τη θερμοκρασία, τη συγκέντρωση εξωκυτταρικών ουσιών κ.ά.
- **Τι είναι καταβολισμός;**  
Ο **καταβολισμός** περιλαμβάνει τις αντιδράσεις διάσπασης πολύπλοκων ουσιών σε απλούστερες, με παράλληλη συνήθως απόδοση ενέργειας.

Οι καταβολικές αντιδράσεις είναι εξώθερμες, δηλαδή αποδίδουν ενέργεια.

Στον καταβολισμό: 1) αρχικά τα μακρομόρια διασπώνται στα μονομερή τους και  
2) στην συνέχεια τα μονομερή διασπώνται σε απλές ανόργανες ενώσεις και παράγονται μεγάλα ποσά ενέργειας.

Οι αντιδράσεις αυτές πραγματοποιούνται σε διαδοχικά στάδια, όπου σε κάθε στάδιο εκλύεται μικρό ποσό ενέργειας, ώστε να μη καταστραφεί το κύτταρο.

● *Ποιές είναι καταβολικές αντιδράσεις;*

1) Καταβολικές αντιδράσεις είναι οι αντιδράσεις βιοδιάσπασης των μακρομορίων στα μονομερή τους.

α) πρωτεΐνη  $\rightarrow$  αμινοξύ<sub>1</sub> + αμινοξύ<sub>2</sub> + ... + αμινοξύ<sub>n</sub> + ΕΝΕΡΓΕΙΑ

β) πολυσακχαρίτης  $\rightarrow$  μονοσακχαρίτης + μονοσακχαρίτης + ... + μονοσακχαρίτης + ΕΝΕΡΓΕΙΑ

γ) ουδέτερο λιπίδιο  $\rightarrow$  3 λιπαρά οξέα + γλυκερόλη + ΕΝΕΡΓΕΙΑ

δ) νουκλεϊκό οξύ  $\rightarrow$  νουκλεοτίδιο<sub>1</sub> + νουκλεοτίδιο<sub>2</sub> + ... + νουκλεοτίδιο<sub>n</sub> + ΕΝΕΡΓΕΙΑ

2) Καταβολικές αντιδράσεις είναι οι αντιδράσεις βιοδιάσπασης των παραπάνω μονομερών σε ανόργανες ενώσεις όπως: CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O και NH<sub>3</sub>.

Π.χ., μονοσακχαρίτης (γλυκόζη) + O<sub>2</sub>  $\rightarrow$  CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + ΕΝΕΡΓΕΙΑ

● *Τι είναι αναβολισμός;*

Ο **αναβολισμός** περιλαμβάνει αντιδράσεις σύνθεσης πολύπλοκων χημικών ουσιών από πιο απλές. Για την πραγματοποίηση των αντιδράσεων βιοσύνθεσης καταναλώνεται συνήθως ενέργεια.

Οι αναβολικές αντιδράσεις είναι ενδόθερμες, δηλαδή απορροφούν ενέργεια.

Στον αναβολισμό: 1) αρχικά απλά οργανικά μόρια μετατρέπονται σε μονομερή των μακρομορίων.

Μόνο στα φωτοσυνθετικά κύτταρα απλές ανόργανες ενώσεις, όπως CO<sub>2</sub> και H<sub>2</sub>O μετατρέπονται με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης σε οργανικών μορίων, όπως η γλυκόζη

2) στην συνέχεια συντίθενται τα μακρομόρια από τα μονομερή τους.

Οι αντιδράσεις του αναβολισμού πραγματοποιούνται σε διαδοχικά στάδια, όπου σε κάθε στάδιο απορροφάται μικρό ποσό ενέργειας.

● *Ποιές είναι αναβολικές αντιδράσεις;*

1) Αναβολικές αντιδράσεις είναι οι αντιδράσεις μετατροπής απλών οργανικών μορίων σε μονομερή των μακρομορίων δηλ., σε αμινοξέα, μονοσακχαρίτες, νουκλεοτίδια, λιπαρά οξέα και γλυκερόλη.

Σε αυτές συμπεριλαμβάνονται και οι αντιδράσεις της φωτοσύνθεσης, όπου τα ανόργανα μόρια CO<sub>2</sub> και H<sub>2</sub>O μετατρέπονται με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης στο μονοσακχαρίτη γλυκόζη. Δηλ., η αντίδραση: CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + *ηλιακή ενέργεια*  $\rightarrow$  γλυκόζη + O<sub>2</sub>

2) Αναβολικές αντιδράσεις είναι οι αντιδράσεις βιοσύνθεσης των μακρομορίων από τα μονομερή τους.

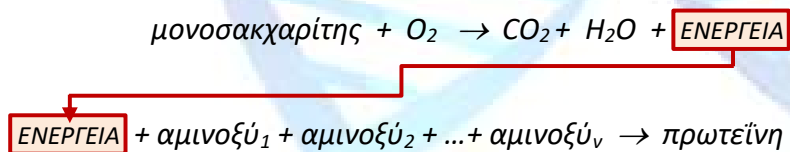
α) ΕΝΕΡΓΕΙΑ + αμινοξύ<sub>1</sub> + αμινοξύ<sub>2</sub> + ... + αμινοξύ<sub>n</sub>  $\rightarrow$  πρωτεΐνη

β) ΕΝΕΡΓΕΙΑ + μονοσακχαρίτης + μονοσακχαρίτης + ... + μονοσακχαρίτης  $\rightarrow$  πολυσακχαρίτης

γ) ΕΝΕΡΓΕΙΑ + 3 λιπαρά οξέα + γλυκερόλη  $\rightarrow$  ουδέτερο λιπίδιο

δ) ΕΝΕΡΓΕΙΑ + νουκλεοτίδιο<sub>1</sub> + νουκλεοτίδιο<sub>2</sub> + ... + νουκλεοτίδιο<sub>n</sub>  $\rightarrow$  νουκλεϊκό οξύ

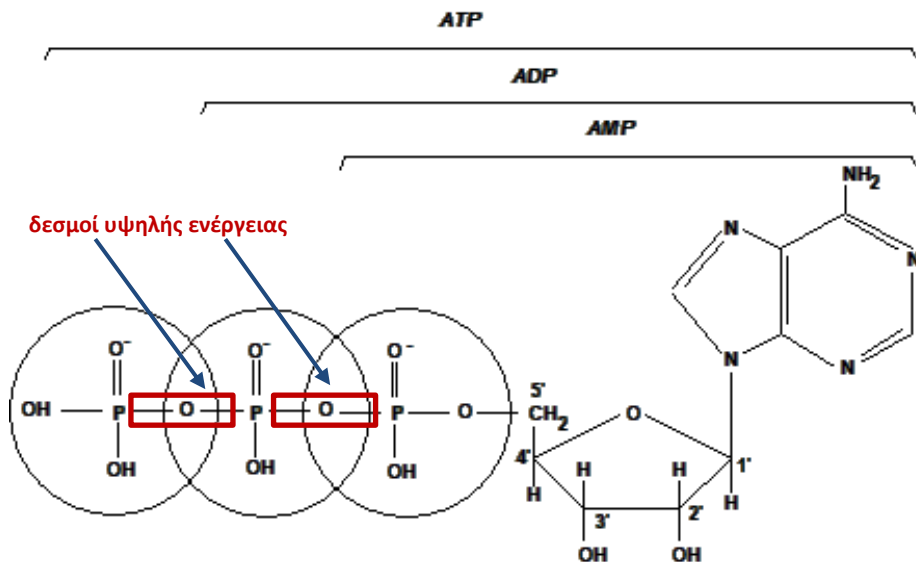
- Γιατί οι διαδικασίες του καταβολισμού και του αναβολισμού είναι αλληλένδετες μεταξύ τους; Όταν γίνεται μια αντίδραση καταβολισμού, ένα μέρος της ενέργειας που αποδίδεται χρησιμοποιείται για να προχωρήσει μια αντίδραση αναβολισμού που απαιτεί ενέργεια. Το υπόλοιπο μετατρέπεται σε θερμότητα και απελευθερώνεται στο περιβάλλον. Η ενέργεια που παράγεται στα κύτταρα των οργανισμών από τις αντιδράσεις του καταβολισμού αποθηκεύεται με τη βοήθεια των αντιδράσεων του αναβολισμού σε χημικούς δεσμούς βιομορίων. Για παράδειγμα, για τη σύνθεση μιας πρωτεΐνης, που είναι μία αναβολική αντίδραση, απαιτούνται αμινοξέα και ενέργεια. Η ενέργεια που απαιτείται για την σύνθεση της πρωτεΐνης προέρχεται από μία καταβολική αντίδραση, π.χ., την διάσπαση των δεσμών (οξειδωση) ενός μονοσακχαρίτη (π.χ., γλυκόζη).



- Πώς γίνεται η μεταφορά της ενέργειας στα διάφορα μέρη του κυττάρου; Μέσα στα κύτταρα η μεταφορά ενέργειας από το σημείο όπου αυτή παράγεται με τις αντιδράσεις καταβολισμού (αντιδράσεις διάσπασης - εξώθερμες) στο σημείο όπου καταναλώνεται από τις αντιδράσεις αναβολισμού (αντιδράσεις σύνθεσης - ενδόθερμες) επιτυγχάνεται με τη **σύζευξη εξώθερμων με ενδόθερμες αντιδράσεις**. Το ποσό της ενέργειας που εκλύεται από τη διάσπαση των χημικών δεσμών των μονομερών των ενεργειακών μακρομορίων (πολυσακχαριτών και λιπιδίων), δηλ. των μονοσακχαριτών και λιπαρών οξέων, είναι πολύ μεγάλο και θα κατέστρεφε το κύτταρο, αν γινόταν η διάσπαση μονομιάς. Για αυτό το λόγο η διαδικασία της διάσπασης των δεσμών πραγματοποιείται σε πολλά διαδοχικά στάδια. Κάθε στάδιο αντιστοιχεί σε μία εξώθερμη αντίδραση κατά την οποία παράγεται ποσό ενέργειας που αποθηκεύεται σε δεσμούς ειδικών ενεργειακών μορίων. Τα ενεργειακά αυτά μόρια χρησιμοποιούνται άμεσα από το κύτταρο στις αντιδράσεις του αναβολισμού και γενικά για τις ανάγκες του κυττάρου.

### Μεταφορά ενέργειας στα κύτταρα

- Ποιό μόριο χρησιμοποιείται για τη μεταφορά της χημικής ενέργειας από τις αντιδράσεις καταβολισμού σε αυτές του αναβολισμού και ποια είναι η δομή του; Σε όλα τα κύτταρα για τη μεταφορά της χημικής ενέργειας από τις εξώθερμες αντιδράσεις στις ενδόθερμες χρησιμοποιείται κυρίως το μόριο **τριφωσφορική αδενοσίνη (ATP)**. Το ATP είναι ένα τριφωσφορικό νουκλεοτίδιο. Οι τρεις φωσφορικές ομάδες (P) βρίσκονται σε σειρά και οι χημικοί δεσμοί που ενώνουν τις δύο τελευταίες περικλείουν μεγάλο ποσό ενέργειας γι' αυτό και χαρακτηρίζονται ως **δεσμοί υψηλής ενέργειας**.



**Εικόνα 1.**

Χημική δομή τριφωσφορικής αδενοσίνης.

- Ποιά είναι τα χαρακτηριστικά του μορίου του ATP που το καθιστούν κατάλληλο για άμεση χρησιμοποίησή του στις αναβολικές και καταβολικές αντιδράσεις;

Το ATP παραλαμβάνει και μεταφέρει ενέργεια σ' οποιοδήποτε μέρος του κυττάρου, και την αποδίδει γρήγορα με μία και μόνο χημική αντίδραση.

Αυτό εκφράζεται με την αμφίδρομη αντίδραση:  $\text{ΕΝΕΡΓΕΙΑ} + \text{ADP} + (\text{P}) \rightleftharpoons \text{ATP} + \text{H}_2\text{O}$

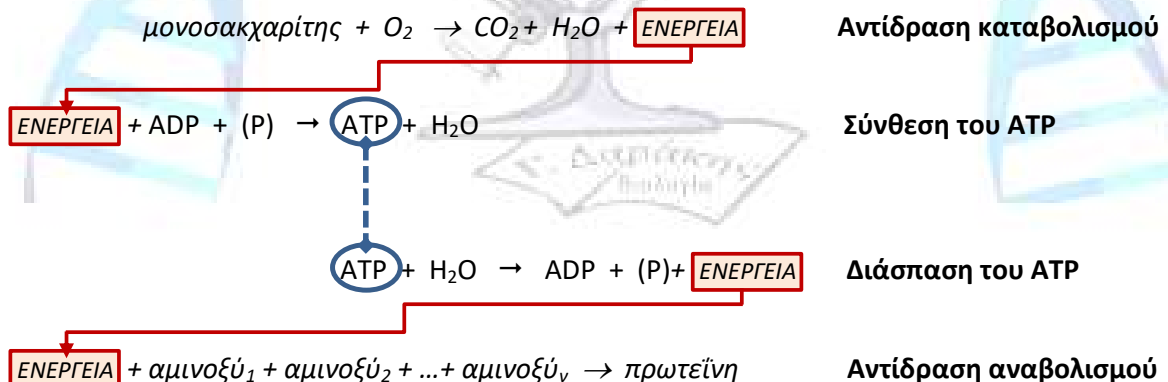
Διάσπαση του ATP:  $\text{ATP} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{ADP} + (\text{P}) + \text{ΕΝΕΡΓΕΙΑ}$

Στην περίπτωση της διάσπασης του ATP οι δεσμοί υψηλής ενέργειας είναι ασταθείς και εύκολα διασπώνται με υδρόλυση.

Σύνθεση του ATP:  $\text{ΕΝΕΡΓΕΙΑ} + \text{ADP} + (\text{P}) \rightarrow \text{ATP} + \text{H}_2\text{O}$

Για τη σύνθεση του ATP βοηθά η δομή του, η δυνατότητα σχηματισμού του από **ADP (διφωσφορική αδενοσίνη)**, ένα φωσφορικό οξύ και ενέργεια, και το γεγονός ότι η αντίδραση αυτή είναι αμφίδρομη.

- Πώς το ATP χρησιμοποιείται στη σύζευξη εξώθερμων με ενδόθερμες αντιδράσεις;



Σε κάθε αντίδραση καταβολισμού υπάρχει αντίδραση σύνθεσης ATP. Η ενέργεια που παράγεται κατά την αντίδραση του καταβολισμού χρησιμεύει για τη σύνθεση του ATP.

Σε κάθε αντίδραση αναβολισμού υπάρχει αντίδραση διάσπασης ATP. Η ενέργεια που παράγεται από τη διάσπαση του ATP χρησιμεύει για τη πραγματοποίηση της αντίδρασης του αναβολισμού

Έτσι, η σύζευξη καταβολικών με αναβολικές αντιδράσεις με τη μεσολάβηση του ATP παρουσιάζεται με τη μορφή δύο ζευγών αντιδράσεων.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι το ATP, ως ο κύριος, άμεσος δότης ενέργειας για τα κύτταρα (στοιχειώδης μονάδα ενέργειας), θα πρέπει συνεχώς να αναγεννάται από ADP και φωσφορικό οξύ αλλά και να διασπάται σε αυτά όποτε υπάρχει ανάγκη.

- *Πώς χαρακτηρίζεται το ATP από ενεργειακή άποψη;*

Επειδή το ATP μεσολαβεί στις συναλλαγές μεταξύ των κυτταρικών διεργασιών που αποδίδουν και αυτών που καταναλώνουν ενέργεια, χαρακτηρίζεται ως **ενεργειακό νόμισμα**.

- *Ποιά είναι η διαφορά του ATP με τα άλλα βιομόρια που έχουν ενεργειακό ρόλο;*

Το άμυλο, το γλυκογόνο (πολυσακχαρίτες) και τα ουδέτερα λιπίδια χρησιμεύουν για αποθήκευση ενέργειας. Έχουν ρόλο αποταμιευτικό. Διασπώνται στα μονομερή τους, μονοσακχαρίτες, λιπαρά οξέα και γλυκερόλη αντίστοιχα, τα οποία χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας.

Το ATP δεν έχει ρόλο αποταμιευτικό. Το κύτταρο δεν αποθηκεύει μεγάλο αριθμό μορίων ATP. Τα χρησιμοποιεί δηλαδή σχεδόν αμέσως, μόλις αυτά συντεθούν. Σε τυπικά κύτταρα ένα μόριο ATP χρησιμοποιείται μέσα σ' ένα λεπτό από τη στιγμή του σχηματισμού του. Ένας άνθρωπος σε ανάπαυση καταναλώνει, συνολικά, περίπου 40 kg ATP σε 24 ώρες. Ωστόσο το ποσό του ATP που βρίσκεται στο σώμα του σε κάθε δεδομένη στιγμή δεν υπερβαίνει το 1g. Κάθε δευτερόλεπτο παράγονται από κάθε κύτταρο 10 εκατομμύρια μόρια ATP και, αντίστοιχα, υδρολύονται άλλα τόσα.

