

Βασικά στοιχεία των βιομορίων (kg)		Μικροστοιχεία (mg)			
Οξυγόνο (O)	44	Σίδηρος (Fe)	5000	Μόλυβδος (Pb)	35
Άνθρακας (C)	12.6	Πυρίτιο (Si)	3000	Βάριο (Ba)	21
Υδρογόνο (H)	6.6	Ψευδάργυρος (Zn)	1750	Μολυβδαίνιο (Mo)	14
Άζωτο (N)	1.8	Ρουβίδιο (Rb)	360	Βόριο (B)	14
Φώσφορος (P)	0.7	Χαλκός (Cu)	280	Αρσενικό (As)	~ 3
Μακροστοιχεία (g)		Στρόντιο (Sr)	280	Κοβάλτιο (Co)	~ 3
Ασβέστιο (Ca)	1700	Βρώμιο (Br)	140	Χρώμιο (Cr)	~ 3
Κάλιο (K)	250	Κασσίτερος (Sn)	140	Νικέλιο (Ni)	~ 3
Χλώριο (Cl)	115	Μαγγάνιο (Mn)	70	Σελήνιο (Se)	~ 2
Νάτριο (Na)	70	Ιώδιο (I)	70	Λίθιο (Li)	~ 2
Μαγνήσιο (Mg)	42	Αργίλιο (Al)	35	Βανάδιο (V)	~ 2

Πίνακας 2.1 Κατά προσέγγιση σύνθεση σε χημικά στοιχεία ενός τυπικού ανθρώπου 70 κιλών. Τα βασικά στοιχεία που συνθέτουν τα βιομόρια βρίσκονται σε μεγάλη ποσότητα στον οργανισμό ενώ σε αντίστοιχα μεγάλες ποσότητες βρίσκονται και μερικά μακροστοιχεία. Στοιχεία που βρίσκονται σε μικρότερες ποσότητες αποτελούν τα μικροστοιχεία (REF).

Τα βιομόρια έχουν τη δυνατότητα να φτιάξουν μεγαλύτερα μόρια, τα λεγόμενα και **μακρομόρια**, μέσα από εξειδικευμένους μηχανισμούς σύνθεσης του κυττάρου. Τα μακρομόρια αποτελούν συνήθως **πολυμερή**, δηλαδή δημιουργούνται από τη συνένωση πολλών **μονομερών** χημικών ενώσεων. Τα μακρομόρια που εμφανίζουν χαρακτηριστικά πολυμερών ανήκουν σε 3 μεγάλες κατηγορίες, τους **υδατάνθρακες**, τις **πρωτεΐνες** και τα **νουκλεϊκά οξέα**. Τα **λιπίδια** αποτελούν τα μόνα μακρομόρια χωρίς τη μορφή πολυμερούς.

2.1 Το νερό

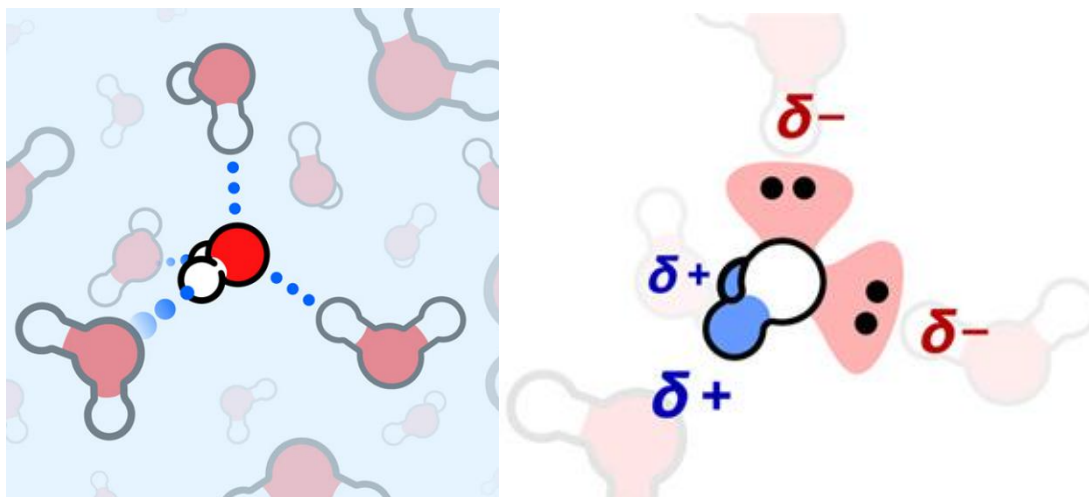
Η ζωή θεωρείται ότι αναπτύχθηκε μέσα σε νερόλακκους της πρώιμης φάσης της δημιουργίας της γης πριν από 3,7 δισεκατομμύρια χρόνια. Μέσα από την «**αρχέγονη υδατική σούπα**» που περιείχε τα βασικά συστατικά μορίων, που σήμερα αποτελούν τα μόρια της ζωής, εμφανίστηκαν τα πρώτα συστήματα αυτόνομης αντιγραφής. Οι μοναδικές του ιδιότητες του νερού επιτρέπουν και υποστηρίζουν τις βασικές βιολογικές διεργασίες της ζωής.

Το νερό παρουσιάζει ιδιαίτερες φυσικές και χημικές ιδιότητες που είναι απαραίτητες για τις κυτταρικές λειτουργίες. Στη βιολογία των οργανισμών, το νερό χρησιμεύει ως ο **κεντρικός διαλύτης**, διαδραματίζοντας σημαντικό ρόλο σε διάφορες μεταβολικές διεργασίες και βιοχημικές αντιδράσεις. Η ικανότητά του να διαλύει πολικές και ιοντικές ουσίες επιτρέπει τη μεταφορά ιόντων, θρεπτικών ουσιών και κυτταρικών παραπροϊόντων μέσω των κυτταρικών μεμβρανών. Μέσα στα κύτταρα, το νερό δρα ως μέσο για ενζυμικές αντιδράσεις, παρέχοντας ένα περιβάλλον όπου τα υποστρώματα και τα ένζυμα μπορούν να αλληλεπιδράσουν για να καταλύσουν βιοχημικούς μετασχηματισμούς που είναι απαραίτητοι για τον κυτταρικό μεταβολισμό. Η **πολική φύση** του νερού, που χαρακτηρίζεται από μια ανομοιόμορφη

κατανομή φορτίου, το καθιστά εξαιρετικά ευέλικτο στην αλληλεπίδραση με άλλα μόρια μέσω **δεσμών υδρογόνου**. Αυτή η ιδιότητα επιτρέπει στο νερό να σχηματίζει κελύφη ενυδάτωσης γύρω από ιόντα και πολικά μόρια, διευκολύνοντας τη διαλυτοποίηση και τη μεταφορά τους. Οι δεσμοί υδρογόνου προσδίδουν επίσης στο νερό την αξιοσημείωτη συνοχή και επιφανειακή τάση, ζωτικής σημασίας για διαδικασίες όπως το τριχοειδές φαινόμενο.

Ένα μόριο νερού αποτελείται από δύο άτομα υδρογόνου που συνδέονται ομοιοπολικά με ένα άτομο οξυγόνου. Το μόριο του νερού είναι ένα πολικό μόριο λόγω της διαφοράς στην **ηλεκτραρνητικότητα** μεταξύ των ατόμων υδρογόνου και οξυγόνου που το συνθέτουν. Το οξυγόνο είναι πιο ηλεκτραρνητικό από το υδρογόνο, που σημαίνει ότι έχει ισχυρότερη έλξη για τα ηλεκτρόνια. Ως αποτέλεσμα, τα κοινά ηλεκτρόνια στους ομοιοπολικούς δεσμούς περνούν περισσότερο χρόνο γύρω από το άτομο οξυγόνου, δίνοντάς του ένα μερικώς αρνητικό φορτίο (που συμβολίζεται ως δ^-) και αφήνοντας τα άτομα υδρογόνου με ένα μερικώς θετικό φορτίο (που συμβολίζεται ως δ^+). Αυτός ο διαχωρισμός φορτίου δημιουργεί μια **διπολική ροπή** στο μόριο του νερού, με το άκρο του οξυγόνου να είναι πιο αρνητικό και το άκρο του υδρογόνου πιο θετικό (**Εικόνα 1.1**).

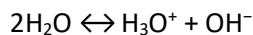
Αυτή η πολικότητα επιτρέπει στα μόρια του νερού να σχηματίσουν δεσμούς υδρογόνου μεταξύ τους. Τα μερικώς θετικά άτομα υδρογόνου ενός μορίου νερού έλκονται από τα μερικώς αρνητικά άτομα οξυγόνου γειτονικών μορίων νερού, οδηγώντας στο σχηματισμό δεσμών υδρογόνου. Αυτοί οι δεσμοί υδρογόνου συμβάλλουν σε πολλές από τις μοναδικές ιδιότητες του νερού, όπως το υψηλό σημείο βρασμού, η επιφανειακή τάση και η ικανότητά του να διαλύει ένα ευρύ φάσμα ουσιών.



Εικόνα 2.1 Η δομή του νερού. Τα μόρια του νερού σχηματίζουν δεσμούς υδρογόνου, παίρνοντας μια τετραεδρική διεύθετη στη δομή τους. Το οξυγόνο είναι πιο ηλεκτραρνητικό από το υδρογόνο, με αποτέλεσμα τα κοινά ηλεκτρόνια στους ομοιοπολικούς δεσμούς περνούν περισσότερο χρόνο γύρω από το άτομο οξυγόνου, δίνοντάς του ένα μερικώς αρνητικό φορτίο (που συμβολίζεται ως δ^-) και αφήνοντας τα άτομα υδρογόνου με ένα μερικώς θετικό φορτίο (που συμβολίζεται ως δ^+).

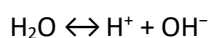
Η διάσταση του νερού

Στην υγρή μορφή του νερού, δύο μόρια νερού αυτοδιασπώνται σε ένα ιόν υδροξωνίου (H_3O^+) και ένα ιόν υδροξυλίου (OH^-) ως εξής:



Ένας πυρήνας υδρογόνου ή αλλιώς ένα πρωτόνιο (H^+) που μεσολαβεί στον δεσμό υδρογόνου ενσωματώνεται στο άτομο οξυγόνου του μορίου του νερού που ενεργεί ως δέκτης και αυτό το μόριο νερού μετατρέπεται στο ιόν υδροξωνίου. Το μόριο του νερού που χάνει το πρωτόνιο γίνεται ιόν υδροξυλίου.

Σε απλούστερη μορφή η παραπάνω χημική ισορροπία απαντάται και ως εξής:



Η σταθερά ισορροπίας είναι περίπου 10^{-14} στους 25 °C. Υπό ουδέτερες συνθήκες pH ($\text{pH}=7$), η συγκέντρωση των ιόντων υδροξωνίου είναι 10^{-7} mol/L και ίση με αυτή των ιόντων υδροξυλίου. Ένα pH κάτω από 7 υποδηλώνει ένα όξινο διάλυμα, με υψηλότερη συγκέντρωση ιόντων υδροξωνίου ή υδρογόνου, ενώ ένα pH πάνω από 7 υποδηλώνει ένα βασικό ή αλκαλικό διάλυμα, με υψηλότερη συγκέντρωση ιόντων υδροξυλίου.

Καθώς τα περισσότερα μόρια της ζωής είναι διαλυμένα στο νερό το pH αποτελεί κεντρικό ρυθμιστή στην ομοιοστάση του κυττάρου αλλά και του οργανισμού.

1. **Δομή των μακρομορίων:** Τα μακρομόρια, που εμπλέκονται σχεδόν σε κάθε βιολογική διαδικασία, έχουν συγκεκριμένες τρισδιάστατες δομές που επηρεάζονται από το pH. Οι αλλαγές στο pH μπορούν να αλλάξουν τα φορτία των χημικών ομάδων των μακρομορίων επηρεάζοντας την αναδίπλωση στο χώρο, τη σταθερότητα και τη λειτουργία τους.
2. **Μεταβολική Δραστηριότητα:** Τα ένζυμα, τα οποία είναι βιολογικοί καταλύτες των μεταβολικών αντιδράσεων του κυττάρου, έχουν ένα βέλτιστο pH στο οποίο λειτουργούν πιο αποτελεσματικά. Οι αποκλίσεις από αυτό το βέλτιστο pH μπορούν να μετουσιώσουν τα ένζυμα, αλλοιώνοντας τη δομή τους και καθιστώντας τα ανενεργά.
3. **Ρυθμιστική ικανότητα:** Οι ζωντανοί οργανισμοί διαθέτουν ρυθμιστικά συστήματα που βοηθούν στη διατήρηση σχετικά σταθερών επιπέδων pH παρά τις διακυμάνσεις του. Αυτά τα ρυθμιστικά συστήματα είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση της σταθερών συνθηκών των βιολογικών υγρών και για τη διασφάλιση ότι οι κυτταρικές διεργασίες πραγματοποιούνται μέσα σε ένα στενό εύρος pH.

Το pH διαφόρων υγρών του ανθρώπινου σώματος

Το pH των διαφόρων ανθρώπινων υγρών μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με παράγοντες όπως η διατροφή, οι συνθήκες υγείας και οι συγκεκριμένες περιστάσεις. Σε κάθε βιολογικό υγρό υπάρχει μια φυσιολογική διακύμανση (εύρος) από άτομο σε άτομο. Είναι σημαντικό να θυμάστε ότι οι αποκλίσεις από αυτά τα εύρη μπορεί μερικές φορές να υποδεικνύουν υποκείμενα προβλήματα υγείας και μπορεί να απαιτούν ιατρική φροντίδα.

Ακολουθούν τα τυπικά εύρη pH για ορισμένα κοινά ανθρώπινα υγρά:

Αίμα: Το φυσιολογικό εύρος pH του αίματος είναι περίπου 7,35 έως 7,45. Το αίμα που ξεφεύγει από αυτό το εύρος μπορεί να υποδεικνύει μια ιατρική κατάσταση γνωστή ως οξέωση (pH κάτω από 7,35) ή αλκάλωση (pH πάνω από 7,45), και τα δύο μπορεί να έχουν σοβαρές συνέπειες για την υγεία του ανθρώπου εάν αφεθούν χωρίς θεραπεία.

Σάλιο: Το σάλιο έχει γενικά ένα pH που κυμαίνεται από 6,5 έως 7,5. Αυτό το εύρος μπορεί να κυμαίνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας και μπορεί να επηρεαστεί από παράγοντες όπως η διατροφή και η στοματική υγιεινή.

Ούρα: Το pH των ούρων μπορεί να ποικίλλει ευρέως ανάλογα με παράγοντες όπως η διατροφή, η κατάσταση ενυδάτωσης και ορισμένες ιατρικές καταστάσεις. Το φυσιολογικό εύρος για το pH των ούρων είναι περίπου 4,6 έως 8,0. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ορισμένες καταστάσεις υγείας ή φάρμακα μπορεί να προκαλέσουν πτώση του pH των ούρων εκτός αυτού του εύρους.

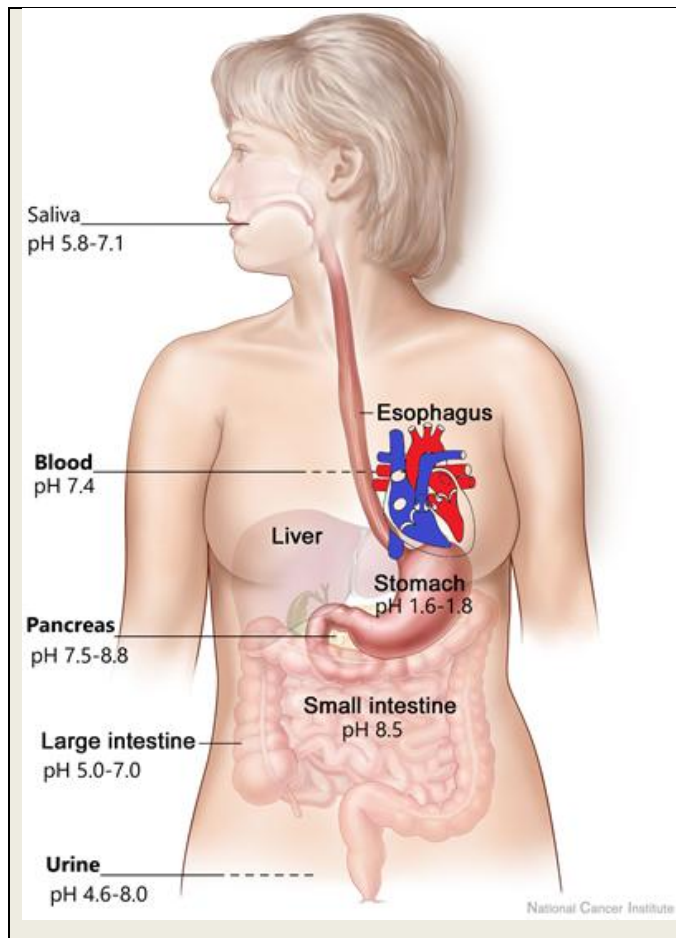
Γαστρικό οξύ: Το pH του γαστρικού οξέος στο στομάχι είναι πολύ όξινο και κυμαίνεται συνήθως από 1,5 έως 3,5. Αυτή η οξύτητα βοηθά στην πέψη των τροφών και χρησιμεύει ως φραγμός ενάντια στα παθογόνα.

Παγκρεατικό υγρό: Το pH του παγκρεατικού υγρού (παγκρεατικός χυμός) είναι τυπικά αλκαλικό. Χρησιμεύει για την εξουδετέρωση του όξινου χυμού (μερικώς αφομοιωμένη τροφή) που εισέρχεται στο λεπτό έντερο από το στομάχι. Το pH του παγκρεατικού υγρού κυμαίνεται τυπικά από περίπου 7,8 έως 8,4. Αυτό το αλκαλικό περιβάλλον είναι ζωτικής σημασίας για την ενεργοποίηση των πεπτικών ενζύμων που εκκρίνονται από το πάγκρεας, όπως η παγκρεατική αμυλάση, η λιπάση και οι πρωτεάσες, τα οποία λειτουργούν βέλτιστα σε ένα ελαφρώς αλκαλικό περιβάλλον pH.

Εγκεφαλονωτιαίο υγρό (ENY): Το ENY έχει pH που κυμαίνεται από περίπου 7,28 έως 7,32. Αυτό το ελαφρώς αλκαλικό pH είναι σημαντικό για τη διατήρηση της σωστής λειτουργίας του κεντρικού νευρικού συστήματος.

Κολπικό υγρό: Το pH του κολπικού υγρού είναι τυπικά όξινο, με φυσιολογικό εύρος από 3,8 έως 4,5. Αυτή η οξύτητα οφείλεται κυρίως στην παρουσία βακτηρίων που παράγουν γαλακτικό οξύ, όπως οι γαλακτοβάκิลλοι, που βοηθούν στη ρύθμιση του κολπικού περιβάλλοντος. Διακυμάνσεις στο κολπικό pH μπορεί να προκύψουν λόγω διαφόρων παραγόντων όπως ορμονικές αλλαγές, σεξουαλική δραστηριότητα, έμμηνος ρύση και ορισμένες λοιμώξεις.

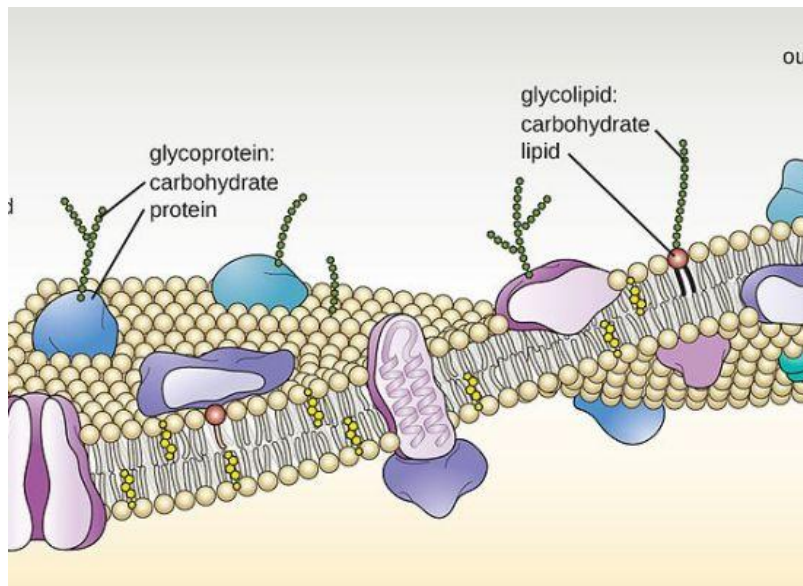
Σπέρμα: Το σπέρμα είναι ελαφρώς αλκαλικό, με pH που κυμαίνεται από περίπου 7,2 έως 8,0. Αυτή η αλκαλικότητα βοηθά στην εξουδετέρωση του όξινου περιβάλλοντος του κόλπου, βοηθώντας στην επιβίωση και την κινητικότητα του σπέρματος.



Εικόνα 2.2 Το φυσιολογικό εύρος pH στα διάφορα σωματικά υγρά του ανθρώπου. Το pH ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με τη λειτουργία και τη θέση στο σώμα: το σάλιο έχει ελαφρώς όξινο έως ουδέτερο pH (5.8–7.1), το αίμα διατηρείται σταθερά ουδέτερο (pH 7.4), ενώ το στομάχι είναι έντονα όξινο (pH 1.6–1.8) για να διευκολύνει την πέψη. Αντίθετα, το πάγκρεας και το λεπτό έντερο παρουσιάζουν αλκαλικό περιβάλλον (pH 7.5–8.8 και 8.5 αντίστοιχα), απαραίτητο για την εξουδετέρωση των οξέων του στομάχου. Το παχύ έντερο έχει pH 5.0–7.0, ενώ τα ούρα κυμαίνονται μεταξύ 4.6 και 8.0, ανάλογα με τη διατροφή και τη φυσιολογική κατάσταση του οργανισμού.

2.2 Υδατάνθρακες

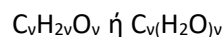
Οι υδατάνθρακες, που συχνά αναφέρονται ως σάκχαρα, αποτελούν διμερή, ολιγομερή, ή πολυμερή απλών σακχάρων που ονομάζονται **μονοσακχαρίτες**. Μέσα από το μεταβολισμό των σακχάρων τα κύτταρα μπορούν να αφομοιώσουν τη χημική ενέργεια των μονοσακχαριτών. Παράλληλα τα σάκχαρα με τη μορφή πολυσακχαριτών εμφανίζονται ως τα κύρια δομικά στοιχεία στα **κυτταρικά τοιχώματα** των φυτικών κυττάρων, ενώ όταν είναι ομοιοπολικά προσδεδεμένα σε πρωτεΐνες ή λιπίδια συμμετέχουν αντίστοιχα στο σχηματισμό **γλυκοπρωτεϊνών** και **γλυκολιπιδίων**. Η βιοχημική διαδικασία προσθήκης σακχάρων σε πρωτεΐνες και λιπίδια ονομάζεται **γλυκοζυλίωση**. Οι γλυκοπρωτεΐνες και τα γλυκολιπίδια αποτελούν βασικά συστατικά της κυτταρικής μεμβράνης όλων των ευκαρυωτικών κυττάρων.



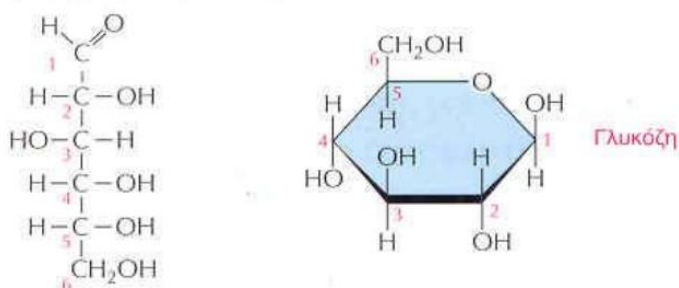
Εικόνα 2.2 Γλυκοζυλίωση των επιφανειακών πρωτεϊνών και λιπιδίων. Τα εξωκυτταρικά τμήματα των πρωτεϊνών αλλά και κάποιων λιπιδίων έχουν ομοιοπολικά προσδεσμένες μικρές ή μεγαλύτερες αλυσίδες σακχάρων, δηλαδή είναι γλυκοζυλιωμένα. Οι γλυκοζυλιωμένες πρωτεΐνες ονομάζονται γλυκοπρωτεΐνες και τα γλυκοζυλιωμένα λιπίδια γλυκολιπίδα.

Μονοσακχαρίτες

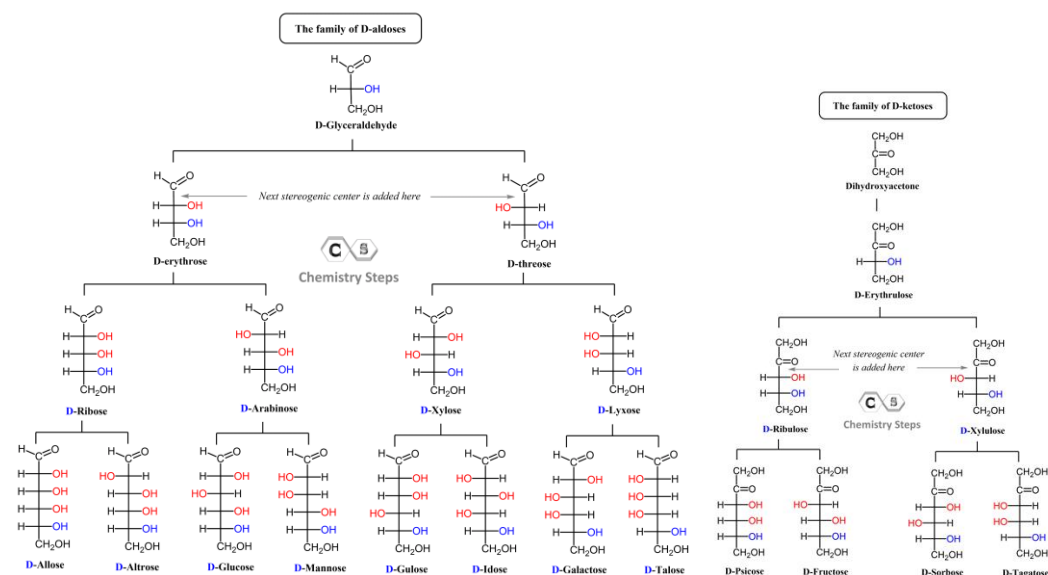
Οι μονοσακχαρίτες, που συχνά αναφέρονται ως απλά σάκχαρα, είναι τα θεμελιώδη δομικά στοιχεία πιο πολύπλοκων υδατανθράκων. Παρά τη φαινομενικά απλή δομή τους, οι μονοσακχαρίτες παρουσιάζουν αξιοσημείωτη ποικιλομορφία. Οι μονοσακχαρίτες είναι πολυυδροξυαλδεΐδες ή κετόνες, που αποτελούνται από άτομα άνθρακα, υδρογόνου και οξυγόνου σε αναλογία 1:2:1 και υπακούουν στον παρακάτω γενικό χημικό τύπο, όπου ν είναι ένα αριθμός από το 3 μέχρι το 7:



Με βάση τον **αριθμό των ατόμων άνθρακα** στη δομή τους, οι μονοσακχαρίτες ταξινομούνται σε τριόζες (3 άνθρακες), τετρόζες (4 άνθρακες), πεντόζες (5 άνθρακες), εξόζες (6 άνθρακες) και ούτω καθεξής. Συνήθη παραδείγματα μονοσακχαριτών περιλαμβάνουν γλυκόζη, φρουκτόζη, γαλακτόζη, ριβόζη και δεοξυριβόζη.

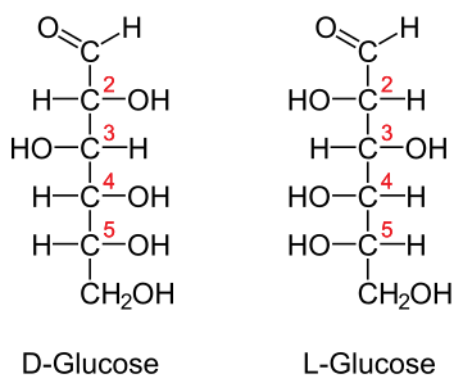


Εικόνα 2.3 Η χημική δομή της γλυκόζης. Η ανοιχτή και η κλειστή μορφή της γλυκόζης με σημειωμένους τους άνθρακες (1-6) με κόκκινο αριθμό. Η κλειστή μορφή είναι αυτή που κυρίως απαντάται στα υδατικά διαλύματα. Παρατηρείστε πως το οξυγόνο του άνθρακα 1 μετατρέπεται σε υδροξύλιο και ο άνθρακας 1 αλληλεπιδρά ομοιοπολικά με το οξυγόνο του άνθρακα 5.



Εικόνα 2.4 Η χημική δομή μιας ποικιλίας μονοσακχαριτών. Εάν η καρβονυλική ομάδα του μονοσακχαρίτη είναι αλδεΐδη (-CHO) και είναι βρίσκεται στον άνθρακα 1 τότε ο μονοσακχαρίτης είναι μια αλδόζη. Εάν η καρβονυλική ομάδα είναι μια κετόνη (-CO) συνδεδεμένη με τον άνθρακα 2, τότε ο μονοσακχαρίτης είναι μια κετόζη. Η γλυκόζη είναι ένα παράδειγμα αλδόζης και η φρουκτόζη είναι ένα παράδειγμα κετόζης. Οι μονοσακχαρίτες με τρία άτομα άνθρακα ονομάζονται τριόζες, αυτοί με τέσσερα ονομάζονται τετρώζες, κ.ο.κ. Αυτά τα δύο συστήματα ταξινόμησης συχνά συνδυάζονται. Για παράδειγμα, η γλυκόζη είναι μια αλδοεξόζη (μια αλδεΐδη έξι άτομα άνθρακα) και η φρουκτόζη είναι μια κετοεξόζη (μια κετόνη με έξι άνθρακα).

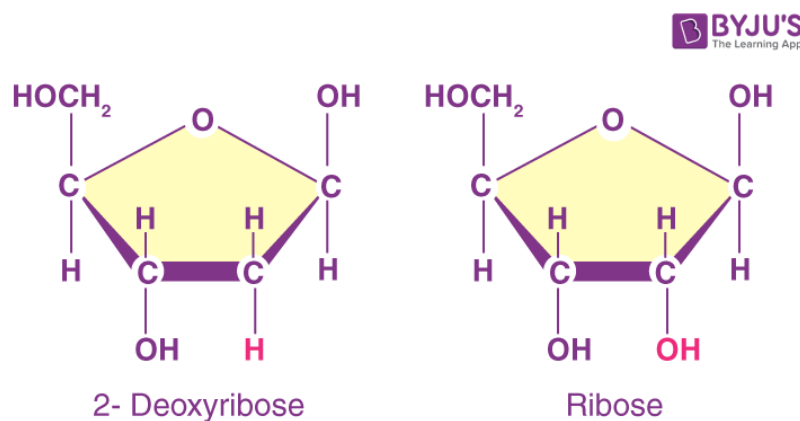
Οι μονοσακχαρίτες παρουσιάζουν αξιοσημείωτη δομική ποικιλομορφία λόγω της παρουσίας πολλαπλών χειρόμορφων ατόμων άνθρακα, που οδηγούν στο σχηματισμό στερεοϊσομερών. Τα στερεοϊσομερή είναι μόρια με τον ίδιο μοριακό τύπο αλλά με διαφορετική χωρική διάταξη ατόμων. Τα στερεοϊσομερή δίνουν την αίσθηση ενός μορίου ειδώλου σε καθρέφτη και γι' αυτό ονομάζονται και **εναντιομερή**. Οι μονοσακχαρίτες μπορούν να υπάρχουν είτε ως D είτε ως L εναντιομερή, ανάλογα με τη διαμόρφωση της ομάδας υδροξυλίου που συνδέεται με τον άνθρακα που βρίσκεται πιο μακριά από την ομάδα καρβονυλίου. Στα βιολογικά συστήματα κυριαρχούν τα σάκχαρα D.



Εικόνα 2.5 Τα εναντιομερή της γλυκόζης. Η γλυκόζη μπορεί να παραχθεί σε δύο εναντιομερείς μορφές την D και την L-γλυκόζη. Τα υδροξύλια και τα υδρογόνα σε κάθε άνθρακα της γλυκόζης αλλάζουν διεύθυνση στον χώρο. Η τελική δομή του μορίου της γλυκόζης στο χώρο αλλάζει χωρίς όμως να αλλάζει ο χημικός της τύπος ($C_6H_{12}O_6$). Η D μορφή είναι αυτή που απαντάται στη φύση και στους οργανισμούς.

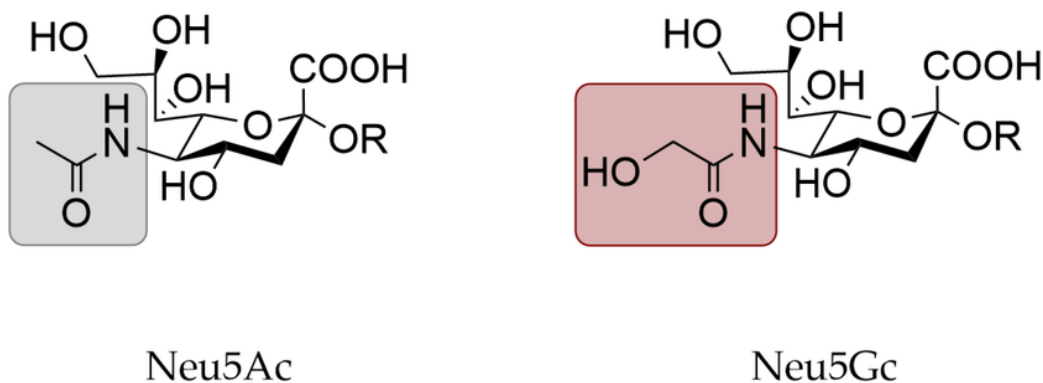
Τροποποιημένοι μονοσακχαρίτες

Βιοχημικά μονοπάτια έχουν τη δυνατότητα να αλλάξουν χημικά τους βασικούς μονοσακχαρίτες και να οδηγήσουν σε τροποποιημένα παράγωγά τους. Οι **τροποποιημένοι μονοσακχαρίτες** είναι παράγωγα των μονοσακχαριτών με αλλαγμένη την τελική τους δομή αλλά και τις ιδιότητές τους. Η αντικατάσταση μιας υδροξυλομάδας (-OH) από ένα άτομο υδρογόνου στη ριβόζη οδηγεί στην παραγωγή της **δεοξυριβόζης** η οποία και αποτελεί μέρος του βασικού κορμού του δεοξυριβονουκλεϊκού οξέος, δηλαδή του DNA.



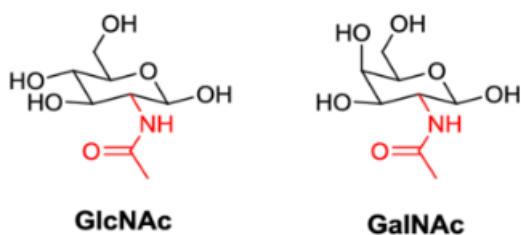
Εικόνα 2.6 Η χημική δομή της ριβόζης και της δεοξυριβόζης. Η αντικατάσταση μιας υδροξυλομάδας από ένα άτομο υδρογόνου στη ριβόζη οδηγεί στη σύνθεση της δεοξυριβόζης. Ο αντίκτυπος της αλλαγής αυτής είναι πολύ μεγάλος στο βιολογικό ρόλο των μορίων και σε αυτή οφείλεται η μεγαλύτερη σταθερότητα του DNA έναντι του RNA. Η ριβόζη είναι μέρος του βασικού κορμού του ριβονουκλεϊκού οξέος (RNA) ενώ η δεοξυριβόζη είναι μέρος του βασικού κορμού του δεοξυριβονουκλεϊκού οξέος (DNA).

Τα σιαλικά οξέα είναι μια οικογένεια τροποποιημένων μονοσακχαριτών (παραγώγων της γλυκόζης) που βρίσκονται συνήθως στις τελευταίες θέσεις των γλυκοπρωτεϊνών και των γλυκολιπιδίων στις κυτταρικές επιφάνειες. Παίζουν κρίσιμο ρόλο στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των κυττάρων αλλά και στη λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος. Παραδείγματα σιαλικών οξέων αποτελούν το N-ακετυλονευραμινικό οξύ (Neu5Ac) και το N-γλυκολυλονευραμινικό οξύ (Neu5Gc).



Εικόνα 2.7 Η χημική δομή του N-ακετυλονευραμινικού οξέως (Neu5Ac) και του N-γλυκολυλονευραμινικού οξέως (Neu5Gc). XXXXXXXX

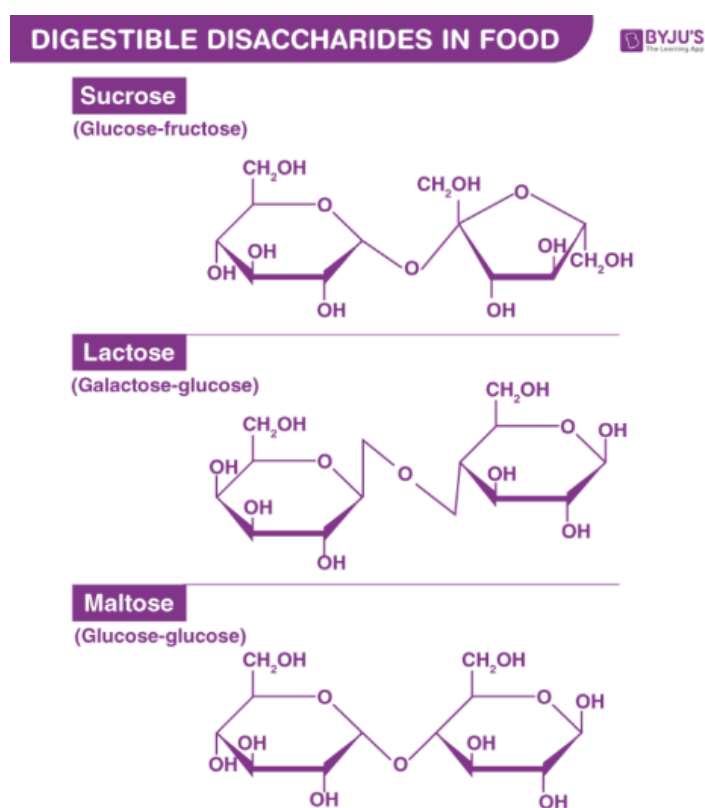
Τα παράγωγα της γλυκόζης N-ακετυλογλυκοζαμίνη (GlcNAc) και N-ακετυλογαλακτοζαμίνη (GalNAc) είναι τροποποιημένες μορφές της γλυκόζης και γαλακτόζης, αντίστοιχα, όπου μια αμινομάδα (-NH₂) ακετυλιώνεται στον άνθρακα 2. Το GlcNAc και το GalNAc χρησιμεύουν ως σημαντικά δομικά στοιχεία για τις **γλυκοζαμινογλυκάνες** (GAGs), τις γλυκοπρωτεΐνες οι οποίες είναι βασικά συστατικά των συνδετικών ιστών, του χόνδρου και της εξωκυτταρικής μήτρας.



Εικόνα 2.7 Η χημική δομή της N-ακετυλογλυκοζαμίνης (GlcNAc) και της N-ακετυλογαλακτοζαμίνης (GalNAc). XXXXXXXX

Δισακχαρίτες

Οι **δισακχαρίτες** είναι ένας τύπος υδατάνθρακα που αποτελείται από δύο μονάδες μονοσακχαρίτη που συνδέονται μεταξύ τους με έναν **γλυκοζιτικό δεσμό** μέσω μιας αντίδρασης συμπύκνωσης που οδηγεί στην απώλεια ενός μορίου νερού. Οι δισακχαρίτες διασπώνται στους μονοσακχαρίτες από τους οποίους αποτελούνται κατά τη διάρκεια της πέψης. Οι παραγόμενοι μονοσακχαρίτες απορροφώνται από τον εντερικό σωλήνα, ώστε να περάσουν στη συνέχεια στο αίμα για να παρέχουν ενέργεια για τις κυτταρικές διεργασίες σε όλο τον ανθρώπινο οργανισμό. Οι πιο κοινοί δισακχαρίτες είναι η **σακχαρόζη**, που αποτελεί την κοινή ζάχαρη, και είναι προϊόν της φωτοσύνθεσης των φυτικών οργανισμών και η **λακτόζη** που συντίθεται στους μαστικούς αδένες των θηλαστικών και χρησιμεύει ως η κύρια πηγή ενέργειας για τα νεογνά.

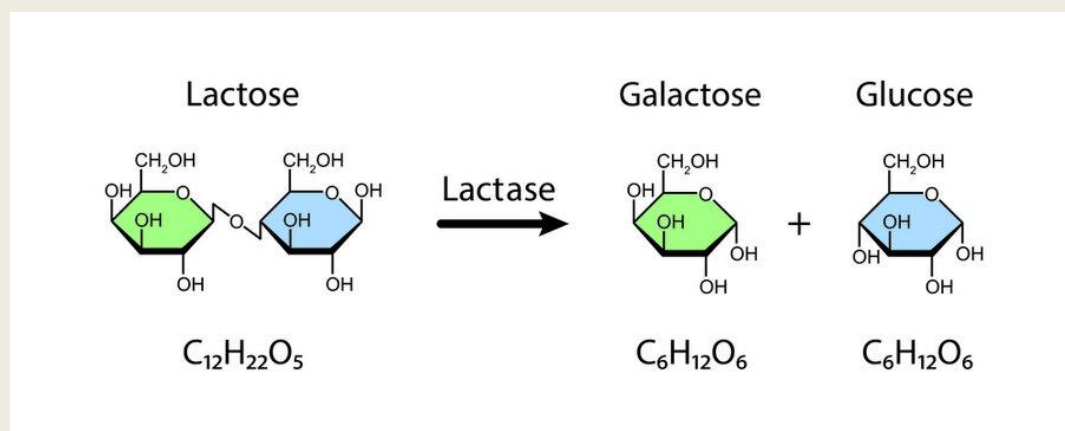


Εικόνα 2.6 Παραδείγματα δισακχαριτών. Η σακχαρόζη παράγεται από την ένωση ενός μορίου γλυκόζης με ένα μόριο φρουκτόζης, η λακτόζη παράγεται από την ένωση ενός μορίου γαλακτόζης με ένα μόριο γλυκόζης, ενώ η μαλτόζη από την ένωση δύο μορίων γλυκόζης.

Λακτάση και δυσανεξία στη λακτόζη

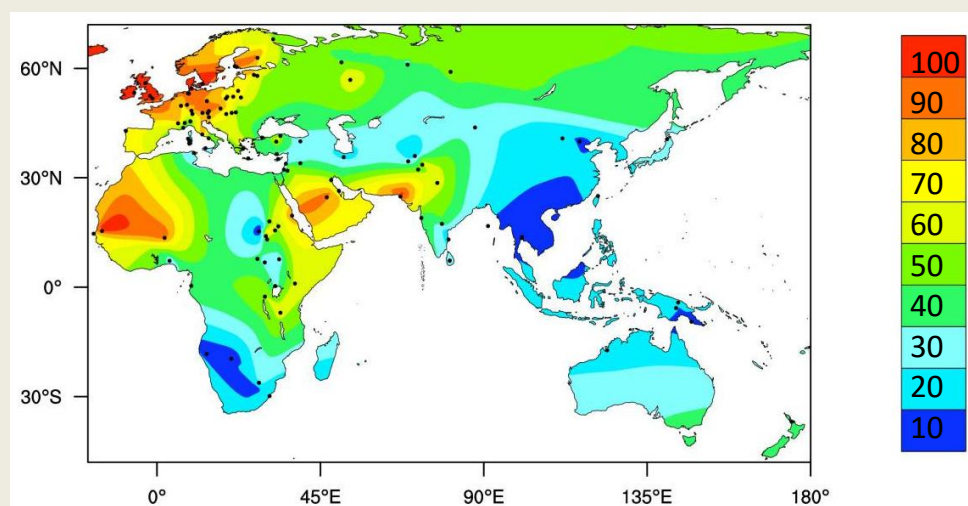
Η ικανότητα των θηλαστικών να παράγουν λακτόζη, το κύριο σάκχαρο που βρίσκεται στο γάλα, είναι αποτέλεσμα εξελικτικών προσαρμογών που επέτρεψαν την επιτυχή θρέψη των απογόνων κατά την πρώιμη ανάπτυξη. Η εξέλιξη της παραγωγής λακτόζης είναι στενά συνδεδεμένη με την εξέλιξη των μαστικών αδένων και τη μετάβαση από την από την ωοτοκία στη ζωοτοκία, δηλαδή από την παραγωγή αυγών στην γέννηση νεογνών. Η

σύνθεση του γάλακτος ποικίλλει μεταξύ των ειδών θηλαστικών, αλλά τυπικά περιέχει πρωτεΐνες, λίπη, υδατάνθρακες (συμπεριλαμβανομένης της λακτόζης), βιταμίνες και μέταλλα. Η δυνατότητα αξιοποίησης της ενέργειας της λακτόζης επιτράπη από την ύπαρξη στα νεογνά της **λακτάσης** ενός ενζύμου που διασπά τη λακτόζη σε γαλακτόζη και γλυκόζη.



Εικόνα 2.7 Η δράση της λακτάσης. Η λακτάση είναι ένα ένζυμο που παράγεται από πολλούς οργανισμούς και είναι απαραίτητο για την πέψη της λακτόζης. Διασπά τη λακτόζη στα συστατικά της μέρη, τη γαλακτόζη και τη γλυκόζη.

Στα περισσότερα θηλαστικά η παραγωγή λακτάσης μειώνεται μετά τον απογαλακτισμό, οδηγώντας σε **δυσανεξία στη λακτόζη** στην ενήλικη ζωή. Ωστόσο, σε ορισμένους ανθρώπινους πληθυσμούς, ιδιαίτερα σε αυτούς με ιστορικό εκτροφής και κατανάλωσης γαλακτοκομικών προϊόντων, υπήρξε μια γενετική προσαρμογή γνωστή ως **εμμονή της λακτάσης**. Αυτή η προσαρμογή επιτρέπει στα άτομα να συνεχίσουν να παράγουν το ένζυμο λακτάση μέχρι την ενηλικίωση, επιτρέποντας την πέψη της λακτόζης και την κατανάλωση γαλακτοκομικών προϊόντων σε όλη τη ζωή.



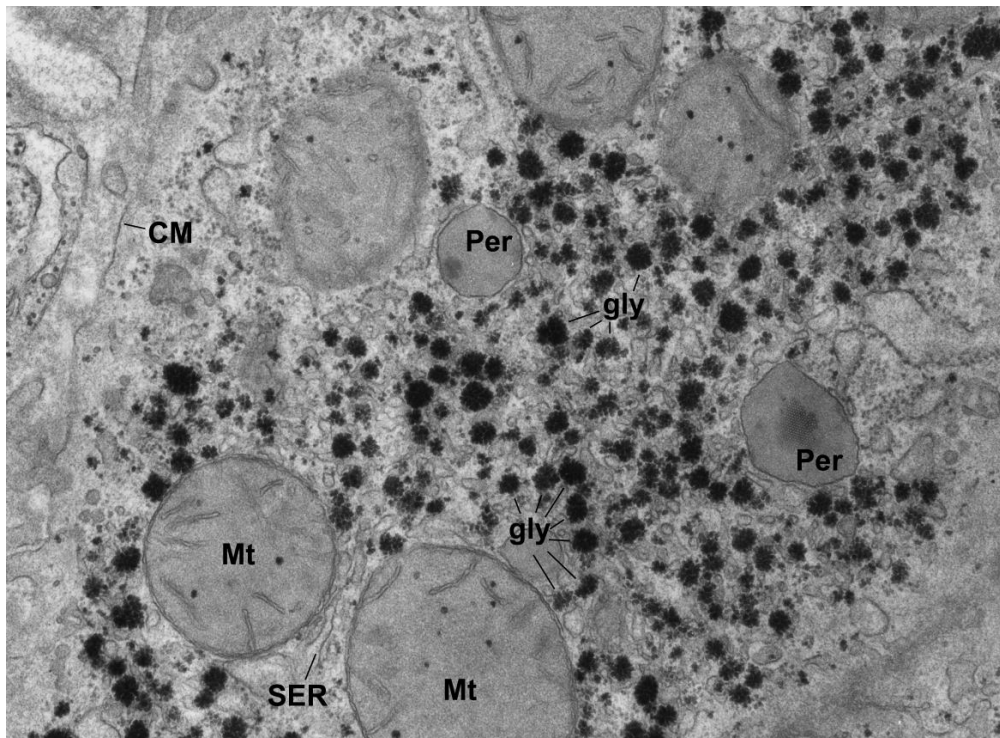
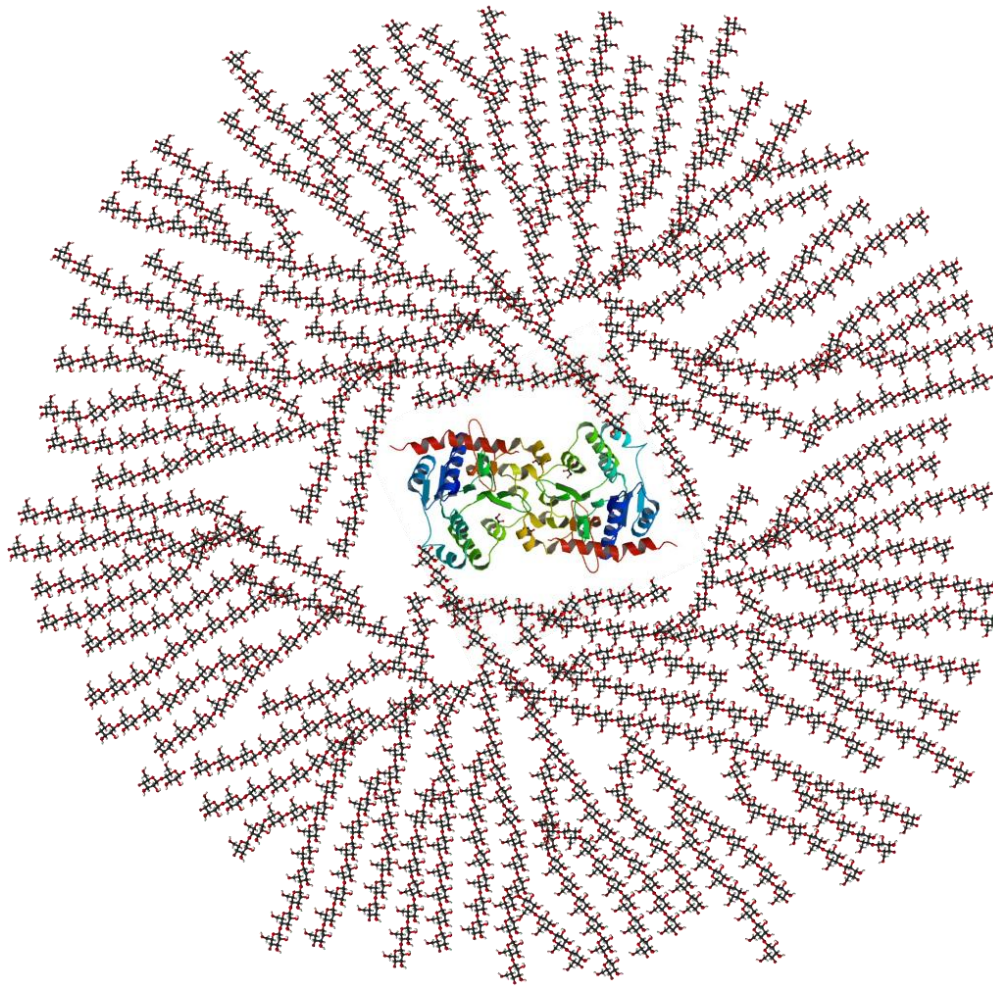
Εικόνα 2.8 Χάρτης της συχνότητας της εμμονής της λακτάσης στην Αφρική, Ευρασία και Ωκεανία. Τα χρώματα στο χάρτη, όπως αυτά αντιπροσωπεύονται στην κλίμακα χρώματος στα δεξιά δείχνουν τη συχνότητα εμφάνισης της εμμονής της λακτάσης ανά περιοχή από 10% μέχρι και 100%.

Πολυσακχαρίτες

Οι **πολυσακχαρίτες** είναι σύνθετοι υδατάνθρακες που αποτελούνται από μακριές αλυσίδες μονοσακχαριτών που συνδέονται μεταξύ τους με γλυκοσιδικούς δεσμούς. Ανάλογα με τους μονοσακχαρίτες από τους οποίους αποτελούνται αλλά και τον τρόπο διασύνδεσης τους υπάρχουν στη φύση μεγάλη ποικιλία πολυσακχαριτών. Οι πολυσακχαρίτες έχουν γραμμικές ή διακλαδισμένες δομές και η διάταξη των γλυκοσιδικών δεσμών μπορεί να ποικίλλει. Οι πολυσακχαρίτες μπορούν να ταξινομηθούν σε διαφορετικούς τύπους με βάση τα δομικά τους χαρακτηριστικά. Οι **ομοπολυσακχαρίτες** αποτελούνται από έναν μόνο τύπο μονοσακχαρίτη. Παραδείγματα περιλαμβάνουν το **άμυλο**, το **γλυκογόνο** και την **κυτταρίνη**, που αποτελούνται από μονάδες γλυκόζης. Οι **ετεροπολυσακχαρίτες** αποτελούνται από δύο ή περισσότερους διαφορετικούς τύπους μονάδων μονοσακχαρίτη. Παραδείγματα ετεροπολυσακχαριτών είναι οι γλυκοζαμινογλυκάνες όπως η **ηπαρίνη** και το **υαλουρονικό οξύ**. Η ηπαρίνη συντίθεται από επαναλαμβανόμενες μονάδες ενός δισακχαρίτη που αποτελείται από 2-Ο-θειωμένο ιδουρονικό οξύ και 6-Ο-θειωμένη, N-θειωμένη γλυκοζαμίνη, ενώ το υαλουρονικό οξύ συντίθεται από επαναλαμβανόμενες μονάδες ενός δισακχαρίτη που αποτελείται από γλυκουρονικό οξύ και N-ακετυλο-γλυκοζαμίνη.

Οι πολυσακχαρίτες αποικοδομούνται μέσω ενζυματικής υδρόλυσης, κατά την οποία οι γλυκοσιδικοί δεσμοί διασπώνται από συγκεκριμένα υδρολυτικά ένζυμα που ονομάζονται **γλυκοσιδικές υδρολάσες** ή **γλυκοσιδάσες**. Τα προϊόντα της αποικοδόμησης πολυσακχαριτών, όπως μονοσακχαρίτες ή **ολιγοσακχαρίτες** (περιέχουν λίγες μονάδες μονοσακχαριτών), μπορούν να μεταβολιστούν περαιτέρω για παραγωγή ενέργειας ή να χρησιμοποιηθούν ως δομικά στοιχεία των κυττάρων.

Ο κύριος ρόλος των πολυσακχαριτών είναι η αποθήκευση ενέργειας και η κατασκευή δομικών στοιχείων. Οι πολυσακχαρίτες, που παράγονται στα φυτά ως προϊόν της φωτοσύνθεσης, περνάνε με την τροφή και διασπώνται στον πεπτικό σωλήνα των ζώων. Πολυσακχαρίτες όπως το άμυλο αποτελούν βασική τροφή του ανθρώπου και είναι εύκολο να διασπαστούν με τη βοήθεια ειδικών ενζύμων, των **αμυλασών**. Αντιθέτως υπάρχουν πολυσακχαρίτες όπως η κυτταρίνη που ο ανθρώπινος οργανισμός δεν μπορεί να διασπάσει και αποβάλλονται από τον εντερικό σωλήνα άπεπτοι. Η κυτταρίνη και άλλες άπεπτες ίνες αποτελούν δομικά στοιχεία του κυτταρικού τοιχώματος των φυτών. Οι **φυτικές ίνες**, όπως λέγονται οι άπεπτες ίνες πολυσακχαριτών που προσλαμβάνουμε από τα φυτά, αποτελούν βασικό κομμάτι μιας υγιούς διατροφής και της καλής λειτουργίας του εντέρου. Οι ζωικοί οργανισμοί αποθηκεύουν τη γλυκόζη κατά κύριο λόγο σε μορφή γλυκογόνου στα κύτταρα του ήπατος και στα μυϊκά κύτταρα. Όταν κυκλοφορεί στο αίμα αρκετή γλυκόζη τα κύτταρα αυτά γεμίζουν τις αποθήκες τους με γλυκογόνο με τη μορφή κόκκων στο κυτταρόπλασμα. Η διαδικασία της σύνθεσης του γλυκογόνου ονομάζεται **γλυκογονογένεση**. Στην περίπτωση που ο οργανισμός «νιώσει» ότι τα επίπεδα της γλυκόζης στο αίμα είναι χαμηλά τότε μέσω της **γλυκογονόλυσης** διασπά τη γλυκογόνο στο ήπαρ και τροφοδοτεί τον οργανισμό. Αντίστοιχα κατά την άσκηση, τα μυϊκά διασπούν το γλυκογόνο για να επιτύχουν την παροχή ενέργειας για την κίνηση.



Εικόνα 2.9 Το γλυκογόνο. Α) Σχηματική αναπαράσταση του γλυκογόνου εκταμένο για λόγους απεικόνισης σε δύο διαστάσεις. Μια κεντρική πρωτεΐνη, η γλυκογενίνη, λειτουργεί ως σημείο έναρξης της σύνθεσης του γλυκογόνου και περιβάλλεται από κλάδους μονομερών γλυκόζης. Β) Μέρος του κυτταροπλάσματος ηπατικού κυττάρου από νεογέννητο αρουραίο παρουσιάζει εναποθέσεις γλυκογόνου (gly). Οι κόκκοι γλυκογόνου είναι άφθονοι στα ηπατικά κύτταρα αρουραίου, ειδικά σε περιοχές γύρω από το λείο ενδοπλασματικό δίκτυο (SER). Μιτοχόνδρια (Mt) και υπεροξειδιοσώματα (Per) παρεμβάλλονται σε αυτήν την περιοχή του ηπατικού κυττάρου που βρίσκεται κοντά στην κυτταρική μεμβράνη (CM).

Τα σάκχαρα και οι ομάδες αίματος ABO

Το σύστημα ομάδων αίματος ABO είναι ένα από τα πιο γνωστά και κλινικά σημαντικά συστήματα ομάδων αίματος στον άνθρωπο. Με βάση το σύστημα αυτό οι άνθρωποι χωρίζονται σε 4 ομάδες την A, τη B, την AB και την O. Οι ομάδες αναγνωρίζονται με τη βοήθεια αντισωμάτων (**Βλέπε Κεφάλαιο 12**) τα οποία και εμφανίζονται στην αντίθετη ομάδα αίματος. Δηλαδή η ομάδα αίματος A έχει αντισώματα έναντι της B και το ανάποδο, η ομάδα O έχει αντισώματα έναντι και των δύο A και B ενώ η ομάδα AB δεν έχει καθόλου αντίστοιχα ειδικά αντισώματα. Τα αντισώματα αυτά αναγνωρίζουν τα ειδικά για κάθε ομάδα αντιγόνα A και B και μπορούν να τα εξουτερώσουν, γι αυτό και είναι απαραίτητη η συμβατότητα σε περίπτωση μετάγγισης αίματος.

Τα αντιγόνα της ομάδας αίματος ABO είναι σύνθετες δομές υδατανθράκων που προστίθενται στις γλυκοπρωτεΐνες της επιφάνειας των ερυθρών αιμοσφαιρίων αλλά και άλλων κυττάρων. Η βιοχημική βάση των αντιγόνων της ομάδας αίματος ABO έγκειται στη διαφορετική εμφάνιση συγκεκριμένων συνδυασμών

Ενζύμων που προσθέτουν τους υδατάνθρακες. Το σύστημα της ομάδας αίματος ABO αποτελείται από τρία κύρια αντιγόνα: αντιγόνο A, αντιγόνο B και το πρόδρομο αντιγόνο H.

Αντιγόνο A:

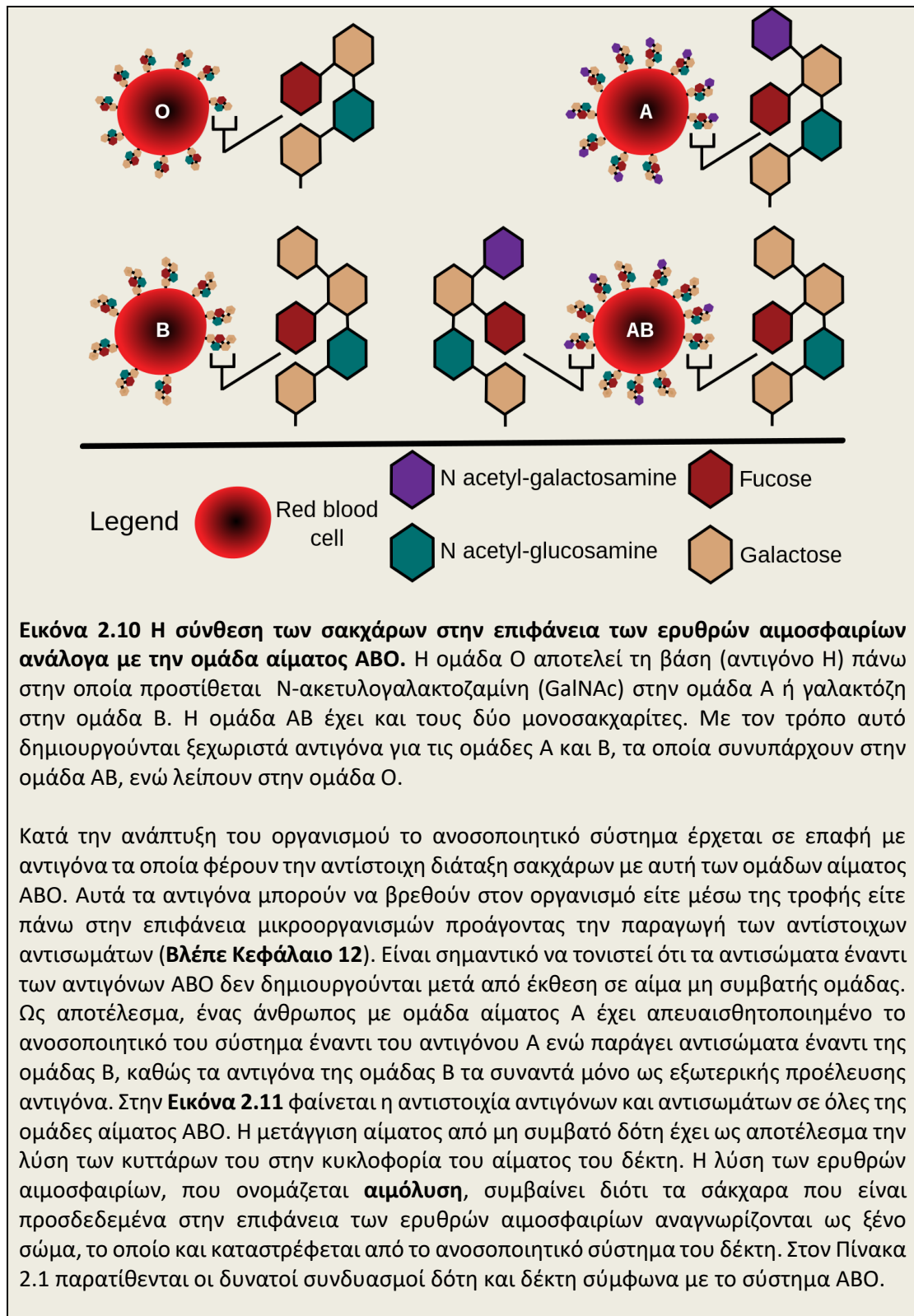
Το αντιγόνο A χαρακτηρίζεται από την παρουσία τελικών μονάδων N-ακετυλογαλακτοζαμίνης (GalNAc) σε γλυκοπρωτεΐνες και γλυκολιπίδια. Το αντιγόνο A σχηματίζεται με την προσθήκη μίας μονάδας GalNAc στο πρόδρομο αντιγόνο H. Η προσθήκη του GalNAc καταλύεται από το ένζυμο α -1,3-N-ακετυλογαλακτοζαμινυλοτρανσφεράση (τρανσφεράση A).

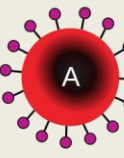
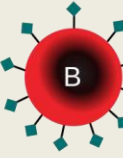
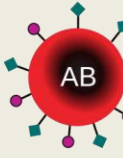
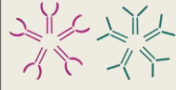
Αντιγόνο B:

Το αντιγόνο B χαρακτηρίζεται από την παρουσία τελικών μονάδων γαλακτόζης (Gal) σε γλυκοπρωτεΐνες και γλυκολιπίδια. Το αντιγόνο B σχηματίζεται με την προσθήκη μιας μονάδας Gal στο πρόδρομο αντιγόνο H. Η προσθήκη της Gal καταλύεται από το ένζυμο α -1,3-γαλακτοζυλοτρανσφεράση (τρανσφεράση B).

Αντιγόνο H:

Το αντιγόνο H είναι η πρόδρομη δομή τόσο για τα αντιγόνα A όσο και για τα B. Το αντιγόνο H χρησιμεύει ως βασική δομή για την προσθήκη μονοσακχαριτών από τις τρανσφεράσες A και B, οι οποίες προσθέτουν μονάδες GalNAc ή Gal για να δημιουργήσουν τα αντιγόνα A και B, αντίστοιχα. Τα άτομα που δεν εκφράζουν αντιγόνα A ή B αναφέρονται ως ομάδα αίματος O και έχουν μόνο το αντιγόνο H στα ερυθρά αιμοσφαίρια τους.



	Group A	Group B	Group AB	Group O
Red blood cell type				
Antibodies in plasma	 Anti-B	 Anti-A	None	 Anti-A and Anti-B
Antigens in red blood cell	 A antigen	 B antigen	 A and B antigens	None

Εικόνα 2.11 Η κατανομή αντιγόνων και αντισωμάτων στα ερυθρά αιμοσφαίρια και στο πλάσμα του αίματος στις ομάδες αίματος ABO. Τα ερυθρά αιμοσφαίρια στις ομάδες αίματος ABO φέρουν στην επιφάνειά τους διαφορετικούς συνδεδεμένους μονοσακχαρίτες που ονομάζονται αντιγόνα A και B. Τα άτομα που φέρουν ένα αντιγόνο αναπτύσσουν αντισώματα έναντι του άλλου. Στην περίπτωση την ομάδας AB δεν αναπτύσσονται αντισώματα κατά των αντιγόνων A και B, ενώ στην ομάδα O υπάρχουν και οι δύο τύποι αντισωμάτων (αντι-A είναι τα αντισώματα έναντι του αντιγόνου A και αντι-B είναι τα αντισώματα έναντι του αντιγόνου B

Πίνακας 2.1 Πίνακας συμβατότητας αίματος και πλάσματος ABO

Ομάδα αίματος δέκτη	Συμβατά ερυθρά αιμοσφαίρια δότη	Συμβατό πλάσμα δότη
Ομάδα O	Ομάδα O	Ομάδα O, A, B, AB
Ομάδα A	Ομάδα A και O	Ομάδα A and AB
Ομάδα B	Ομάδα B και O	Ομάδα B, AB
Ομάδα AB	Ομάδα O, A, B, AB	Ομάδα AB

2.3 Νουκλεοτίδια και νουκλεϊκά οξέα

Η διαδικασία της εξέλιξης φαίνεται να αξιοποίησε από την αρχή της ένα βιομόριο το οποίο να μπορεί να κρυπτογραφήσει τον τρόπο με τον οποίο δομείται και λειτουργεί η ζωή. Τα **νουκλεοτίδια** και τα **νουκλεϊκά οξέα** είναι οι θεμελιώδεις δομικοί λίθοι της αποθήκευσης μετάδοσης, έκφρασης και εξέλιξης της **γενετικής πληροφορίας** σε όλους τους ζωντανούς οργανισμούς. Τα νουκλεοτίδια χρησιμεύουν ως μονομερή που συνδέονται μεταξύ τους με φωσφοδιεστερικούς δεσμούς για να δομήσουν τα **ολιγονουκλεοτίδια** και τα **πολυνουκλεοτίδια**. Τα ολιγονουκλεοτίδια, που περιέχουν ένα μικρό αριθμό νουκλεοτιδίων (<100), και τα πολυνουκλεοτίδια που περιέχουν από μερικές εκατοντάδες μέχρι πολλά εκατομμύρια νουκλεοτίδια, περιέχουν τον κώδικα με τον οποίο λειτουργεί η ζωή από τις ακυτταρικές μορφές, όπως αυτές των ιών, μέχρι τον άνθρωπο. Η αποσαφήνιση της δομής και της λειτουργίας των νουκλεϊκών οξέων έχουν φέρει επανάσταση στην κατανόησή μας για τη γενετική και τη μοριακή βιολογία, ανοίγοντας το δρόμο για πρωτοποριακές ανακαλύψεις σε τομείς όπως η βιοτεχνολογία (**Βλέπε κεφάλαιο 9**) και η γονιδιωματική (**Βλέπε κεφάλαιο 10**).

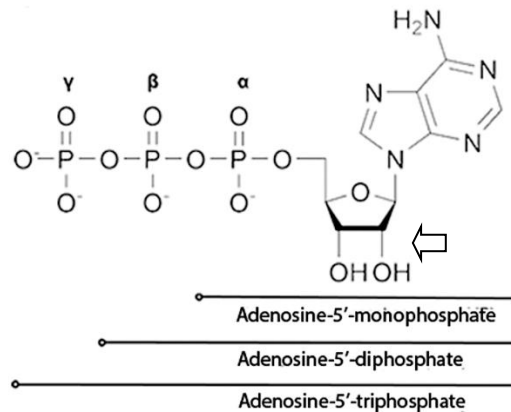
Νουκλεοτίδια

Τα νουκλεοτίδια αποτελούνται δομικά από 3 βασικές χημικές ομάδες. Αποτελούνται από μία πεντόζη, η οποία στα ριβονουκλεϊκά οξέα (RNA) είναι μια ριβόζη και στα δεοξυριβονουκλεϊκά οξέα (DNA) μια δεοξυριβόζη. Αντίστοιχα τα νουκλεοτίδια αναφέρονται ως **ριβονουκλεοτίδια** και **δεοξυριβονουκλεοτίδια**.

μία **αζωτούχο βάση** και μια ουρά από μία έως τρεις φωσφορικές ομάδες. Οι αζωτούχες βάσεις στην περίπτωση του DNA είναι η **αδενίνη** (A), η **θυμίνη** (T), η **γουανίνη** (G) και η **κυτοσίνη** (C). Στην περίπτωση του RNA οι αζωτούχες βάσεις είναι η αδενίνη (A), η **ουρακίλη** (U), η γουανίνη (G) και η κυτοσίνη (C). Όπως είναι προφανές η ουρακίλη αντικαθιστά τη θυμίνη κατά το πέρασμα της γενετικής πληροφορίας από το DNA στο RNA. Οι αζωτούχες βάσεις ανάλογα με τον αριθμό των δακτυλίων τους χωρίζονται σε **πουρίνες** (A, G) και **πυριμιδίνες** (T, U, C).

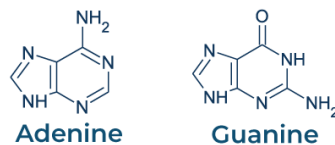
Η προσθήκη μιας αζωτούχου βάσης στην πεντόζη οδηγεί στην σύνθεση ενός **νουκλεοσιδίου (νουκλεοζίτη)**, ενώ η προσθήκη και των φωσφορικών ομάδων οδηγεί στη σύνθεση ενός **νουκλεοτιδίου**.

Ανάλογα με τον αριθμό των φωσφορικών ομάδων τα νουκλεοτίδια ονομάζονται **μονοφωσφορικά**, **διφωσφορικά** και **τριφωσφορικά**. Όσες περισσότερες φωσφορικές ομάδες έχει ένα νουκλεοτίδιο τόσο πιο φορτωμένο ενεργειακά είναι, με τον δεσμό μεταξύ δεύτερης (β) και τρίτης ομάδας (γ) να αποτελεί αποθήκη σημαντικής ποσότητας χημικής ενέργειας για σχεδόν όλες τις διαδικασίες του κυττάρου.



Εικόνα 2.12 Η δομή ενός νουκλεοτιδίου. Στην εικόνα αποτυπώνεται η δομή ενός τριφωσφορικού ριβονουκλεοτιδίου της αδενίνης, η τριφωσφορική αδενοσίνη. Δηλαδή ενός νουκλεοτιδίου με ριβόζη, αδενίνη ως αζωτούχο βάση και τρία φωσφορικά συνδεδεμένα στη ριβόζη. Το -OH που φαίνεται σημειωμένο αντικαθίσταται από ένα υδρογόνο (H) δίνοντας τη δεοξυριβόζη όταν πρόκειται για δεοξυριβονουκλετίδιο. Ανάλογα με τον αριθμό των φωσφορικών που δέχεται το νουκλεοτίδιο ονομάζεται μονοφωσφορικό, διφωσφορικό ή τριφωσφορικό. Με α, β και γ ονομάζονται οι θέσεις των φωσφορικών σε ένα νουκλεοτίδιο.

Purines



Pyrimidines



Εικόνα 2.12 Οι κύριες αζωτούχες βάσεις που απαντώνται στα κύτταρα. Στην εικόνα αποτυπώνεται οι χημικοί τύποι των πουρινών (αδενίνη και γουανίνη) και πυριμιδινών (κυτοσίνη, ουρακίλη και θυμίνη).

Τα νουκλεοτίδια ως αποθήκη ενέργειας

Παρόλο που η βασική χρήση των νουκλεοτιδίων σε ένα κύτταρο είναι η δόμηση του DNA και του RNA, τα νουκλεοτίδια έχουν και άλλους ρόλους. Ένας εξίσου βασικός ρόλος των νουκλεοτιδίων είναι η αξιοποίηση της υψηλής ενέργειας των δεσμών των φωσφορικών ομάδων που φέρουν ως **ενεργειακό νόμισμα** των όλων σχεδόν των διαδικασιών που απαιτούν ενέργεια. Η **τριφωσφορική αδενοσίνη (ATP)** συμμετέχει στην πλειοψηφία των διαδικασιών που απαιτούν ενέργεια ενώ άλλα νουκλεοτίδια όπως η **τριφωσφορική γουανοσίνη (GTP)** σε πιο ειδικές περιπτώσεις. Τα τριφωσφορικά νουκλεοτίδια που αποδίδουν την χημική ενέργεια του δεσμού μεταξύ του δεύτερου και τρίτου φωσφορικού

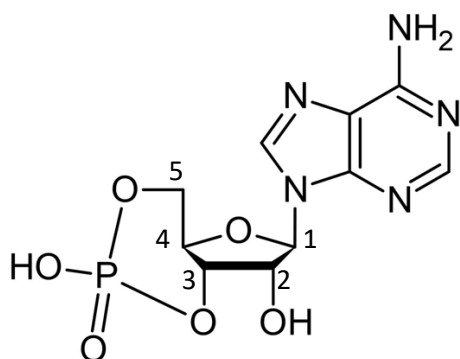
δεσμού διασπώνται σε **διφωσφορικά νουκλεοτίδια** και ένα ελεύθερο φωσφορικό (Pi) με τη συμμετοχή ενός μορίου νερού. Γι' αυτό και η διαδικασία αυτή ονομάζεται υδρόλυση ενώ η προσθήκη ενός φωσφορικού στο διφωσφορικό νουκλεοτίδιο ονομάζεται συμπύκνωση. Κατά τη συμπύκνωση αποκαθίσταται η υψηλή χημική ενέργεια στο μόριο. Στην περίπτωση του ATP η διαδικασία της υδρόλυσης παράγει **διφωσφορική αδενοσίνη (ADP)** και αποδίδει περίπου 57KJ ενέργειας ανά mole ATP. Η αντίδραση έχει ως εξής:



Τα νουκλεοτίδια ως **συνένζυμα-συμπαράγοντες οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων** Ένας ακόμα ρόλος των νουκλεοτιδίων είναι ως απαραίτητοι «βοηθοί» σε διάφορες βιοχημικές αντιδράσεις, συμπεριλαμβανομένων των διαδικασιών οξειδοαναγωγής. Ένας **συμπαράγοντας** ή **συνένζυμο** είναι μια μη-πρωτεϊνική φύσης χημική ένωση ή ιόν που απαιτείται για να λειτουργήσει ένα ένζυμο ως καταλύτης μιας βιοχημικής αντίδρασης. Συνήθως με τη μορφή **δινουκλεοτιδίων** (δύο ενωμένα νουκλεοτίδια) τα **νουκλεοτιδικά συνένζυμα**, όπως το νικοτινάμινο αδένινο δινουκλεοτίδιο (NAD⁺) και το φωσφορικό νικοτινάμινο αδένινο δινουκλεοτίδιο (NADP⁺), δρουν ως φορείς πρωτονίων και ηλεκτρονίων στις αντιδράσεις οξειδοαναγωγής. Μια τέτοια διαδικασία είναι για παράδειγμα η παραγωγή ενέργειας από τη διάσπαση της γλυκόζης, στην οποία το NAD⁺ έχει κεντρικό ρόλο. Άλλα δινουκλεοτίδια και νουκλεοτίδια που δρουν ως συνένζυμα είναι το φλάβινο-αδένινο δινουκλεοτίδιο (FAD) και το φλάβινο μονονουκλεοτίδιο (FMN). Τα συνένζυμα εμπλεκόμενα στις οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις εντός του κυττάρου βοηθούν στη διατήρηση της ομοιόστασης και της οξειδοαναγωγικής κατάστασης του κυττάρου. Άλλο ένα σημαντικό συνένζυμο είναι το συνένζυμο A (CoA). Το συνένζυμο A συντίθεται στα κύτταρα από την τριφωσφορική αδενοσίνη σε συνδυασμό με το παντοθενικό οξύ (βιταμίνη B5). Είναι ένας απαραίτητος συμπαράγοντας στο μεταβολισμό της γλυκόζης και των λιπαρών οξέων μεταφέροντας ακυλομάδες κατά τη διάρκεια των αντίστοιχων βιοχημικών αντιδράσεων.

Τα νουκλεοτίδια ως κυτταρικά σήματα

Μερικά νουκλεοτίδια ή παράγωγά τους μεταφέρουν σήματα μέσα στα κύτταρα, δηλαδή μεταδίδουν μια πληροφορία. Το πιο σημαντικό νουκλεοτίδιο που λειτουργεί ως **αγγελιοφορος** είναι η **κυκλική μονοφωσφορική αδενοσίνη (cAMP)**. Συμμετέχει σε μονοπάτια σηματοδότησης που ενεργοποιούνται από ορμόνες όπως η αδρεναλίνη (**Βλέπε κεφάλαιο 9**). Το cAMP παράγεται από ένα ένζυμο που ονομάζεται **αδενυλική κυκλάση**. Το ένζυμο αυτό βρίσκεται ανενεργό στα κύτταρα απουσία ειδικών σημάτων. Όταν παρουσία σχετικού σήματος ενεργοποιηθεί, συνδέει τη φωσφορική ομάδα που είναι πάνω στη ριβόζη με έναν ακόμα έναν άνθρακα της ριβόζης. Η δεύτερη σύνδεση οδηγεί στο σχηματισμό ενός δακτυλίου μεταξύ της φωσφορικής ομάδας και της ριβόζης, που έχει οδηγήσει και στην ονομασία του ως κυκλικό. Σε άλλες περιπτώσεις μετάδοσης σήματος και το GTP μπορεί να χρησιμεύσει στην ενεργοποίηση πρωτεϊνών που διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στη μετάδοση (**Βλέπε κεφάλαιο 9**)



Εικόνα 2.13 Το κυκλικό AMP (cAMP). Η κυκλική μονοφωσφορική αδενοσίνη αποτελεί παράγωγο της μονοφωσφορικής αδενοσίνης μετά από σύνδεση του άνθρακα 3 της ριβόζης με τη φωσφορική ομάδα.

*Παρατηρείστε ότι τα νουκλεοτίδια που έχουν άλλους ρόλους πέρα από την δόμηση των αντίστοιχων πολυνουκλεοτιδίων έχουν σαν πεντόζη τη ριβόζη! Αυτό σημαίνει ότι ο ρόλος των **ριβονουκλεοτιδίων** είναι πολύ πιο ποικίλος από αυτών των δεοξυριβονουκλεοτιδίων, με τα τελευταία να αποτελούν κυρίως τους δομικούς λίθους του DNA*

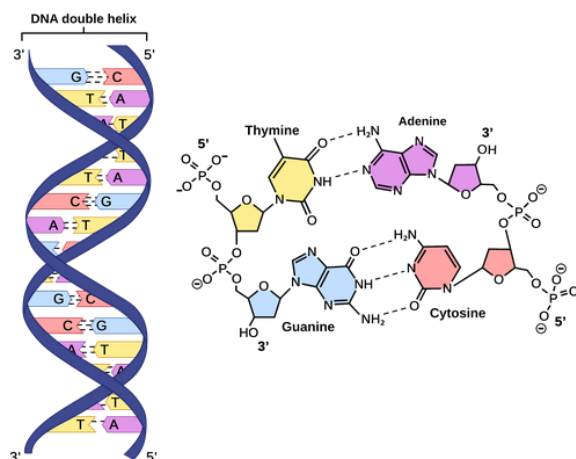
Πολυνουκλεοτίδια

Τα πολυμερή μόρια των νουκλεοτιδίων, τα πολυνουκλεοτίδια, όπως προαναφέρθηκε αποτελούν το μέσο αποθήκευσης και μετάδοσης την γενετικής πληροφορίας. Τα δύο κυρίαρχα μακρομόρια είναι το DNA και το RNA. Μέσα στα δύο αυτά μόρια υπάρχει η γενετική πληροφορία οργανωμένη σε μονάδες που ονομάζονται **γονίδια** (Βλέπε Κεφάλαιο XX).

Το DNA

Το DNA, που αποτελεί το γενετικό υλικό του κυττάρου, βρίσκεται πάντα με τη μορφή ενός **δίκλωνου μορίου**, δηλαδή στο κάθε τμήμα του DNA βρίσκονται δύο πολυνουκλεοτιδικά μόρια συνδεδεμένα μεταξύ τους με δεσμούς υδρογόνου. Εξάιρεση αποτελεί το γενετικό υλικό κάποιων ιών, στους οποίους το DNA εμφανίζεται ως **μονόκλωνο**. Ο κάθε κλώνος αποτελείται από πολλά μονοφωσφορικά δεοξυριβονουκλεοτίδια συνεδεδεμένα μεταξύ τους με **φωσφοδιεστερικούς δεσμούς**. Ένας φωσφοδιεστερικός δεσμός σχηματίζεται μεταξύ της ριβόζης του κάθε νουκλεοτιδίου με τη φωσφορική ομάδα του επόμενου. Μεταξύ τους οι δύο κλώνοι ενώνονται στο επίπεδο των αζωτούχων βάσεων με δεσμούς υδρογόνου (**Εικόνα 2.14**). Είναι εκείνοι οι δεσμοί υδρογόνου που κρατούν το μόριο στη δίκλωνη μορφή. Η δομή του DNA από την ανακάλυψή της έχει περιγραφεί ως μια **διπλή έλικα**, δηλαδή ως δύο κλώνοι

που περιελίσσονται μεταξύ τους (**Εικόνα 2.14**). Οι αζωτούχες βάσεις που μπορούν να δημιουργήσουν μεταξύ τους δεσμούς υδρογόνου μπορούν να βρεθούν αντικριστά στο DNA. Η αδενίνη (A) έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει δύο δεσμούς υδρογόνου με τη θυμίνη (T) ενώ η γουανίνη (G) έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει τρεις δεσμούς υδρογόνου με τη κυτοσίνη (C). Παρατηρούμε λοιπόν πως μία πουρίνη (A, G) έχει την δυνατότητα να είναι **συμπληρωματική** με μία συγκεκριμένη πυριμιδίνη (T, C). Η απόλυτη συνέπεια με την οποία εμφανίζονται τα ζεύγη βάσεων A=T και G≡C στο DNA έχει καθορίσει σημαντικά το μηχανισμό αντιγραφής του (**Βλέπε Κεφάλαιο XX**).

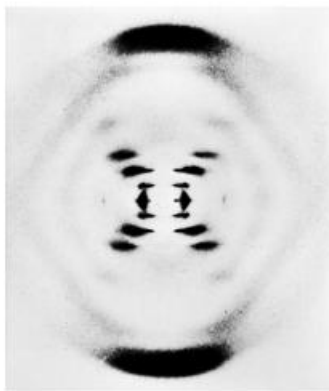
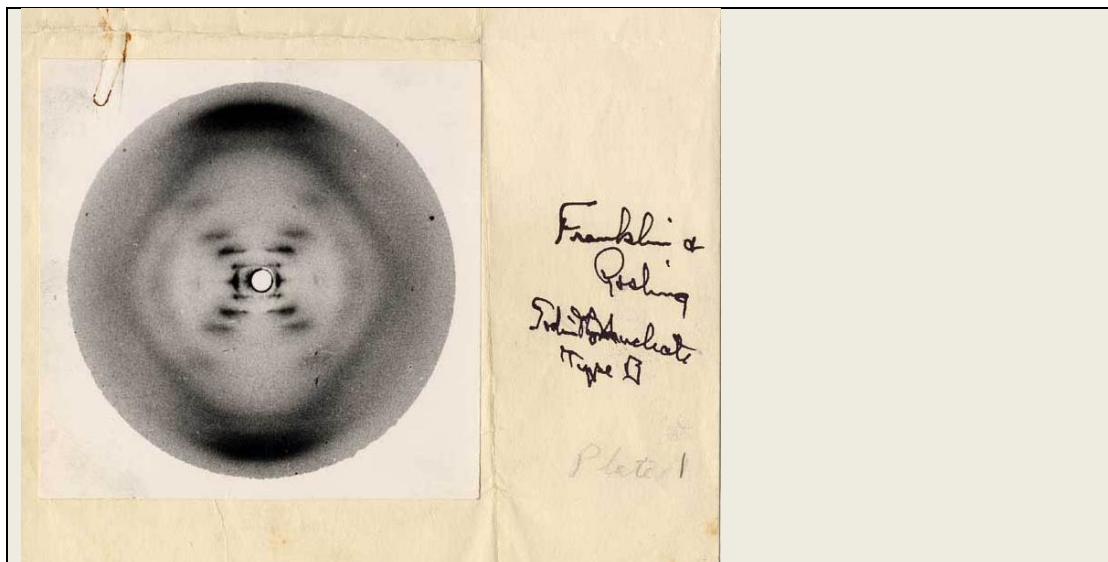


Εικόνα 2.14 Η δομή του DNA. Η δομή του DNA περιγράφεται ως μια διπλή έλικα, που σχηματίζεται από δύο πολυνουκλεοτιδικές αλυσίδες. Η ραχοκοκαλιά κάθε αλυσίδας αποτελείται από εναλλασσόμενες ομάδες δεοξυριβόζης και φωσφορικών, που συνδέονται μεταξύ τους με φωσφοδιεστερικούς δεσμούς. Η σύνδεση γίνεται μεταξύ του φωσφορικού που βρίσκεται στον άνθρακα 5 και του -OH που βρίσκεται στον άνθρακα 3. Γι αυτό ο κάθε κλώνος ξεκινά από ένα ελεύθερο φωσφορικό στο λεγόμενο 5' άκρο και καταλήγει σε ένα ελεύθερο -OH, στο λεγόμενο 3' άκρο. Από αυτή τη ραχοκοκαλιά προς τα μέσα προβάλλονται οι αζωτούχες βάσεις οι οποίες σχηματίζουν συμπληρωματικά ζεύγη βάσεων μεταξύ των δύο αλυσίδων. Η αδενίνη ζευγαρώνει με τη θυμίνη μέσω δύο δεσμών υδρογόνου, ενώ η κυτοσίνη με τη γουανίνη μέσω τριών δεσμών υδρογόνου, διατηρώντας τη σταθερότητα της δομής της διπλής έλικας.

Η ανακάλυψη της δομής του DNA

Η ανακάλυψη της δομής του DNA αποτελεί ορόσημο στην ιστορία της επιστήμης, που πιστώνεται κυρίως στους υπολογισμούς των James Watson και Francis Crick που βασίστηκαν στα πειράματα των Rosalind Franklin και Maurice Wilkins.

Το 1970 η Rosalind Franklin, Βρετανίδα βιοφυσικός, χρησιμοποιώντας την τεχνική κρυσταλλογραφίας ακτίνων X κατάφερε να παραγάγει υψηλής ποιότητας εικόνες περίθλασης ακτίνων X ινών DNA στο εργαστήριο του Maurice Wilkins στο King's College του Λονδίνου. Οι κρύσταλλοι είναι στερεά με κανονικές, επαναλαμβανόμενες μονάδες ατόμων. Η αυστηρότητα της θέσης των μορίων μέσα στον κρύσταλλο επιτρέπει την εκτροπή (περίθλαση) ακτίνων X οι οποίες και αποτυπώνονται σε ένα ευαίσθητο φιλμ.



ΕΙΚΟΝΑ 4.9 Φωτογραφία περίθλασης ακτίνων X μιας ενυδατωμένης ίνας DNA. Όταν ακτινοβολούνται οι κρύσταλλοι ενός βιομορίου με ακτίνες X, οι ακτίνες X περιθλώνται και εμφανίζονται σαν μια σειρά κηλίδων, που ονομάζονται ανακλάσεις, σε μια οθόνη πίσω από τον κρύσταλλο. Η δομή του μορίου μπορεί να καθοριστεί από το σχήμα των ανακλάσεων (Υποκεφάλαιο 3.5). Όσον αφορά τους κρυστάλλους του DNA, το σχήμα X στο κέντρο αποτελεί διαγνωστικό στοιχείο της ύπαρξης μιας ελικοειδούς δομής. Τα έντονα μεσημβρινά τόξα προέρχονται από το στοιβάγμα των νουκλεοτιδικών βάσεων που βρίσκονται σε απόσταση 3,4 Å μεταξύ τους. [Omitron/Science Source.]

Εικόνα 2.15 Η Rosalind Franklin αποτύπωσε τη δομή του DNA με τη βοήθεια ακτίνων X στη φημισμένη Φωτογραφία 51. Μία μορφή κρυστάλλου (παρακρυσταλλική μορφή) από καθαρές ίνες DNA τοποθετήθηκε μπροστά από μια πηγή ακτίνων X. Λόγω του μικρού μήκους κύματός τους, οι ακτίνες X μπορούν να περάσουν μέσα από έναν κρύσταλλο και να αλληλεπιδράσουν με τα ηλεκτρόνια των ατόμων μέσα στον κρύσταλλο. Όταν οι ακτίνες X αλληλεπιδρούν με τα ηλεκτρόνια σε έναν κρύσταλλο, περιθλώνται με γωνίες που υποδεικνύουν τη διάταξη των ατόμων στον κρύσταλλο. Όταν οι ακτίνες X διασκορπίζονται, χτυπούν ένα φιλμ που είναι τοποθετημένο πίσω από τον κρύσταλλο και αφήνουν ένα σχέδιο με σκούρα σημάδια. Το σχέδιο των στο φιλμ δίνει στους επιστήμονες πληροφορίες για τη δομή της επαναλαμβανόμενης μονάδας εντός του κρυστάλλου.

Τα δεδομένα της Rosalind Franklin αξιοποιήθηκαν από τους James Watson και Francis Crick στο Πανεπιστήμιο του Cambridge οι οποίοι εφάρμοσαν επάνω στα σημάδια του φιλμ διάφορα θεωρητικά μοντέλα τα οποία είχαν αναπτύξει οι ίδιοι αλλά και άλλοι θεωρητικοί στη δομή του DNA. Σημαντική γνώση αποτέλεσε η προγενέστερη ανακάλυψη του Erwin Chargaff ότι οι ποσότητες αδεΐνης (A) και θυμίνης (T) και οι ποσότητες κυτοσίνης (C) και γουανίνης (G) στο DNA είναι περίπου ίσες σε μια ποσότητα DNA. Το μοντέλο που ταίριαζε με τα δεδομένα της κρυσταλλογραφίας οδήγησε στις 28 Φεβρουαρίου 1953 τη δημοσίευση της δομής της διπλής έλικας του DNA σε μια σύντομη εργασία που δημοσιεύτηκε στο περιοδικό Nature. Το 1962, οι James Watson, Francis Crick και Maurice Wilkins τιμήθηκαν με το Νόμπελ Φυσιολογίας ή Ιατρικής για τις ανακαλύψεις τους σχετικά με τη μοριακή δομή των νουκλεϊκών οξέων και τη σημασία της για τη μεταφορά πληροφοριών σε ζωντανό υλικό. Η Ρόζαλιντ Φράνκλιν, η οποία είχε πεθάνει το 1958, δεν

ήταν επιλέξιμη για το βραβείο Νόμπελ λόγω του θανάτου της τη στιγμή της απονομής. Η ανακάλυψη της δομής του DNA έφερε επανάσταση στη βιολογία και άνοιξε το δρόμο στη γενετική, τη μοριακή βιολογία και τη βιοτεχνολογία και αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα επιστημονικά επιτεύγματα του 20ού αιώνα.



Εικόνα 2.16 (πάνω) Η Rosalind Franklins στο King's College και (κάτω) οι James Watson και Francis Crick μαζί με το μοντέλο του DNA στο Cambridge.

Το RNA

Ο δεύτερος τύπος πολυνουκλεοτιδίων σε ένα κύτταρο είναι το RNA. Δομικά παρόμοιο με το DNA, το RNA αποτελείται από μονομερή ριβονουκλεοτιδίων που συνδέονται μεταξύ τους με φωσφοδιεστερικούς δεσμούς για να σχηματίσουν **μονόκλινα μόρια**. Σε αντίθεση με το DNA, το οποίο έχει μια σχετικά σταθερή δομή το RNA μπορεί να πάρει μια μεγάλη ποικιλία δομών που του προσδίδουν συχνά νέες ιδιότητες. Σύμφωνα με το **Κεντρικό Δόγμα της Βιολογίας**, το DNA αποτελεί το **καλούπι (μήτρα)** από το οποίο παράγεται το RNA μέσω **μεταγραφής**. Στη συνέχεια σύμφωνα με το ίδιο δόγμα το RNA μεταφέρει την πληροφορία στα ριβοσώματα για την παραγωγή των πρωτεϊνών (βλέπε κεφάλαια XXX και XXX). Το RNA χτίζεται πάνω στον

έναν κλώνο του DNA με βάση τους κανόνες της συμπληρωματικότητας, με τη διαφορά ότι απέναντι από την αδενίνη (A) του DNA κάθεται η ουρακίλη (U) στο RNA.

Τα RNA του κυττάρου χωρίζονται σε **κωδικά** και **μη-κωδικά**. Τα κωδικά RNA είναι εκείνα τα οποία έχουν την πληροφορία για την παραγωγή μιας πρωτεΐνης. Τα κωδικά RNA ονομάζονται και **αγγελιοφόρα RNA (mRNA)**.

Τα μη-κωδικά RNA έχουν μια πολύ μεγάλη ποικιλία δομών και λειτουργιών και χωρίζονται σε τέσσερις ομάδες:

1. Τα μεταφορικά RNA (tRNA), τα οποία βοηθούν στην αντιστοίχιση των αμινοξέων με τη γενετική πληροφορία, μεταφέροντας το κατάλληλο αμινοξύ ανάλογα με τη σύνθεση σε αζωτούχες βάσεις του mRNA (**Βλέπε Κεφάλαιο XX**).
2. Τα ριβοσωμικά RNA (rRNA), τα οποία μαζί με τις κατάλληλες πρωτεΐνες συναρμολογούν το ριβόσωμα και είναι απαραίτητα για τη λειτουργία του. Τα ριβοσωμικά RNA αντιπροσωπεύουν περίπου το 80-90 % της ποσότητας του ολικού RNA ενός κυττάρου.
3. Τα μεγάλα μη-κωδικά RNA (lncRNA), τα οποία αποτελούν μόρια άνω των 200 νουκλεοτιδίων σε μέγεθος και ο κύριος ρόλος τους είναι να ελέγχουν τον τρόπο έκφρασης διαφόρων γονιδίων αλλά και τον τρόπο λειτουργίας πρωτεϊνών και άλλων RNA που προσδένονται πάνω τους.
4. Τα μικρά μη-κωδικά RNA είναι μια πολυποίκιλη ομάδα η οποία περιέχει τα **μικρά πυρηνικά (snRNA)**, τα **μικρά πυρηνισκικά RNA (snoRNA)**, τα **μικροRNA (miRNA)**, τα **μικρά παρεμβαλλόμενα RNA (siRNA)** και άλλα μικρού μήκους RNA τα οποία στην πλειονότητά τους λειτουργούν στη ρύθμιση της έκφρασης των γονιδίων (**Βλέπε Κεφάλαιο XX**).

Τα μόρια RNA καθώς είναι μονόκλωνα δομούνται στο χώρο με βάση την **αρχή της ελαχιστοποίησης της ελεύθερης ενέργειας**. Με βάση αυτή την αρχή αν υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας κάποιου δεσμού εντός του μορίου μειώνεται η ελεύθερη ενέργεια του και άρα είναι πιο **σταθερό θερμοδυναμικά**. Η **αναδίπλωση** στο χώρο ενός RNA συμβαίνει αρχικά μεταξύ περιοχών που εμφανίζουν εκτεταμένη συμπληρωματικότητα. Η συμπληρωματικότητα είπαμε στο DNA ότι ορίζεται από δεσμούς υδρογόνου μεταξύ των αζωτούχων βάσεων. Οι δεσμοί που είναι επιτρεπτοί στο RNA είναι μεταξύ γουανίνης και κυτοσίνης ($G \equiv C$), όπως στο DNA, και της αδενίνης με την ουρακίλη ($A = U$). Κατ' εξαίρεση, λόγω της ευλυγισίας του μορίου, στο RNA επιτρέπονται συχνά οι αλληλεπιδράσεις $G = U$ και πιο σπάνια οι αλληλεπιδράσεις $A = C$. Η δυνατότητα που έχει το RNA να δημιουργεί σε κάποια σημεία του διπλή έλικα ενώ σε άλλα να παραμένει ως μονός κλώνος παρέχει άπειρους συνδυασμούς στη δομή του. Οι ποικιλία στις δομές δίνει και την ποικιλία των λειτουργιών που έχει.

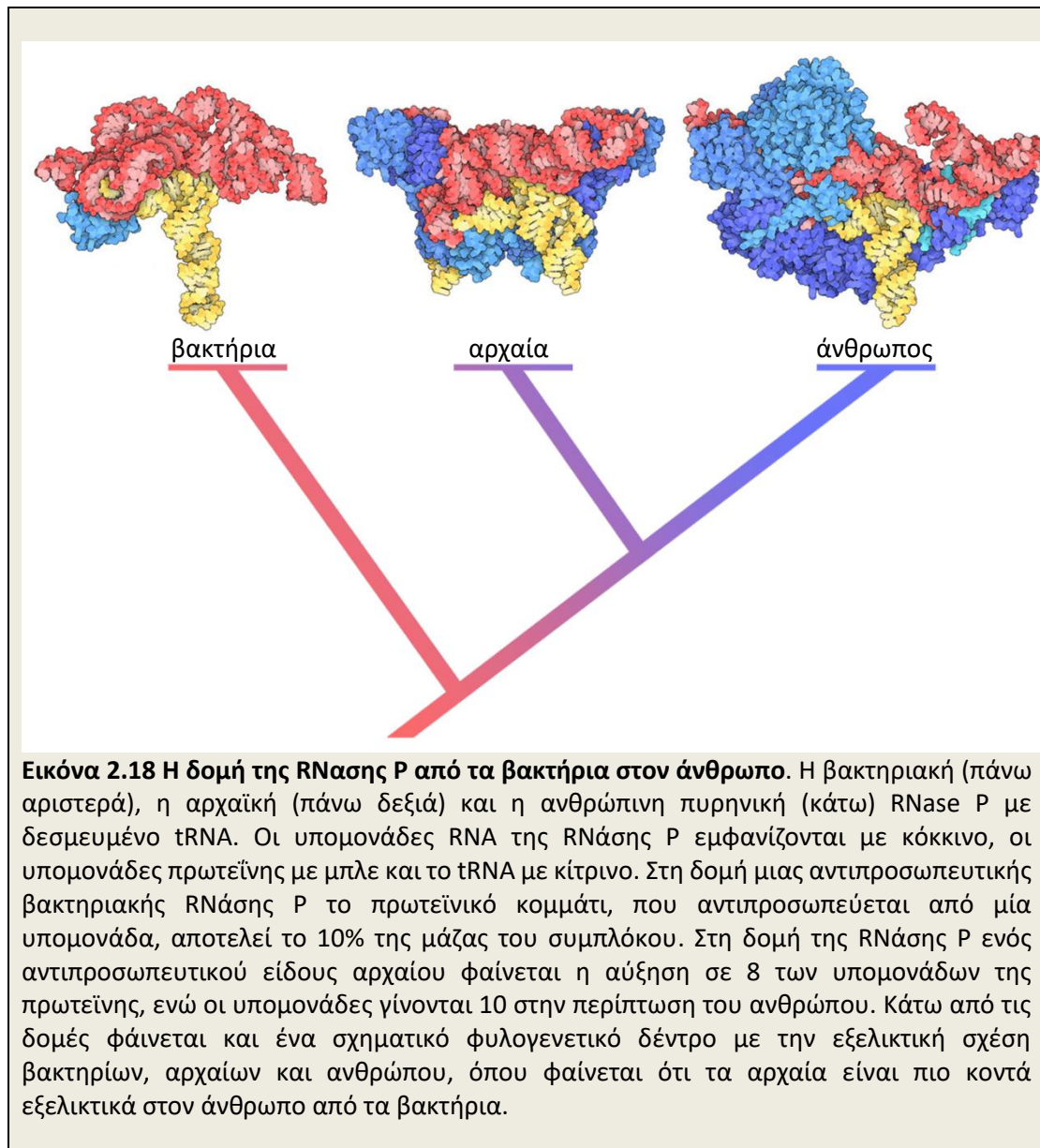


Εικόνα 2.17 Η δομή στο χώρο του tRNA. Τα tRNA είναι κλασσικά παραδείγματα μικρών RNA με εκτεταμένη δομή διπλής έλικας κατά την αναδίπλωσή τους. Στην εικόνα φαίνεται η δομή του tRNA της βαλίνης από το βακτήριο *Escherichia coli* όπως έχει επιλυθεί μετά από κρυσταλλογραφία ακτίνων Χ. Εκεί που οι αζωτούχες βάσεις ζευγαρώνουν το μόριο παίρνει αναδίπλωση διπλής έλικας ενώ στις περιοχές που δεν ζευγαρώνουν οι βάσεις είναι πιο χαλαρές δομικά. Το τρισδιάστατο μοντέλο μπορείτε να το βρείτε στην ηλεκτρονική σελίδα <https://www.rcsb.org/3d-view/7EQJ/1>

Μία από τις πιο σημαντικές λειτουργίες του RNA είναι η δυνατότητα να καταλύει αντιδράσεις όπως τα ένζυμα (**Βλέπε Κεφάλαιο 3**). Τα ένζυμα από RNA ή αλλιώς ριβόζυμα έχουν την ικανότητα να καταλύουν μια σειρά από αντιδράσεις. Τα περισσότερα δρουν ως ένζυμα ωρίμανσης διαφόρων RNA, δηλαδή ως ένζυμα που «κόβουν» και «ράβουν» κομμάτια του RNA ώστε να φτάσει στην τελική του κατάσταση. Τέτοια παραδείγματα θα δούμε στα ιντρόνια των mRNA στο Κεφάλαιο 7, που αποτελούν περιοχές που αποκόπτονται από τα mRNA κατά την ωρίμανσή τους. Ένα επίσης γνωστό παράδειγμα είναι η RNάση P που αποτελεί το ριβόζυμο ωρίμανσης των tRNA.

Από τον κόσμο του RNA στον κόσμο των ριβονουκλεοπρωτεϊνών

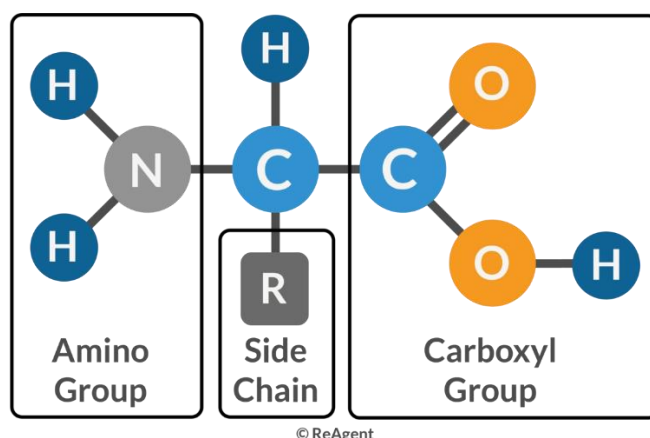
Η RNase P είναι ένα σύμπλοκο RNA και πρωτεϊνών (**ριβονουκλεοπρωτεϊνικό σύμπλοκο**) που εμπλέκεται στην ωρίμανση των πρόδρομων μορίων tRNA (προ-tRNA). Είναι μαζί με το ριβόσωμα τα δύο ριβόζυμα που υπάρχουν σε όλους τους οργανισμούς. Οι περισσότεροι επιστήμονες σήμερα πιστεύουν ότι ο πρώτος κόσμος κυριαρχούταν από το RNA και αυτό είναι ιδιαίτερα εμφανές στους απογόνους αυτών των ομάδων του παρελθόντος. Στα βακτήρια, η RNase P αποτελείται από μια ενιαία υπομονάδα καταλυτικού RNA και μια υπομονάδα πρωτεΐνης. Το RNA παρόλο που εξαρτάται για την πλήρη καταλυτική του δράση από την πρωτεΐνη έχει τη δυνατότητα να καταλύσει σε μικρότερο βαθμό και μόνο του την αντίδραση ωρίμανσης. Περνώντας από τα βακτήρια στα αρχαία οι υπομονάδες πρωτεΐνης αυξάνονται ενώ αυξάνονται ακόμα περισσότερο στους ευκαρυωτικούς οργανισμούς.



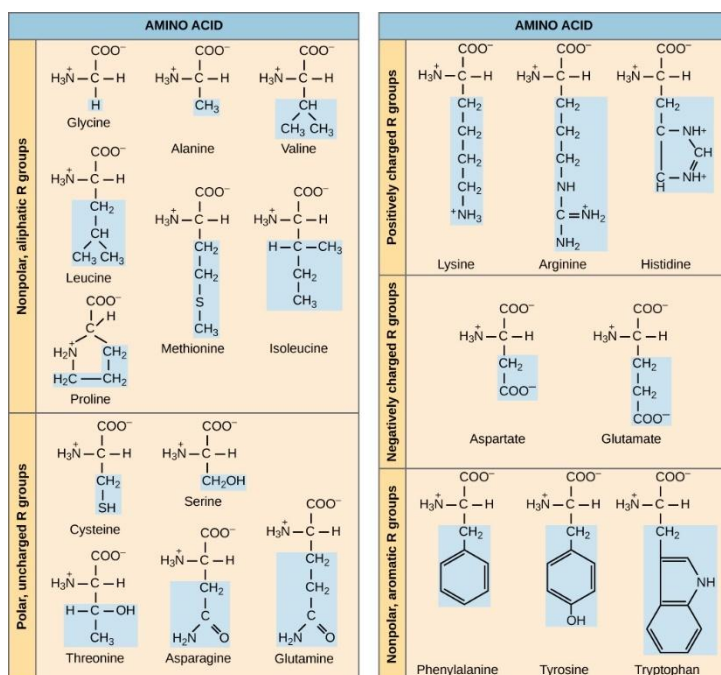
2.4 Αμινοξέα, πεπτίδια και πρωτεΐνες

Από τα μακρομόρια, αυτά με τη μεγαλύτερη ποικιλία στη δομή και τη λειτουργία είναι οι πρωτεΐνες. Την μεγαλύτερη πολυπλοκότητα στη δομή την προσφέρουν τα 20 αμινοξέα από τα οποία αποτελούνται σχεδόν όλες οι πρωτεΐνες στη φύση. Στη γενική τους δομή τα αμινοξέα περιέχουν μια αμινομάδα ($-NH_2$) και μια καρβοξυλομάδα ($-COOH$) εκατέρωθεν ενός κεντρικού ατόμου άνθρακα, και μία πλευρική ομάδα (R) που είναι διαφορετική στο κάθε αμινοξύ. Η πλευρική ομάδα είναι αυτή που δίνει στο κάθε αμινοξύ τις ιδιαίτερες φυσικοχημικές του ιδιότητες. Τα 20 αμινοξέα που βρίσκονται στις πρωτεΐνες όλων των οργανισμών στη φύση ταξινομούνται με βάση τις ιδιότητες των πλευρικών τους ομάδων σε **μη πολικά (υδρόφοβα)**, **πολικά (υδρόφιλα)**, **όξινα** και **βασικά αμινοξέα**. Οι πλευρικές ομάδες που αποτελούνται από άτομα που έχουν ίση κατανομή στα φορτία τους (δεν είναι ιδιαίτερα ηλεκτραρνητικά) δεν έχουν τρόπο να αλληλεπιδράσουν με το νερό. Ως αποτέλεσμα

αυτές οι πλευρικές ομάδες αποφεύγουν το νερό και γι' αυτό ονομάζονται υδρόφοβες. Από την άλλη όταν στην πλευρική ομάδα ένα άτομο έλκει περισσότερο τα ηλεκτρόνια των ατόμων της ομάδας εμφανίζεται πολικότητα στην πλευρική ομάδα. Δηλαδή μια πλευρά του είναι ελαφρώς **ηλεκτραρνητική** και η άλλη ελαφρώς **ηλεκτροθετική**. Τα πολικές πλευρικές ομάδες των αμινοξέων μπορούν να αλληλεπιδράσουν με το νερό δημιουργώντας δεσμούς υδρογόνου με αποτέλεσμα να ονομάζονται υδρόφιλες. Όταν η ανισοκατανομή του φορτίου είναι τέτοια που επιτρέπει την προσέλκυση ενός πυρήνα υδρογόνου (H^+) ή επιτρέπει τη διάσπαση του μορίου και την απώλεια ενός πυρήνα υδρογόνου από την ομάδα τότε η πλευρική ομάδα ονομάζεται φορτισμένη. Σε ουδέτερο pH οι πλευρικές ομάδες αυτών των αμινοξέων είναι φορτισμένες, όπως και οι α-αμινομάδες και α-καρβοξυλομάδες.

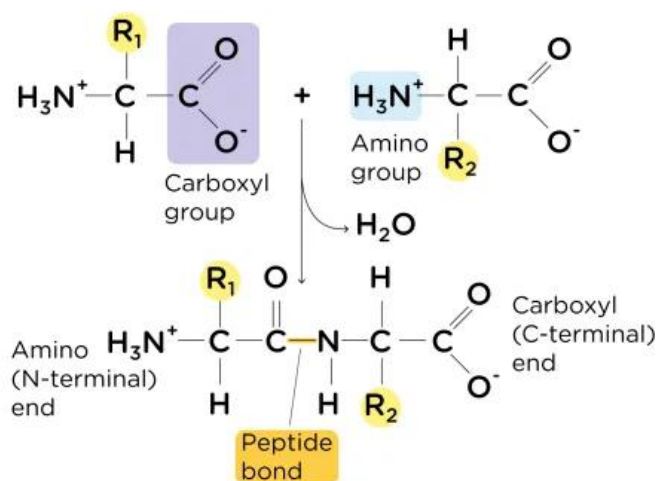


Εικόνα 2.19 Η γενική δομή αμινοξέων. Στο γενικό χημικό τύπο των αμινοξέων ο κεντρικός άνθρακας συνδέεται με μια αμινομάδα ($-NH_2$) και μια καρβοξυλομάδα ($-COOH$). Αυτές οι ομάδες βοηθούν στη διασύνδεση των αμινοξέων στις πρωτεΐνες. Το κάθε αμινοξύ έχει μια πλευρική ομάδα (R) που το χαρακτηρίζει φυσικοχημικά.



Εικόνα 2.20 Οι χημικοί τύποι των αμινοξέων. Τα 20 αμινοξέα που συναντούμε στις πρωτεΐνες όλων των οργανισμών χωρίζονται σε ομάδες ανάλογα την κατανομή του φορτίου της πλευρικής τους ομάδας. Τα πολικά αμινοξέα παρουσιάζουν άνιση κατανομή του φορτίου στην πλευρική ομάδα. Τα αμινοξέα που η πλευρική τους ομάδα έχει ίση κατανομή στα φορτία είναι μη πολικά. Από τα μη πολικά κάποια εμφανίζουν αρωματικούς δακτυλίους που είναι υδρόφοβοι. Εξάιρεση στον πλήρη υδρόφοβο χαρακτήρα αποτελεί η τυροσίνη που το -OH πάνω στον υδρόφοβο αρωματικό δακτύλιο εμφανίζει κάποια πολικότητα.

Κατά τη διάρκεια της παραγωγής των πρωτεϊνών, μια διαδικασία που ονομάζεται **πρωτεϊνοσύνθεση**, τα αμινοξέα συνδέονται μεταξύ τους με έναν ομοιοπολικό δεσμό, τον **πεπτιδικό δεσμό**. Ο πεπτιδικός δεσμός ή αμιδικός δεσμός σχηματίζεται μέσω μιας αντίδρασης συμπύκνωσης μεταξύ της καρβοξυλομάδας (-COO-) ενός αμινοξέος και της αμινομάδας (-NH₃⁺) ενός άλλου αμινοξέος, με αποτέλεσμα την απελευθέρωση ενός μορίου νερού. Οι πεπτιδικοί δεσμοί είναι σταθεροί κάτω από φυσιολογικές συνθήκες και μπορούν να υποστούν υδρόλυση από **πρωτεολυτικά ένζυμα**, τα οποία διασπούν τον πεπτιδικό δεσμό για να απελευθερώσουν μεμονωμένα αμινοξέα. Τα αμινοξέα πολυμεριζόμενα στη σειρά δίνουν τα μόρια που ονομάζονται **πεπτίδια** ή με το γενικότερο όρο πρωτεΐνες. Τα πεπτίδια μπορεί να ποικίλλουν σε μέγεθος από λίγα μόνο αμινοξέα έως αρκετές χιλιάδες. Ταξινομούνται με βάση το μήκος τους: ολιγοπεπτίδια (2-20 αμινοξέα) και πολυπεπτίδια (περισσότερα από 20 αμινοξέα). Στη βιβλιογραφία ο όρος πεπτίδια έχει επικρατήσει για τα μικρού μήκους ολιγοπεπτίδια και πολυπεπτίδια (μέχρι περίπου 100 αμινοξέα) ενώ τα μεγαλύτερα πολυπεπτίδια ονομάζονται πρωτεΐνες.



Jack Westin

Εικόνα 2.21 Ο πεπτιδικός δεσμός. Μεταξύ δύο αμινοξέων δημιουργείται ένας πεπτιδικός δεσμός μετά από την συμπύκνωση της καρβοξυλομάδας του πρώτου αμινοξέος με την αμινομάδα του επόμενου. Σε μια πρωτεΐνη το άκρο του πρώτου αμινοξέος που έχει μια ελεύθερη αμινομάδα ονομάζεται N-τελικό άκρο, ενώ το καρβοξύλιο του τελευταίου αμινοξέος αποτελεί το C-τελικό άκρο της πρωτεΐνης.

Βιοενεργά πεπτίδια

Ενώ ο ρόλος των πρωτεϊνών ήταν σαφής εδώ και περίπου δύο αιώνες, ο ρόλος μικρότερων πεπτιδίων αποτελεί ένα νέο κόσμο τον 21^ο αιώνα. Πεπτίδια μικρού μήκους φαίνεται να έχουν διάφορους ρόλους στη φύση και στην ανθρώπινη υγεία. Τα **βιοενεργά πεπτίδια** είναι μια ομάδα πεπτιδίων που αποτελούνται συνήθως από λιγότερα από 50 αμινοξέα και έχουν ένα λειτουργικό ρόλο σε έναν ζωντανό οργανισμό ή κύτταρο. Αν και ορισμένα από αυτά τα πεπτίδια παράγονται από τα αντίστοιχα γονίδια στην τελική τους μορφή, πολλά από αυτά είναι κρυμμένα μέσα σε μεγαλύτερες πρωτεΐνες. Η παραγωγή των πεπτιδίων από τις «μητρικές» πρωτεΐνες γίνεται μέσω **πρωτεολυτικής πέψης**, δηλαδή μετά από πέψη με ένζυμα που λέγονται **πρωτεάσες** ή **πεπτιδάσες** που απελευθερώνουν το λειτουργικό πεπτίδιο.

Από δομική άποψη, δεν υπάρχει ομοιομορφία στην αρχιτεκτονική των βιοενεργών πεπτιδίων. Ταξινομούνται σε δύο βασικούς τύπους, τα **ενδογενή** και τα **εξωγενή** πεπτίδια. Τα ενδογενή πεπτίδια παράγονται από διαφορετικούς τύπους κυττάρων, όπως νευρικά κύτταρα ή κύτταρα του ανοσοποιητικού συστήματος και σε διάφορους αδένες σε όλο το σώμα, όπως η υπόφυση και τα επινεφρίδια. Τα εξωγενή πεπτίδια εισέρχονται στο σώμα από διάφορες πηγές, όπως τρόφιμα, συμπληρώματα διατροφής και φάρμακα.

Από τα πεπτίδια τα πιο γνωστά είναι αυτά με **αντιμικροβιακές ιδιότητες**, δηλαδή αυτά που έχουν τη δυνατότητα να εμποδίσουν την ανάπτυξη μικροοργανισμών. Τα **αντιμικροβιακά πεπτίδια** (AMPs) αποτελούν μέρος της έμφυτης ανοσίας σε όλους τους οργανισμούς, δηλαδή της ανοσίας που δεν είναι ειδική έναντι κάποιου παθογόνου μικροοργανισμού αλλά αντίθετα μπορεί να λειτουργήσει έναντι ενός ευρέος φάσματος μικροοργανισμών. Τα αντιμικροβιακά πεπτίδια μπορούν να σκοτώσουν βακτήρια, ιούς, μύκητες και ακόμη και καρκινικά κύτταρα.

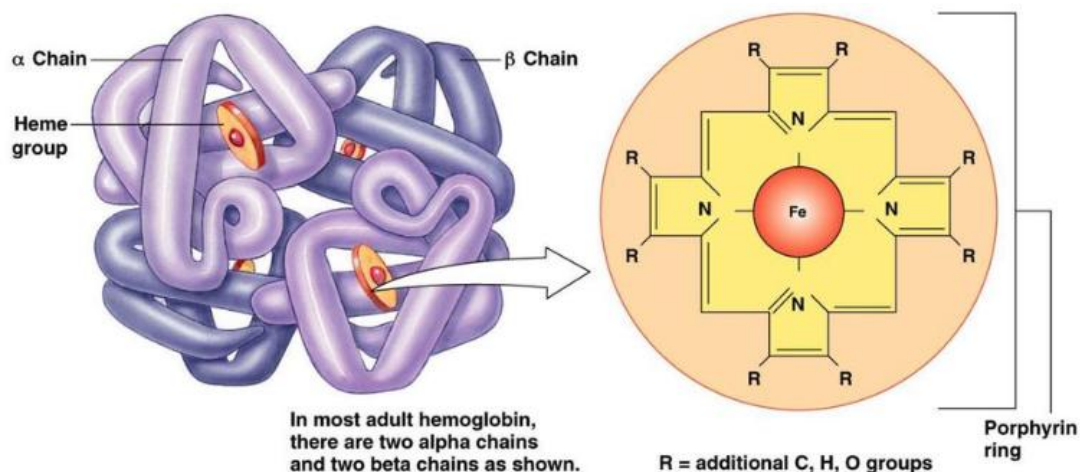
Οι πρωτεΐνες αποτελούν πάνω από το μισό της ξηρής μάζας ενός κυττάρου και από τα βιομόρια είναι αυτά με τη μεγαλύτερη ποικιλία τόσο στη δομή όσο και στη λειτουργία. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω αυτό οφείλεται στην ποικιλία των αμινοξέων που είναι διαθέσιμα και στις ιδιαίτερες ιδιότητες του καθενός από αυτά. Οι πρωτεΐνες επιτελούν έναν ή περισσότερους ρόλους και μπορούν να είναι:

1. **Δομικά συστατικά:** Οι πρωτεΐνες χρησιμεύουν ως δομικά στοιχεία σε κύτταρα και ιστούς, παρέχοντας μηχανική υποστήριξη, οργάνωση στο χώρο και σχήμα. Συνήθως αυτές οι πρωτεΐνες σχηματίζουν ενδοκυττάρια ή εξωκυττάρια ίνες (Βλέπε κεφάλαιο XX).
2. **Ένζυμα:** Οι πρωτεΐνες δρουν ως ένζυμα, καταλύοντας διάφορες χημικές αντιδράσεις μέσα αλλά και έξω από το κύτταρο (Βλέπε κεφάλαιο 3).
3. **Μεταφορά και αποθήκευση:** Ορισμένες πρωτεΐνες διευκολύνουν τη μεταφορά και αποθήκευση μορίων. Πρωτεΐνες μπορούν να μεταφέρουν και να αποθηκεύουν άλλα βιομόρια ή μικρά μόρια όπως το οξυγόνο.
4. **Κίνηση:** Πρωτεΐνες που συχνά αποτελούν δομικά στοιχεία ή είναι σε αλληλεπίδραση με αυτά έχουν το ρόλο του κινητήριου μηχανισμού του κυττάρου. Η κίνηση ολόκληρου του κυττάρου, όπως για παράδειγμα η προώθηση ενός σπερματοζωαρίου με το μαστίγιο ή η κίνηση του περιεχομένου του κυττάρου, όπως για παράδειγμα η μετακίνηση ενός φορτίου προς έκκριση επιτελείται από κινητήριες πρωτεΐνες (Βλέπε κεφάλαιο XX).

5. Κυτταρική σηματοδότηση και ρύθμιση: Οι πρωτεΐνες δέχονται και μεταδίδουν σήματα - πληροφορίες εντός του κυττάρου αλλά και μεταξύ των κυττάρων, παίζοντας ρόλο στον συντονισμό της λειτουργίας του κυττάρου και της έκφρασης των γονιδίων του (Βλέπε κεφάλαια XX και ZZZ).

6. Άμυνα: Πρωτεΐνες, όπως τα αντισώματα και τα αντιμικροβιακά πεπτίδια, παρέχουν αμυντικούς μηχανισμούς κατά μικροοργανισμών, ξένων σωμάτων αλλά και καρκινικών κυττάρων στο πλαίσιο της έμφυτης και της επίκτητης ανοσίας (Βλέπε κεφάλαιο XX).

Οι πρωτεΐνες είτε δρουν μόνες του είτε σε μεγαλύτερα **σύμπλοκα**. Οι πρωτεΐνες σε σύμπλοκα με άλλες πρωτεΐνες συνεργάζονται δομικά και λειτουργικά. Αρκετές πρωτεΐνες είναι λειτουργικές μόνο εντός συμπλοκών. Σε αυτές τις περιπτώσεις τα σύμπλοκα λέμε ότι φτιάχνονται από υπομονάδες, κάθε μία εκ των οποίων είναι μια πρωτεΐνη. Ωστόσο συχνά ο λειτουργικός χαρακτήρας επικρατεί στη βιβλιογραφία και ως πρωτεΐνη αναφέρεται και το σύμπλοκο ως σύνολο. Για παράδειγμα η **αιμοσφαιρίνη** αποτελείται από δύο αντίγραφα δύο διαφορετικών υπομονάδων **σφαιρίνης α** και **β** (**Εικόνα 2.22**). Η αιμοσφαιρίνη λοιπόν αποτελεί ένα τετραμερές σύμπλοκο. Καθώς οι πρωτεΐνες που το απαρτίζουν είναι διαφορετικές (σφαιρίνη α και β), το τετραμερές μπορεί να ονομαστεί **ετεροτετραμερές**. Σε περίπτωση που οι υπομονάδες είναι αντίγραφα της ίδιας πρωτεΐνης το πρόθεμα ετερο- αντικαθίσταται από το πρόθεμα ομο-. Για παράδειγμα η ομοδιμερής πρωτεΐνη **κυκλοοξυγενάση** αποτελείται από δύο ίδια αντίγραφα της κυκλοοξυγενάσης. Η κυκλοοξυγενάση είναι ένα ένζυμο για την παραγωγή των προσταγλανδινών, σημαντικών ουσιών της φλεγμονής (Βλέπε κεφάλαιο XX).



Εικόνα 2.22 Η δομή αιμοσφαιρίνης. Η αιμοσφαιρίνη είναι μια πρωτεΐνη που βρίσκεται στα ερυθρά αιμοσφαίρια και είναι υπεύθυνη για τη μεταφορά οξυγόνου από τους πνεύμονες στους ιστούς και την επιστροφή του διοξειδίου του άνθρακα από τους ιστούς πίσω στους πνεύμονες. Η αιμοσφαιρίνη είναι ένα **ετεροτετραμερές** που αποτελείται από δύο υπομονάδες α σφαιρίνης και δύο υπομονάδες β σφαιρίνης. Η κάθε υπομονάδα σφαιρίνης έχει μη-ομοιοπολικά προσδεσμένη μια ομάδα αίμης που επιτελεί τη μεταφορά του οξυγόνου και του διοξειδίου του άνθρακα.

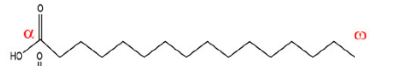
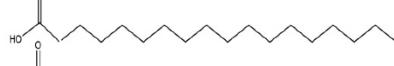
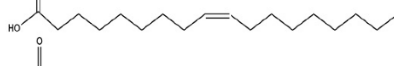
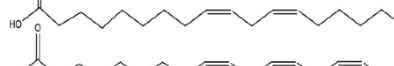
Εκτός από τις μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις οι πρωτεΐνες συχνά βρίσκονται σε σύμπλοκα με άλλες χημικές ενώσεις με τις οποίες συνεργάζονται για τη λειτουργία τους. Για παράδειγμα

η σφαιρίνη στην αιμοσφαιρίνη για να μπορεί να μεταφέρει το οξυγόνο χρειάζεται να αλληλεπιδράσει με μια ομάδα αίμης που φέρει ένα ιόν σιδήρου κρίσιμου συστατικού στην αλληλεπίδραση με το οξυγόνο και το διοξείδιο του άνθρακα (**Εικόνα 2.22**). Ορισμένες πρωτεΐνες έχουν τη δυνατότητα στο πλαίσιο της λειτουργίας τους να αλληλεπιδρούν με RNA ή DNA σε σύμπλοκα που ονομάζονται **νουλεοπρωτεϊνικά σύμπλοκα**. Σε αλληλεπίδραση με το RNA οι πρωτεΐνες ρυθμίζουν και υποβοηθούν τις λειτουργίες του αλλά και την έκφρασή του στην περίπτωση του mRNA (**Βλέπε Κεφάλαιο XX**). Σε αλληλεπίδραση με το DNA οι πρωτεΐνες ρυθμίζουν τη γονιδιακή έκφραση (**Βλέπε Κεφάλαιο XX**). Περισσότερα στοιχεία για τη δομή και τη λειτουργία των πρωτεϊνών ακολουθούν στο Κεφάλαιο 3.

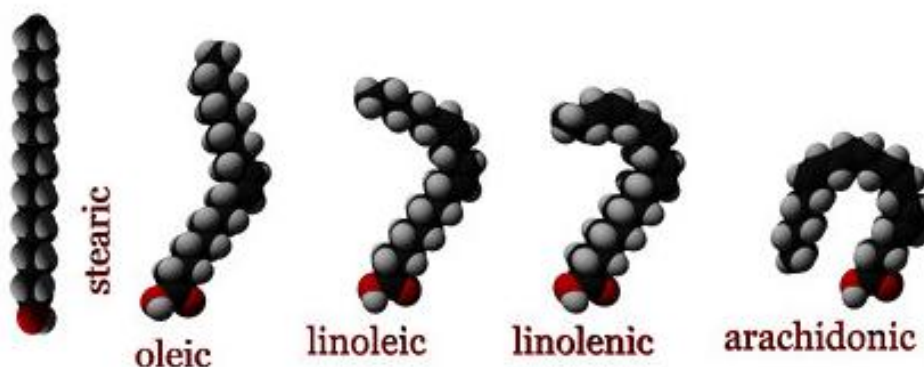
2.5 Λιπίδια

Τα λιπίδια είναι μια ομάδα οργανικών ενώσεων που χαρακτηρίζονται από τον υδρόφοβο χαρακτήρα τουλάχιστον ενός μέρους της χημικής τους δομής. Τα βιολογικά λιπίδια περιλαμβάνουν πολλές κατηγορίες όπως τα λιπαρά οξέα, τα **γλυκερολιπίδια**, τα **φωσφολιπίδια**, τα **σφιγγολιπίδια** και οι **στερόλες**. Αυτά τα λιπίδια παίζουν σημαντικό ρόλο στην αποθήκευση ενέργειας, την κυτταρική σηματοδότηση και δρουν και ως δομικά συστατικά των κυτταρικών μεμβρανών.

Τα λιπαρά οξέα είναι καρβοξυλικά οξέα με άτομα άνθρακα στη σειρά με διάφορα μήκη μιας αλειφατικής (ευθύγραμμης) αλυσίδας. Τα λιπαρά οξέα μπορούν να ταξινομηθούν με βάση το μήκος τους σε λιπαρά οξέα μικρής αλυσίδας (2-5 ανθράκων), μέσης αλυσίδας (6-12 ανθράκων), μακράς αλυσίδας (13-21 ανθράκων) και πολύ μακράς αλυσίδας (>21 ανθράκων). Στον άνθρωπο απαντούν συνήθως μόνο αυτά με 12-24 άτομα άνθρακα. Τα λιπαρά οξέα που αποτελούνται από άνθρακες συνδεδεμένους μεταξύ τους με ένα απλό δεσμό ονομάζονται κορεσμένα, καθώς είναι πλήρως κορεσμένα σε άτομα υδρογόνου. Στην περίπτωση που στο μόριο εμφανίζεται μεταξύ των ανθράκων διπλός ή τριπλός δεσμός τότε το λιπαρό οξύ είναι ακόρεστο. Μια σημαντική παράμετρος των ακόρεστων λιπαρών οξέων είναι η γωνία που σχηματίζει το μόριο στο χώρο στο σημείο του διπλού δεσμού.

	Common name	Standard nomenclature	Alternative nomenclature
	Palmitic acid (PA)	16:0	-
	Stearic acid (SA)	18:0	-
	Oleic acid (OA)	18:1Δ ⁹	ω-9
	Linoleic acid (LA)	18:2Δ ^{9,12}	ω-6
	α-Linolenic acid (ALA)	18:3Δ ^{9,12,15}	ω-3
	Arachidonic acid (AA)	20:4Δ ^{5,8,11,14}	ω-6
	Eicosapentaenoic acid (EPA)	20:5Δ ^{5,8,11,14,17}	ω-3
	Docosahexaenoic acid (DHA)	22:6Δ ^{4,7,10,13,16,19}	ω-3

Εικόνα 2.23 Λιπαρά οξέα απαραίτητα για τον άνθρωπο. Τα λιπαρά οξέα είναι καρβοξυλικά οξέα με υδρογονανθρακικές αλυσίδες που κυμαίνονται σε μήκος από 4 έως 36 άνθρακες. Στα κορεσμένα λιπαρά οξέα, οι αλυσίδες υδρογονάνθρακα δεν περιέχουν διπλούς δεσμούς, ενώ τα ακόρεστα λιπαρά οξέα περιέχουν έναν ή περισσότερους διπλούς δεσμούς. Η επίσημη ονοματολογία των λιπαρών οξέων δηλώνεται από τον αριθμό των ανθράκων στην αλυσίδα και τον αριθμό των διπλών δεσμών χωρισμένα με μία άνω κάτω τελεία. Η θέση των δεσμών αναφέρεται δίπλα από γράμμα Δ με έναν ή περισσότερους αριθμούς ανθράκων στους οποίους και βρίσκονται οι διπλοί δεσμοί ξεκινώντας από τον 1^ο άνθρακα. Τα ακόρεστα λιπαρά οξέα ονομάζονται εναλλακτικά ω-3, ω-6 και ω-9 λιπαρά οξέα με βάση την απόσταση από τον τελευταίο άνθρακα (άνθρακας ω) της αλυσίδας. Ο άνθρωπος μπορεί να βιοσυνθέσει τα λιπαρά οξέα που του είναι απαραίτητα. Ωστόσο άλλα όπως το λινολεϊκό οξύ και το λινολενικό οξύ, παρόλο που είναι ζωτικής σημασίας για την καλή υγεία, δεν μπορούν να συντεθούν σε επαρκείς ποσότητες από τον οργανισμό και πρέπει να λαμβάνονται από πηγές τροφίμων όπως τα φυτικά έλαια ή τα ψάρια.

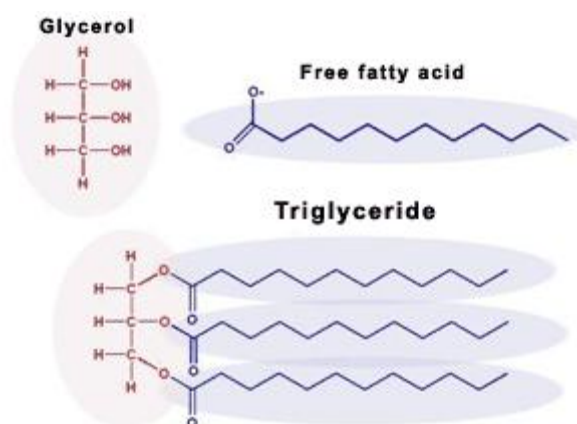


PA 18

Εικόνα 2.24 Οι δομές των λιπαρών οξέων στο χώρο. Τα λιπαρά οξέα ανάλογα με τους διπλούς δεσμούς που εμφανίζουν στην αλυσίδα των ανθράκων αποκτούν γωνίες που κάμπτουν το μόριο. Ενώ τα κορεσμένα λιπαρά οξέα όπως το στεαρικό οξύ είναι ευθύγραμμα, τα ακόρεστα έχουν κάμψη ανάλογη των διπλών δεσμών.

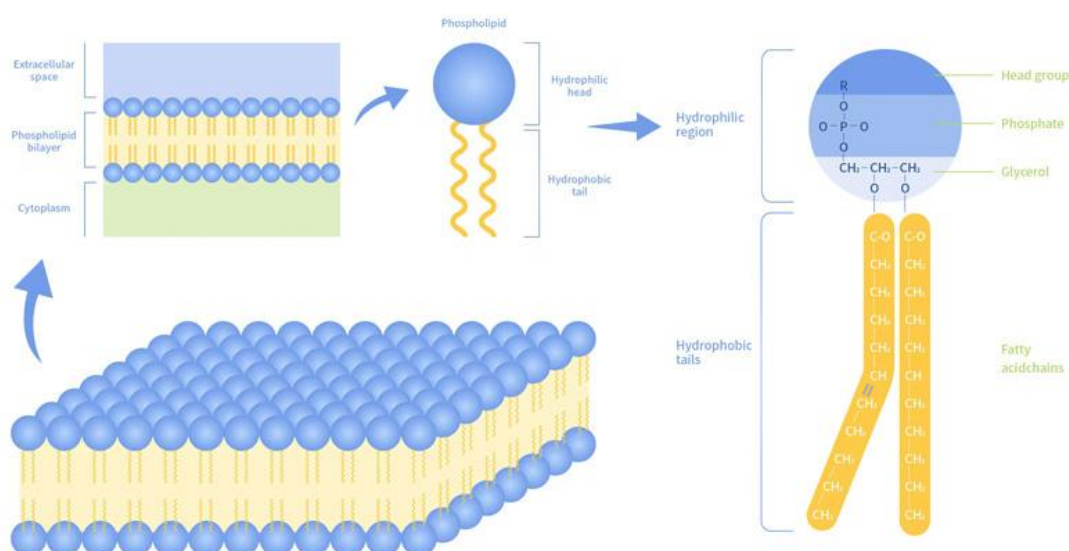
Τα γλυκερολιπίδια είναι σύνθετες χημικές ουσίες που αποτελούνται από γλυκερόλη σε συνδυασμό με 1 έως 3 λιπαρά οξέα. Οι πιο γνωστές ενώσεις είναι τα τριγλυκερίδια που αποτελούνται από γλυκερόλη και 3 λιπαρά οξέα. Ο κύριος ρόλος τριγλυκεριδίων είναι η αποθήκευση ενέργειας όπως αυτή ενσωματώνεται στις υδρογονανθρακικές ουρές των λιπαρών οξέων. Η περίσσια θερμίδων από την τροφή συχνά αποθηκεύεται με τη μορφή τριγλυκεριδίων. Τα τριγλυκερίδια και τα προϊόντα του μεταβολισμού τους αποτελούν κεντρικό μηχανισμό στην ανάπτυξη της αθηρωματικής πλάκας στις αρτηρίες που οδηγεί τελικά στη στεφανιαία νόσο. Ενώ τα τριγλυκερίδια έχουν κυρίως αποθηκευτικό χαρακτήρα, τα γλυκερολιπίδια με δύο λιπαρά οξέα έχουν κυρίως το χαρακτήρα σήματος κατά την κυτταρική σηματοδότηση. Οι διακυλογλυκερόλες (DAG) όπως λέγονται αποτελούν συστατικά των κυτταρικών μεμβρανών και η παραγωγή τους συνδέεται με τη μετάδοση ενός

σήματος (**Βλέπε Κεφάλαιο XX**). Η παραγωγή τους γίνεται μέσα από τη διάσπαση μιας άλλης ομάδας λιπιδίων, των φωσφολιπιδίων.



Εικόνα 2.25 Ο σχηματισμός των τριγλυκεριδίων. Η αντίδραση των -OH της γλυκερόλης με τα καρβοξύλια τριών μορίων λιπαρού οξέως οδηγεί στη σύνθεση των τριγλυκεριδίων.

Τα φωσφολιπίδια είναι μια κατηγορία λιπιδίων καθοριστικής σημασίας για τη δομή και τη λειτουργία των κυτταρικών μεμβρανών (**Βλέπε Κεφάλαιο 4**). Τα φωσφολιπίδια έχουν μια υδρόφιλη «κεφαλή» που περιέχει μια φωσφορική ομάδα συνδεδεμένη με μια χημική ένωση, συνήθως κάποια αλκοόλη, που δίνει τον ιδιαίτερο χαρακτήρα του λιπιδίου και δύο υδρόφοβες «ουρές» λιπαρών οξέων. Ανάλογα την ιδιαίτερη χημική ένωση της κεφαλής τα φωσφολιπίδια παίρνουν την ονομασία τους. Αν για παράδειγμα η χημική ένωση είναι το αμινοξύ σερίνη τότε το φωσφολιπίδιο ονομάζεται φωσφατιδυλοσερίνη.



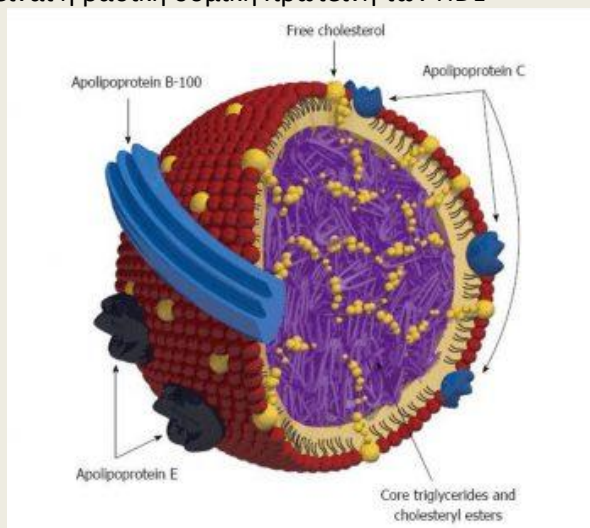
Εικόνα 2.26 Φωσφολιπίδια και βιολογικές μεμβράνες. Τα φωσφολιπίδια είναι αμφίφιλα μόρια αποτελούνται από μια υδρόφιλη κεφαλή που περιέχει μια φωσφορική ομάδα συνδεδεμένη με την χαρακτηριστική χημική ένωσή(R) του κάθε φωσφολιπιδίου, ένα κορμό

γλυκερόλης και δύο υδρόφοβες ουρές λιπαρών οξέων. Τα φωσfolιπίδια μπορούν να σχηματίσουν λιπιδικές διπλοστοιβάδες καθώς οι υδρόφιλες κεφαλές βλέπουν προς το υδατικό διάλυμα και στις δύο πλευρές τις μεμβράνης, ενώ οι υδρόφοβες ουρές κατευθύνονται προς τα μέσα.

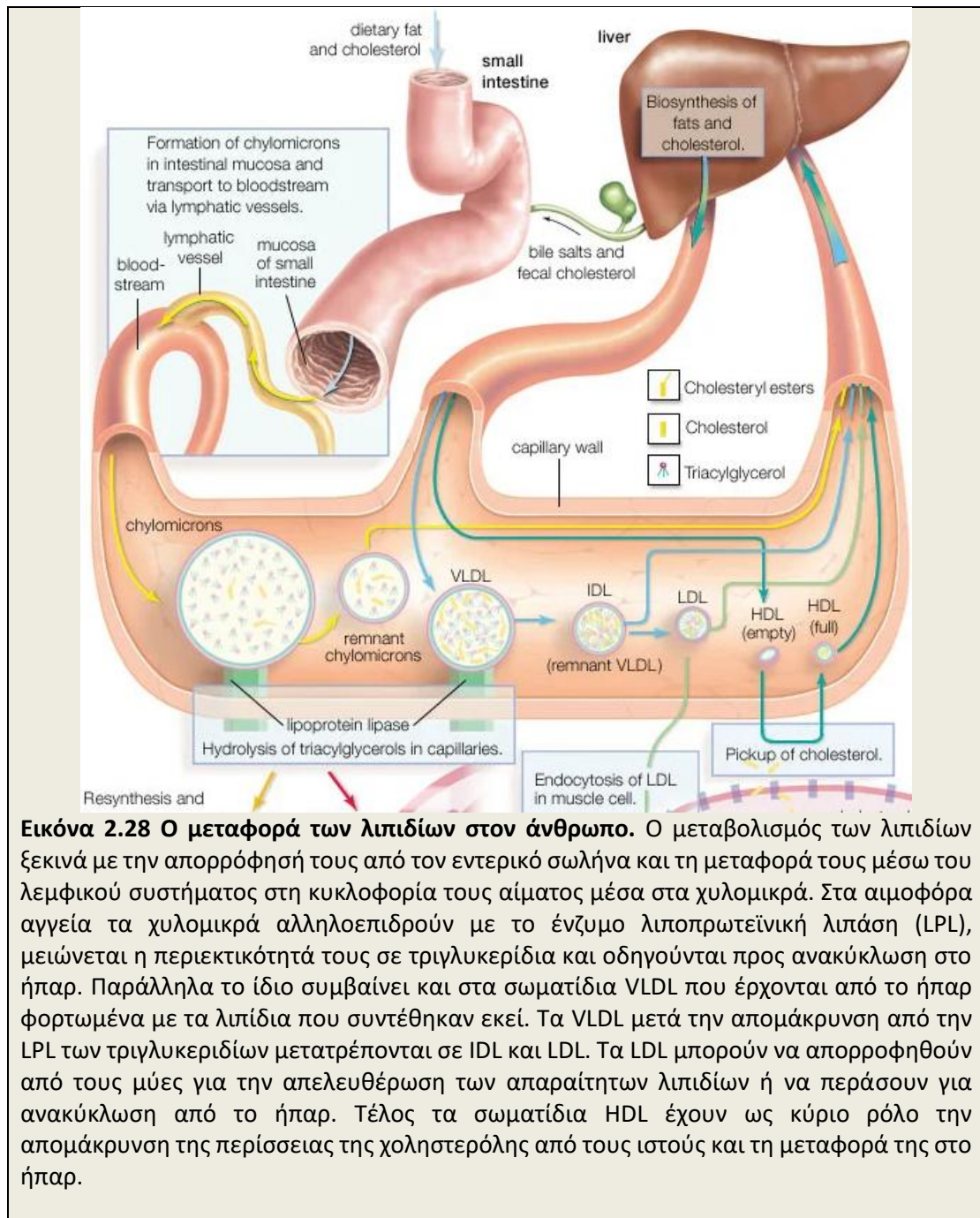
Μεταφορά των λιπιδίων και απολιποπρωτεΐνες

Καθώς τα λιπίδια είναι κυρίως υδρόφοβα μόρια δεν μπορούν να ταξιδέψουν μέσα στον οργανισμό του ανθρώπου ελεύθερα. Γι' αυτό και κατά τη μεταφορά τους είναι προσδεμένα επάνω σε ειδικές πρωτεΐνες που ονομάζονται **απολιποπρωτεΐνες**. Στο αίμα οι απολιποπρωτεΐνες δημιουργούν με τα λιπίδια σύμπλοκα διαφορετικής πυκνότητας και μεγέθους ανάλογα με τη σύσταση. Συνήθως τα **λιποπρωτεϊνικά** σωματίδια χωρίζονται σε πέντε μεγάλες κατηγορίες:

- 1) Τα χυλομικρά αποτελούν τον τρόπο μεταφοράς των λιπών της τροφής από τον εντερικό σωλήνα στην κυκλοφορία. Τα χυλομικρά αποτελούνται από τριγλυκερίδια (85-92%), φωσfolιπίδια (6-12%), χοληστερόλη και απολιποπρωτεΐνες ApoC1, ApoC2, ApoC3, ApoB48 και ApoE
- 2) Τα σωματίδια λιποπρωτεΐνης πολύ χαμηλής πυκνότητας (VLDL), που παράγονται στο ήπαρ, είναι πλούσια σε τριγλυκερίδια και περιέχουν τις απολιποπρωτεΐνες B100, C1, C2, C3 και E. Το κάθε σωματίδιο VLDL περιέχει ένα μόριο απολιποπρωτεΐνης B100.
- 3) Τα σωματίδια λιποπρωτεΐνης χαμηλής πυκνότητας (LDL) προέρχονται από σωματίδια VLDL και είναι περαιτέρω εμπλουτισμένα σε χοληστερόλη. Η κυρίαρχη απολιποπρωτεΐνη είναι η B-100, με κάθε σωματίδιο LDL να περιέχει ένα μόριο Apo B100.
- 4) Τα σωματίδια λιποπρωτεΐνης ενδιάμεσης πυκνότητας (IDL) τα οποία ονομάζονται και κατάλοιπα VLDL καθώς δημιουργούνται μετά την αφαίρεση των τριγλυκεριδίων από τα VLDL στους μύες και στο λιπώδη ιστό. Περιέχουν απολιποπρωτεΐνη B100 και E. Τα σωματίδια IDL θεωρούνται ότι βοηθούν στο σχηματισμό αθηροματικών πλακών στη στεφανιαία νόσο.
- 5) Τα σωματίδια λιποπρωτεΐνης υψηλής πυκνότητας (HDL) είναι εμπλουτισμένα σε χοληστερόλη και φωσfolιπίδια και περιέχουν τις απολιποπρωτεΐνες A1, A2, A4, C1, C2, C3 και E. Η Apo A-I είναι η βασική δομική πρωτεΐνη των HDL

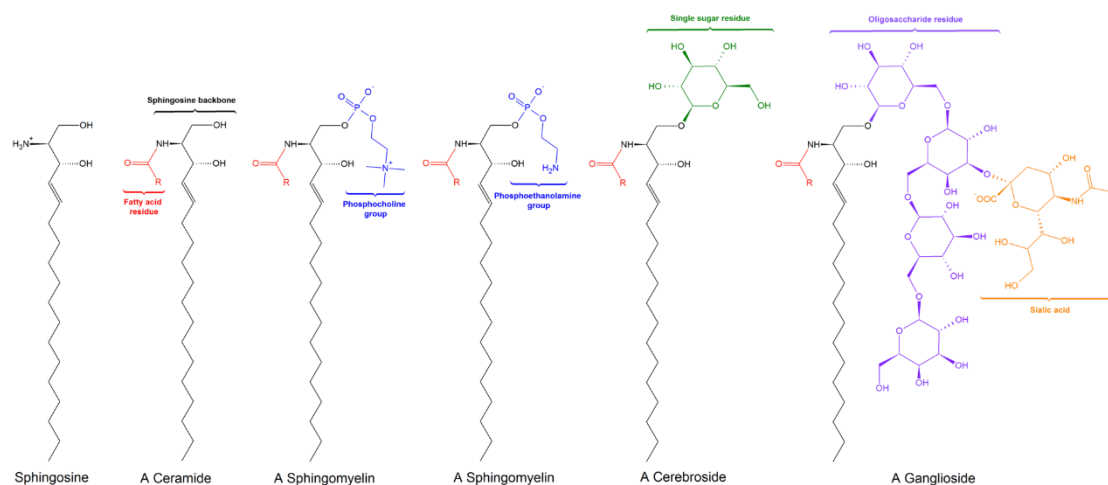


Εικόνα 2.27 Η δομή ενός σωματιδίου VLDL. Ένα σωματίδιο VLDL αποτελείται από ένα εξωτερικό στρώμα φωσfolιπιδίων και ένα εσωτερικό περιεχόμενο χοληστερόλης και τριγλυκεριδίων. Τα φωσfolιπίδια έχουν εκτεθειμένες προς τα έξω τις υδρόφιλες κεφαλές τους, ενώ προς τα μέσα εκτείνονται οι υδρόφοβες ουρές τους. Ανάμεσα στα φωσfolιπίδια είναι ενσωματωμένες οι απολιποπρωτεΐνες.



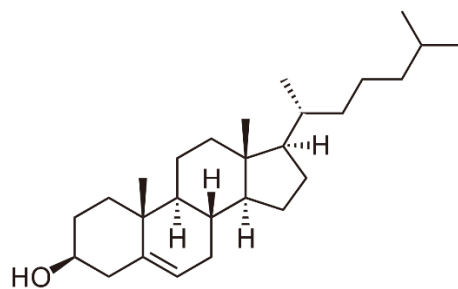
Στις μεμβράνες των κυττάρων εκτός από τα φωσfolιπίδια συναντάμε και τα σφιγγολιπίδια, τα οποία έχουν σαν κοινό τους χαρακτηριστικό την παρουσία της **σφιγγοσίνης**. Η σφιγγοσίνη είναι μια ακόρεστη αμινοαλκοόλη μακράς αλυσίδας 18 ανθράκων. Η αμινομάδα της σφιγγοσίνης έχει τη δυνατότητα να αντιδράσει με ένα μόριο λιπαρού οξέος δημιουργώντας **κεραμίδια**, ουσίες που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον κυτταρικό θάνατο (**Βλέπε Κεφάλαιο XX**). Η αντίδραση του -OH του πρώτου άνθρακα της σφιγγοσίνης σε ένα κεραμίδιο με άλλες ουσίες όπως η φωσφοχολίνη, η φωσφοαιθανολαμίνη ή σάκχαρα μπορεί να δημιουργήσει πιο σύνθετα σφιγγολιπίδια (**Εικόνα 2.29**). Τα περισσότερα σφιγγολιπίδια έχουν ιδιαίτερα αυξημένη παρουσία στο κεντρικό νευρικό σύστημα, ως σημαντικό συστατικό

της μεμβράνης των νευρικών κυττάρων αλλά και της **μυελίνης** που περιβάλλει και μονώνει τους νευρικούς άξονες.



Εικόνα 2.29 Η δομή των σφιγγολιπιδίων. Τα σφιγγολιπίδια αποτελούνται από ένα κεντρικό μόριο σφιγγοσίνης που αντιδρά με την αμινομάδα του με ένα λιπαρό οξύ και με την υδροξυλομάδα (-OH) του πρώτου άνθρακα με άλλες χημικές ενώσεις. Ανάλογα με την χημική ένωση που συνδέεται στον πρώτο άνθρακα της σφιγγοσίνης δημιουργείται και ένα ξεχωριστό σφιγγολιπίδιο.

Σημαντικό ρόλο στη φυσιολογία όλων των οργανισμών παίζουν και οι στερόλες, χημικές ενώσεις που μοιάζουν με τη **χοληστερόλη**, την πιο συχνά απαντούμενη στερόλη στον άνθρωπο και τα άλλα ζώα. Η χοληστερόλη παίζει σημαντικό ρόλο στη σύνθεση των κυτταρικών μεμβρανών (Βλέπε Κεφάλαιο 4). Η χοληστερόλη είναι η βασική ουσία για μία ποικιλία σημαντικών για τη ζωή ουσιών όπως οι **στεροειδείς ορμόνες** και μερικές **λιποδιαλυτές βιταμίνες**. Τα **ανδρογόνα**, όπως η **τεστοστερόνη**, και τα **οιστρογόνα**, όπως η **οιστραδιόλη**, είναι από τις πιο γνωστές στεροειδείς ορμόνες και καθορίζουν τη λειτουργία και την υγεία του αναπαραγωγικού συστήματος αλλά και των ειδικών χαρακτηριστικών και των δύο φύλων. Άλλη μία σημαντική στεροειδής ορμόνη είναι η **κορτιζόλη**. Η κορτιζόλη, που συχνά αναφέρεται και ως **ορμόνη του στρες**, σχετίζεται άμεσα με την ανταπόκριση του ανθρώπου στο στρες και ρυθμίζει την αρτηριακή πίεση, το μεταβολισμό και το σάκχαρο του αίματος, τους καρδιακούς παλμούς, το ανοσοποιητικό σύστημα, και τον **κυρκάδιο ρυθμό**, δηλαδή τον κύκλο μέρας και νύχτας του ανθρώπου. Όλα τα παραπάνω σχετίζονται άμεσα με την ανταπόκριση του ανθρώπινου οργανισμού σε συνθήκες στρες. Τέλος, η χοληστερόλη αποτελεί την αρχική ένωση για τη σύνθεση της βιταμίνης D. Η χοληκαλσιφερόλη, η μορφή της βιταμίνης D που είναι γνωστή ως D3, συντίθεται στο δέρμα από την 7-δεϋδροχοληστερόλη, ενός παραγώγου της χοληστερόλης, κατά την έκθεση του ανθρώπινου δέρματος στην **υπεριώδη ακτινοβολία B (UVB)**.



Εικόνα 2.30 Η δομή της χοληστερόλης. Η υδρογονανθρακική της σύνθεση της προσδίδει ένα υδρόφοβο χαρακτήρα.