

Πρωτεΐνες: Διαδεδομένες, πολύπλοκες και εύθραυστες

Αν μεταξύ των **μακρομορίων** αναζητούσαμε το πιο διαδεδομένο και πολυδιάστατο στη μορφή και στη λειτουργία του μόριο, αργά ή γρήγορα θα καταλήγαμε στις **πρωτεΐνες**. Είναι γεγονός ότι ακόμη και σε ένα απλό κύτταρο, όπως αυτό των βακτηρίων, υπάρχουν **εκατοντάδες διαφορετικές πρωτεΐνες**, καθεμιά από τις οποίες έχει έναν ιδιαίτερο ρόλο στη ζωή του κυττάρου. Αποτελεί είτε **δομικό συστατικό του** είτε εξυπηρετεί κάποια συγκεκριμένη **λειτουργία του**.

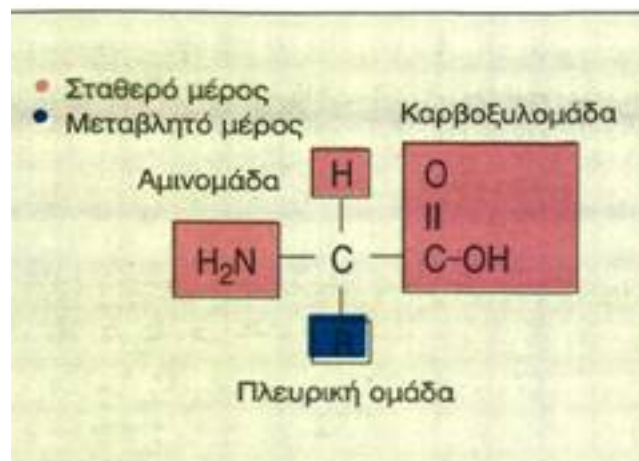
Παρά τις διαφορές τους όλες οι πρωτεΐνες, ανεξάρτητα από το πού ανήκουν (σε ιούς, βακτήρια ή σε ανώτερες μορφές ζωής), οικοδομούνται με βάση την ίδια πρώτη ύλη: ένα σύνολο από **20 διαφορετικά αμινοξέα**. Από τα 20 αυτά είδη αμινοξέων, ένας διαφορετικός αριθμός κάθε φορά, συνδεόμενα με διαφορετική αλληλουχία, δίνουν μια **τεράστια ποικιλία πρωτεϊνικών μορίων**. Ο αριθμός των αμινοξέων που είναι διαφορετικός για κάθε πρωτεΐνη **μπορεί να ξεπερνά τα 1.000**.

Για να αντιληφθούμε πώς είναι δυνατό να δημιουργούνται διαφορετικά είδη πρωτεϊνών, όταν η πρώτη ύλη, δηλαδή τα αμινοξέα, είναι κοινή για όλους τους οργανισμούς, φτάνει να σκεφτούμε τη γλώσσα μας. Τα 24 γράμματα του ελληνικού αλφάβητου, τοποθετούμενα σε διαφορετικούς συνδυασμούς, αρκούν για να σχηματίσουν χιλιάδες διαφορετικές λέξεις, που χρησιμοποιούμε για την επικοινωνία μας. Με παρόμοιο τρόπο τα **20 διαφορετικά αμινοξέα, τοποθετούμενα σε διαφορετικούς συνδυασμούς, μπορούν να σχηματίσουν έναν τεράστιο αριθμό διαφορετικών πρωτεϊνικών μορίων**.

Αμινοξέα

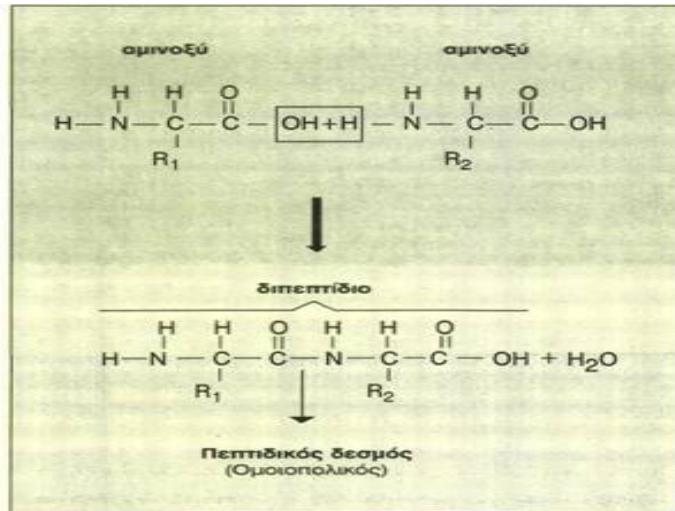
Έχουν ανιχνευτεί **πάνω από 170 διαφορετικά αμινοξέα** από τα οποία **20 μόνο αποτελούν συστατικά πρωτεϊνών**.

Το μόριο των αμινοξέων αποτελείται από δύο τμήματα, **ένα σταθερό και ένα μεταβλητό**. Το **σταθερό** αποτελείται από ένα άτομο υδρογόνου, μια αμινομάδα και μια καρβοξυλομάδα, ενωμένα σε ένα κοινό άτομο άνθρακα, ενώ το **μεταβλητό** αποτελείται από την **πλευρική ομάδα**. Η ομάδα αυτή έχει διαφορετική χημική δομή για κάθε αμινοξύ. Συνεπώς, αν υπάρχουν 20 διαφορετικά αμινοξέα, είναι γιατί υπάρχουν 20 διαφορετικές πλευρικές ομάδες.

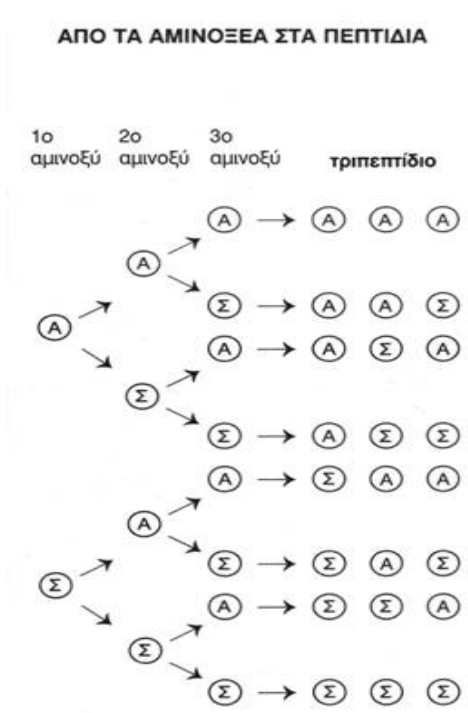


Πεπτιδικός δεσμός

Κατά την ένωση δύο αμινοξέων δημιουργείται ένας ομοιοπολικός δεσμός μεταξύ της καρβοξυλομάδας του πρώτου αμινοξέος και της αμινομάδας του επόμενου αμινοξέος. Αυτό γίνεται με μια αντίδραση **συμπύκνωσης**, δηλαδή αφαίρεσης ενός μορίου νερού για κάθε δεσμό που δημιουργείται. Αποτέλεσμα αυτής της ένωσης είναι ένα **διπεπτίδιο**.



Αν στο 2ο αμινοξύ του διπεπτιδίου συνδεθεί με τον ίδιο τρόπο ένα 3ο αμινοξύ, δημιουργείται ένα **τριπεπτίδιο** κ.ο.κ. Τα πεπτίδια στα οποία ο αριθμός των αμινοξέων υπερβαίνει τα 50 ονομάζονται **πολυπεπτίδια**. Κάθε φορά μπορεί να προστίθεται στην πεπτιδική αλυσίδα οποιοδήποτε από τα 20 διαφορετικά αμινοξέα που απαντώνται στις πρωτεΐνες.



Αν μας δώσουν, όσες φορές χρειαστούμε, δυο είδη αμινοξέων, την αλανίνη (A) και τη σερίνη (Σ), και μας θέσουν το ερώτημα: πόσα διαφορετικά τριπεπτίδια μπορούμε να φτιάξουμε χρησιμοποιώντας κάθε είδος αμινοξέος από καμιά ως τρεις φορές; Πώς θα το υπολογίσουμε; Ένας απλός τρόπος να απαντήσουμε στο ερώτημα, χωρίς να μπερδευτούμε από τους ποικίλους συνδυασμούς, είναι να σκεφτούμε ότι κάθε θέση τριπεπτιδίου (1n, 2n, 3n) μπορεί να καταλαμβάνεται από οποιοδήποτε από τα 2 είδη αμινοξέων. Έτσι μπορούμε να κατασκευάσουμε ένα σύστημα διακλάδωσης, από το οποίο να προκύπτουν όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί. Παρατηρούμε ότι προκύπτουν 8, δηλαδή 2³ διαφορετικοί συνδυασμοί. Συνεπώς, αν αντί για 2 είδες 20 διαφορετικά αμινοξέα που μετέχουν στις πρωτεΐνες και το πολυπεπτίδιο είχε, για παράδειγμα, 100 αμινοξέα, οι πιθανοί συνδυασμοί θα ήταν 20¹⁰⁰.

Οργάνωση των πρωτεϊνικών μορίων

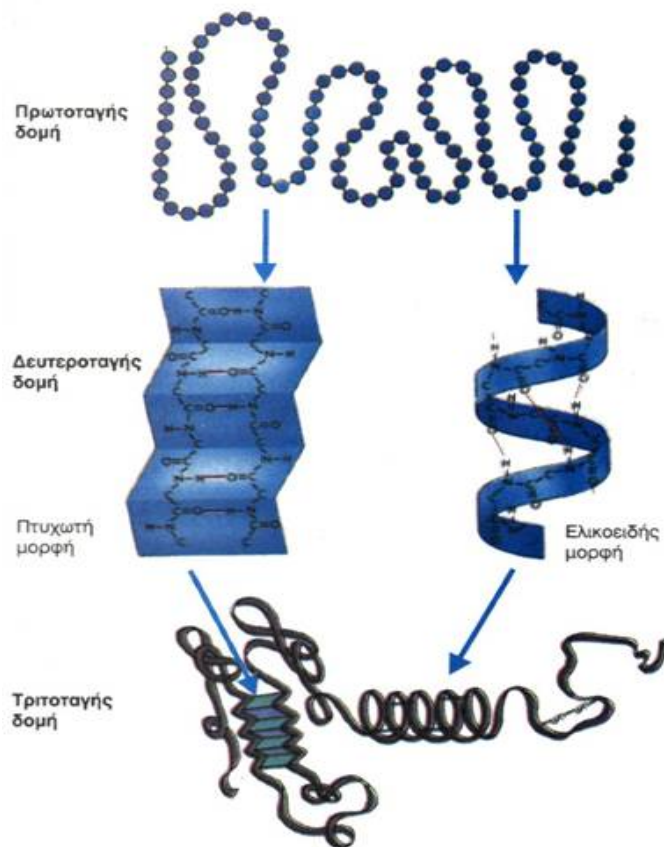
Ένα πολυπεπίδιο, αμέσως μετά τη σύνθεσή του, δεν είναι συνήθως ικανό να εκδηλώσει το βιολογικό του ρόλο. Η ικανότητα αυτή αποκτάται, όταν η πολυπεπτιδική αλυσίδα πάρει την τελική διαμόρφωσή της στο χώρο. Όπως φαίνεται και στην εικόνα, στα πρωτεϊνικά μόρια διακρίνουμε **τέσσερα επίπεδα οργάνωσης**.

Το πρώτο επίπεδο είναι η **πρωτοταγής δομή**, δηλαδή η αλληλουχία των αμινοξέων στην πολυπεπτιδική αλυσίδα.

Στο δεύτερο επίπεδο, που αποτελεί τη **δευτεροταγή δομή** της πρωτεΐνης, η πολυπεπτιδική αλυσίδα αναδιπλώνεται και αποκτά είτε ελικοειδή είτε πτυχωτή μορφή.

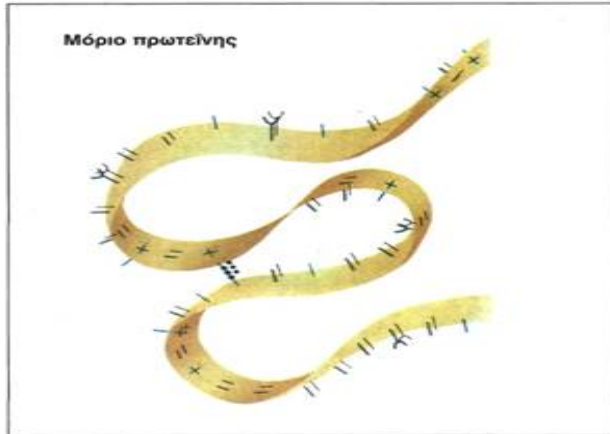
Στο τρίτο επίπεδο η πολυπεπτιδική αλυσίδα, πτυχωτή ή ελικοειδής, αναδιπλώνεται στο χώρο, ώστε να αποκτήσει μια καθορισμένη μορφή την **τριτοταγή δομή**.

Αν η πρωτεΐνη αποτελείται από μία μόνο πολυπεπτιδική αλυσίδα, το τελικό στάδιο της διαμόρφωσής της είναι η τριτοταγής δομή. Αν όμως αποτελείται από περισσότερες πολυπεπτιδικές αλυσίδες, το τελικό στάδιο είναι η **τεταρτοταγής δομή**, δηλαδή ο συνδυασμός των επιμέρους πολυπεπτιδικών αλυσίδων σε ένα ενιαίο πρωτεϊνικό μόριο. **Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η αιμοσφαιρίνη, η οποία συντίθεται από τέσσερις πολυπεπτιδικές αλυσίδες ανά δύο ίδιες.**



Η διαμόρφωση του πρωτεϊνικού μορίου στον χώρο:

- καθορίζεται από την **αλληλουχία των αμινοξέων** στην πεπτιδική αλυσίδα και
- σταθεροποιείται από τους **δεσμούς** που σχηματίζονται ανάμεσα στις **ομάδες R** των αμινοξέων.



Η ταινία απεικονίζει μια πεπτιδική αλυσίδα. Τα σύμβολα κατά μήκος της απεικονίζουν τις πλευρικές ομάδες των αμινοξέων. Κατά την αναδίπλωση του μορίου αναπτύσσονται χημικοί δεσμοί ανάμεσα σε συγκεκριμένες πλευρικές ομάδες αμινοξέων. Οι δεσμοί αυτοί σταθεροποιούν το μόριο στο χώρο.

Η δομή των πρωτεϊνικών μορίων καθορίζει τη λειτουργία τους

Σύμφωνα με τους μετριοπαθέστερους υπολογισμούς, στο ανθρώπινο σώμα υπάρχουν περισσότερες από **30.000 διαφορετικές πρωτεΐνες**. Καθεμιά από αυτές εμφανίζει έναν **ιδιαίτερο βιολογικό ρόλο**.

- ✓ Η αιμοσφαιρίνη, για παράδειγμα, είναι επιφορτισμένη με τη μεταφορά του οξυγόνου και του διοξειδίου του άνθρακα.
- ✓ Το κολλαγόνο είναι δομική πρωτεΐνη ιστών (π.χ. του συνδετικού ιστού), ενώ
- ✓ τα ένζυμα επιταχύνουν τις αντιδράσεις που γίνονται μέσα στο κύτταρο.

Από την ποικιλία των διαφορετικών λειτουργιών που κάνουν οι πρωτεΐνες μπορούμε να αντιληφθούμε τη **μεγάλη σημασία τους για τα βιολογικά φαινόμενα**. Ο μεταβολισμός, ο πολλαπλασιασμός και όλες οι άλλες λειτουργίες των κυττάρων, και κατ' επέκταση των οργανισμών, στηρίζονται στη δράση των εκπληκτικών αυτών «μοριακών εργαλείων».

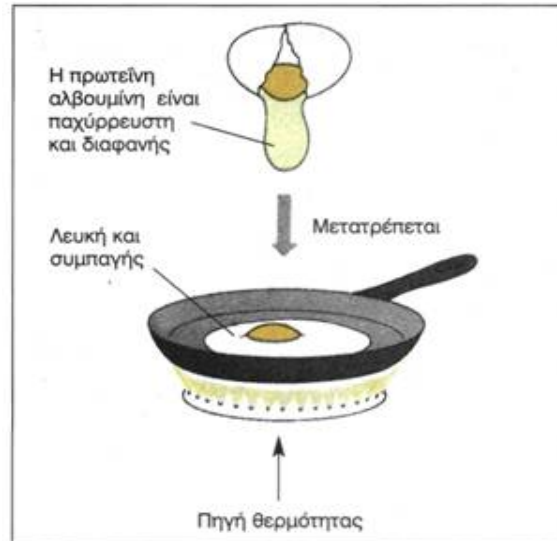
Είναι δικαιολογημένο να αναρωτιόμαστε πώς είναι δυνατό μόρια τα οποία είναι φτιαγμένα από τα ίδια είδη αμινοξέων να παρουσιάζουν τόσο διαφορετικές λειτουργίες. Την απάντηση θα τη βρούμε, αν προσπαθήσουμε να εντοπίσουμε εκείνο **το στοιχείο που διαφοροποιεί τις πρωτεΐνες μεταξύ τους**. Αυτό είναι η **διαφορετική αλληλουχία των αμινοξέων, δηλαδή η διαφορετική πρωτοταγής δομή** σε συνδυασμό με τις διαφορετικές ομάδες R.

Όταν η **σειρά των αμινοξέων είναι διαφορετική**, η δυνατότητα να σχηματιστούν δεσμοί ανάμεσα στις πλευρικές ομάδες αμινοξέων βρίσκεται σε διαφορετικά σημεία της πεπτιδικής αλυσίδας. Αυτό οδηγεί σε **διαφορετική αναδίπλωση** του μορίου, που συνεπάγεται διαφορετική δευτεροταγή και τριτοταγή δομή, επομένως σε **διαφορετική διαμόρφωση στο χώρο**.

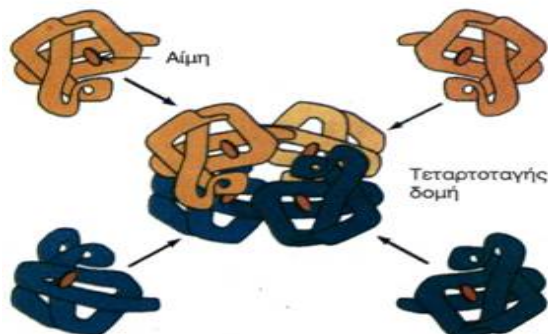
Μετουσίωση

Η τρισδιάστατη δομή μιας πρωτεΐνης καθορίζει τη λειτουργία που αυτή εκτελεί. Αυτό φαίνεται από τις συνέπειες της έκθεσης της σε ακραίες τιμές θερμοκρασίας ή pH. Τότε η πρωτεΐνη υφίσταται αυτό που ονομάζουμε **μετουσίωση**. Σπάζουν δηλαδή οι δεσμοί που έχουν αναπτυχθεί μεταξύ των πλευρικών ομάδων, καταστρέφεται η τρισδιάστατη δομή της και η πρωτεΐνη χάνει τη λειτουργικότητά της.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η αλλαγή της υφής του ασπραδιού του αυγού κατά τη θέρμανση. Από διαυγές διάλυμα πρωτεϊνικών μορίων, γίνεται λευκό, αδιαφανές και συμπαγές. Αυτό οφείλεται στο ότι η **πρωτεΐνη που περιέχει (αλβουμίνη) μετουσιώνεται**. Σ' αυτή την κατάσταση είναι εμφανές ότι δεν μπορεί να επιτελέσει πλέον τη λειτουργία για την οποία υπάρχει ως συστατικό του αυγού.



Οι πρωτεΐνες, με κριτήριο τη λειτουργία τους, διακρίνονται σε δύο ευρύτερες κατηγορίες. Τις **δομικές**, που αποτελούν δομικά συστατικά των κυττάρων και κατ' επέκταση των οργανισμών, και τις **λειτουργικές**, που συμβάλλουν στις διάφορες λειτουργίες.



Δομή αιμοσφαιρίνης

Ερωτήσεις κατανόησης- ανάπτυξης

1. Τα μονομερή των πρωτεϊνών είναι τα αμινοξέα.
Να απαντήσετε στις ερωτήσεις:
 - α. Ποια είναι η χημική σύσταση ενός αμινοξέος;
 - β. Ποιες είναι οι σταθερές χημικές ομάδες που δομούν κάθε αμινοξύ;
2. Πόσα είναι τα διαφορετικά είδη μεταβλητής ομάδας των αμινοξέων τα οποία συμμετέχουν στη σύνθεση των πρωτεϊνών;
3. Να δείξετε σχηματικά πώς συνδέονται δύο αμινοξέα μεταξύ τους για να σχηματίσουν ένα διπεπτίδιο. Πώς ονομάζεται ο δεσμός που σχηματίζεται; Ποιο άλλο μόριο παράγεται κατά το σχηματισμό ενός διπεπτιδίου;
4. Να τοποθετήσετε στη σωστή σειρά από το μικρότερο προς το μεγαλύτερο σε μέγεθος, τα παρακάτω: αμινοξύ, άζωτο, τριπεπτίδιο, πρωτεΐνη, αμινομάδα.
5. Να περιγράψετε τα διαφορετικά επίπεδα οργάνωσης των πρωτεϊνών μορίων. Να εξηγήσετε γιατί η ύπαρξη διαφορετικών ειδών μεταβλητών ομάδων είναι σημαντική για την εκτέλεση του βιολογικού ρόλου των πρωτεϊνών.
6. Από τι καθορίζεται η λειτουργία μιας πρωτεΐνης;
7. Πού οφείλεται η ποικιλία των πρωτεϊνών;
8. Πώς καθορίζεται η διαμόρφωση του πρωτεϊνικού μορίου στο χώρο;
9. Τι σημαίνει μετουσίωση μιας πρωτεΐνης και από ποιους παράγοντες προκαλείται;
10. Γιατί όλες οι πρωτεΐνες δεν διαθέτουν τεταρτοταγή δομή; Να εξηγήσετε αν θα επηρεαστεί η τριτοταγής δομή της πρωτεΐνης, σε περίπτωση που η πρωτεΐνη εκτεθεί σε ακραία τιμή θερμοκρασίας.
11. Με ποιο είδος δεσμού συνδέονται τα αμινοξέα των πεπτιδίων μεταξύ τους, με ποια χημική αντίδραση δημιουργείται αυτός ο δεσμός;
12. Πιστεύετε ότι ταυτίζονται οι έννοιες πολυπεπτιδική αλυσίδα και πρωτεΐνη;

Ασκήσεις

1. Να συμπληρώσετε ποιες από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστές (Σ) και ποιες λανθασμένες (Λ).

- i. Το DNA είναι πρωτεΐνη.
- ii. Τα νουκλεοτίδια είναι τα μονομερή των πρωτεϊνών.
- iii. Η δομή των πρωτεϊνικών μορίων καθορίζει την λειτουργία τους.
- iv. Το σταθερό τμήμα των αμινοξέων ονομάζεται πλευρική ομάδα.
- v. Κατά την μετουσίωση μίας πρωτεΐνης διασπώνται πεπτιδικοί δεσμοί.
- vi. Η αλβουμίνη είναι πρωτεΐνη του αβγού.
- vii. Όλες οι πρωτεΐνες είναι ένζυμα.
- viii. Όλα τα ένζυμα είναι πρωτεΐνες.
- ix. Η αιμοσφαιρίνη εμφανίζει μόνο τεταρτοταγή δομή.
- x. Οι δεσμοί που δημιουργούνται μεταξύ των αμινοξέων είναι πάντα ομοιοπολικοί.