

## ‡Βιοπολυμερή (δομή, λειτουργία και βιοφυσικές ιδιότητες)

### ❖ Πρωτεΐνες

- ⇒ Οι πρωτεΐνες αποτελούν δομικά και λειτουργικά συστατικά των κυττάρων και των ιστών.
- ⇒ Οι πρωτεΐνες είναι μεγαλομοριακές ενώσεις, αποτελούμενες από αλληλουχία διαφόρων αμινοξέων ενωμένων μεταξύ τους με πεπτιδικό δεσμό
- ⇒ Στη πρωτεϊνική δομή συμμετέχουν υδρογονικοί δεσμοί μεταξύ των πλευρικών αλυσίδων των αμινοξέων, μεταξύ των ατόμων υδρογόνου και οξυγόνου του πεπτιδικού δεσμού και μεταξύ ατόμων της πρωτεϊνικής επιφάνειας και του περιβάλλοντος νερού.
- ⇒ Οι μη πολικές πλευρικές αλυσίδες των ουδέτερων αμινοξέων συνδέονται με υδρόφοβες ομάδες.

🌱 Ο ρόλος των πρωτεϊνών είναι σημαντικός για όλες σχεδόν τις λειτουργίες των έμβιων συστημάτων. Η σημασία τους διαφαίνεται από τις παρακάτω λειτουργίες:

- Ενζυμική δράση. Όλα τα γνωστά ένζυμα-καταλύτες των βιοχημικών αντιδράσεων είναι πρωτεϊνικής φύσης. Συνήθως τα ένζυμα αυξάνουν την ταχύτητα κάποιων αντιδράσεων τουλάχιστον  $10^6$  φορές.
- Μηχανική στήριξη. Η μεγάλη αντοχή του δέρματος και των οστών οφείλονται στην παρουσία του κολλαγόνου, μιας πρωτεΐνης που σχηματίζει ίνες.
- Κίνηση - συστολή. Οι πρωτεΐνες είναι τα κύρια συστατικά των μυών, των οποίων η συστολή επιτυγχάνεται με την ολισθητική κίνηση δύο ειδών πρωτεϊνικών νηματίων, της ακτίνης και της μυοσΐνης. Επίσης η κίνηση των χρωμοσωμάτων στη μίτωση και η μέσω μαστιγίων προώθηση του σπέρματος επιτυγχάνεται με συσταλτά πρωτεϊνικά συγκροτήματα.
- Μεταφορά και αποθήκευση. Οι πρωτεΐνες χρησιμεύουν στη μεταφορά μικρομορίων και ιόντων. Π.χ. η αιμοσφαιρίνη μεταφέρει οξυγόνο στα ερυθροκύτταρα και η μυοσφαιρίνη στους μυς. Η τρανσφερρίνη μεταφέρει σίδηρο στο πλάσμα του αίματος, ο οποίος αποθηκεύεται στο συκώτι σαν σύμπλοκο με φερριτίνη, μια άλλη πρωτεΐνη.
- Έλεγχος της ανάπτυξης και διαφοροποίησης. Οι πρωτεΐνες χρησιμεύουν στην ελεγχόμενη έκφραση των γενετικών πληροφοριών, ουσιώδη διαδικασία για την κανονική ανάπτυξη και διαφοροποίηση των κυττάρων.
- Ρύθμιση λειτουργιών. Πολλές λειτουργίες ρυθμίζονται από ειδικές πρωτεΐνες, όπως π.χ. η όραση που ρυθμίζεται από τη ροδοψίνη (πρωτεΐνη-φωτοϋποδοχέας στα ραβδία του αμφιβληστροειδή), η μετάδοση των νευρικών παλμών που ρυθμίζεται από την ακετυλχολίνη κ.ά.
- Ανοσοπροστασία. Τα αντισώματα είναι πολύ ειδικές πρωτεΐνες που αναγνωρίζουν ξένους εισβολείς, όπως οι ιοί, τα βακτήρια και κύτταρα άλλων οργανισμών και προσδένονται σε αυτούς με σκοπό την εξουδετέρωση του εισβολέα.

## 🌱 Ταξινόμηση πρωτεϊνών με βάση τον βιολογικό τους ρόλο

ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ	ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΡΟΛΟΣ	ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΑ ΕΙΔΗ
Ένζυμα	Καταλυτική δράση	Οξειδοαναγωγάσες, τρανσφεράσες, υδρολάσες, λυάσες, ισομεράσες, λυγάσες
Στηρικτικές	Μηχανική στήριξη και σύνδεση ιστών	Κολλαγόνο, ελαστίνη, κερατίνη, λιποπρωτεΐνη
Συσταλτές	Μυϊκές κινήσεις	Μυοσίνη, ακτίνη
Μεταφορικές	Μεταφορά αδιάλυτων ή τοξικών ουσιών	Αιμοσφαιρίνη, αλβουμίνες
Γενετικές	Ρύθμιση γονιδίων	Ιστόνες, νουκλεοπρωτεΐνες
Ρυθμιστικές ή ορμονικές	Ρύθμιση λειτουργίας οργάνων, ιστών και αδένων	Ινσουλίνη, γλυκαγόνη, ACTH
Ανοσοπρωτεΐνες	Ανοσολογική προστασία	Ιντερφερόνη, γ-σφαιρίνες

### 🌟 ΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΗ ΠΡΩΤΕΪΝΩΝ

- Η *κρυστάλλωση των πρωτεϊνών* είναι μια τεχνική που αρχικά χρησιμοποιήθηκε για την απομόνωση και τον έλεγχο καθαρότητας των πρωτεϊνών, καθώς η μικροκρυσταλλικότητα των μορίων είναι ένδειξη καθαρότητάς τους. Τα τελευταία χρόνια η χρήση της κρυστάλλωσης για το σκοπό αυτόν έχει εγκαταλειφθεί καθώς οι κρύσταλλοι μπορούν να περιέχουν μέχρι και 10% άλλες προσμίξεις.
- Για την δομική μελέτη μορίων με ακτίνες X η κρυστάλλωση του μορίου αποτελεί το πρωταρχικό βήμα. Τα πρώτα *περίθλασιγράμματα ακτίνων-X* από κρυστάλλους πρωτεϊνών πάρθηκαν από κρυστάλλους πεψίνης από τους Bernal και Crowfoot (D.Hodgkin) το 1934.

- Τα βιολογικά μακρομόρια σαν πολυμερή αμινοξικών καταλοίπων ή νουκλεοτιδίων διπλώνονται σε *τριτοταγή και τεταρτοταγή δομή* κυρίως λόγω αλληλεπιδράσεων Van der Waals, διπόλου-διπόλου, δεσμών υδρογόνου (C-O $\cdots$ H-N), γεφυρών S-S και περιστασιακά λόγω γεφυρών άλατος μεταξύ φορτισμένων αμινοξικών καταλοίπων (-COO $\cdots$ <sup>+</sup>H<sub>3</sub>N-).
- Οι υδατοδιαλυτές πρωτεΐνες διατάσσουν τις υδροφοβικές ομάδες τους προς τον πυρήνα εκθέτοντας τις υδρόφιλες ομάδες στην επιφάνεια, με αποτέλεσμα να θεωρούνται σαν πολυ-ηλεκτρολύτες ικανοί να διαλυτοποιηθούν στο νερό (*πρωτικός πολικός διαλύτης*). Η σταθερότητα των μακρομορίων στο διάλυμα βασίζεται στον ανταγωνισμό μεταξύ αλληλεπιδράσεων διαλύτη-διαλελυμένης ουσίας και ενδομοριακών αλληλεπιδράσεων που οδηγούν στην απόκτηση της τεταρτοταγούς δομής.

- Η ισορροπία μεταξύ των αλληλεπιδράσεων που ελέγχουν την διαλυτότητα και/ή την διαμόρφωση των πρωτεϊνών στον χώρο τροποποιείται από τους παρακάτω παράγοντες :

**α) Θερμοκρασία:** αύξηση της θερμοκρασίας ,προκαλεί αύξηση της αταξίας των διαλελυμένων μορίων αλλά επίσης επιτρέπει μακρομοριακές διευθετήσεις υψηλότερης ελεύθερης ενέργειας.

**β) pH:** Αλλαγές του pH επηρεάζουν τόσο τον διαλύτη όσο και την διαλελυμένη ουσία

**γ) Αλάτια:** δρουν με διαφόρους τρόπους:

(i) Είναι υπεύθυνα για την ιοντική ισχύ και επηρεάζουν τις μακρομοριακές ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις. Η άπωση μεταξύ ηλεκτρολυτών του ίδιου φορτίου μειώνεται.

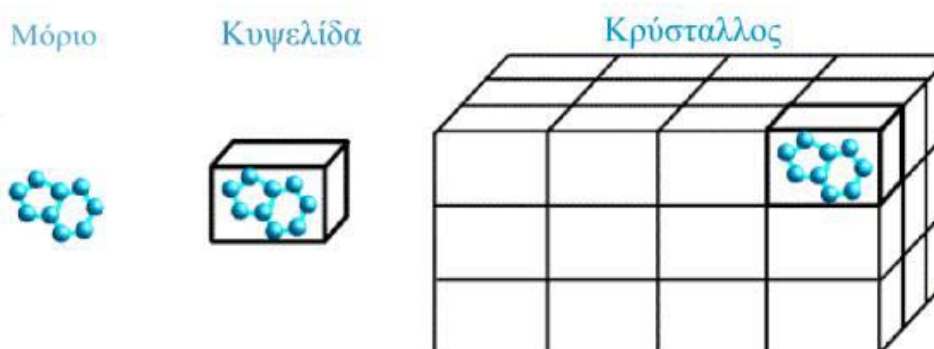
(ii) Μπορούν να σχηματίζουν απ' ευθείας αλληλεπιδράσεις με φορτισμένα αμινοξικά κατάλοιπα (αργινίνη, λυσίνη ασπαρτικό, γλουταμικό) στην επιφάνεια των πρωτεϊνών

(iii) Δρουν με διπολικές-μονοπολικές αλληλεπιδράσεις με τις διπολικές ομάδες των μακρομορίων (πεπτιδικό δεσμοί, αμινο, υδροξυ, καρβοξυλικές ομάδες και αμίδια) και μπορούν να οδηγήσουν σε μερική αποδιάταξη της πρωτεΐνης).

(iv) Σχηματίζουν μη πολικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των υδροφοβικών καταλοίπων εκτεθειμένων στο διαλύτη και των υδροφοβικών τμημάτων των οργανικών αλατιών (σουλφονικών, καρβοξυλικών, αμμωνιακών ).

**δ) Ανταγωνιστές δεσμών υδρογόνου.** Μόρια όπως η ουρία, τα φορμαμίδια, τα γουανιδινικά αλάτια σε υψηλές συγκεντρώσεις ( $\geq 4$  M) ανταγωνίζονται τους δεσμούς υδρογόνου των μορίων του νερού και τους ενδομοριακούς δεσμούς υδρογόνου της πρωτεΐνης δρώντας σαν αποδιατακτικοί παράγοντες, ενώ στην αντίθετη περίπτωση σταθεροποιούν τους υδροφοβικούς δεσμούς.

**ε) Οργανικοί διαλύτες :** Τροποποιούν την διηλεκτρική σταθερά και έτσι προκαλούν αλλαγές σε διάφορες αλληλεπιδράσεις.



❖ Οι αλληλεπιδράσεις που κρατούν τις πρωτεΐνες στο κρυσταλλικό πλέγμα ονομάζονται κρυσταλλικές επαφές (ίδιες σε κάθε οργανωμένη βασική μονάδα μορίων που περιέχεται στην στοιχειώδη κυψελίδα του κρυσταλλικού πλέγματος).

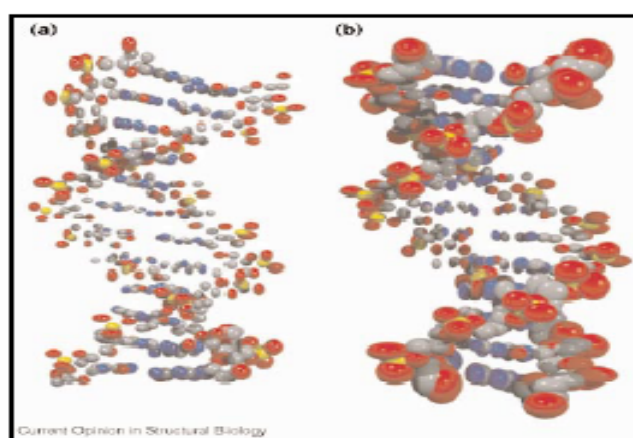
#### ❖ BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. "Θέματα Μοριακής Βιοφυσικής" (1987) Σ.Ι.Χαμόδρακα, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
2. "Crystallization of Nucleic Acids and Proteins. A Practical Approach" (1992) A.Ducruix and R.Giege, Oxford University Press, Oxford-New York-Tokyo.
3. "Protein Crystallography" (1976) Blundell, T.L. & Johnson, L.N., Academic Press, London-New York-San Francisco.

## ❖ Δεσοξυριβοζονουκλεϊνικό οξύ (DNA)

- ⇒ Το **DNA** είναι το χημικό μόριο στο οποίο έχει αποτυπωθεί ο γενετικός κώδικας των έμβιων όντων. Το **DNA** είναι ένα μεγάλου μήκους, υπό μορφή διπλής έλικας, μεγαλομόριο πολυδεσοξυριβοζονουκλεοτιδίων.
- ⇒ Κάθε μόριο δεσοξυριβοζο-νουκλεοτιδίου αποτελείται από τρία τμήματα: την **αζωτούχο βάση** (τύπου πουρίνης ή πυριμιδίνης), ένα **σάκχαρο** (δεσοξυριβόζη) και ένα **φωσφορικό οξύ**.
- ⇒ Το **DNA** περιέχει 4 είδη αζωτούχων βάσεων: την αδερίνη (A) και τη γουανίνη (G) (πουρίνες διπλής αλυσίδας), τη θυμίνη (T) και την κυτοσίνη (C) (πυριμιδίνες απλής αλυσίδας).
- ⇒ Το 1953, ο J. Watson και ο F. Crick πρότειναν μια τρισδιάστατη δομή του DNA βασισμένη σε πρότυπα που ανέπτυξαν ως αποτέλεσμα ανάλυσης φασμάτων ακτίνων -X των DNA ο M. Wilkins και η R. Franklin.
- ⇒ Σύμφωνα με το μοντέλο της "διπλής έλικας", το μόριο του DNA αποτελείται από δυο αντιπαράλληλους κλώνους που περιελίσσονται γύρω από έναν κοινό άξονα.
- ⇒ Το "βήμα" της έλικας είναι 34 Å και έχει 10 νουκλεοτίδες.
- ⇒ Κάθε κλώνος του DNA αποτελείται από την εναλλαγή των τεσσάρων βάσεων, διαταγμένων με συγκεκριμένη σειρά κατά μήκος του κάθε κλώνου.
- ⇒ Οι "οδηγίες" για την αναπαραγωγή των κυττάρων βρίσκονται κωδικοποιημένες στη διαδοχή των βάσεων, το αλφάβητο της ζωής! Δηλαδή η γενετική πληροφορία αποτελείται από "μηνύματα" γραμμένα στο αλφάβητο των 4 γραμμάτων: **A C G T** (σύμβολα των αζωτούχων βάσεων του DNA).
- ⇒ Μια σειρά μερικών χιλιάδων βάσεων αποτελεί ένα γονίδιο και κάθε μόριο DNA περιλαμβάνει χιλιάδες γονίδια. Ένα συγκεκριμένο γονίδιο καθορίζει την αντίστοιχη δομή μιας ειδικής πρωτεΐνης, ή τμήματος πρωτεΐνης.
- ⇒ Πριν από τη διαίρεση ενός κυττάρου, η οποία θα οδηγήσει σε δυο θυγατρικά κύτταρα, τα μόρια του DNA του κυττάρου - γονέα διπλασιάζονται έτσι, ώστε τα θυγατρικά κύτταρα να έχουν από ένα πλήρες set γονιδίων. Δηλαδή τα μόρια του DNA αυτοαντιγράφονται. Κατά μέσο όρο υπάρχουν  $10^{15}$  κύτταρα στο σώμα ενός ανθρώπου και, με μερικές εξαιρέσεις, το καθένα τους περιέχει ένα τέλειο αντίγραφο του DNA αυτού του ανθρώπου, ίδιο με αυτό του αρχικού κυττάρου της γονιμοποίησης.

Figure 2



Computational models of the dynamical structure of the EcoRI DNA dodecamer obtained from MD simulations, with atomic motions presented as thermal ellipsoids. (a) Prediction of the crystal structure (KJ McConnell et al., unpublished data). (b) Prediction of the solution structure [45].

## ❖ Η κυτταρική μεμβράνη

- Το **κύτταρο** και τα **οργανίδια** του (π.χ. ο *πυρήνας*, τα *μιτοχόνδρια*, οι *χλωροπλάστες*) χωρίζονται από το περιβάλλον τους και επικοινωνούν με αυτό με μεμβράνες (με το γενικό όνομα **βιολογικές μεμβράνες**) που επιτελούν σπουδαίο ρόλο στην εξέλιξη της ζωής. Το κύτταρο έχει πολλές μεμβράνες, την εξωτερική που ονομάζεται **πλασματική μεμβράνη** και εσωτερικές: στο *ενδοπλασματικό δίκτυο*, στα *μιτοχόνδρια*, τους *χλωροπλάστες* κ.λ.π.
- Οι μεμβράνες εξυπηρετούν και **δομικούς** αλλά και **λειτουργικούς σκοπούς** στο κύτταρο (διαχωριστικές επιφάνειες, ρύθμιση διαπερατότητας ιόντων και μορίων, αγωγή νευρικού παλμού και διάδοση πληροφορίας από και προς το κύτταρο, μετατροπή φωτός σε βιοχημική ενέργεια, μορφογένεση, αναγνώριση προτύπων κ.λ.π.). Ταυτόχρονα, οι μεμβράνες αποτελούν συνήθως και τον πρωταρχικό **στόχο** στην εισβολή βακτηρίων και ιών, στη δράση χημικών και φαρμακευτικών ουσιών, καθώς και στην έκθεση σε φυσικούς παράγοντες του περιβάλλοντος κόσμου.
- Συνοπτικά, *ο ρόλος τους* είναι ιδιαίτερα σημαντικός στις εξής τέσσερις κύριες διεργασίες:
  - *Μετατροπή ενέργειας,*
  - *Μεταφορά ύλης,*
  - *Μετάδοση σήματος,*
  - *Επεξεργασία πληροφορίας.*

### ❖ Σύνθεση και αρχιτεκτονική δομή των μεμβρανών

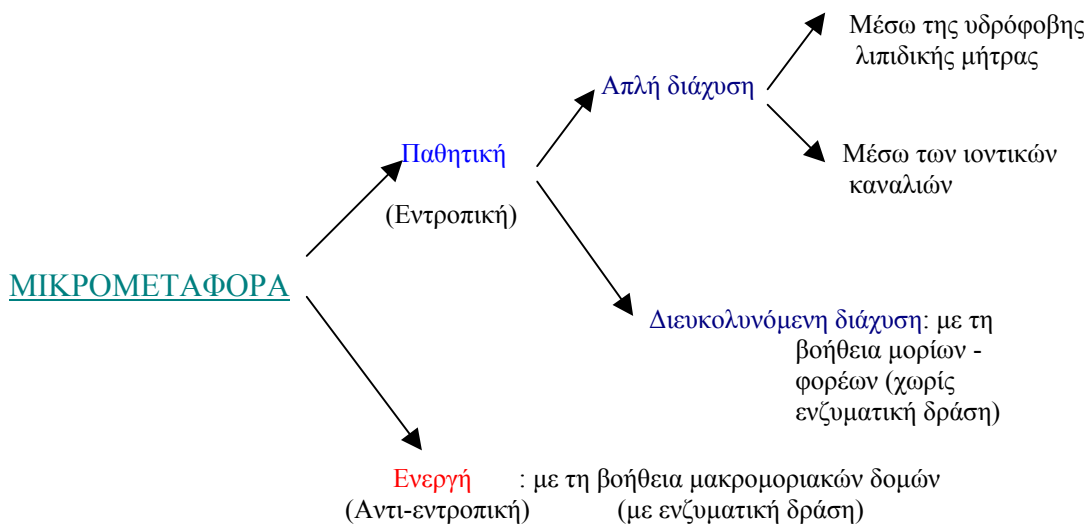
- Στη **σύνθεση** όλων των κυτταρικών μεμβρανών συμμετέχουν, σε διαφορετικό ποσοστό, τα εξής κύρια συστατικά: πρωτεΐνες, λιπίδια, υδρογονάνθρακες, γλυκοπρωτεΐνες, λιποπρωτεΐνες, ιόντα και νερό.
- Ο **τρόπος** με τον οποίο συντάσσονται τα επιμέρους συστατικά των μεμβρανών για να σχηματίσουν τη χωρική δομή της μεμβράνης των έμβιων συστημάτων, προϋποθέτει την ύπαρξη μιας λιπιδικής διπλοστοιβάδας στη δομή όλων των βιολογικών μεμβρανών, που ταιριάζει με τη χαρακτηριστική θερμοδυναμική σταθερότητα τους. Οι λιπιδικές διπλοστοιβάδες είναι αυτο-συναρμολογούμενες δομές, επίπεδες ή σφαιρικές (λιποσώματα) και έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι σήμερα σε ποικίλες βιο-εφαρμογές.
- Η βασική **δομή** όλων των βιολογικών μεμβρανών είναι ενιαία και αποτελείται σχηματικά από ένα βασικό πλέγμα φωσφολιπιδίων, τα οποία είναι διατεταγμένα σε διπλοστοιβάδα, με τις πολικές κεφαλές προς την εξωτερική υδατική φάση και τις υδρόφοβες λιπαρές αλυσίδες προς το εσωτερικό. Βυθισμένες σε αυτό το λιπιδικό πλέγμα με τυχαία κατανομή βρίσκονται οι πρωτεΐνες. Άλλες είναι βυθισμένες στο εσωτερικό της μεμβράνης, άλλες διαχέονται παράλληλα με την επιφάνεια της μεμβράνης (περιφερειακές) και άλλες διασχίζουν τη φωσφολιπιδική διπλοστοιβάδα (διαμεμβρανικές), σχηματίζοντας με αυτόν τον τρόπο ένα μωσαϊκό, το οποίο όμως δεν είναι άκαμπτο αλλά δυναμικά «ρευστό».
- Οι κύριες **δυνάμεις** που προσδιορίζουν την οργάνωση της μεμβρανικής δομής είναι δυνάμεις ηλεκτροστατικής υφής (ανάμεσα σε ιόντα) και δυνάμεις Van der Waals (υδρόφοβες/υδρόφιλες αλληλεπιδράσεις και δεσμοί υδρογόνου στο υδατικό περιβάλλον της κυτταρικής μεμβράνης).
- Οι κυτταρικές μεμβράνες έχουν **πάχνη** που ποικίλλουν από 50 έως 90 Å.



## ➔ Φαινόμενα μεταφοράς μέσω των κυτταρικών μεμβρανών

- ❖ Η **διαβατότητα** ή **εκλεκτική διαπερατότητα** της βιολογικής μεμβράνης είναι μια από τις σπουδαιότερες ιδιότητες αυτής της βιολογικής δομής.
- ❖ Ανάλογα με το μέγεθος των μεταφερομένων ουσιών, διακρίνουμε δυο κύριους τρόπους μεταφοράς ουσιών μέσω των κυτταρικών μεμβρανών, τη μικρομεταφορά και τη μακρομεταφορά.
- ❖ Η **μικρομεταφορά** αναφέρεται στη μεταφορά μικροσωματιδίων μέσω της μεμβράνης, όπως τα ιόντα, τα μικρομόρια, το νερό.
- ❖ Η **μακρομεταφορά** αναφέρεται στη μεταφορά κάποιων μοριακών συμπλεγμάτων, στερεών ή υγρών, όπως στην περίπτωση της φαγοκύττωσης ή της πινοκύττωσης.
  - ⇒ Η **κυτταροφαγία** ή **φαγοκύττωση** οδηγεί στον εγκλωβισμό, μεγάλων σχετικά, στερεών σωματιδίων που επιτυγχάνεται με προεκτάσεις του πρωτοπλάσματος (ψευδοπόδια) που αγκαλιάζουν το σωματίδιο και ενώνονται πίσω του, φέρνοντάς το έτσι στο εσωτερικό του κυττάρου.
  - ⇒ Η **κυτταροποσία** ή **πινοκύττωση** οδηγεί στον εγκλωβισμό μικροσκοπικών σταγόνων υγρού, στο οποίο αιωρούνται σωματίδια και μακρομόρια. Αυτά τα σωματίδια προσκολλώνται στην επιφάνεια του κυττάρου, η οποία εγκολλώνεται και τα "καταπίνει".
- ❖ Η απλούστερη διαδικασία μικρομεταφοράς, με την οποία μόρια ύλης διαπερνούν τη μεμβράνη, είναι η **ελεύθερη διάχυση**. Ο ρυθμός διάχυσης είναι συνάρτηση της διαλυτότητας των μορίων στα λιπίδια, που εκφράζεται με το λόγο της συγκέντρωσης της ουσίας στα λίπη ως προς την αντίστοιχη συγκέντρωση στο νερό ( $C_{\text{λίπη}}/C_{\text{νερό}}$ ). Για ουσίες που δεν διαλύονται στα λιπίδια (π.χ.  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ , γλυκόζη, αμινοξέα κ.ά), ο ρυθμός διάχυσης είναι συνάρτηση του μεγέθους των μορίων συγκρινόμενου με αυτό των "πόρων" της μεμβράνης. Όλα τα παραπάνω (ελεύθερη διάχυση, διάλυση μορίων στα λιπίδια, διέλευση μικρών ουσιών από πόρους) συνιστούν διαδικασίες **παθητικής μεταφοράς μορίων** μέσα από τη μεμβράνη, **χωρίς κατανάλωση ενέργειας**.
- ❖ Σε πολλές περιπτώσεις η ανταλλαγή ύλης με το περιβάλλον της κυτταρικής μεμβράνης γίνεται με **ενεργό μεταφορά ουσιών** ή και με **διευκολυνόμενη διάχυση**. Με διευκολυνόμενη διάχυση μεταφέρονται μόρια που δεν μπορούν να περάσουν μέσα από ιοντικά κανάλια, ούτε και από το στρώμα των λιπιδίων (μη λιποδιαλυτά μόρια), όπως είναι π.χ. ορισμένα σάκχαρα απαραίτητα στο μεταβολισμό του κυττάρου.

- ❖ Τα μόρια που αναλαμβάνουν ρόλο "μεσάζοντα" στη διευκολυνόμενη διάχυση λέγονται **ιονοφόρα** και παίζουν το ρόλο τους είτε σαν μεταφορείς αυτοί καθαυτοί, είτε σχηματίζοντας προσωρινούς πόρους για να περάσουν ουσίες. Τα ιονοφόρα δρουν με έναν από τους παρακάτω τρόπους:
  - α) παραλαμβάνουν κατιόντα από το εξωτερικό περιβάλλον της μεμβράνης και, παρέχοντας τους ένα υδροφοβικό κάλυμμα, τα μεταφέρουν και τα αποθέτουν στο εσωτερικό,
  - β) δημιουργούν "κανάλια" στη μεμβράνη μέσα από τα οποία περνούν εκλεκτικά τα κατάλληλα ιόντα. Ένα παράδειγμα ιονοφόρου μεταφορέα είναι η βαλινομυκίνη (valinomycin), η οποία "ενσωματώνεται" στην κυτταρική μεμβράνη, λόγω των υδρόφοβων απολήξεων του μορίου της, αυξάνοντας σημαντικά την ταχύτητα μεταφοράς των ιόντων  $K^+$ . Ένα μόνο μόριο βαλινομυκίνης διευκολύνει την (παθητική) διάχυση των ιόντων  $K^+$  έτσι, ώστε η ταχύτητα διάχυσης να φθάνει τα  $10^4 K^+/s$ . Ένα άλλο παράδειγμα ιονοφόρου μορίου είναι ένα αντιβιοτικό, η γραμισιδίνη Α (gramicidin A), το οποίο "ενσωματώνεται" στη λιπιδική διπλοστοιβάδα αυξάνοντας σημαντικά την ηλεκτρική αγωγιμότητα της μεμβράνης, μέσω της δημιουργίας πόρων, πολύ επιλεκτικών στη διαπερατότητα ιόντων  $Na^+$ . Η ροή ιόντων  $Na^+$  ανά πόρο γραμισιδίνης φθάνει τα  $10^7 Na^+/s$ . Τα ιονοφόρα-μεταφορείς ιόντων είναι κυρίως αντιβιοτικά ή ουσίες βακτηριακής προέλευσης (π.χ. τοξίνες βακτηρίων), που ανταγωνίζονται τη δράση άλλων, βλαβερών, μικρο-οργανισμών (βακτήρια, βάκιλοι) διαταράσσοντας τις μεμβρανικές λειτουργίες τους.
- ❖ Η ενεργός μεταφορά πραγματοποιείται με ταυτόχρονη κατανάλωση ενέργειας, η οποία προέρχεται από τον μεταβολισμό των τροφών και βρίσκεται αποθηκευμένη στο μόριο της **τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP)**.
- ❖ Η διευκολυνόμενη διάχυση γίνεται με τη βοήθεια φορέων, δηλαδή πολύ ειδικών πρωτεϊνών. Κάθε μια από τις πρωτεΐνες-φορείς μπορεί να αντιδράσει μόνο με μια ειδική χημική ομάδα της ουσίας που διαχέεται και, τελικά, μετά την πρόσκαιρη αυτή σύνδεση, η ουσία αποδίδεται στην άλλη πλευρά της μεμβράνης και ο φορέας παραμένει ανέπαφος.



**Φαινόμενα μικρο-διαπερατότητας της κυτταρικής μεμβράνης**

- **Ασύμμετρη κατανομή ιόντων στις δυο πλευρές της μεμβράνης**

- ☛ Η ασύμμετρη κατανομή των ιόντων γεννά μια διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού, η οποία ονομάζεται **διαμεμβρανικό δυναμικό ανάπαυσης** και είναι της τάξης των δεκάδων mV.
- ☛ Τα ηλεκτρικά δυναμικά στα βιολογικά συστήματα μπορούν να δημιουργηθούν από διάφορες πηγές, όπως ελεύθερα ιόντα, φορτισμένες χημικές ομάδες ή απολήξεις με ηλεκτρική πόλωση σε βιομόρια, οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις και αντιδράσεις μεταφοράς ηλεκτρονίων σε ορισμένα βιοσυστήματα, καθώς και άλλα ηλεκτροχημικά, ηλεκτρομηχανικά ή θερμοηλεκτρικά φαινόμενα.
- ☛ **Τα βιοηλεκτρικά δυναμικά** καταγράφονται με τη βοήθεια μικροηλεκτροδίων και κατάλληλων συσκευών μέτρησης.

- ☛ **Η διαμεμβρανική διαφορά δυναμικού**,  $V_{MR}$ , είναι εξ ορισμού:

$$V_{MR} = V_i - V_e$$

όπου  $V_i$  είναι το ενδοκυττάριο δυναμικό και  $V_e$  το εξωκυττάριο δυναμικό.

Το δυναμικό στο εσωτερικό του κυττάρου είναι αρνητικό σε σχέση με το δυναμικό στο εξωτερικό, εξαιτίας της παρουσίας οργανικών ανιόντων κύρια πρωτεϊνικής φύσης στο εσωτερικό. Επειδή  $V_i < 0$  και  $V_e > 0$ , συμπεραίνουμε ότι  $V_{MR} < 0$ . Τα ιόντα  $Na^+$  και  $Cl^-$  επικρατούν στο εξωτερικό του κυττάρου ενώ τα ιόντα  $K^+$  στο εσωτερικό.