

ΚΥΤΤΑΡΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ

Η ευρύτερη βασική γενίκευση της Βιολογίας, γνωστή και ως **κυτταρική θεωρία**, συνοψίζεται στα ακόλουθα συμπεράσματα:

1. Όλα τα ζωντανά συστήματα αποτελούνται από κύτταρα και κυτταρικά προϊόντα.
2. Νέα κύτταρα σχηματίζονται μόνο με διαίρεση προϋπαρχόντων κυττάρων.
3. Υπάρχουν θεμελιώδεις ομοιότητες στη χημική σύσταση και τις μεταβολικές ιδιότητες όλων των κυττάρων.
4. Η δραστηριότητα ενός οργανισμού, μπορεί να γίνει κατανοητή μόνο σαν το σύνολο των δραστηριοτήτων και αλληλεπιδράσεων των αλληλεξαρτώμενων κυτταρικών μονάδων από τις οποίες αποτελείται.

Σύγχρονες βιολογικές μεθόδους με τις οποίες, από τη μορφολογική ανάλυση του κυττάρου και των οργανιδίων του, προχωρούμε στη δομική και λειτουργική ανάλυση των συστατικών του.

Μικροσκοπία.

Εύρεση συγκέντρωσης και κατανομής ανόργανων ιόντων και άλλων μορίων στα κύτταρα.

Κυτταροκαλλιέργειες – ιστοκαλλιέργειες

Κλασμάτωση κυττάρου

Χρήση Ραδιοϊσοτόπων

Τεχνολογία ανασυνδυασμένου DNA.

ΠΡΟΚΑΡΥΩΤΙΚΑ – ΕΥΚΑΡΥΩΤΙΚΑ ΚΥΤΤΑΡΑ

Υπάρχουν δυο βασικές κατηγορίες κυττάρων, τα **προκαρυωτικά** και τα **ευκαρυωτικά** που διακρίνονται από το μέγεθός τους και τους τύπους εσωτερικών δομών ή οργανιδίων που περιέχουν.

Η ύπαρξη δύο ξεχωριστών κατηγοριών κυττάρων, χωρίς οποιαδήποτε γνωστά ενδιάμεσα, αντιπροσωπεύει μια από τις πιο θεμελιώδεις εξελικτικές ασυνέχειες στον έμβιο κόσμο.

Τα απλούστερα στη δομή προκαρυωτικά κύτταρα βρίσκονται μόνον στα Βακτήρια και Αρχαία και αντίστροφα, όλα τα Βακτήρια και Αρχαία αποτελούνται από **προκαρυωτικά κύτταρα**.

Όλοι οι άλλοι τύποι οργανισμών – πρωτίστα, μύκητες, φυτά, ζώα – αποτελούνται από πολυπλοκότερα στη δομή κύτταρα.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΠΡΟΚΑΡΥΩΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΥΚΑΡΥΩΤΙΚΩΝ ΚΥΤΤΑΡΩΝ

Μεταξύ των προκαρυωτικών και ευκαρυωτικών κυττάρων υπάρχουν πολλές βασικές διαφορές, αλλά και ομοιότητες.

Οι ομοιότητες αντικατοπτρίζουν το γεγονός ότι τα ευκαρυωτικά κύτταρα σίγουρα (σχεδόν) εξελίχθηκαν από προκαρυωτικούς προγόνους.

Λόγω του κοινού προγόνου τους και οι δύο τύποι κυττάρων έχουν την ίδια γενετική γλώσσα, κοινές μεταβολικές οδούς και πολλά κοινά δομικά χαρακτηριστικά.

Για παράδειγμα, και οι δύο τύποι κυττάρων περιβάλλονται από πλασματική μεμβράνη όμοιας συγκρότησης που λειτουργεί σαν φραγμός εκλεκτικής διαπερατότητας μεταξύ κυττάρου και μη ζώντος περιβάλλοντος.

Και οι δύο τύποι κυττάρων μπορεί να περιβάλλονται από σκληρό κυτταρικό τοίχωμα με όμοια λειτουργικότητα αλλά πολύ διαφορετική χημική σύσταση.

Εσωτερικά, τα ευκαρυωτικά κύτταρα είναι πολύ πιο πολύπλοκα, τόσο δομικά όσο και λειτουργικά, από τα προκαρυωτικά κύτταρα.

Η βασική τους διαφορά βρίσκεται στο ότι το γενετικό υλικό στα πρώτα είναι συγκροτημένο σε **πυρήνα** περιβαλλόμενο από μεμβρανώδη πυρηνικό φάκελο, ενώ στα δεύτερα το γενετικό υλικό βρίσκεται συγκεντρωμένο σε μια περιοχή, το **πυρηνοειδές**, μη περιβαλλόμενη από μεμβράνη.

Το κυτταρόπλασμα των δύο τύπων κυττάρων διαφέρει πάρα πολύ.

Στα ευκαρυωτικά κύτταρα υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία οργανιδίων που περιβάλλονται από μεμβράνη (μιτοχόνδρια, χλωροπλάστες, Golgi, ενδοπλασματικό δίκτυο, λυσοσώματα...) ενώ τα προκαρυωτικά κύτταρα χαρακτηρίζονται από παντελή έλλειψη οργανιδίων που περιβάλλονται από μεμβράνη.

Εξαίρεση σ' αυτόν τον κανόνα είναι η ύπαρξη **μεσοσωμάτων** στα βακτήρια και οι **φωτοσυνθετικές μεμβράνες** των κυανοβακτηρίων.

Οι κυτταροπλασματικές μεμβράνες των ευκαρυωτικών κυττάρων δημιουργούν ένα σύστημα καναλιών και κυστιδίων που εξυπηρετεί την άμεση μεταφορά ουσιών από το ένα μέρος του κυττάρου στο άλλο, όπως επίσης και μεταξύ εσωτερικού του κυττάρου και εξωτερικού του περιβάλλοντος.

Στα προκαρυωτικά κύτταρα, λόγω μικρού μεγέθους, η ενδοκυτταροπλασματική επικοινωνία είναι μικρότερης σημασίας, ενώ η απαραίτητη μετακίνηση υλικών μπορεί να γίνει με απλή διάχυση.

Τα ευκαρυωτικά κύτταρα περιέχουν επίσης ένα μεγάλο αριθμό δομών χωρίς μεμβράνη όπως τα ινίδια του κυτταροσκελετού που συμμετέχουν στην συσταλτικότητα, την κίνηση και ενίσχυση του κυττάρου.

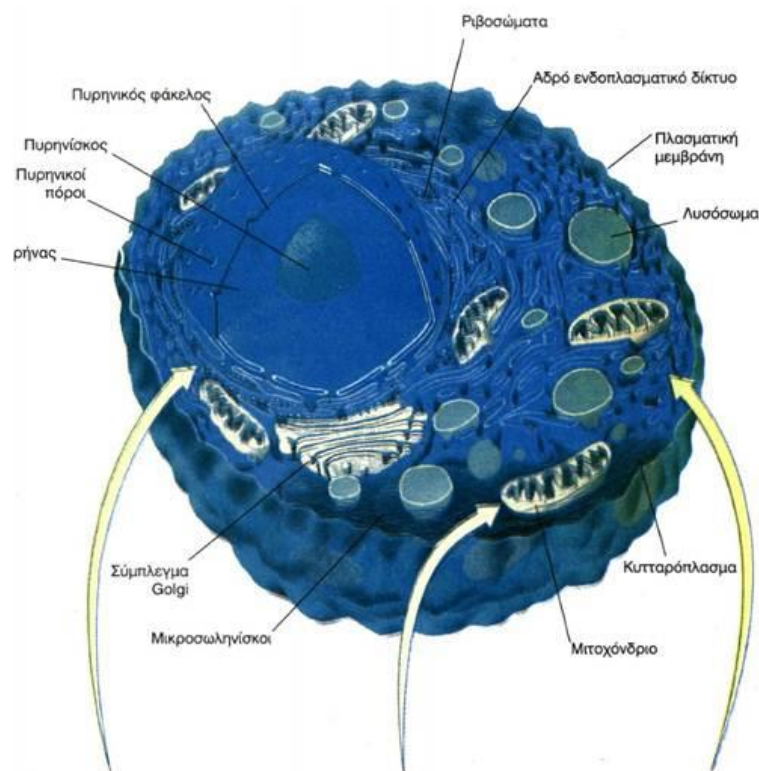
Αντίστοιχες δομές δεν υπάρχουν στα προκαρυωτικά κύτταρα. Όμως και οι δύο τύποι κυττάρων έχουν ριβοσώματα με διαφορές στη δομή αλλά όμοια λειτουργικότητα (πρωτεϊνοσύνθεση με όμοιο μηχανισμό).

Άλλη κύρια διαφορά μεταξύ ευκαρυωτικών και προκαρυωτικών κυττάρων είναι ο τρόπος πολλαπλασιασμού τους, με την πολύπλοκη διαδικασία της μίτωσης τα πρώτα, και διαδοχική σχάση τα δεύτερα.

ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΥΚΑΡΥΩΤΙΚΩΝ ΚΥΤΤΑΡΩΝ

Αν παρατηρήσουμε ένα ευκαρυωτικό κύτταρο στο οπτικό μικροσκόπιο, δε θα δούμε τίποτε περισσότερο από μια οριοθετημένη ομογενή μάζα, μέσα στην οποία συνήθως διακρίνεται ο πυρήνας. Κάτι τέτοιο περίπου έβλεπαν και οι πρωτοπόροι της βιολογικής έρευνας με τα ατελή μικροσκόπια της εποχής τους. Αυτό τους έκανε να πιστεύουν ότι η ημίρρευστη μάζα του κυττάρου είναι η βασική ουσία της έμβιας ύλης, η ουσία δηλαδή από την οποία απορρέουν όλες οι ζωτικές λειτουργίες. Γι' αυτό άλλωστε την ονόμασαν **πρωτόπλασμα**.

Ένα τυπικό ζωικό κύτταρο

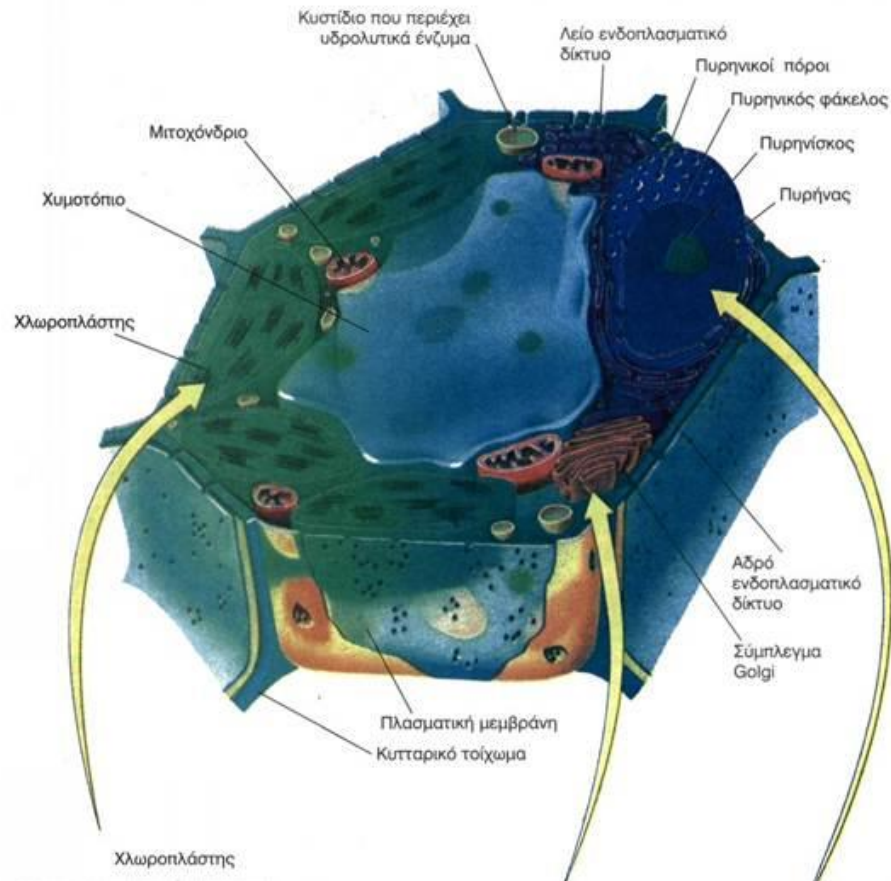


Σήμερα, χάρη στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο και στις σύγχρονες μεθόδους βιοχημικής ανάλυσης, γνωρίζουμε ότι τα κύτταρα έχουν πολύπλοκη εσωτερική οργάνωση. Στο **κυτταρόπλασμα** τους, όπως έχει καθιερωθεί πλέον να ονομάζεται το πρωτόπλασμα, υπάρχει ένα πλήθος διαφορετικών δομών, που ονομάζονται οργανίδια. Καθένα από αυτά είναι ικανό για μια συγκεκριμένη λειτουργία.

Κάποια **οργανίδια** έχουν αναλάβει την αξιοποίηση, προς όφελος του κυττάρου, ενέργειας που μπορούν να δεσμεύσουν από το εξωτερικό περιβάλλον. Άλλα παράγουν πρωτεΐνες,

άλλα είναι υπεύθυνα για την κίνηση των κυττάρων κ.ο.κ. Όποια κι αν είναι όμως η λειτουργία που έχουν αναλάβει να κάνουν, υπακούουν πάντα στις εντολές που εκπορεύονται από το ίδιο «κέντρο ελέγχου», τον **πυρήνα** του κυττάρου.

Φυτικό κύτταρο

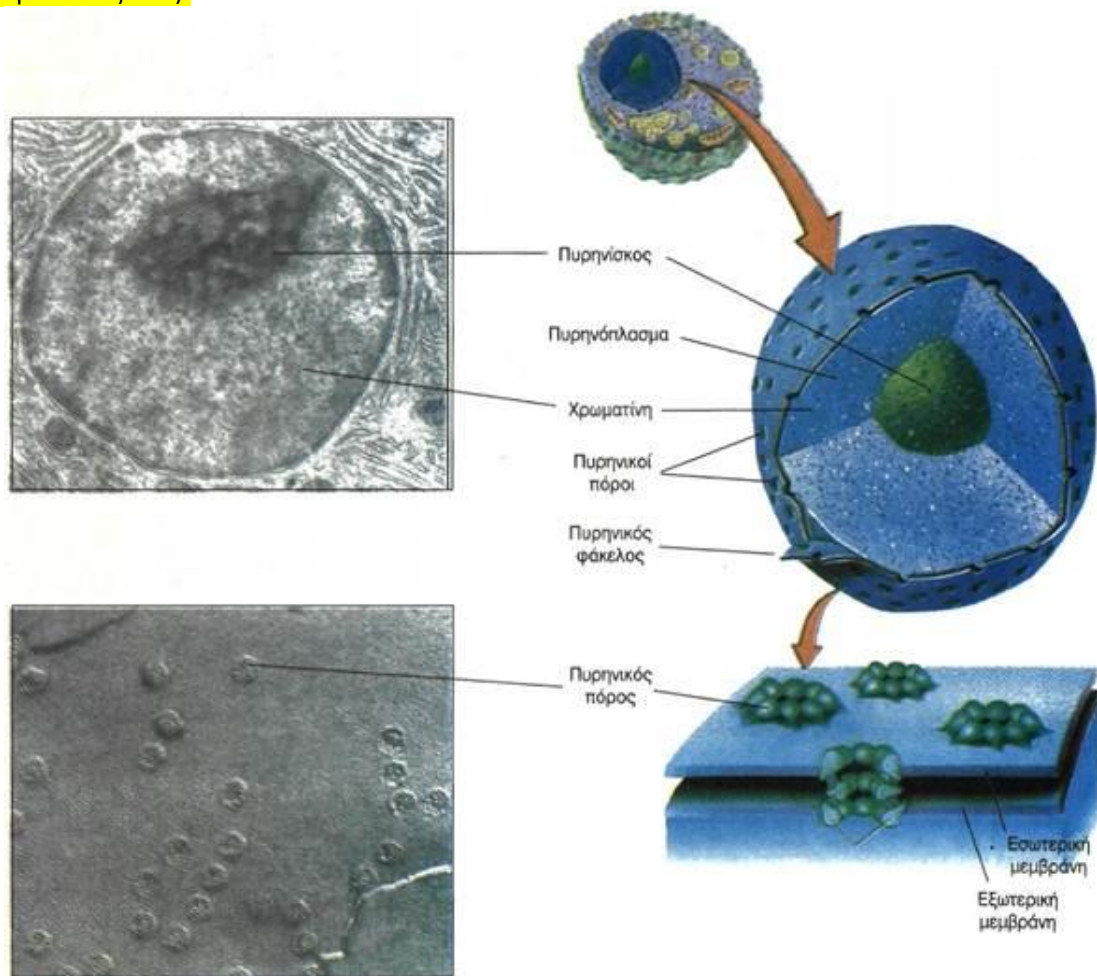


Ο πυρήνας είναι το πιο ευδιάκριτο οργάνο των ευκαρυωτικών κυττάρων. Κατά κανόνα υπάρχει ένας πυρήνας σε κάθε κύτταρο. Υπάρχουν ωστόσο και κύτταρα με δύο πυρήνες, όπως το κύτταρο του πρωτόζωου Παραμέτσιομ (Paramecium), ή κύτταρα με πολυάριθμους πυρήνες, όπως ορισμένα μυϊκά. Υπάρχουν όμως και κύτταρα, όπως είναι τα ερυθρά αιμοσφαίρια, που κατά τη διάρκεια της διαφοροποίησής τους χάνουν τον πυρήνα τους.

Το σχήμα του πυρήνα είναι συνήθως σφαιρικό ή ωοειδές και η διάμετρος του, αν και ποικίλλει, προσεγγίζει τα 5 μm. Σε μερικά κύτταρα βρίσκεται περίπου στο κέντρο τους, σε άλλα όμως δε φαίνεται να έχει σταθερή θέση.

Ο πυρήνας περιβάλλεται από τον **πυρηνικό φάκελο** ή **πυρηνική μεμβράνη**, που αποτελείται από δύο στοιχειώδεις μεμβράνες, μια εσωτερική και μια εξωτερική. Η παρατήρηση του πυρηνικού φακέλου με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο δείχνει ότι κατά διαστήματα παρουσιάζει πόρους, που σχηματίζονται από τη συνένωση της εσωτερικής με την εξωτερική μεμβράνη. Οι πυρηνικοί πόροι παίζουν σημαντικό ρόλο στην επικοινωνία του πυρήνα με το κυτταρόπλασμα, γιατί ελέγχουν τα μακρομόρια που ανταλλάσσονται μεταξύ τους.

Το εσωτερικό του πυρήνα καταλαμβάνεται από το **πυρηνόπλασμα**. Είναι μια ημίρρευστη ουσία, στην οποία περιέχονται το σύνολο σχεδόν του DNA του ευκαρυωτικού κυττάρου, ένας ή περισσότεροι πυρηνίσκοι και διάφορες χημικές ενώσεις (νουκλεοτίδια, ένζυμα, πρωτεΐνες κ.ά.).



Ο **πυρηνίσκος** είναι μια δομή που διακρίνεται εύκολα στο μικροσκόπιο από το σφαιρικό σχήμα της και την πυκνή υφή της. Αποτελείται κυρίως από RNA και DNA και δεν περιβάλλεται από στοιχειώδη μεμβράνη. Σ' αυτόν συντίθεται το rRNA (συστατικό των ριβοσωμάτων).

Ο ρόλος του πυρήνα για τη ζωή των κυττάρων είναι σημαντικός, αφού:
α. Φυλάσσει το γενετικό υλικό (DNA). Με βάση τις πληροφορίες που είναι καταγεγραμμένες σ' αυτό καθορίζονται οι ιδιότητες του κυττάρου, και κατ' επέκταση του οργανισμού, και ελέγχονται όλες οι κυτταρικές δραστηριότητες,

β. Είναι το οργανίδιο στο οποίο διπλασιάζεται το γενετικό υλικό, με τρόπο που εξασφαλίζει τη μεταβίβαση των γενετικών πληροφοριών, αναλλοίωτων, από κύτταρο σε κύτταρο αλλά και από γενιά σε γενιά,

γ. Είναι το οργανίδιο στο εσωτερικό του οποίου συντίθενται τα διάφορα είδη RNA από γενετικές πληροφορίες που φέρει το DNA.

Κάτι που δείχνει τη μεγάλη σημασία του πυρήνα για τη ζωή του κυττάρου είναι το γεγονός ότι κύτταρα τα οποία έχασαν τον πυρήνα τους κατά τη διαφοροποίησή τους (π.χ. ερυθρά αιμοσφαίρια) ή κύτταρα από τα οποία αφαιρέθηκε τεχνητά ο πυρήνας δεν αναπαράγονται και εμφανίζουν μικρό αριθμό μεταβολικών διεργασιών και περιορισμένη διάρκεια ζωής.

Ενδομεμβρανικό σύστημα

Σύμφωνα με την αντίληψη που επικρατεί στη σύγχρονη Βιολογία, οι μεμβράνες του κυττάρου συγκροτούν ένα ενιαίο δομικά και λειτουργικά σύνολο, **το ενδομεμβρανικό σύστημα**. Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει τα ακόλουθα οργανίδια: ενδοπλασματικό δίκτυο, σύμπλεγμα Golgi, λυσοσώματα, υπεροξειδιοσώματα και κενοτόπια.

- **Ενδοπλασματικό δίκτυο:** Είναι ένα πολυδαίδαλο σύνολο αγωγών και κύστεων το οποίο διασχίζει το κυτταρόπλασμα. Οι μεμβράνες του, που αποτελούν το 50% και πλέον των στοιχειωδών μεμβρανών του κυττάρου, συχνά εμφανίζονται συνδεδεμένες με την πλασματική μεμβράνη, τον πυρηνικό φάκελο ή τις μεμβράνες των υπόλοιπων οργανιδίων. Λόγω αυτών των συνδέσεων το ενδοπλασματικό δίκτυο λειτουργεί ως ένας κοινός αγωγός, που επιτρέπει τη μεταφορά ουσιών μεταξύ των διάφορων τμημάτων του κυτταροπλάσματος και, ίσως, μεταξύ του πυρήνα και του εξωκυτταρικού περιβάλλοντος. Οι μεμβράνες του παρέχουν επιφάνειες στις οποίες εδράζονται ένζυμα. Σε διαφορετικές περιοχές εδράζονται ένζυμα που εξυπηρετούν διαφορετικές αντιδράσεις του μεταβολισμού.

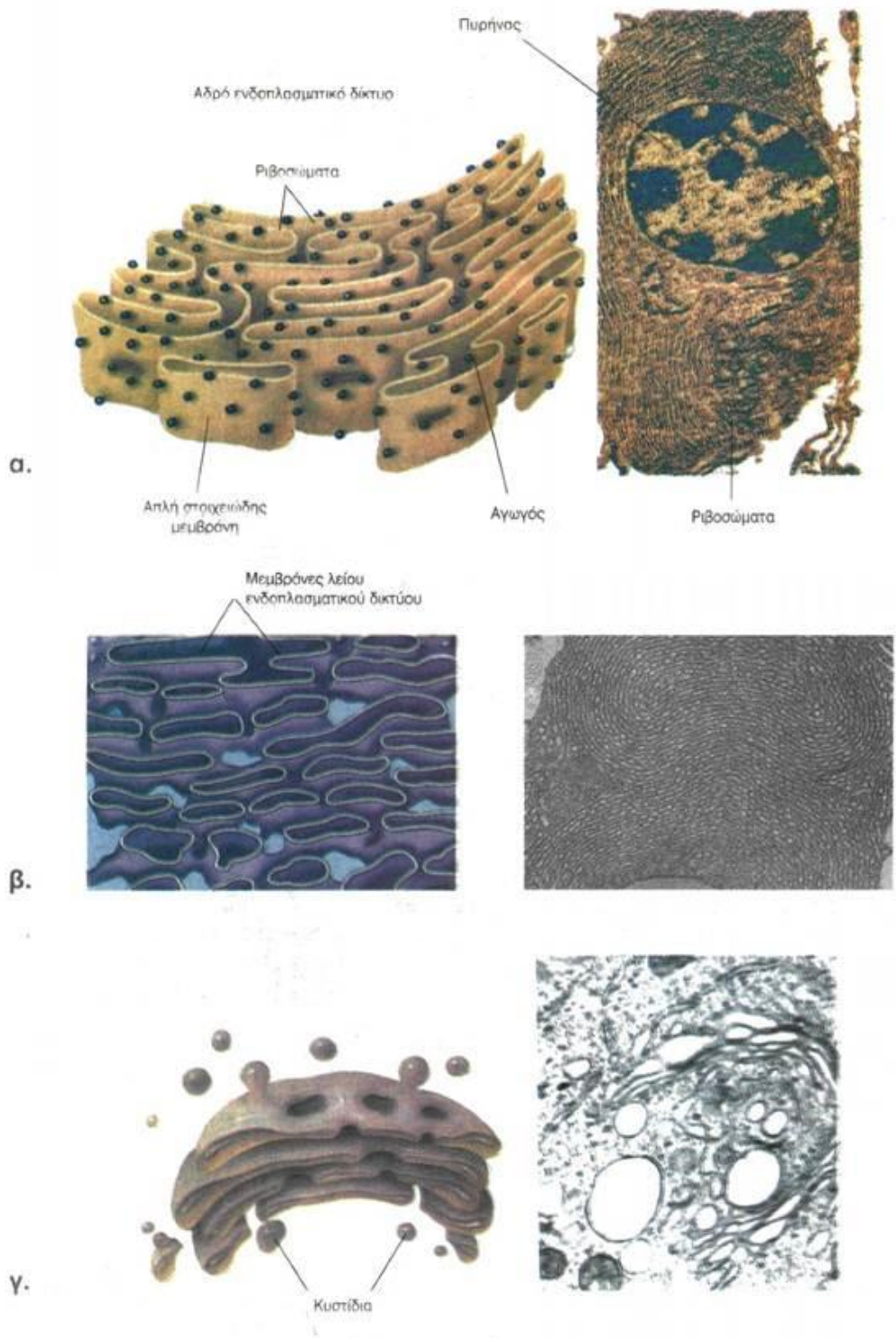
Στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο παρουσιάζεται με δύο μορφές, το αδρό ενδοπλασματικό δίκτυο και το λείο ενδοπλασματικό δίκτυο. Το **αδρό ενδοπλασματικό δίκτυο** φέρει στην εξωτερική επιφάνεια των μεμβρανών του μικρούς σχηματισμούς, τα **ριβοσώματα**. Οι σχηματισμοί αυτοί δεν περιβάλλονται από μεμβράνη και αποτελούνται από rRNA και πρωτεΐνες. Στα ριβοσώματα γίνεται η πρωτεϊνοσύνθεση. Στη συνέχεια οι πρωτεΐνες που συντίθενται εισέρχονται στο εσωτερικό των αγωγών. Εκεί ενδέχεται να υποστούν τροποποιήσεις (π.χ. προσθήκη σακχάρων). Ριβοσώματα υπάρχουν όχι μόνο στην επιφάνεια των μεμβρανών του αδρού ενδοπλασματικού δικτύου, αλλά και ελεύθερα στο κυτταρόπλασμα, καθώς επίσης και στα μιτοχόνδρια και στους χλωροπλάστες. Τα οργανίδια αυτά έχουν τη δυνατότητα να συνθέτουν, ανεξάρτητα από το κύτταρο, πρωτεΐνες που τους είναι απαραίτητες.

Το **λείο ενδοπλασματικό δίκτυο**, αν και αποτελεί συνέχεια του αδρού, διαφέρει από αυτό, γιατί δε φέρει ριβοσώματα και γιατί έχει περισσότερο σωληνοειδή εμφάνιση. Η λειτουργία του σχετίζεται με τη σύνθεση λιπιδίων και την εξουδετέρωση τοξικών ουσιών.

- **Σύμπλεγμα Golgi:** Αποτελείται από ομάδες παράλληλων πεπλατυσμένων σάκων από στοιχειώδη μεμβράνη. Είναι το οργανίδιο που συγκεντρώνει και τροποποιεί τις πρωτεΐνες που παράγονται στο αδρό ενδοπλασματικό δίκτυο.

Η μεταφορά των πρωτεϊνών από το ενδοπλασματικό δίκτυο προς το σύμπλεγμα Golgi γίνεται είτε μέσω της φυσικής σύνδεσης των μεμβρανών των δύο οργανιδίων είτε με τη βοήθεια κυστιδίων. Στη δεύτερη περίπτωση, που είναι και η συνηθέστερη, οι πρωτεΐνες που έχουν παραχθεί στα ριβοσώματα του αδρού ενδοπλασματικού δικτύου συγκεντρώνονται και κλείνονται σε κυστίδια, τα οποία αποκόπτονται από το αδρό ενδοπλασματικό δίκτυο και συγχωνεύονται με τις μεμβράνες του συμπλέγματος Golgi. Εκεί υποβάλλονται σε μια τελική χημική επεξεργασία (προσθήκη μη πρωτεϊνικών μορίων). Τελικά «πακετάρονται» και πάλι σε κυστίδια. Όσα από τα κυστίδια αυτά περιέχουν πρωτεΐνες, που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε άλλα σημεία του οργανισμού, εξάγονται

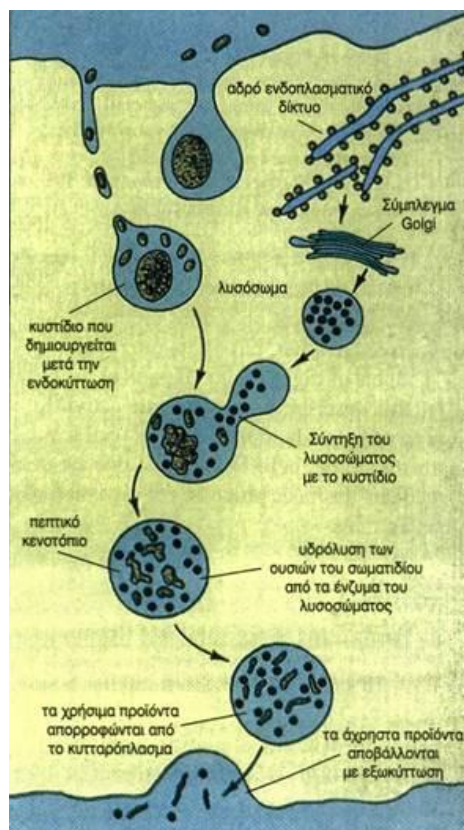
με τη διαδικασία της εξωκύττωσης. Τα υπόλοιπα μεταφέρουν τις πρωτεΐνες που περιέχουν εκεί όπου τις χρειάζεται το κύτταρο.



Σχηματική απεικόνιση και φωτογραφία από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο: (α) αδρού ενδοπλασματικού δικτύου, (β) λείου ενδοπλασματικού δικτύου, και (γ) συστήματος Golgi.

Λυσοσώματα: Τα λυσοσώματα είναι σφαιρικά οργανίδια που περιβάλλονται από απλή στοιχειώδη μεμβράνη. Περιέχουν υδρολυτικά ένζυμα που βοηθούν στην πέψη μεγαλομοριακών ουσιών ενδοκυτταρικής ή εξωκυτταρικής προέλευσης, αλλά και μικροοργανισμών, που πιθανόν έχουν εισβάλει στο κύτταρο (ζωικό) με τη διαδικασία της ενδοκύτωσης. Αν τα δραστικότερα αυτά ένζυμα δε βρίσκονταν στο εσωτερικό των λυσοσωμάτων, αλλά ήταν ελεύθερα στο κυτταρόπλασμα, τότε γρήγορα θα διασπούσαν και τα συστατικά του ίδιου του κυττάρου, οπότε θα το κατέστρεφαν. Στα φυτικά κύτταρα ως λυσοσώματα λειτουργούν ορισμένα χυμοτόπια.

• **Υπεροξειδιοσώματα:** Είναι μικρά σφαιρικά κυστίδια που περιβάλλονται από απλή στοιχειώδη μεμβράνη και περιέχουν οξειδωτικά ένζυμα, που βοηθούν διάφορες μεταβολικές διεργασίες. Ειδικά στα υπεροξειδιοσώματα των ηπατικών και νεφρικών κυττάρων γίνεται και η μετατροπή του οινόπνευματος σε ακεταλδεΐδη. Εξασφαλίζεται έτσι η αποτοξίνωση του οργανισμού μας από το οινόπνευμα που καταναλώνουμε. Μια άλλη πολύ σημαντική προσφορά των υπεροξειδιοσωμάτων για τη ζωή του κυττάρου, και κατ' επέκταση του οργανισμού, είναι και η μετατροπή του υπεροξειδίου του υδρογόνου (H_2O_2) σε οξυγόνο και νερό. Η μετατροπή αυτή είναι αναγκαία, γιατί το υπεροξείδιο του υδρογόνου που παράγεται κατά τις αντιδράσεις μεταβολισμού είναι ιδιαίτερα τοξικό.



Λυσοσώματα στην ενδοκυτταρική πέψη

Η δράση των λυσοσωμάτων εκδηλώνεται στη φαγοκυττάρωση, στην αυτοφαγία και στην αυτόλυση. Με την αυτοφαγία τα κύτταρα καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες τους, όταν βρίσκονται σε συνθήκες ασιτίας. Τα λυσοσώματα περικυκλώνουν ένα οργανίδιο, οι μεμβράνες τους ενώνονται και έτσι δημιουργείται ένα κυστίδιο, που περιέχει το

παγιδευμένο οργανίδιο. Τα υδρολυτικά ένζυμα, που απελευθερώνονται στο εσωτερικό του κυστιδίου, διασπούν τα μακρομόρια του οργανιδίου και τα μονομερή, που προκύπτουν από τη διάσπαση, επιστρέφουν στο κυτταρόπλασμα. Κατά την αυτόλυση, το ίδιο το κύτταρο απελευθερώνει τα υδρολυτικά ένζυμα των λυσοσωμάτων στο κυτταρόπλασμά του και έτσι λύεται

*****Φαγοκυττάρωση:** Τα φαγοκύτταρα αποτελούν μια κατηγορία λευκών αιμοσφαιρίων και διακρίνονται στα **ουδετερόφιλα** και στα **μονοκύτταρα**. Τα τελευταία, αφού διαφοροποιηθούν σε **μακροφάγα**, εγκαθίστανται στους ιστούς. Τα φαγοκύτταρα ενεργοποιούνται μετά την εμφάνιση ενός παθογόνου μικροοργανισμού στο εσωτερικό του οργανισμού μας. Ειδικά τα μακροφάγα εγκλωβίζουν το μικροοργανισμό, τον καταστρέφουν και εκθέτουν στην επιφάνειά τους κάποια τμήματά του. Αυτό εξυπηρετεί, όπως θα δούμε στη συνέχεια, τη δράση των ειδικών μηχανισμών άμυνας. Με φαγοκυττάρωση αντιμετωπίζονται και ορισμένοι ιοί.

• **Κενοτόπια:** Με τον όρο κενοτόπιο αναφερόμαστε σε κάθε κυστίδιο που περιβάλλεται από απλή στοιχειώδη μεμβράνη και περιέχει ένα υδατώδες υγρό. Στα ζωικά κύτταρα υπάρχουν διάφορα είδη κενοτοπίων. Παράδειγμα αποτελούν τα **πεπτικά κενοτόπια**, που δημιουργούνται κατά την ενδοκύττωση μικροοργανισμών και σωματιδίων τροφής. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα κενοτόπια των φυτικών κυττάρων, που ονομάζονται **χυμοτόπια**. Τα χυμοτόπια αποτελούν συνήθως αποθήκες θρεπτικών ουσιών (π.χ. σακχαρόζης), χρωστικών ή ιόντων διαλυμένων στο υδατώδες υγρό. Σε ορισμένες περιπτώσεις αποθηκεύουν επίσης άχρηστα προϊόντα του μεταβολισμού.

Χλωροπλάστες και μιτοχόνδρια - Οι μετατροπείς ενέργειας των κυττάρων

Τα κύτταρα χρειάζονται ενέργεια, για να διατηρήσουν τη δομή και τη λειτουργικότητά τους. Την ενέργεια αυτή την αντλούν συνεχώς από το περιβάλλον τους. Δεν αρκεί όμως μόνο η εισαγωγή ενέργειας στα κύτταρα. Χρειάζεται και η μετατροπή της σε μορφή τέτοια, που να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τα κύτταρα για την παραγωγή έργου (μηχανικού, χημικού, μεταφοράς ουσιών κ.τλ.), από το οποίο εξαρτάται η επιβίωση τους.

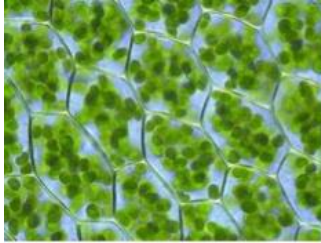
Τα οργανίδια του ευκαρυωτικού κυττάρου τα εξειδικευμένα στη μετατροπή της εξωτερικής ενέργειας σε χρησιμοποιήσιμη μορφή είναι οι χλωροπλάστες και τα μιτοχόνδρια.

• **Χλωροπλάστες:** Υπάρχουν μόνο στα κύτταρα των πράσινων τμημάτων των φυτών. Στα οργανίδια αυτά γίνεται η φωτοσύνθεση.

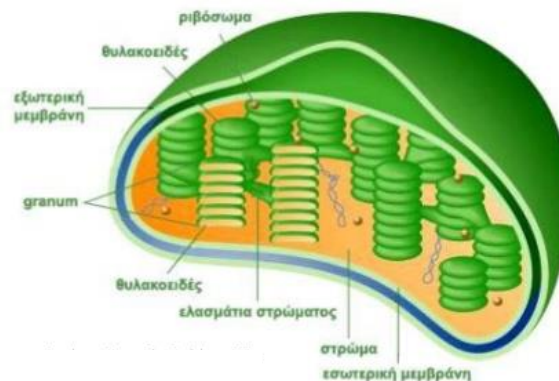
Οι χλωροπλάστες περιβάλλονται από διπλή στοιχειώδη μεμβράνη. Στο εσωτερικό τους υπάρχει μια ρευστή μάζα, το **στρώμα**, στο οποίο περιέχονται πεπλατυσμένα κυστίδια, τα **θυλακοειδή**, που στοιβάζονται το ένα πάνω στο άλλο, ώστε να σχηματίσουν σωρούς, τα **grana**, στα οποία περιέχονται μόρια χλωροφύλλης. Υπάρχουν επίσης μεμονωμένες μεμβρανώδεις δομές, τα ελασμάτια, που συνδέουν τα **grana** μεταξύ τους.

Στο στρώμα του χλωροπλάστη βρίσκεται και DNA, όπως επίσης ένζυμα και ριβοσώματα, που του επιτρέπουν να διαιρείται και να δίνει θυγατρικά οργανίδια, αλλά και να συνθέτει μερικές από τις πρωτεΐνες του, χωρίς να εξαρτάται ολοκληρωτικά από το γενετικό υλικό του πυρήνα.

Οι χλωροπλάστες ανήκουν σε μια ευρύτερη κατηγορία οργανιδίων των φυτικών κυττάρων, που ονομάζονται **πλαστίδια**. Στα πλαστίδια ανήκουν και οι άχρωμοι **αμυλοπλάστες**, που βρίσκονται στα κύτταρα των ριζών των φυτών και αποτελούν αποθήκες αμύλου, καθώς επίσης οι χρωμοπλάστες, που περιέχουν **χρωστικές** και βρίσκονται στα άνθη, στα φύλλα και στους καρπούς.



ΧΛΩΡΟΠΛΑΣΤΗΣ



- **Μιτοχόνδρια:** Τα μιτοχόνδρια υπάρχουν σε όλα τα ευκαρυωτικά κύτταρα (φωτοσυνθετικά και μη), με εξαίρεση τα ώριμα ερυθρά αιμοσφαίρια. Είναι τα οργανίδια στα οποία γίνεται μετατροπή της ενέργειας σε μορφή που να μπορεί να αξιοποιηθεί για τις διάφορες λειτουργίες του κυττάρου.

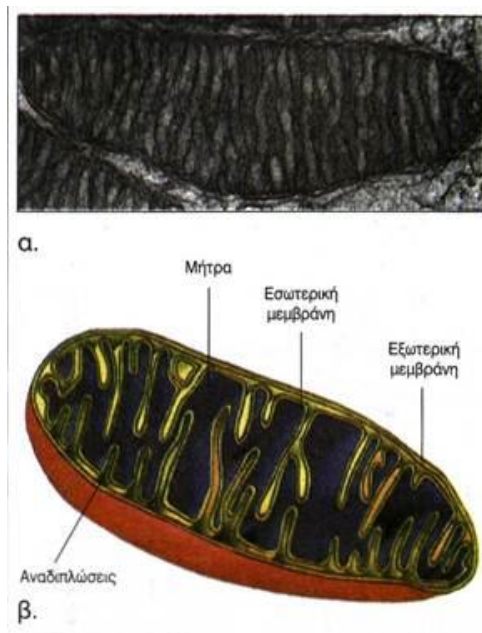
Το σχήμα των μιτοχονδρίων ποικίλλει (επίμηκες, σφαιρικό ή ωσειδές), όπως ποικίλλει και ο αριθμός τους στους διάφορους τύπους κυττάρων. Γενικώς, κύτταρα που έχουν υψηλές απαιτήσεις σε χημική ενέργεια, όπως τα μυϊκά, έχουν και πάρα πολλά μιτοχόνδρια, ενώ κύτταρα με μικρότερες ενεργειακές απαιτήσεις έχουν μικρότερο αριθμό μιτοχονδρίων.

Όπως οι χλωροπλάστες, έτσι και τα μιτοχόνδρια περιβάλλονται από διπλή στοιχειώδη μεμβράνη. Η εξωτερική μεμβράνη είναι λεία, ενώ η εσωτερική παρουσιάζει αναδιπλώσεις προς το εσωτερικό του μιτοχονδρίου. Στις αναδιπλώσεις αυτές εντοπίζονται διάφορα ένζυμα. Όπως στους χλωροπλάστες, έτσι και στα μιτοχόνδρια ο χώρος μέσα από την εσωτερική μεμβράνη καλύπτεται από μια παχύρρευστη μάζα, τη μήτρα του μιτοχονδρίου.

Στη μήτρα του μιτοχονδρίου, όπως και στο στρώμα του χλωροπλάστη, υπάρχουν DNA, ένζυμα και ριβοσώματα.

Τα οργανίδια δηλαδή αυτά διαθέτουν τον απαραίτητο εξοπλισμό, που τους εξασφαλίζει μια σχετική γενετική αυτοδυναμία. Χάρη σ' αυτό το μηχανισμό μπορούν να παράγουν ορισμένες πρωτεΐνες και να διπλασιάζονται ανεξάρτητα από το διπλασιασμό του κυττάρου.

Η οργάνωση του μιτοχονδρίου:
(α) ηλεκτρονική μικροφωτογραφία και
(β) σχηματική απεικόνιση

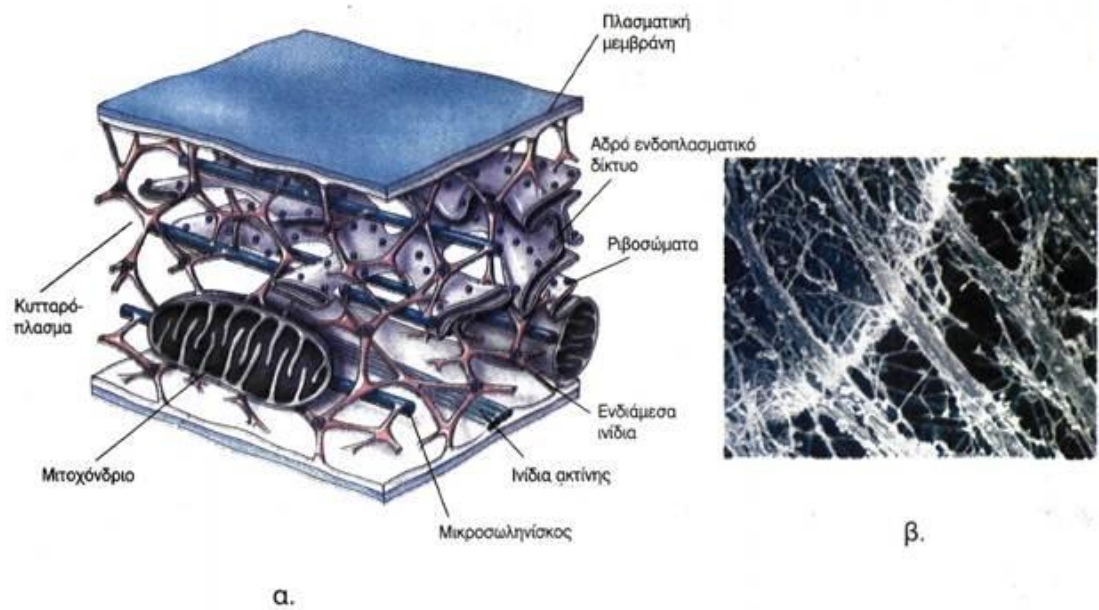


Κυτταρικός σκελετός

Πριν από λίγες μόλις δεκαετίες οι βιολόγοι αντιλαμβάνονταν το εσωτερικό του κυττάρου ως μια ημίρρευστη άμορφη μάζα, μέσα στην οποία αιωρούνταν ή επέπλεαν τα οργανίδια. Οι σύγχρονες όμως τεχνικές της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας έχουν αποκαλύψει ότι το κυτταρόπλασμα των ευκαρυωτικών κυττάρων διασχίζεται από ένα πολύμορφο πλέγμα ινιδίων, τα οποία συγκροτούν τον **κυτταρικό σκελετό**.

Χάρη στον κυτταρικό σκελετό, που αποτελείται από μικροϊνίδια, μακροϊνίδια, ενδιάμεσα ινίδια και μικροσωληνίσκους, τα κύτταρα υποστηρίζονται μηχανικά. Μπορούν έτσι να διατηρούν το σχήμα τους, όπως μπορούν και να το μεταβάλλουν. Χάρη στον κυτταρικό σκελετό τα οργανίδια συγκρατούνται στη θέση τους, αλλά και βοηθούνται στην κίνηση τους στο εσωτερικό του κυττάρου. Στα ζωικά κύτταρα σχηματίζεται από μικροσωληνίσκους το κεντροσωμάτιο, το οποίο αποτελείται από δύο κεντρίλια και συμβάλλει στην κυτταρική διαίρεση.

Τέλος ο κυτταρικός σκελετός βοηθά την κίνηση και του ίδιου του κυττάρου, όταν αυτό είναι απαραίτητο.



Ο κυτταρικός σκελετός στηρίζει και συγκρατεί τα οργανίδια του κυττάρου στη θέση τους. Τα ινίδια, που τον αποτελούν, διατρέχουν το κύτταρο απ' άκρη σ' άκρη: (α) σχηματική απεικόνιση τμήματος του κυτταρικού σκελετού και (β) φωτογραφία από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

Κυτταρικό τοίχωμα

Παρά το ότι η πλασματική μεμβράνη θεωρείται το εξωτερικό σύνορο του κυττάρου, πολλά κύτταρα διαθέτουν και πρόσθετα περιβλήματα. Από τα σημαντικότερα είναι το **κυτταρικό τοίχωμα** των φυτικών κυττάρων, το οποίο αποτελεί στοιχείο διάκρισης ανάμεσα στα φυτικά και στα ζωικά κύτταρα. Είναι ένα σχετικά ανθεκτικό εξωτερικό περίβλημα, που αποτελείται από διάφορους πολυσακχαρίτες. Ο κυριότερος από αυτούς είναι η **κυτταρίνη**. Το κυτταρικό τοίχωμα είναι συμπαγές και ικανό να ανθίσταται σε ισχυρές πιέσεις. Προστατεύει έτσι το φυτικό κύτταρο από διάρρηξη, όταν βρίσκεται σε υποτονικό περιβάλλον, και, επειδή του προσδίδει ανθεκτικότητα και ελαστικότητα, προσφέρει «σκελετική» υποστήριξη σε ολόκληρο το φυτό.

Μικροσωληνίσκοι: Υπάρχουν σε όλα τα είδη των ευκαρυωτικών κυττάρων και εμφανίζονται με τη μορφή κοίλων κυλίνδρων. Το τοίχωμα τους αποτελείται από δύο είδη πρωτεϊνών (τουμπουλίνη α και β). Στα ζωικά κύτταρα οι μικροσωληνίσκοι συμμετέχουν στο σχηματισμό της μιτωτικής ατράκτου και του κεντροσωματίου. Η μιτωτική άτρακτος και το κεντροσωμάτιο, το οποίο έχει τη δυνατότητα να αυτοδιπλασιάζεται, παίζουν σημαντικό ρόλο στη διαίρεση των ζωικών κυττάρων.

Κατά τη διαίρεση των φυτικών κυττάρων οι μικροσωληνίσκοι συγκροτούν το φραγμοπλάστη, ο οποίος προσδιορίζει τη θέση των θυγατρικών κυτταρικών τοιχωμάτων. Τέλος, αποτελούν τα κύρια δομικά συστατικά των βλεφαρίδων και των μαστιγίων, που υπάρχουν σε ορισμένα κύτταρα και εξυπηρετούν την κίνηση ή τη σύλληψη της τροφής.

Μικροϊνίδια: Αντίθετα από τους μικροσωληνίσκους, τα μικροϊνίδια είναι συμπαγείς κύλινδροι και έχουν μικρότερη διάμετρο. Αποτελούνται από μία πρωτεΐνη (ακτίνη) και συμβάλλουν στις κυτταρικές κινήσεις. Τα μικροϊνίδια είναι περισσότερο γνωστά από το ρόλο τους στη σύσπαση των μυϊκών κυττάρων.

Ενδιάμεσα ινίδια: Όπως φαίνεται και από την ονομασία τους, έχουν διάμετρο ενδιάμεση της διαμέτρου των μικροσωληνίσκων και των μικροϊνιδίων. Αν και δεν είναι γνωστή στις λεπτομέρειές της η λειτουργία τους, πιστεύεται ότι και αυτά συμβάλλουν στη διατήρηση του σχήματος των κυττάρων και στη συγκράτηση των οργανιδίων σε καθορισμένες θέσεις.

Συνοψίζοντας, η θεμελιώδης δομική και λειτουργική μονάδα όλων των οργανισμών είναι το κύτταρο. Η λειτουργία των οργανισμών είναι το αποτέλεσμα της συλλογικής δράσης και αλληλεπίδρασης των κυττάρων που τους αποτελούν. Το κύτταρο έχει σχετικά μικρό όγκο και περιβάλλεται από την πλασματική μεμβράνη. Η πλασματική μεμβράνη: α) Ελέγχει το είδος των ουσιών που εισέρχονται ή εξέρχονται από το κύτταρο. Αυτό επιτυγχάνεται είτε με παθητική διάχυση είτε με ενεργητική μεταφορά ή με ενδοκύττωση και εξωκύττωση. β) Συμμετέχει στην υποδοχή και ερμηνεία μηνυμάτων από το περιβάλλον.

Ένα τυπικό κύτταρο περιέχει στο κυτταρόπλασμά του: Τον πυρήνα, που περιβάλλεται από τον πυρηνικό φάκελο και φέρει στο εσωτερικό του το γενετικό υλικό. Το ενδομεμβρανικό σύστημα, που περιλαμβάνει τα οργανίδια: ενδοπλασματικό δίκτυο (αδρό και λείο), σύμπλεγμα Golgi, λυσοσώματα, υπεροξειδισώματα και κενοτόπια (πεπτικά ζωικά κύτταρα και χυμοτόπια στα φυτικά). Τους μετατροπείς ενέργειας, δηλαδή τα μιτοχόνδρια και τους χλωροπλάστες. Τον κυτταρικό σκελετό, που αποτελείται από σχηματισμούς πρωτεϊνικής φύσης, τους μικροσωληνίσκους, τα μικροϊνίδια και τα ενδιάμεσα ινίδια. Τα φυτικά κύτταρα διαφέρουν από τα ζωικά, γιατί τα πρώτα περιέχουν χλωροπλάστες, περιβάλλονται από κυτταρικό τοίχωμα και στερούνται κεντροσωματίου.

Οργανίδιο/Δομή	Φυτικό κύτταρο	Ζωικό
Πλασματική μεμβράνη	+	+
Κυτταρικό τοίχωμα	+	-
Πυρήνας	+	+
Χρωμοσώματα	+	+
Ριβοσώμα	+	+
Ενδοπλασματικό δίκτυο	+	+
Σύμπλεγμα Golgi	+	+
Λυσοσώματα	- (μερικά χυμοτόπια λειτουργούν ως λυσοσώματα)	+
Υπεροξειδισώματα	+	+
Χυμοτόπια	+	-
Χλωροπλάστες	+	-
Μιτοχόνδρια	+	+
Κεντροσωμάτιο	-	+

ΠΛΑΣΜΑΤΙΚΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ

Η **πλασματική μεμβράνη** αποτελεί τα όρια κάθε κυττάρου και διατηρεί τις στοιχειώδεις διαφορές μεταξύ του εσωτερικού του κυττάρου και του περιβάλλοντος.

Η μεμβράνη είναι ένα έντονα επιλεκτικό φίλτρο και ένας μηχανισμός για ενεργό μεταφορά.

Ρυθμίζει την είσοδο των θρεπτικών ουσιών και την έξοδο άχρηστων προϊόντων και δημιουργεί διαφορές στη συγκέντρωση ιόντων στο εσωτερικό και εξωτερικό του κυττάρου, που είναι απαραίτητες για τη ζωή.

Όλες οι βιολογικές μεμβράνες, συμπεριλαμβανομένων της πλασματικής μεμβράνης και των εσωτερικών μεμβρανών των ευκαρυωτικών κυττάρων, έχουν κοινή γενική δομή.

Αποτελούνται από μόρια λιπιδίων και πρωτεϊνών που ενώνονται με μη ομοιοπολικές αλληλεπιδράσεις.

Οι κυτταρικές μεμβράνες είναι **δυναμικές ρευστές δομές** και τα πλείστα των λιπιδίων και πρωτεϊνών μπορούν να κινούνται στο επίπεδο της μεμβράνης.

Στην πλασματική μεμβράνη τα μόρια των λιπιδίων είναι διευθετημένα σ' ένα συνεχές διπλό στρώμα, 5 nm περίπου παχύ.

Η **λιπιδιακή διπλοστιβάδα** αποτελεί την βασική δομή της μεμβράνης και λειτουργεί σαν ένας σχετικά αδιαπέραστος φραγμός στο πέρασμα των περισσότερων υδατοδιαλυτών μορίων.

Τα πρωτεϊνικά μόρια βρίσκονται συνήθως «εν διαλύσει» μέσα στην λιπιδιακή διπλοστιβάδα και διεκπεραιώνουν τις περισσότερες από τις άλλες λειτουργίες της μεμβράνης.

Οι μεμβράνες είναι ασύμμετρες δομές, δηλαδή η σύσταση λιπιδίων και πρωτεϊνών διαφέρει ανάμεσα στην εξωτερική και εσωτερική επιφάνεια των διαφόρων μεμβρανών και αυτό αντανακλά τις διάφορες λειτουργίες που επιτελούνται από το εσωτερικό και το εξωτερικό των μεμβρανών.

Παρά τη μεγάλη ποικιλότητα που παρατηρείται ως προς τη σύσταση λιπιδίων και πρωτεϊνών στις διάφορες μεμβράνες, τα περισσότερα βασικά δομικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά αφορούν τόσο την πλασματική μεμβράνη όσο και τις εσωτερικές μεμβράνες των ευκαρυωτικών κυττάρων.

ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ

Οι μεμβράνες αποτελούνται κυρίως από **λιπίδια, πρωτεΐνες και υδατάνθρακες** (με τη μορφή γλυκολιπιδίων ή γλυκοπρωτεϊνών) καθώς επίσης και από νερό και μεταλλικά ιόντα.

Ι. Λιπίδια μεμβρανών: Οι βιολογικές μεμβράνες αποτελούνται από μια συνεχή λιπιδιακή διπλοστιβάδα στην οποία βρίσκονται βυθισμένες διάφορες πρωτεΐνες.

Αυτή η λιπιδιακή διπλοστιβάδα είναι ρευστή και μεμονωμένα μόρια λιπιδίων μπορούν να διαχέονται γρήγορα μέσα στη δική τους μονοστιβάδα.

Σπανιότερα μπορούν να κινηθούν από τη μια μονοστιβάδα στην άλλη.

Η γνώση ότι τα μόρια λιπιδίων μπορούν να διαχέονται ελεύθερα μέσα στη διπλοστιβάδα, προήλθε από μελέτες με συνθετικές λιπιδιακές διπλοστιβάδες.

Ενώ τα μόρια λιπιδίων πολύ σπάνια μετακινούνται από τη μία μονοστιβάδα στην άλλη (κίνηση flip-flop), η αλλαγή θέσης ενός λιπιδίου μέσα στην ίδια μονοστιβάδα γίνεται με ευχέρεια.

Επίσης, μόρια λιπιδίων περιστρέφονται πολύ γρήγορα γύρω από τον εαυτό τους και οι υδρόφοβες ουρές τους είναι εύκαμπτες.

Μελέτες σε απομονωμένες βιολογικές μεμβράνες ή σε ολόκληρα κύτταρα (μυκόπλασμα, βακτήρια, ερυθρά αιμοσφαίρια), έδωσαν σε γενικές γραμμές τα ίδια, όπως προαναφέρθηκαν, αποτελέσματα.

Το λιπιδιακό τμήμα μιας βιολογικής μεμβράνης είναι ένα δισδιάστατο ρευστό, μέσα στο οποίο τα συστατικά του μόρια είναι ελεύθερα να κάνουν πλευρικές κινήσεις.

Όμως υπάρχει και μία εξαίρεση. Σε μεμβράνες όπου γίνεται βιοσύνθεση λιπιδίων, όπως το ενδοπλασματικό δίκτυο, πρέπει να γίνεται ένα γρήγορο flip-flop ειδικών λιπιδίων κατά μήκος της διπλοστιβάδας.

Η κίνηση αυτή καταλύεται από ειδικά ένζυμα που είναι προσδεμένα στη μεμβράνη.

Υπάρχουν τρεις κύριες κατηγορίες λιπιδίων στις πλασματικές μεμβράνες: τα **φωσφολιπίδια**, η **χοληστερίνη** και τα **γλυκολιπίδια**, η δε λιπιδιακή σύσταση της εξωτερικής και εσωτερικής μονοστιβάδας, διαφέρουν.

Τα φωσφολιπίδια είναι τριεστέρες της γλυκερίνης όπου δύο -OH εστεροποιούνται με λιπαρά οξέα (συνήθως ένα ακόρεστο και ένα κορεσμένο), το δε τρίτο -OH με φωσφορικό οξύ στο οποίο είναι ενωμένη μια οργανική βάση.

Η χοληστερίνη εξασφαλίζει επίσης τη ρευστότητα της μεμβράνης. Η πλασματική μεμβράνη των ευκαρυωτικών κυττάρων περιέχει μεγάλες ποσότητες χοληστερίνης (1 μόριο για κάθε μόριο φωσφολιπιδίου).

Έτσι, η χοληστερίνη παρεμποδίζει τη μετάπτωση των βιολογικών μεμβρανών από τη ρευστή φάση στην κρυσταλλική.

Η χοληστερίνη επίσης μειώνει την περατότητα των μεμβρανών σε μικρά υδατοδιαλυτά μόρια και αυξάνει την ευκαμψία και τη μηχανική σταθερότητα της διπλοστιβάδας.

Η σημασία της χοληστερίνης στη διατήρηση της πλασματικής μεμβράνης στα ανώτερα ευκαρυωτικά κύτταρα φαίνεται από τη μελέτη μεταλλαγμένων ζωικών κυττάρων που δεν βιοσυνθέτουν χοληστερίνη.

Τα κύτταρα αυτά σε κυτταροκαλλιέργειες υφίστανται γρήγορα λύση, ενώ προσθήκη χοληστερίνης στην καλλιέργεια βοηθάει τα κύτταρα να επιβιώσουν.

Η ρευστότητα λοιπόν της μεμβράνης εξαρτάται από το είδος των φωσφολιπιδίων και την ύπαρξη χοληστερίνης.

Τα μόρια της χοληστερίνης είναι έτσι προσανατολισμένα μέσα στα φωσφολιπίδια ώστε οι υδροξυλομάδες τους να βρίσκονται κοντά στις πολικές κεφαλές των φωσφολιπιδίων.

Με αυτό τον τρόπο σταθεροποιείται από τον στεροειδή δακτύλιο της χοληστερίνης, το τμήμα των αλυσίδων των λιπαρών οξέων προς το υδρόφιλο μέρος, ενώ οι ουρές τους είναι ελεύθερες

Τα γλυκολιπίδια είναι λιπίδια στο μόριο των οποίων είναι ενωμένος ένας ολιγοσακχαρίτης.

Γλυκολιπίδια υπάρχουν μόνον στην εξωτερική λιπιδιακή μονοστιβάδα με τα μόρια του σακχάρου εκτεθειμένα στην κυτταρική επιφάνεια.

Ο ρόλος τους σχετίζεται με την αλληλεπίδραση κυττάρου – περιβάλλοντος.

Τα γλυκολιπίδια ποικίλουν στα διάφορα είδη ζώων και στα κύτταρα διαφόρων ιστών.

II. Πρωτεΐνες Μεμβρανών: Ενώ η λιπιδιακή διπλοστιβάδα καθορίζει την βασική δομή των βιολογικών μεμβρανών, οι πρωτεΐνες είναι υπεύθυνες για την λειτουργικότητα της μεμβράνης (υποδοχείς, ένζυμα, μεταφορά ουσιών κ.α.).

Ανάλογα με τον τύπο του κυττάρου και το κυτταρικό οργανίδιο, μια μεμβράνη μπορεί να περιέχει από μια δεκάδα περίπου έως και περισσότερες από 50 διαφορετικές πρωτεΐνες.

Οι πρωτεΐνες αυτές δεν είναι τυχαία διαταγμένες στην λιπιδιακή διπλοστιβάδα, αλλά έχουν συγκεκριμένο προσανατολισμό και θέση ανάλογα με το λειτουργικό τους ρόλο.

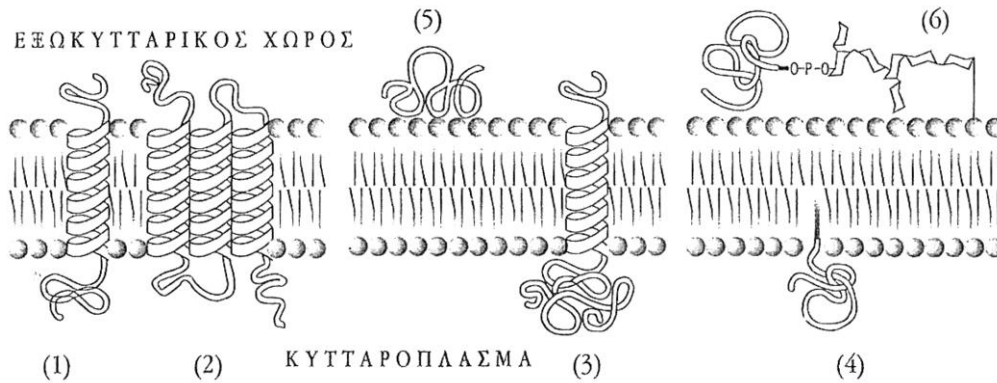
Έτσι, οι πρωτεΐνες που ο ρόλος τους είναι η αλληλεπίδραση με άλλα κύτταρα ή εξωκυτταρικούς παράγοντες όπως ορμόνες, προβάλλουν τμήμα του μορίου τους στην εξωτερική επιφάνεια του κυττάρου, ενώ άλλες πρωτεΐνες που αλληλεπιδρούν με κυτταροπλασματικά μόρια, προς το εξωτερικό.

Οι πρωτεΐνες των μεμβρανών ομαδοποιούνται σε τρεις κατηγορίες με βάση την διευθέτησή τους στη λιπιδιακή διπλοστιβάδα.

α) Διαμεμβανικές πρωτεΐνες. Διαπερνούν την λιπιδιακή διπλοστιβάδα μια ή περισσότερες φορές και έχουν τμήματα που προβάλλουν εκατέρωθεν της λιπιδιακής διπλοστιβάδας.

β) Περιφερικές πρωτεΐνες. Βρίσκονται ολοκληρωτικά εκτός λιπιδιακής διπλοστιβάδας εκατέρωθεν αυτής και είναι δεμένες με μη ομοιοπολικούς δεσμούς σε άλλη διαμεμβρανική πρωτεΐνη.

γ) Δεμένες σε λιπίδιο πρωτεΐνες. Βρίσκονται τελείως έξω από τη λιπιδιακή διπλοστιβάδα και είναι ομοιοπολικά δεμένες σε ένα λιπίδιο της άμεσα ή μέσω ολιγοσακχαρίτη .



Κατηγορίες πρωτεϊνών των μεμβρανών. Διαμεμβρανικές (1) και (2). Περιφερικές (3) και (4). Δεμένες σε λιπίδια (5) ή ολιγοσακχαρίτη δεμένο σε λιπίδιο (6).

Όπως τα λιπίδια έτσι και πολλές από τις πρωτεΐνες των μεμβρανών μπορούν να διαχέονται στο επίπεδο της μεμβράνης. Όμως τα κύτταρα έχουν τον τρόπο να ακινητοποιούν ειδικές μεμβρανικές πρωτεΐνες σε ορισμένες περιοχές της λιπιδιακής διπλοστιβάδας ώστε να εξασφαλίζεται η συγκεκριμένη λειτουργικότητα των μεμβρανών αυτών.

III. Υδατάνθρακες μεμβρανών: Όλα τα ευκαρυωτικά κύτταρα έχουν υδατάνθρακες στην επιφάνειά τους, με μορφή ολιγοσακχαριτών και πολυσακχαριτών που ενώνονται ομοιοπολικά με μεμβρανικές πρωτεΐνες (γλυκοπρωτεΐνες), αλλά και με την μορφή ολιγοσακχαριτών, ομοιοπολικά δεμένων σε λιπίδια (γλυκολιπίδια).

Οι υδατάνθρακες αποτελούν το 2% - 10% του συνολικού βάρους της πλασματικής μεμβράνης.

ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΙΚΡΩΝ ΜΟΡΙΩΝ

Υπάρχει μια σταθερή διακίνηση μικρών μορίων δια μέσω της πλασματικής μεμβράνης.

Θεωρήστε τις χημικές ανταλλαγές ανάμεσα σ' ένα ανθρώπινο ζωικό κύτταρο και στο εξωκυτταρικό υγρό που το περιβάλλει.

Σάκχαρα, αμινοξέα, και άλλες ουσίες εισέρχονται στο κύτταρο, ενώ εξέρχονται άχρηστα παραπροϊόντα του μεταβολισμού.

Το κύτταρο προσλαμβάνει οξυγόνο με την αναπνοή και απομακρύνει το διοξείδιο του άνθρακα.

Το κύτταρο επίσης ρυθμίζει τις συγκεντρώσεις ανόργανων ιόντων όπως Na^+ , K^+ , Ca^{+2} και Cl^- με συγκεκριμένο τρόπο.

Η υδρόφοβη λιπιδιακή διπλοστιβάδα της μεμβράνης εμποδίζει τη μεταφορά ιόντων και πολικών μορίων που είναι υδρόφιλα.

Η μελέτη της ταχύτητας διέλευσης ουσιών μέσω τεχνητών φωσφολιπιδιακών διπλοστιβάδων έδειξε ότι υδρόφοβα μόρια, όπως υδατάνθρακες και οξυγόνο, περνούν εύκολα μέσω της μεμβράνης.

Από δύο εξίσου λιποδιαλυτά μόρια, το μικρότερο περνάει τη διπλοστιβάδα ταχύτερα.

Πολύ μικρά πολικά αλλά χωρίς φορτίο μόρια, όπως το H_2 και το CO_2 , περνούν μέσω της μεμβράνης γρήγορα.

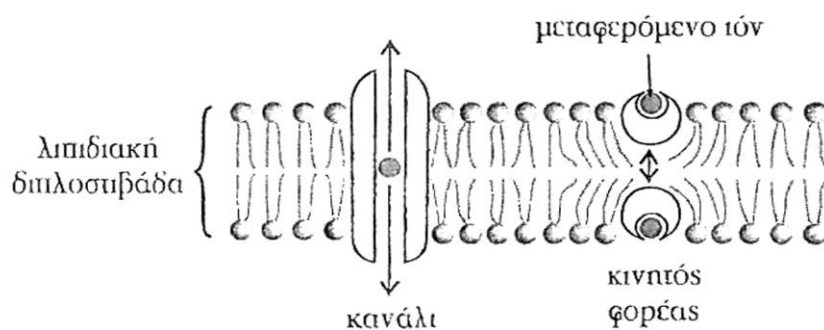
Σε μεγαλύτερα αφόρτιστα πολικά μόρια όπως η γλυκόζη και άλλα σάκχαρα, η λιπιδιακή διπλοστιβάδα δεν είναι πολύ διαπερατή ενώ είναι σχετικά αδιαπέραστη σε όλα τα ιόντα και στα πολύ μικρά όπως H^+ και Na^+ .

Πρωτεΐνες μεταφοράς. Το H_2O , το CO_2 και μη πολικά μόρια που διαπερνούν την τεχνητή μεμβράνη, διαπερνούν επίσης και την πλασματική μεμβράνη πολύ γρήγορα.

Αλλά οι βιολογικές μεμβράνες, σε αντίθεση με τις τεχνητές, είναι επίσης διαπερατές από ορισμένα ιόντα και μικρά πολικά μόρια όπως τα σάκχαρα.

Αυτές οι υδρόφιλες ουσίες αποφεύγουν την επαφή με τη λιπιδιακή διπλοστιβάδα περνώντας μέσα από πρωτεΐνες μεταφοράς που διατρέχουν τη μεμβράνη.

Υπάρχουν δύο κατηγορίες τέτοιων πρωτεϊνών: α) οι **φορείς** και β) τα **κανάλια** που σχηματίζουν συνεχή περάσματα πρωτεϊνικής φύσης στη λιπιδιακή διπλοστιβάδα.



Μεταφορά ιόντος μέσα από τη λιπιδιακή διπλοστιβάδα με τη βοήθεια καναλιών ή φορέων.

Οι πρωτεΐνες φορείς προσδέχουν ειδικά μόρια και τα μεταφέρουν μέσω της διπλοστιβάδας.

Η πρόσδεση αυτή προκαλεί αλλαγή στην τρισδιάστατη δομή του φορέα, τέτοια που η θέση πρόσδεσης του μεταφερόμενου μορίου να εκτίθεται διαδοχικά πρώτα στην μία πλευρά της μεμβράνης και μετά στην άλλη.

Μερικές πρωτεΐνες μεταφέρουν ουσίες μόνον από περιοχή μεγαλύτερης σε περιοχή μικρότερης συγκέντρωσης (**διευκολυνόμενη διάχυση**), ενώ άλλες σε αντίθετη κατεύθυνση (**ενεργός μεταφορά**).

Η σημασία της ύπαρξης ειδικών πρωτεϊνών φορέων είναι μεγάλη για τη σωστή λειτουργία των κυττάρων και κατ' επέκταση του οργανισμού.

ΔΙΑΧΥΣΗ ΚΑΙ ΠΑΘΗΤΙΚΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ

Διάχυση είναι η τάση που έχουν τα μόρια λόγω της κινητικής τους ενέργειας να εξαπλωθούν στον διαθέσιμο σ' αυτά χώρο.

Κάθε μόριο κινείται τυχαία, αλλά η διάχυση ενός πληθυσμού μορίων μπορεί να έχει κατεύθυνση.

Για παράδειγμα, αν καθαρό νερό και υδατικό διάλυμα μιας χρωστικής χωρισθούν με μια διαπερατή από τα μόρια της χρωστικής μεμβράνη, τότε κάθε μόριο χρωστικής κινείται τυχαία, αλλά τελικά υπάρχει καθαρή μετακίνηση μορίων χρωστικής προς το καθαρό νερό.

Αυτό συμβαίνει γιατί υπάρχουν περισσότερα μόρια χρωστικής, που μπορούν να κινηθούν προς αυτή την κατεύθυνση.

Η διάχυση θα συνεχισθεί μέχρι να εξισωθούν οι συγκεντρώσεις της χρωστικής στους χώρους εκατέρωθεν της μεμβράνης.

Σ' αυτό το σημείο που ονομάζεται κατάσταση **δυναμικής ισορροπίας**, όσα μόρια κινούνται προς τη μία κατεύθυνση, τόσα κινούνται και προς την άλλη, στη μονάδα του χρόνου.

Επομένως, απουσία άλλης δύναμης, μία ουσία θα διαχυθεί από την περιοχή μεγαλύτερης συγκέντρωσης προς την περιοχή μικρότερης.

Η μετακίνηση αυτή δεν απαιτεί ενέργεια.

Μεγάλο μέρος της διακίνησης των ουσιών διαμέσου της πλασματικής μεμβράνης γίνεται με διάχυση.

Όσο η αναπνοή καταναλώνει οξυγόνο, η διάχυση συνεχίζεται γιατί η διαφορά συγκεντρώσεων διευκολύνει αυτή την κίνηση.

Η διάχυση μιας ουσίας μέσω της βιολογικής μεμβράνης ονομάζεται παθητική μεταφορά, γιατί δεν απαιτείται δαπάνη ενέργειας.

Όμως, οι βιολογικές μεμβράνες είναι επιλεκτικά διαπερατές και μπορούν να αυξήσουν την ταχύτητα διάχυσης διαφόρων μορίων, με τη βοήθεια πρωτεϊνών φορέων ή καναλιών.

Αυτό ονομάζεται **διευκολυνόμενη διάχυση**.

ΩΣΜΩΣΗ

Συγκρίνοντας δύο διαλύματα που διαφέρουν ως προς την συγκέντρωση μιας ουσίας που είναι διαλυμένη σ' αυτά, ονομάζουμε **υπερτονικό** το διάλυμα με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση και **υποτονικό** εκείνο με τη μικρότερη.

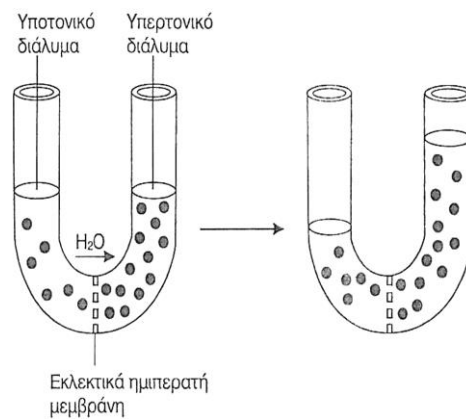
Οι όροι αυτοί έχουν νόημα με την έννοια της σύγκρισης και μόνον.

Για παράδειγμα, το νερό της βρύσης είναι υπερτονικό διάλυμα συγκριτικά με το αποσταγμένο αλλά υποτονικό συγκριτικά με το θαλασσινό νερό.

Με άλλα λόγια, το νερό της βρύσης έχει μεγαλύτερη συγκέντρωση διαλυμένων ουσιών από το αποσταγμένο και μικρότερη από το θαλασσινό.

Διαλύματα που έχουν την ίδια συγκέντρωση διαλυμένων ουσιών ονομάζονται **ισοτονικά**.

Αν δύο διαλύματα σακχάρου, ένα υπερτονικό και ένα υποτονικό, χωριστούν με μια μεμβράνη που είναι διαπερατή από το νερό αλλά αδιαπέραστη από το σάκχαρο, το νερό θα διαχυθεί μέσω της μεμβράνης από την αραιότερη προς την πυκνότερη ως προς το σάκχαρο, περιοχή



Όσο το νερό διαχέεται τόσο ο όγκος στη δεξιά πλευρά του σωλήνα αυξάνει και οι συγκεντρώσεις και στις δύο πλευρές γίνονται όλο και λιγότερο διαφορετικές.

Η διάχυση αυτού του νερού μέσω ημιπερατής μεμβράνης είναι ειδική περίπτωση παθητικής μεταφοράς και ονομάζεται **ώσμωση**.

Ωσμωτική πίεση είναι το μέτρο της τάσης ενός διαλύματος να πάρει νερό, από το καθαρό νερό από το οποίο χωρίζεται με ημιπερατή μεμβράνη.

Η ωσμωτική πίεση του καθαρού νερού είναι μηδέν. Η ωσμωτική πίεση ενός διαλύματος είναι ανάλογη με την συγκέντρωση των διαλυμένων ουσιών.

Η κίνηση του νερού μέσω πλασματικής μεμβράνης και η ισορροπία του ανάμεσα στο κύτταρο και το περιβάλλον, είναι κρίσιμη για όλους τους οργανισμούς.

Κάθε κύτταρο έχει εν διαλύσει διάφορα άλατα, σάκχαρα και άλλες ουσίες που του δίνουν μια ορισμένη ωσμωτική πίεση.

Φυσιολογικά το πλάσμα του αίματός μας και όλα τα υγρά του σώματος είναι ισότονα με τα κύτταρά μας. Ο φυσιολογικός ορός που είναι διάλυμα 0,9% NaCl είναι ισότονος με το περιεχόμενο των ανθρώπινων κυττάρων και των κυττάρων άλλων θηλαστικών.

Η ωσμωτική πίεση του εξωκυτταρικού υγρού οφείλεται κυρίως σε μικρά ανόργανα ιόντα που περνάνε προς το κύτταρο μέσω της μεμβράνης.

Αν το κύτταρο δεν τα απομάκρυνε και αν δεν υπήρχανε άλλα μόρια στο εσωτερικό του κυττάρου που επηρεάζουν την ενδοκυτταρική κατανομή τους, θα έφθαναν τελικά σε ισορροπία μέσα και έξω από το κύτταρο.

Όμως, η παρουσία των φορτισμένων μακρομορίων και των άλλων μεταβολιτών που τα έλκουν, δημιουργεί το **φαινόμενο Donnan**: δηλαδή η ολική συγκέντρωση των ανόργανων ιόντων (και επομένως η συμμετοχή τους στην ωσμωτική πίεση) να είναι μεγαλύτερη εσωτερικά απ' ότι εξωτερικά σε κατάσταση ισορροπίας.

Λόγω των ανωτέρω παραγόντων, ένα κύτταρο που δεν κάνει τίποτα για να ρυθμίσει την ωσμωτική του πίεση θα έχει μεγαλύτερη ολική συγκέντρωση ουσιών εσωτερικά απ' ότι εξωτερικά.

Αποτέλεσμα αυτού θα ήταν το νερό να κινείται συνεχώς προς το κύτταρο με αποτέλεσμα τη διόγκωση και τελικά τη ρήξη του.

Όμως, τα κύτταρα αυτοπροστατεύονται με διάφορους μηχανισμούς:

- Τα ζωικά κύτταρα και τα βακτήρια ρυθμίζουν την εσωτερική τους ωσμωτική πίεση έχοντας μηχανισμούς ενεργού απομάκρυνσης ιόντων όπως Na^+ , έτσι ώστε το κυτταρόπλασμα να έχει μικρότερη συγκέντρωση ανόργανων ιόντων από το εξωτερικό υγρό, εξισορροπώντας έτσι την περίσσεια των οργανικών μορίων που διαθέτουν.

Στους ζωικούς οργανισμούς η συγκέντρωση των ιόντων καλίου στο εσωτερικό των κυττάρων είναι περίπου είκοσι φορές μεγαλύτερη εκείνης στο εξωκυτταρικό υγρό.

Αντίθετα, η συγκέντρωση ιόντων νατρίου στο εσωτερικό είναι μικρότερη από εκείνη στο εξωτερικό.

Αυτές οι διαφορές στη συγκέντρωση διατηρούνται με την αντλία K^+ , Na^+ που υπάρχει σ' όλα τα ζωικά κύτταρα.

Η αντλία K^+ , Na^+ ρυθμίζει τον όγκο του κυττάρου μέσω της ωσμωτικής επίδρασης και μεταφέρει σάκχαρα και αμινοξέα στο εσωτερικό των κυττάρων. Το 1/3 περίπου της ενέργειας που απαιτεί ένα κύτταρο δαπανάται σ' αυτή την αντλία.

- Τα φυτικά κύτταρα προστατεύονται από τη διόγκωση με το σκληρό κυτταρικό τοίχωμα που περιβάλλει την πλασματική τους μεμβράνη.

Δημιουργείται μια εσωτερική πίεση σπαργής, η οποία σε κατάσταση ισορροπίας διώχνει έξω το νερό καθώς αυτό εισέρχεται.

- Πολλά πρωτόζωα προστατεύονται από τη διόγκωση, παρά την ωσμωτική διαφορά κατά μήκος της πλασματικής τους μεμβράνης, με περιοδική απομάκρυνση νερού από ειδικά συστατικά κενοτόπια.

ΕΝΕΡΓΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑ

Παρά τη βοήθεια των πρωτεϊνών η διευκολυμένη διάχυση είναι μηχανισμός παθητικής μεταφοράς, γιατί η μεταφερόμενη ουσία κατευθύνεται προς την περιοχή μικρότερης συγκέντρωσης.

Όμως υπάρχουν και πρωτεΐνες μεταφοράς που μεταφέρουν ουσίες από περιοχή μικρότερης σε περιοχή μεγαλύτερης συγκέντρωσης μέσω ημιπερατής μεμβράνης.

Ο τρόπος αυτός μεταφοράς απαιτεί κατανάλωση ενέργειας και ονομάζεται **ενεργός μεταφορά**.

Η ενεργός μεταφορά είναι ο κύριος μηχανισμός που επιτρέπει στο κύτταρο να διατηρεί την εσωτερική συγκέντρωση ορισμένων μικρών μορίων σε επίπεδα που διαφέρουν από εκείνα του εξωτερικού κυττάρου.

Ουσίες που μεταφέρονται με ενεργό μεταφορά μπορεί να είναι ιόντα ή απλά μόρια όπως σάκχαρα, αμινοξέα ή νουκλεοτίδια.

Η ενεργός μεταφορά είναι μια από τις πλέον σημαντικές λειτουργίες του κυττάρου.

Χωρίς αυτή για παράδειγμα, τα ηπατοκύτταρα θα ήταν αδύνατο να συσσωρεύσουν μόρια γλυκόζης από το πλάσμα του αίματος, αφού η συγκέντρωση της γλυκόζης είναι συνήθως μεγαλύτερη στο εσωτερικό του κυττάρου απ' ότι στο πλάσμα.

Η ενεργός μεταφορά επίσης, επιτρέπει στο κύτταρο να απομακρύνει από το εσωτερικό του στο εξωκυτταρικό υγρό ουσίες, παρά την υψηλή εξωκυτταρική τους συγκέντρωση.

Η ενεργός μεταφορά διενεργείται από ειδικές πρωτεΐνες ενσωματωμένες στην πλασματική μεμβράνη.

Για να λειτουργήσουν οι πρωτεΐνες αυτές (μεταφορά ουσιών προς περιοχή μεγαλύτερης συγκέντρωσης) απαιτείται ενέργεια με τη μορφή ATP.

Ένας τρόπος το ATP να ενεργοποιεί τη μεταφορά, είναι να μεταφέρει την ακραία φωσφορική ομάδα του, απευθείας στην πρωτεΐνη μεταφοράς.

Αυτή η φωσφορυλίωση μπορεί να επάγει τέτοια δομική αλλαγή στην πρωτεΐνη, που να μεταφέρει την προσδεμένη σ' αυτή ουσία, στην άλλη πλευρά της μεμβράνης.

Η αντλία K^+ , Na^+ λειτουργεί με μια σειρά δομικών αλλαγών στην διαμεμβρανική πρωτεΐνη

1. Τρία ιόντα Na^+ προσδένονται στην κυτταροπλασματική πλευρά της πρωτεΐνης, προκαλώντας έτσι δομική αλλαγή σ' αυτήν.
2. Με την νέα διαμόρφωση, η πρωτεΐνη προσδένει ένα μόριο ATP που το διασπά σε $\text{ADP} + \text{P}$. Το ADP ελευθερώνεται, αλλά η φωσφορική ομάδα παραμένει προσδεμένη στην πρωτεΐνη.
3. Η πρόσδεση της φωσφορικής ομάδας στην πρωτεΐνη επάγει μια δεύτερη δομική αλλαγή σ' αυτή, με συνέπεια την μεταφορά των τριών ιόντων Na^+ δια της μεμβράνης στην εξωτερική πλευρά.
4. Με αυτή τη δομή η πρωτεΐνη έχει μικρή συγγένεια για το Na^+ , και τα τρία Na^+ ελευθερώνονται στο εξωκυτταρικό υγρό.

Όμως, η συγγένεια της πρωτεΐνης είναι μεγάλη για το K^+ κι έτσι, δύο ιόντα K^+ προσδένονται σ' αυτή μόλις το Na^+ απομακρυνθεί.

5. Η πρόσδεση του K^+ προκαλεί μια άλλη δομική αλλαγή στην πρωτεΐνη, με αποτέλεσμα την απομάκρυνση της φωσφορικής ομάδας και επαναφορά της πρωτεΐνης στην αρχική διαμόρφωση, οπότε τα δύο ιόντα K^+ έρχονται στο εσωτερικό του κυττάρου και ελευθερώνονται.

Η διαμόρφωση της πρωτεΐνης έχει υψηλή συγγένεια για το Na, το οποίο μόλις προσδεθεί, αρχίζει ένα νέο κύκλο.

6. Έτσι, σε κάθε κύκλο τρία ιόντα Na^+ βγαίνουν και δύο ιόντα K^+ μπαίνουν στο κύτταρο.

Μεταφορά ιόντων. Οι μεμβράνες των κυττάρων εμφανίζουν διαφορά δυναμικού, δηλαδή ηλεκτρική δυναμική ενέργεια που οφείλεται σε αντίθετα ηλεκτρικά φορτία.

Το κυτταρόπλασμα έχει αρνητικό φορτίο συγκριτικά με το εξωκυτταρικό υγρό, λόγω άνισης κατανομής ανιόντων και κατιόντων.

Η διαφορά αυτή δυναμικού ονομάζεται **δυναμικό μεμβράνης** και κυμαίνεται από περίπου -50 έως -200 millivolts (το - πρόσημο σημαίνει ότι το εσωτερικό του κυττάρου είναι αρνητικό συγκριτικά με το εξωτερικό).

Το δυναμικό της μεμβράνης επηρεάζει την κυκλοφορία των φορτισμένων ουσιών από και προς το κύτταρο, ευνοώντας την διάχυση κατιόντων μέσα στο κύτταρο.

Έτσι, δύο δυνάμεις επηρεάζουν την παθητική μεταφορά ιόντων δια μέσου της μεμβράνης:

α) η **συγκέντρωση** και β) το **δυναμικό της μεμβράνης**.

Συμμεταφορά. Μια αντλία που μεταφέρει ενεργά μια ειδική ουσία, μπορεί έμμεσα να συμβάλλει στην ενεργό μεταφορά αρκετών άλλων ουσιών με ένα μηχανισμό που είναι γνωστός σαν **συμμεταφορά**.

Μεταφέροντας μια ουσία διαμέσου της μεμβράνης αντίθετα από την κλίση συγκέντρωσης (ενεργός μεταφορά), η αντλία αποθηκεύει ενέργεια.

Η ουσία τείνει να διαχυθεί πάλι προς την περιοχή μικρότερης συγκέντρωσης. Κατά τη διάχυση αυτή επιτελείται έργο.

Μια άλλη εξειδικευμένη πρωτεΐνη μεταφοράς μπορεί να συζεύξει την διάχυση αυτής της ουσίας με την μεταφορά μιας άλλης ουσίας προς περιοχή μεγαλύτερης συγκέντρωσης.

Για παράδειγμα, το φυτικό κύτταρο χρησιμοποιεί την κλίση H^+ που δημιουργείται με τη λειτουργικότητα των αντλιών πρωτονίων, για να μεταφέρει ενεργά, αμινοξέα, σάκχαρα και άλλες ουσίες στο κύτταρο.

Μια ειδική πρωτεΐνη μεταφορά βοηθά ορισμένα φυτικά κύτταρα να συσσωρεύουν σακχαρόζη.

Η πρωτεΐνη αυτή μπορεί να μεταφέρει σακχαρόζη μέσα στο κύτταρο από περιοχή μικρότερης συγκέντρωσης, αλλά μόνον αν η σακχαρόζη μεταφερθεί σε συνδυασμό με ένα ιόν H^+ .

ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΕΓΑΛΩΝ ΜΟΡΙΩΝ – ΕΝΔΟΚΥΤΤΩΣΗ, ΕΞΩΚΥΤΤΩΣΗ

Νερό και μικρά μόρια εισέρχονται και εξέρχονται από το κύτταρο περνώντας διαμέσου της λιπιδιακής διπλοστιβάδας της μεμβράνης ή αντλούνται με τη βοήθεια πρωτεϊνών μεταφοράς.

Μεγάλα μόρια όμως, όπως οι πρωτεΐνες και οι πολυσακχαρίτες γενικά, διασχίζουν την μεμβράνη με ένα διαφορετικό μηχανισμό.

Το κύτταρο εκκρίνει μακρομόρια με τη σύντηξη κυστιδίων και πλασματικής μεμβράνης και το κύτταρο μπορεί να πάρει μακρομόρια ακόμη και ολόκληρα σωματίδια σχηματίζοντας κυστίδια από την πλασματική μεμβράνη.

Κατά την **εξωκύτωση**, ένα κυστίδιο, που συνήθως αποκόβεται από το ενδοπλασματικό δίκτυο ή το σύμπλεγμα Golgi, κινείται προς την πλασματική μεμβράνη.

Το κυστίδιο και η πλασματική μεμβράνη έρχονται πολύ κοντά, και τελικά συντήκονται. Το περιεχόμενο του κυστιδίου χύνεται έξω από το κύτταρο.

Η διαδικασία αυτή αντιστρέφεται βασικά κατά την **ενδοκύτωση**.

Μια εντοπισμένη περιοχή της πλασματικής μεμβράνης υφίσταται εγκόλπωση προς τα μέσα.

Καθώς η εγκόλπωση αυτή βαθαίνει, αποκόβεται από την πλασματική μεμβράνη με τη μορφή κυστιδίου που περιέχει υλικό προερχόμενο από το εξωτερικό του κυττάρου.

Όταν τα φυτικά κύτταρα φτιάχνουν κυτταρικό τοίχωμα, κυστίδια μεταφοράς (από το σύμπλεγμα Golgi), με εξωκύττωση, μεταφέρουν τους απαιτούμενους πολυσακχαρίτες έξω από το κύτταρο.

Υπάρχουν τρεις τύποι ενδοκύττωσης: η φαγοκύττωση, η πινοκύττωση και η ενδοκύττωση με υποδοχέα.

Κατά την **φαγοκύττωση** το κύτταρο με την βοήθεια ψευδοποδίων περικυκλώνει ένα σωματίδιο και το κλείνει σε μια εγκόλπωση της πλασματικής του μεμβράνης, η οποία τελικά αποκόπτεται σαν ένα κυστίδιο, αρκετά μεγάλο ώστε να ονομάζεται **τροφικό κενοτόπιο**.

Το κενοτόπιο συγχωνεύεται με ένα λυσόσωμα που περιέχει τα υδρολυτικά ένζυμα που θα αποικοδομήσουν το σωματίδιο. Παράδειγμα είναι η φαγοκύττωση βακτηρίου από αμοιβάδα.

Στην **πινοκύττωση** η πλασματική μεμβράνη δημιουργεί λεπτά κυστίδια, γύρω από σταγονίδια εξωκυτταρικού υγρού, τα οποία αποκόπτονται μέσα στο κύτταρο. Παράδειγμα αποτελεί η είσοδος σταγονιδίων εξωκυτταρικού υγρού σε κύτταρα τριχοειδών αγγείων.

Η πινοκύττωση είναι μη εξειδικευμένη ως προς την ουσία που μεταφέρει. Αντίθετα, η **ενδοκύττωση με υποδοχέα** είναι πολύ εξειδικευμένη.

Στην πλασματική μεμβράνη υπάρχουν ενσωματωμένες ειδικές πρωτεΐνες **υποδοχείς** με την ειδική θέση τους να προσβάλλει προς το εξωκυτταρικό υγρό.

Οι πρωτεΐνες υποδοχείς είναι συνήθως συσσωρευμένες σε ειδικές θέσεις της μεμβράνης στο εσωτερικό των οποίων υπάρχει επικάλυψη από μια πρωτεΐνη που λέγεται **κλαθρίνη**.

Όταν η κατάλληλη ουσία δεθεί στον υποδοχέα, με εγκόλπωση θα μεταφερθεί στο εσωτερικό του κυττάρου και θα αποκοπεί σαν κυστίδιο.

Μετά την ελευθέρωση του υλικού από το κυστίδιο, οι υποδοχείς ανακυκλώνονται προς την πλασματική μεμβράνη.

Η ενδοκύττωση με υποδοχέα είναι η διαδικασία με την οποία μπορεί το κύτταρο να προσλάβει μεγάλες ποσότητες μιας ουσίας ακόμη κι όταν η συγκέντρωσή της στο εξωκυτταρικό υγρό είναι μικρή.

Για παράδειγμα με αυτό το μηχανισμό προσλαμβάνουν τα ζωικά κύτταρα την χοληστερίνη από το αίμα για να τη χρησιμοποιήσουν στη σύνθεση των μεμβρανών και σαν πρόδρομο για τη σύνθεση άλλων στεροειδών.

