

Το μικροσκόπιο με το οποίο ο Ρ. Χουκ έκανε τις παρατηρήσεις του.

Μια από τις επιδιώξεις των Φυσικών Επιστημών είναι να περιγράψουν και να εξηγήσουν τη δομή και τις ιδιότητες της ύλης, ξεκινώντας από τα μικρότερα δομικά συστατικά της. Η ατομική θεωρία αποτελεί την πραγματοποίηση αυτής της επιδίωξης για την ύλη γενικά. Κάτι ανάλογο είναι η **κυτταρική θεωρία**, που βοηθά όμως στην περιγραφή της δομής και των ιδιοτήτων της έμβιας ύλης.

Το ότι όλοι οι οργανισμοί αποτελούνται από κύτταρα είναι γνωστό και συνήθως δεν αισθανόμαστε την ανάγκη να το σχολιάσουμε εκτενέστερα. Αυτό όμως που σήμερα μας φαίνεται απλό και αυτονόητο είναι το αποτέλεσμα μιας σειράς μελετών, παρατηρήσεων και συμπερασμάτων, τα οποία διήρκεσαν περισσότερο από 170 χρόνια. Την αρχή έκανε το 1665 ο Ρ. Χουκ, όταν ανέφερε για πρώτη φορά τη λέξη «**κύτταρο**», παρατηρώντας, με το δικής του κατασκευής μικροσκόπιο, λεπτές τομές φελλού και όχι ζωντανά κύτταρα. Η κυτταρική θεωρία διατυπώθηκε αργότερα, το 1838-39, από τους Μ. Σλάιντεν και Τ. Σβαν, που υποστήριξαν ότι «**η θεμελιώδης δομική και λειτουργική μονάδα όλων των οργανισμών είναι το κύτταρο**». Αυτό σημαίνει ότι το κύτταρο είναι η μικρότερη δομή στη φύση όπου εμφανίζεται το φαινόμενο της ζωής. Η θεωρία αυτή ολοκληρώθηκε πολύ αργότερα, το 1885, από το Ρ. Βίρχοφ με την περίφημη θέση του «**κάθε κύτταρο προέρχεται από ένα κύτταρο**».

Η κυτταρική θεωρία στη σύγχρονη εκδοχή της υποστηρίζει ότι:

- Όλοι οι οργανισμοί αποτελούνται από κύτταρα και από κυτταρικά παράγωγα.
- Όλα τα κύτταρα δομούνται από τις ίδιες χημικές ενώσεις και εκδηλώνουν παρόμοιες μεταβολικές διεργασίες.
- Η λειτουργία των οργανισμών είναι το αποτέλεσμα της συλλογικής δράσης και αλληλεπίδρασης των κυττάρων που τους αποτελούν.
- Κάθε κύτταρο προέρχεται από τη διαίρεση προϋπάρχοντος κυττάρου.

Τα κύτταρα, με κριτήριο την πολυπλοκότητα της κατασκευής τους και κυρίως την ύπαρξη ή όχι μεμβράνης που περιβάλλει το γενετικό τους υλικό, διακρίνονται σε **προκαρυωτικά** και σε **ευκαρυωτικά**. Η δομή των ευκαρυωτικών κυττάρων, δηλαδή ορισμένων μονοκύτταρων και των πολυκύτταρων οργανισμών, είναι συνθετότερη. Η μεμβράνη που περιβάλλει το γενετικό υλικό σχηματίζει μαζί μ' αυτό τον **πυρήνα** του κυττάρου (κάρυο=πυρήνας, ευ=καλώς → καλά σχηματισμένος πυρήνας). Αντίθετα, στα προκαρυωτικά κύτταρα (βακτήρια και κυανοβακτήρια), που είναι απλούστερα, το γενετικό υλικό δεν περιβάλλεται από μεμβράνη και συνεπώς δεν υπάρχει πυρήνας. Θεωρείται ότι τα προκαρυωτικά κύτταρα, κατά την εξελικτική διαδικασία, προϋπήρξαν των ευκαρυωτικών.

2.1

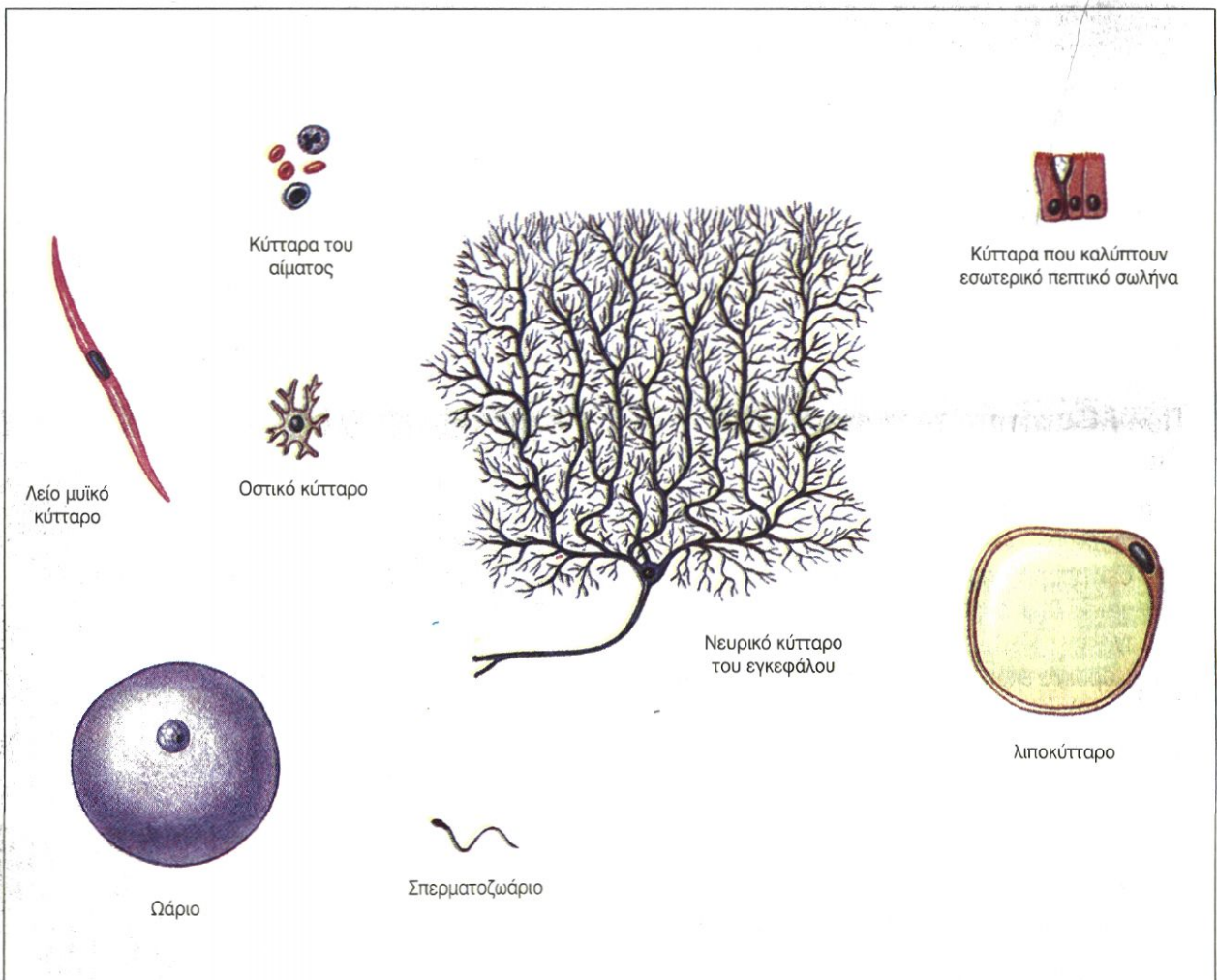
ΤΟ ΠΟΡΤΡΕΤΟ ΤΟΥ ΕΥΚΑΡΥΩΤΙΚΟΥ ΚΥΤΤΑΡΟΥ

Έχουμε σίγουρα δει εικόνες και σχήματα ευκαρυωτικών κυττάρων. Οι απεικονίσεις αυτές, όσο επιτυχημένες κι αν είναι, δημιουργούν συχνά την εντύπωση ότι ένα ευκαρυωτικό κύτταρο είναι μια επίπεδη και αδρανής κατασκευή. Η πραγματικότητα όμως είναι διαφορετική. Τα κύτταρα αποτελούν **τριδιάστατες** δομές, που σφύζουν από δραστηριότητα. Μερικά από αυτά έχουν δυνατότητα κίνησης, χάρη σε ειδικές δομές που διαθέτουν, ενώ άλλα μπορούν να συλλαμβάνουν την τροφή τους μεταβάλλοντας το σχήμα τους. Υπάρχουν όμως και ιδιότητες που είναι κοινές για όλα τα κύτταρα, όπως η μεταφορά ουσιών στο εσωτερικό τους, η αλλαγή θέσης των κυτταρικών δομών, όταν

αυτό είναι απαραίτητο, και οι πολύπλοκες βιοχημικές διεργασίες.

Τα κύτταρα εξάλλου δεν είναι όλα ίδια. Στον άνθρωπο, για παράδειγμα, υπάρχουν 100 περίπου διαφορετικά είδη κυττάρων. Καθένα έχει τη δική του χαρακτηριστική μορφή και κάνει μια συγκεκριμένη λειτουργία. Κάποια έχουν επίμηκες σχήμα και δυνατότητα συστολής, άλλα έχουν λεπτές προεκτάσεις, με τις οποίες μπορούν να μεταβιβάζουν και να δέχονται μηνύματα, και άλλα είναι πλατιά και έχουν καλυπτήριο ρόλο.

Είναι επομένως δύσκολο, αν όχι αδύνατο, να κάνουμε μια ολοκληρωμένη παρουσίαση του κυττάρου με βάση ένα μόνο σχήμα ή μία περιγραφή. Για να ξεπεραστεί αυτή η δυσκολία, καταφεύγουμε στην περιγραφή ενός ουσιαστικά ανύπαρκτου κυττάρου. Είναι αυτό που οι βιολόγοι ονομάζουν «**τυπικό κύτταρο**». Ένα κύτταρο δηλαδή το οποίο συγκεντρώνει όλα τα κοινά γνωρίσματα. Ας το γνωρίσουμε λοιπόν...



Τα κύτταρα του ανθρώπινου οργανισμού διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους στο σχήμα και στις λειτουργίες που επιτελούν. Η σχέση μεγέθους των κυττάρων, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα, είναι πραγματική.

Μέγεθος των κυττάρων

Τα κύτταρα, για να διατηρούν τη λειτουργικότητά τους, είναι υποχρεωμένα να βρίσκονται σε μια διαρκή ανταλλαγή ουσιών με το περιβάλλον τους. Όμως τόσο η εισαγωγή χρήσιμων ουσιών από το περιβάλλον τους όσο και η αποβολή άχρηστων ουσιών σ' αυτό γίνεται μέσω της εξωτερικής επιφάνειάς τους. Όσο μεγαλύτερη είναι λοιπόν η επιφάνεια αυτή τόσο μεγαλύτερη είναι και η δυνατότητα ανταλλαγής ουσιών με το περιβάλλον.

Στο κύτταρο, εκτός από την ανταλλαγή ουσιών, η οποία καλύπτει τις μεταβολικές ανάγκες του, γίνεται και ανταλλαγή ουσιών - μηνυμάτων. Χάρη στα μηνύματα αυτά το κύτταρο «επικοινωνεί» με το περιβάλλον του και «αντιλαμβάνεται» τις μεταβολές που συμβαίνουν σ' αυτό. Με βάση τις πληροφορίες αυτές εναρμονίζει τις λειτουργίες των επιμέρους τμημάτων του. Η μεταβίβαση των μηνυμάτων από το εξωτερικό στο εσωτερικό του κυττάρου, αλλά και στο εσωτερικό μεταξύ των διαφορετικών περιοχών του, θα πρέπει να γίνεται με ταχύτητα. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο αν το κύτταρο έχει σχετικά μικρό όγκο.

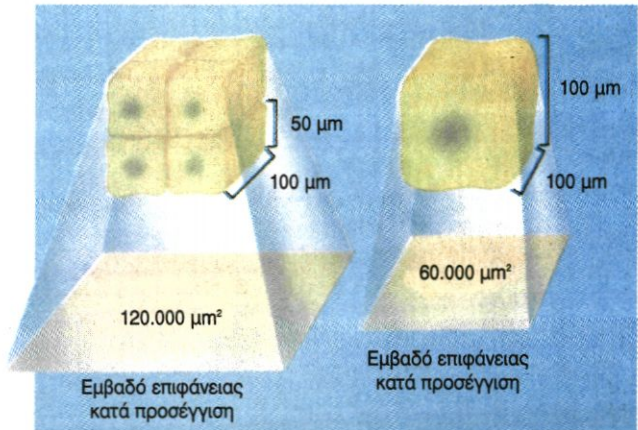
Πράγματι, το σχήμα των κυττάρων είναι τέτοιο, ώστε αυτά να έχουν μικρό όγκο και συγχρόνως τη μεγαλύτερη δυνατή επιφάνεια που αντιστοιχεί στον όγκο αυτό. Έτσι ικανοποιούν ταυτόχρονα και τις δύο προϋποθέσεις: μεγάλη επιφάνεια για άνετες ανταλλαγές ουσιών και υποδοχή μηνυμάτων, και μικρό όγκο για έγκαιρη μεταβίβαση των μηνυμάτων στο εσωτερικό του κυττάρου.

Πολυπλοκότητα της κατασκευής διαμερισματοποίησης

Είναι μάλλον εύκολο να συμφωνήσουμε ότι το σύνολο των εξαρτημάτων ενός αποσυναρμολογημένου ρολογιού δεν μπορεί από μόνο του να μας δείξει την ώρα. Έτσι και ένα υδατικό διάλυμα, που περιέχει στη σωστή αναλογία όλα τα συστατικά μέρη ενός κυττάρου, δεν μπορεί να εκδηλώσει το φαινόμενο της ζωής.

Αυτό που λείπει και στις δύο περιπτώσεις είναι εκείνη η οργανωμένη δομή που θα εξασφάλιζε τη συνεργασία των μερών, ώστε τελικά μέσα από αυτή τη συνεργασία να αναδειχτεί μια ενιαία λειτουργία.

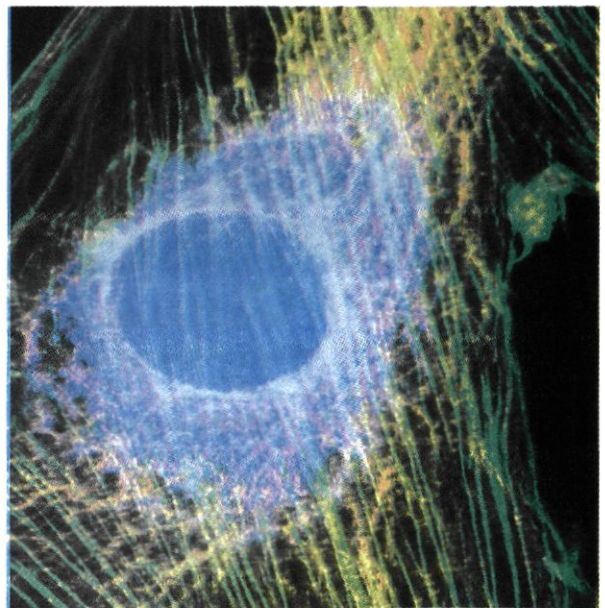
Στις σελίδες που θα ακολουθήσουν δε θα ασχοληθούμε βέβαια με τα ρολόγια. Σε ό,τι αφορά όμως τα κύτταρα, θα προσπαθήσουμε να βρούμε την απάντηση «διερευνώντας» τη δομή και τις επιμέρους λειτουργίες τους. Ξεκινώντας την παρατήρησή μας θα συμφωνήσουμε σίγουρα ότι αρκεί μία μόνο ματιά μας



Τα οκτώ μικρά κύτταρα έχουν πολύ μεγαλύτερη επιφάνεια σε σχέση με το ένα κύτταρο που ο όγκος του είναι το σύνολο των δικών τους.

στην εικόνα ενός «τυπικού κυττάρου», για να διαπιστώσει κανείς την πολυπλοκότητα της δομής του και την έντονη παρουσία μεμβρανών.

Μεμβράνη το οριοθετεί από το εξωκυτταρικό περιβάλλον. Μεμβράνη περιβάλλει τον πυρήνα του. Μεμβράνες επίσης διασχίζουν το κυτταρόπλασμα, δηλαδή την περιοχή ανάμεσα στην πυρηνική και στην πλασματική μεμβράνη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη διαμερισματοποίηση του εσωτερικού του κυττάρου. Καθένα από τα «διαμερίσματα» έχει τη δική του μορφή και λειτουργία. Αυτά τα «διαμερίσματα» είναι τα **κυτταρικά οργανίδια**, που θα τα μελετήσουμε στη συνέχεια.



Τμήμα του κυτταρικού σκελετού. Φωτογραφία από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο χρωματικά επεξεργασμένη.

2.2 ΠΛΑΣΜΑΤΙΚΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ: ΤΟ ΛΕΠΤΟ ΣΥΝΟΡΟ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΤΗΝ ΑΒΙΑ ΥΛΗ ΚΑΙ ΣΤΗ ΖΩΗ

Πλασματική μεμβράνη ονομάζουμε αυτήν που οριοθετεί το κύτταρο σε σχέση με το εξωτερικό του περιβάλλον. Οι λειτουργίες της, όπως και οι λειτουργίες των υπολοίπων κυτταρικών δομών, απορρέουν από τη δομή της. Είναι λοιπόν λογικό να αρχίσουμε τη μελέτη μας με τη δομή της πλασματικής μεμβράνης.

Δομή της πλασματικής μεμβράνης

Σήμερα υπάρχουν διάφορα μοντέλα για τη μελέτη της δομής και της λειτουργίας των κυτταρικών μεμβρανών και σ' αυτό βοήθησε η ανάπτυξη της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας και άλλων τεχνικών.

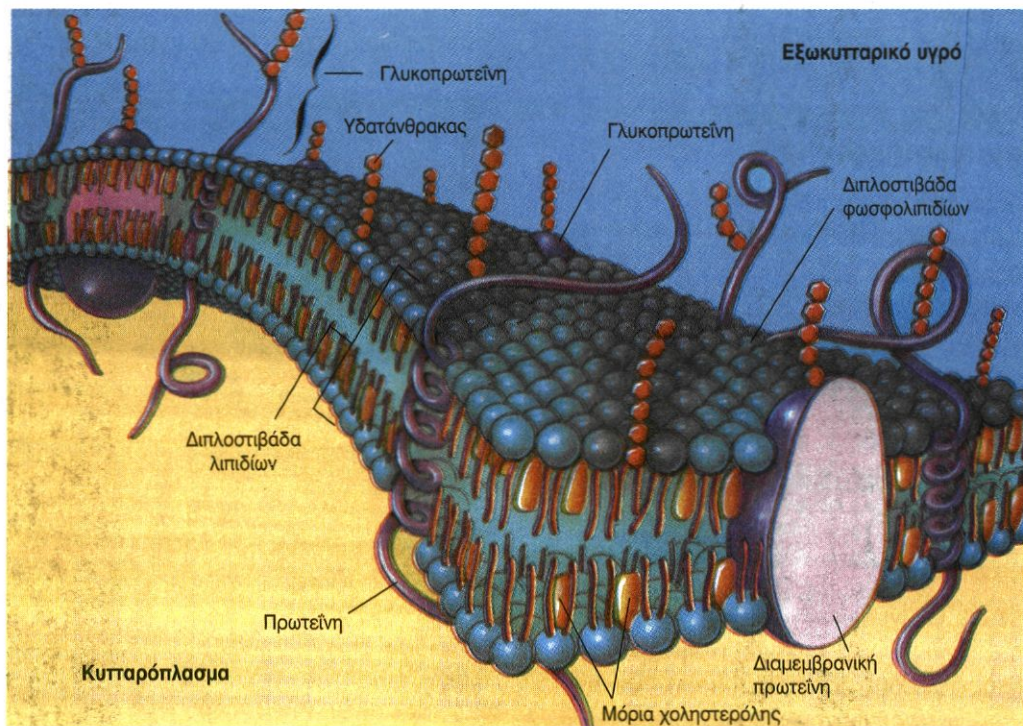
Το μοντέλο που δεχόμαστε σήμερα είναι αυτό του «**ρευστού μωσαϊκού**», που προτάθηκε το 1972 από τους Σ. Σίνγκερ και Τ. Νίκολσον. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, οι μεμβράνες αποτελούνται από μια διπλοστιβάδα, φωσφολιπιδίων κυρίως, ανάμεσα στα οποία πα-

ρεμβάλλονται στεροειδή όπως η χοληστερόλη και πρωτεΐνες, οι οποίες είτε βρίσκονται στην επιφάνεια της μεμβράνης είτε βυθίζονται στο εσωτερικό της είτε τη διαπερνούν κάθετα, σχηματίζοντας ένα είδος μωσαϊκού. Συχνά, πρωτεΐνες αλλά και λιπίδια της πλασματικής μεμβράνης εμφανίζονται συνδεδεμένα με υδατάνθρακες (σάκχαρα). Τα σύνθετα αυτά μόρια ονομάζονται γλυκοπρωτεΐνες ή γλυκολιπίδια αντίστοιχα.

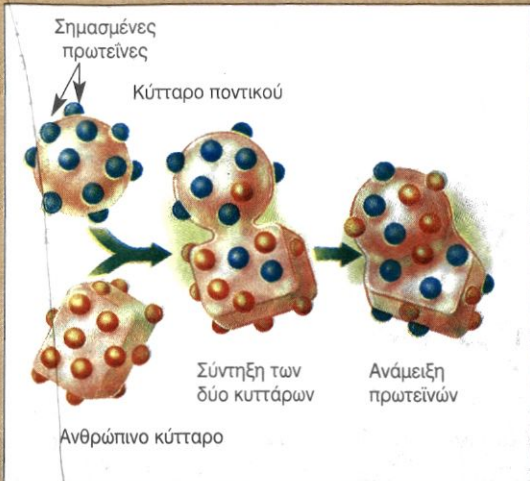
Τα υδρόφιλα τμήματα των λιπιδίων στρέφονται προς το ενδοκυτταρικό και προς το εξωκυτταρικό περιβάλλον, που είναι υδατικά. Αντίθετα τα υδρόφοβα τμήματα, δηλαδή οι ουρές των φωσφολιπιδίων, στρέφονται προς το εσωτερικό της κατασκευής, ώστε να απασφύγουν την επαφή τους με το νερό.

Οι έλξεις που αναπτύσσονται μεταξύ των υδρόφιλων τμημάτων και των μορίων του νερού, καθώς και οι έλξεις των υδρόφοβων τμημάτων μεταξύ τους, προσδίδουν στη μεμβράνη σταθερότητα, χωρίς παράλληλα να την κάνουν στατική. Η ονομασία «ρευστό μωσαϊκό» αποδίδει ακριβώς τη δυνατότητα που έχουν τα περισσότερα λιπίδια και αρκετές από τις πρωτεΐνες της μεμβράνης να ολισθαίνουν πλαγίως, αλλάζοντας θέση με γειτονικά τους μόρια.

Η διατήρηση της ρευστότητας των μεμβρανών έχει μεγάλη σημασία για τη λειτουργία τους. Μεμβράνες που έχουν «στερεοποιηθεί» παύουν να είναι λειτουργικές, γιατί πολλές από τις πρωτεΐνες τους αδρανοποιούνται.



Μοντέλο «ρευστού μωσαϊκού» για την πλασματική μεμβράνη.



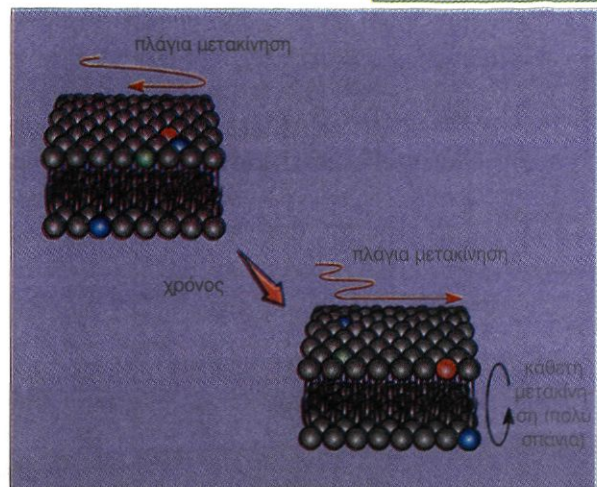
Απόδειξη της δυνατότητας μετακίνησης των πρωτεϊνών της μεμβράνης πλαγίως.

Η ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΤΩΝ ΠΡΩΤΕΪΝΩΝ ΤΗΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ

Ένα χαρακτηριστικό των μεμβρανών, πολύ σημαντικό για διάφορες λειτουργίες των κυττάρων, είναι η δυνατότητα των πρωτεϊνικών μορίων που τις συνιστούν να μετακινούνται πλαγίως. Δεν ήταν βέβαια από την αρχή γνωστό και πέρασαν πολλά χρόνια ερευνών και τεχνολογικών εξελίξεων, έως ότου προσδιοριστούν με ακρίβεια η δομή και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των μεμβρανών, που οδήγησαν τη σκέψη των ερευνητών προς αυτή την κατεύθυνση. Σήμερα είναι πολύ εύκολο να αποδειχτεί, αλλά και να παρατηρηθεί, η κίνηση των πρωτεϊνικών μορίων της μεμβράνης με φθορίζοντα μόρια. Σημαίνουμε πρωτεϊνικά μόρια της μεμβράνης κυττάρου ποντικού και κυττάρου ανθρώπου με διαφορετικές φθορίζουσες ουσίες. Στη συνέχεια προκαλούμε σύντηξη των δύο κυττάρων. Μετά από μια ώρα οι διαφορετικά σημασμένες πρωτεΐνες βρίσκονται ανακατεμένες σε ολόκληρη την επιφάνεια του κυττάρου που έχει προέλθει από τη σύντηξη των δύο.

Στη διατήρηση της ρευστότητας των μεμβρανών σημαντικό ρόλο παίζει η χοληστερόλη, ένα στεροειδές που παρεμβάλλεται μεταξύ των φωσφολιπιδίων.

Σε ό,τι αφορά το ρόλο των πρωτεϊνών της μεμβράνης, άλλες από αυτές αποτελούν δομικά συστατικά της και άλλες έχουν λειτουργικό ρόλο. Ελέγχουν, για παράδειγμα, την είσοδο ή έξοδο ουσιών, δέχονται και μεταβιβάζουν



Ορισμένα λιπίδια και πρωτεΐνες έχουν τη δυνατότητα να ολισθαίνουν πλαγίως, και σπάνια κάθετα, αλλάζοντας θέση στην πλασματική μεμβράνη.

ζουν στο εσωτερικό του κυττάρου μηνύματα από το περιβάλλον κ.ά.

Κάθε μεμβράνη που έχει τη χαρακτηριστική δίστιβη δομή που περιγράφηκε ονομάζεται **απλή στοιχειώδης μεμβράνη**.

Λειτουργίες της πλασματικής μεμβράνης

Οι εκφράσεις «εξωτερικό σύνορο του κυττάρου», «όριο ανάμεσα στο κυτταρόπλασμα και στο εξωκυτταρικό περιβάλλον» κ.ά., που αποδίδονται στην πλασματική μεμβράνη, ίσως την αδικούν λιγάκι, γιατί, ενώ προβάλλουν τον παθητικό ρόλο της στην οριοθέτηση του κυττάρου, αποκρύπτουν την καθοριστική συμμετοχή της σε άλλες κυτταρικές λειτουργίες, όπως είναι:

- Ο έλεγχος του είδους των ουσιών που εισέρχονται ή εξέρχονται από το κύτταρο.
- Η υποδοχή και η ερμηνεία μηνυμάτων από το περιβάλλον του κυττάρου.

Μεταφορά ουσιών διαμέσου της πλασματικής μεμβράνης

Είναι εύκολο να κατανοήσουμε ότι αν η μεμβράνη ήταν ένα τελείως αδιαπέραστο περίβλημα, το κύτταρο θα ήταν ανίκανο να προσλάβει τις απαραίτητες θρεπτικές ουσίες, να αποβάλει τα άχρηστα προϊόντα του μεταβολισμού του, αλλά και να εξαγάγει ουσίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν αλλού στην περίπτωση πολυκύτταρων οργανισμών. Αν πάλι η μεμβράνη ήταν τελείως διαπερατή από κάθε χημική ουσία, τότε η χημική σύσταση του κυττάρου δε θα μπορούσε να διατηρηθεί.

Θα γινόταν, λόγω διάχυσης, εντελώς όμοια με τη χημική σύσταση του περιβάλλοντός του. Έτσι θα έχανε την υψηλή συγκέντρωση εκείνων των συστατικών που είναι απαραίτητα για την εκδήλωση του φαινομένου της ζωής. Είναι λοιπόν φανερό ότι η δομή της πλασματικής μεμβράνης πρέπει να καθορίζει ποιες από τις διάφορες ουσίες θα τη διαπερνούν εύκολα και ποιες θα τη διαπερνούν δύσκολα ή και καθόλου. Με άλλα λόγια, η μεμβράνη πρέπει να είναι **εκλεκτικά διαπερατή**.

Οι φυσιολόγοι διακρίνουν τρεις κύριους τύπους μεταφοράς ουσιών μέσω της μεμβράνης. Την **παθητική μεταφορά**, την **ενεργητική μεταφορά** και την **ενδοκύτωση** και **εξωκύτωση**.

Παθητική μεταφορά

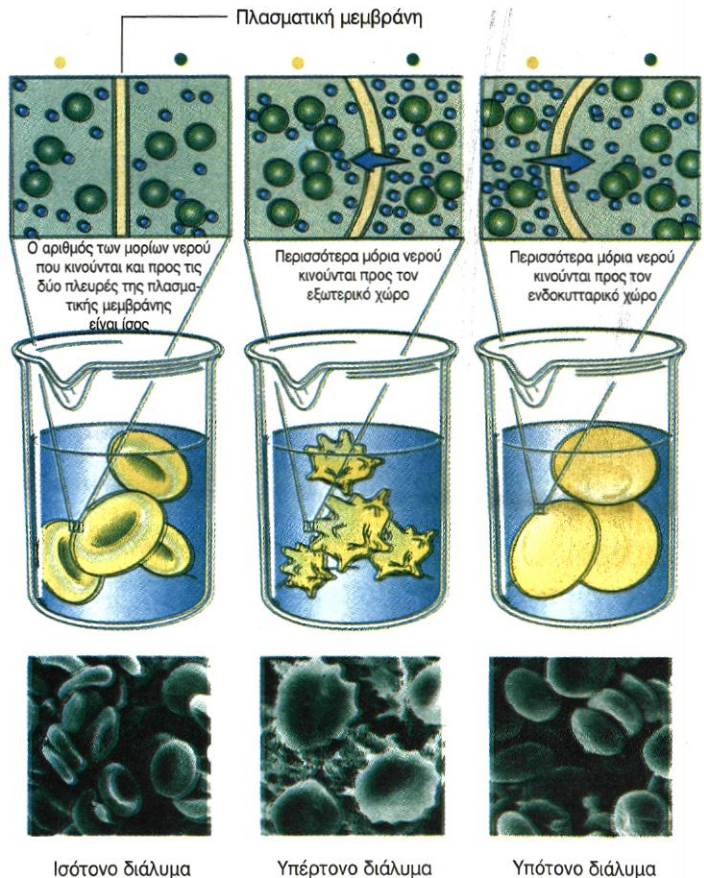
Η παθητική μεταφορά ουσιών δια μέσου της πλασματικής μεμβράνης γίνεται με δύο τρόπους. Με τη διάχυση και την ώσμωση.

Διάχυση: Με τον όρο διάχυση, γενικά, χαρακτηρίζουμε την τάση των μορίων να διασπείρονται από τις περιοχές υψηλής συγκέντρωσης προς τις περιοχές χαμηλής συγκέντρωσης.

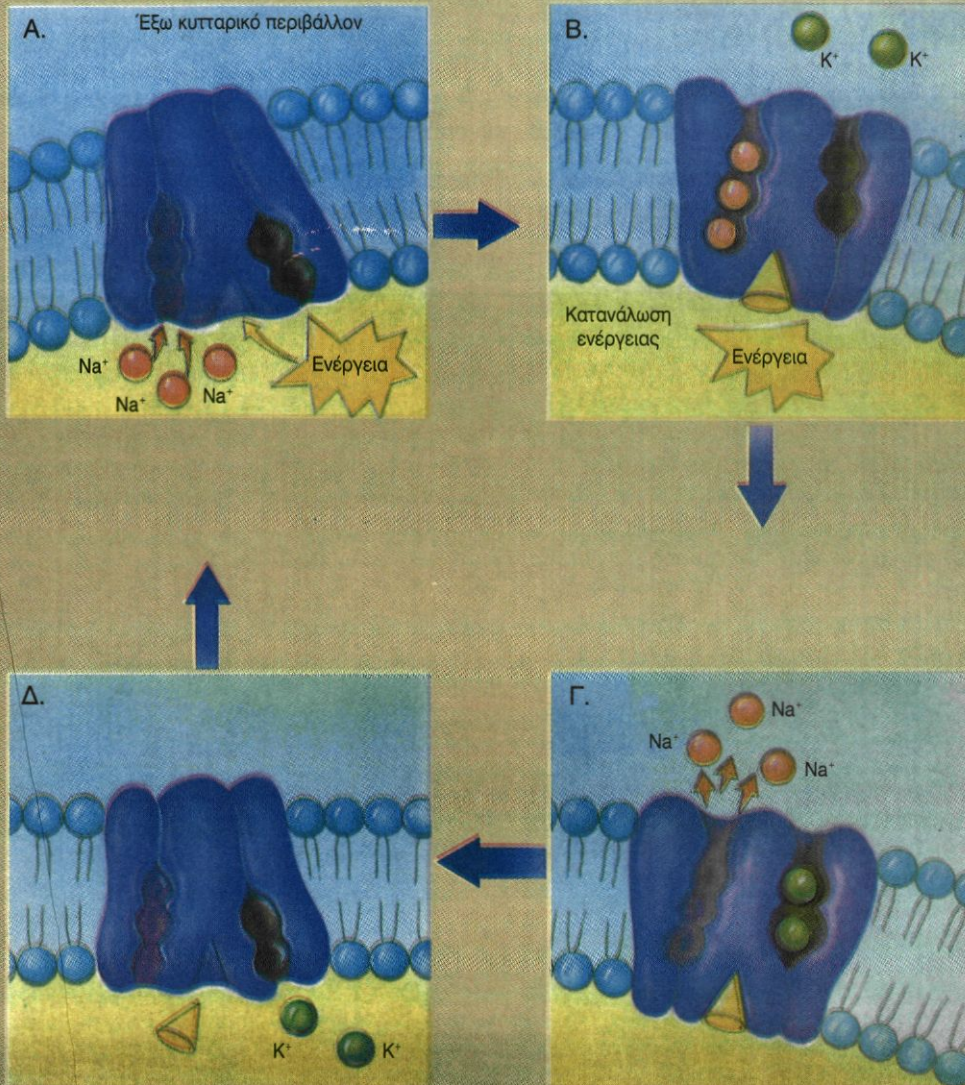
Για παράδειγμα, η συγκέντρωση οξυγόνου στο εξωτερικό του κυττάρου είναι υψηλή σε σχέση με αυτήν στο εσωτερικό του κυττάρου, γιατί εκεί το οξυγόνο καταναλώνεται συμμετέχοντας σε αντιδράσεις του μεταβολισμού. Η διαφορά αυτή στις συγκεντρώσεις οδηγεί τα μόρια του οξυγόνου στο εσωτερικό του κυττάρου. Αντίθετα η υψηλή συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στο εσωτερικό του κυττάρου (παράγεται συνεχώς κατά τις αντιδράσεις του μεταβολισμού) το οδηγεί έξω από αυτό, όπου η συγκέντρωση είναι χαμηλότερη.

Ώσμωση: Είναι μια ειδική περίπτωση διάχυσης μορίων νερού μέσω μιας ημιπερατής μεμβράνης. Είναι ιδιαίτερα σημαντική διαδικασία για τη ζωή και τη λειτουργικότητα του κυττάρου, γιατί η πλασματική μεμβράνη, ενώ επιτρέπει τη διέλευση μορίων νερού, περιορίζει ή εμποδίζει ολοκληρωτικά τη διέλευση ουσιών που έχουν μεγάλο μέγεθος. Έτσι, όταν η ενδοκυτταρική συγκέντρωση μιας ουσίας είναι μεγαλύτερη από την εξωκυτταρική, για να επέλθει ισορροπία, εισέρχεται νερό στο κύτταρο. Στην αντίθετη περίπτωση, όταν η ενδοκυτταρική συγκέντρωση μιας ουσίας είναι μικρότερη από την εξωκυτταρική, εξέρχεται νερό.

- Εξωκυτταρικός χώρος
- Ενδοκυτταρικός χώρος
- Μόρια νερού



Η ώσμωση σε ζωικά κύτταρα (ερυθρά αιμοσφαίρια).



Η αντλία $K^+ - Na^+$ είναι ένας μηχανισμός στον οποίο βασικό ρόλο παίζει μια διαμεμβρανική πρωτεΐνη, η οποία αλλάζει διάταξη στο χώρο στις διαδοχικές φάσεις της λειτουργίας της. Στη **φάση Α** τρία Na^+ συνδέονται με την πρωτεΐνη στην εσωκυτταρική πλευρά της. Στη **φάση Β** η πρωτεΐνη αλλάζει διάταξη στο χώρο με κατανάλωση ενέργειας που προσφέρεται. Στη νέα μορφή της η πρωτεΐνη έχει ανοίξει προς τα έξω και οι περιοχές σύνδεσής της με τα δύο είδη ιόντων έχουν μεταβληθεί. Η περιοχή σύνδεσης με τα Na^+ δεν ταιριάζει πια με αυτά. Αντίθετα, η περιοχή σύνδεσης με τα K^+ διαμορφώνεται έτσι, ώστε να ταιριάζει μαζί τους. Στη **φάση Γ** η πρωτεΐνη έχει συνδεθεί με 2 εσωκυτταρικά K^+ και έχει απελευθερώσει τα $3Na^+$ στο εξωκυττάριο υγρό. Στη **φάση Δ** η πρωτεΐνη επανέρχεται στην αρχική της διάταξη στο χώρο, ελευθερώνει τα K^+ στο εσωτερικό του κυττάρου και είναι πάλι ικανή να συνδεθεί εκ νέου με Na^+ και να επαναλάβει τον παραπάνω κύκλο, χάρη στον οποίο για κάθε $3Na^+$, που εξέρχονται, εισέρχονται $2K^+$.

ΑΣ ΣΚΕΦΤΟΥΜΕ...

Πώς θα σχολιάζατε την πρόταση: «Η κυτταρική μεμβράνη είναι μια δυναμική παρά μια στατική δομή».

Η πλασματική μεμβράνη ως δέκτης μηνυμάτων

Τα κύτταρα δε μπορούν να ζουν απομονωμένα από το περιβάλλον τους ούτε όμως και να το αντιμετωπίζουν απλώς ως το χώρο από τον οποίο θα αποσπάσουν χρήσιμες ουσίες ή θα αποβάλουν τα άχρηστα προϊόντα του μεταβολισμού τους. Αντίθετα ανάμεσα στα κύτταρα και στο περιβάλλον τους (άλλα κύτταρα ή μεσοκυττάριο υγρό) αναπτύσσεται μια διαρκής ανταλλαγή μηνυμάτων, χάρη στην οποία μπορούν:

- α. Να αναγνωρίζονται μεταξύ τους. Αν αναγνωρίζονται ως κύτταρα ίδιου τύπου, συνδέονται και συνιστούν ιστούς. Αν αναγνωρίζονται ως ξένα, στο επίπεδο του οργανισμού, κινητοποιούνται μηχανισμοί απόρριψης ή εξόντωσης του ξένου κυττάρου.
- β. Να συντονίζουν τη δράση τους. Με τον τρόπο αυτό ο ιστός ή το όργανο στο οποίο ανήκουν εμφανίζει ενιαία λειτουργία.
- γ. Να τροποποιούν τη λειτουργία τους. Με τον τρόπο αυτό εξυπηρετούνται σε κάθε περίπτωση οι ανάγκες του οργανισμού παρά τις όποιες μεταβολές του περιβάλλοντος.

Ας δούμε όμως πώς αναγνωρίζονται τα κύτταρα μεταξύ τους, τι είδους μηνύματα είναι αυτά που φτάνουν στα κύτταρα και πώς γίνονται αντιληπτά.

Έχει ήδη αναφερθεί ότι πολλές από τις πρωτεΐνες και τα λιπίδια της πλασματικής μεμβράνης συνδέονται με σάκχαρα και συνθέτουν αντίστοιχα γλυκοπρωτεΐνες και γλυκολιπίδια. Είναι ενδιαφέρον ότι το είδος των σακχάρων, που βρίσκονται συνδεδεμένα με πρωτεΐνες στην πλασματική μεμβράνη των κυττάρων, διαφέρει ανάμεσα στους οργανισμούς διαφορετικού είδους αλλά και στα κύτταρα του ίδιου οργανισμού, που ανήκουν όμως σε διαφορετικούς ιστούς.

Η ποικιλία αυτών των μορίων είναι μεγάλη και ο ρόλος τους στη ζωή του κυττάρου σημαντικός. Μπορούν, για παράδειγμα, να αναγνωρίζουν αντίστοιχα μόρια στην επιφάνεια άλλων κυττάρων. Η αναγνώριση αυτή μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία ιστών. Σε ότι αφορά τώρα τα μηνύματα που ανταλλάσσονται μεταξύ των κυττάρων, στην πραγματικότητα είναι χημικές ουσίες (π.χ. ορμόνες) οι οποίες εκκρίνονται από ένα όργανο του οργανισμού ή καλύτερα από μια ομάδα κυττάρων, και στοχεύουν στο να ενεργοποιήσουν την λειτουργία ενός άλλου οργάνου, ή μιας άλλης ομάδας κυττάρων. Συνήθως, τα κύτταρα - στόχοι βρίσκονται σε άλλη περιοχή του οργανισμού.

Η μεταφορά των ουσιών - μηνυμάτων σε ένα πολυκύτταρο οργανισμό όπως ο άνθρωπος, δεν μπορεί να γίνει παρά μόνο μέσω του κυκλοφοριακού συστήματος. Αυτό σημαίνει ότι φτάνουν σε όλα τα σημεία του οργανισμού. Θα μπορούσαν να δράσουν σε όλα τα κύτταρα. Δεν γίνεται όμως έτσι. Για να δράσουν σε ένα κύτταρο, να επηρεάσουν δηλαδή τη λειτουργία του, θα πρέπει να εισέλθουν στο εσωτερικό του. Για να γίνει αυτό πρέπει η ουσία - μήνυμα να προσδεθεί στον κατάλληλο υποδοχέα του κυττάρου - δέκτη (π.χ. μια συγκεκριμένη γλυκοπρωτεΐνη). Αυτό βέβαια προϋποθέτει χημική συγγένεια ανάμεσα στα δύο αυτά μόρια. Αν η συγκεκριμένη γλυκοπρωτεΐνη δεν υπάρχει στην επιφάνεια κάποιου κυττάρου, τότε δεν μπορεί να εισέλθει σ' αυτό. Έτσι, ορισμένα μόνο κύτταρα είναι αυτά που τελικά δέχονται το μήνυμα και ενεργοποιούνται για τη ζητούμενη λειτουργία.

Με τον τρόπο αυτό τα κύτταρα δέχονται και ερμηνεύουν ένα πλήθος διαφορετικών μηνυμάτων, που επηρεάζουν τη λειτουργία τους, χωρίς να χρειάζεται οι ουσίες - μηνύματα να διαπερνούν την πλασματική μεμβράνη τους.

ΑΣ ΣΚΕΦΤΟΥΜΕ...

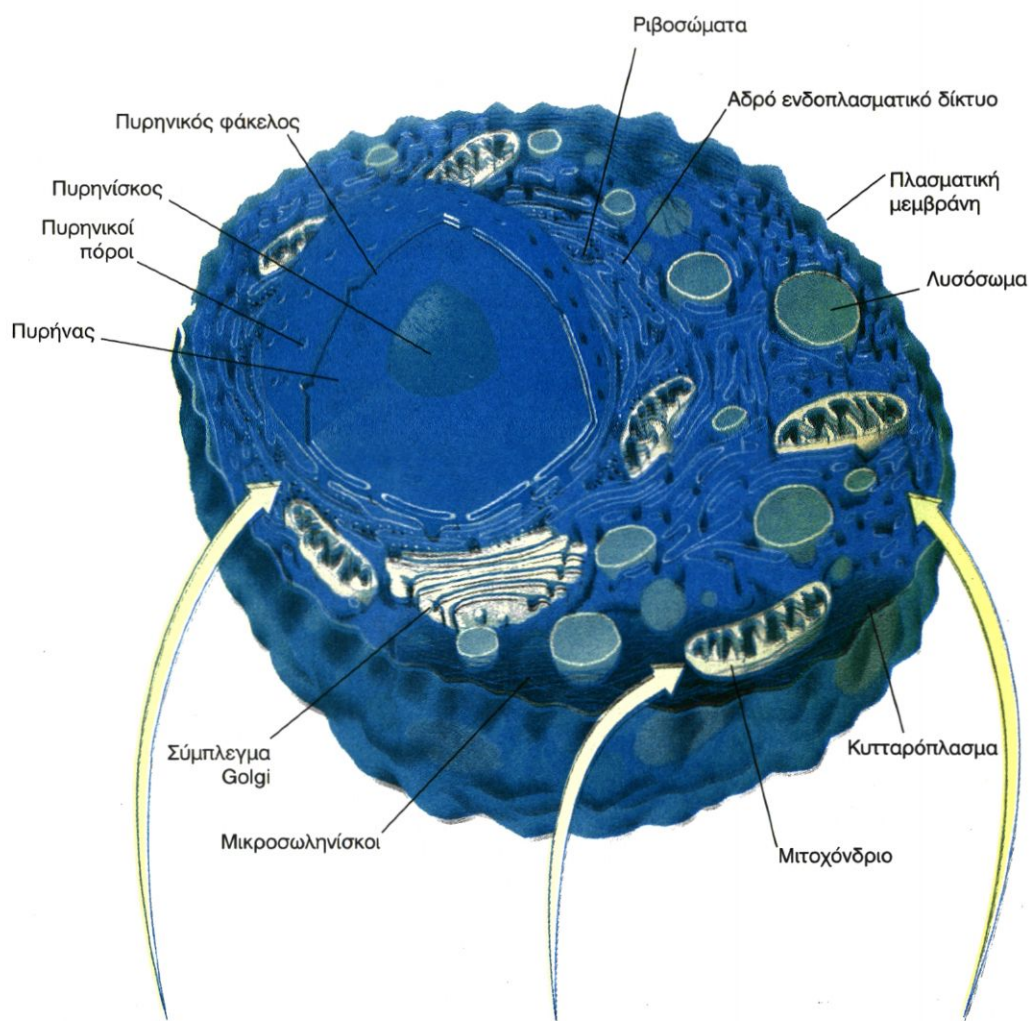
Σε πολλά είδη, συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπου, τα σπερματοζωάρια έχουν επιφανειακές πρωτεΐνες, οι οποίες συνδέονται σε ειδικούς υποδοχείς της επιφάνειας του ωαρίου. Πώς αυτή η πληροφορία θα μπορούσε να αξιοποιηθεί, για να αναπτυχθούν δύο διαφορετικές μέθοδοι αντισύλληψης;

2.3

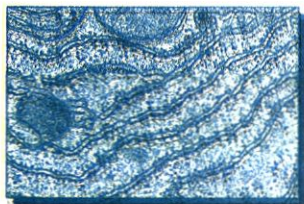
ΜΙΑ ΠΕΡΙΗΓΗΣΗ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΟΥ ΚΥΤΤΑΡΟΥ

Αν παρατηρήσουμε ένα ευκαρυωτικό κύτταρο στο οπτικό μικροσκόπιο, δε θα δούμε τίποτε περισσότερο από μια οριοθετημένη ομογενή μάζα, μέσα στην ο-

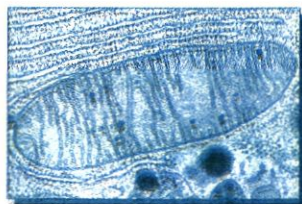
ποία συνήθως διακρίνεται ο πυρήνας. Κάτι τέτοιο περίπου έβλεπαν και οι πρωτοπόροι της βιολογικής έρευνας με τα ατελή μικροσκόπια της εποχής τους. Αυτό τους έκανε να πιστεύουν ότι η ημίρρευση μάζα του κυττάρου είναι η βασική ουσία της έμβιας ύλης, η ουσία δηλαδή από την οποία απορρέουν όλες οι ζωτικές λειτουργίες. Γι' αυτό άλλωστε την ονόμασαν **πρωτόπλασμα**.



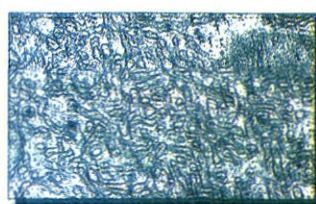
Αδρό ενδοπλασματικό δίκτυο



Μιτοχόνδριο



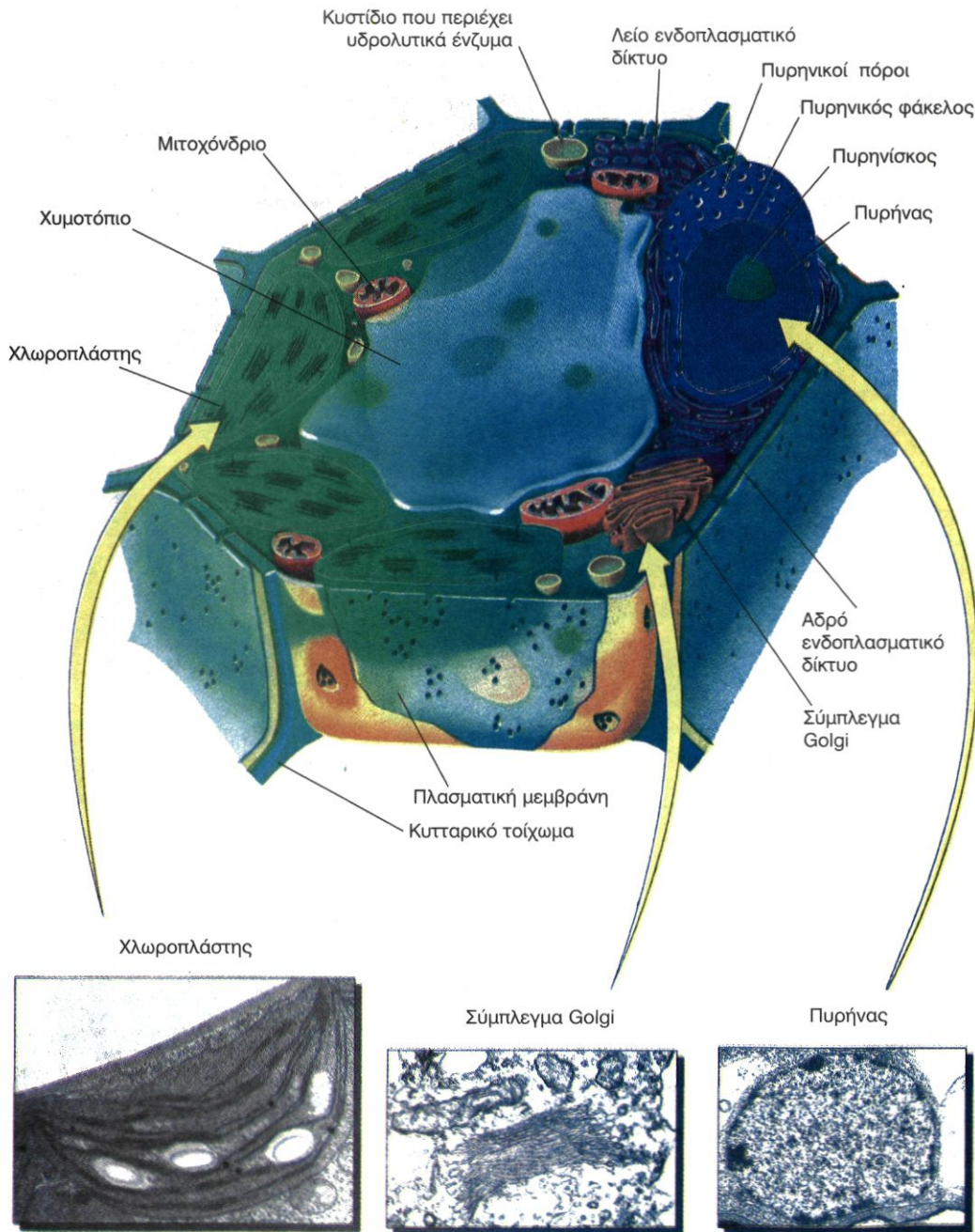
Λείο ενδοπλασματικό δίκτυο



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 ανα-

λάβει 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.



Τυπικό φυτικό κύτταρο.

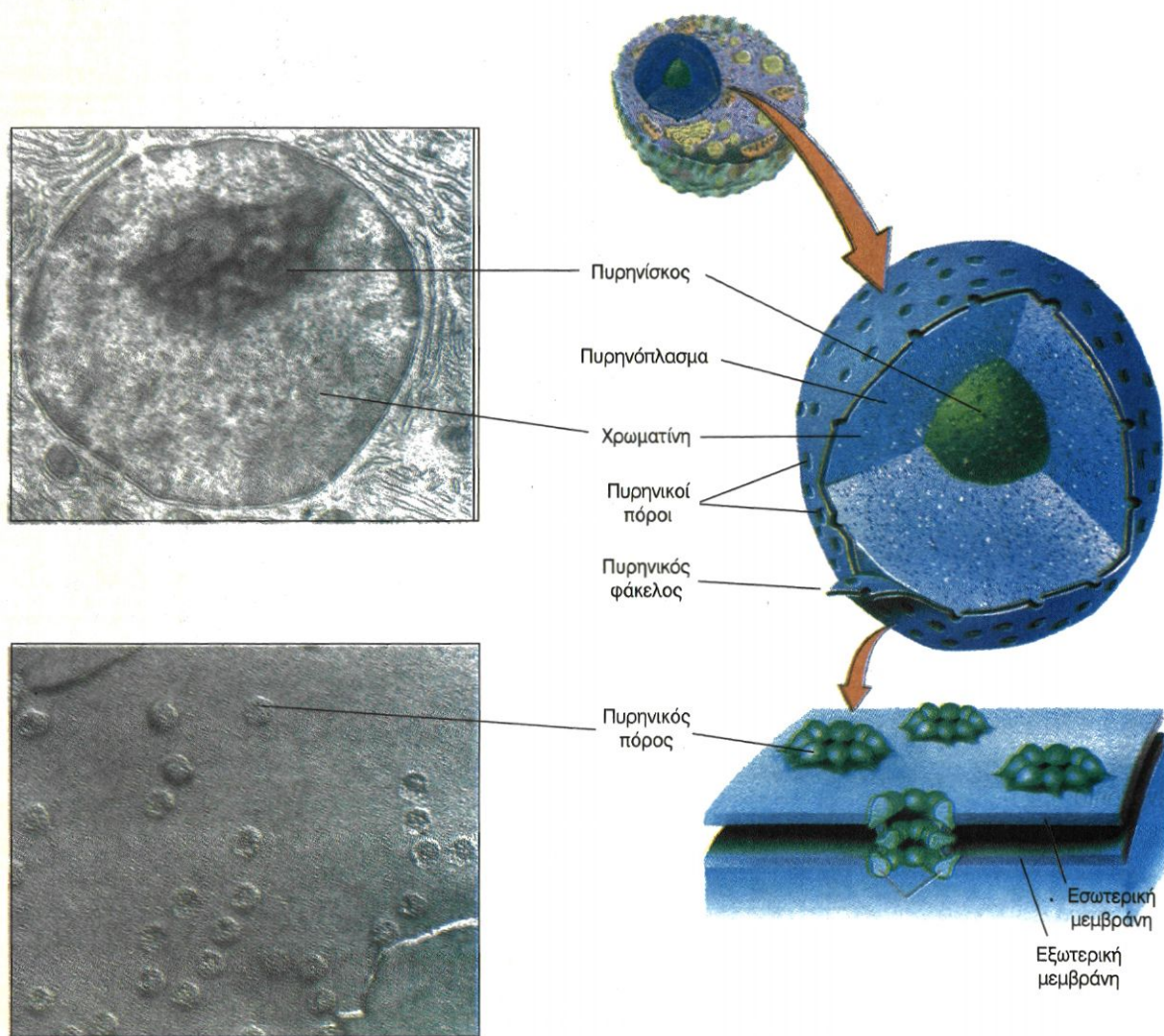
Πυρήνας

Ο πυρήνας είναι το πιο ευδιάκριτο οργανίδιο των ευκαρυωτικών κυττάρων. Κατά κανόνα υπάρχει ένας πυρήνας σε κάθε κύτταρο. Υπάρχουν ωστόσο και κύτταρα με δύο πυρήνες, όπως το κύτταρο του πρωτόζωου Παραμέτσιουμ (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



Ο πυρήνας περιβάλλεται από διπλή μεμβράνη η οποία ονομάζεται πυρηνική μεμβράνη ή πυρηνικός φάκελος. Στην επιφάνειά της διακρίνονται οι πυρηνικοί πόροι (Σχηματική απεικόνιση και φωτογραφία από μικροσκόπιο).

διάφορες χημικές ενώσεις (νουκλεοτίδια, ένζυμα, πρωτεΐνες κ.ά.).

Ο **πυρήνισκος** 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 καταγραμμένες 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.

Λεπτομέρειες για τις διαδικασίες αυτές θα γνωρίσουμε σε επόμενο κεφάλαιο.

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, υπεροξειδισώματα 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 πυρήνικό 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 κυτταρο-

πλάσματος και, ίσως, μεταξύ του πυρήνα και του εξωκυτταρικού περιβάλλοντος.

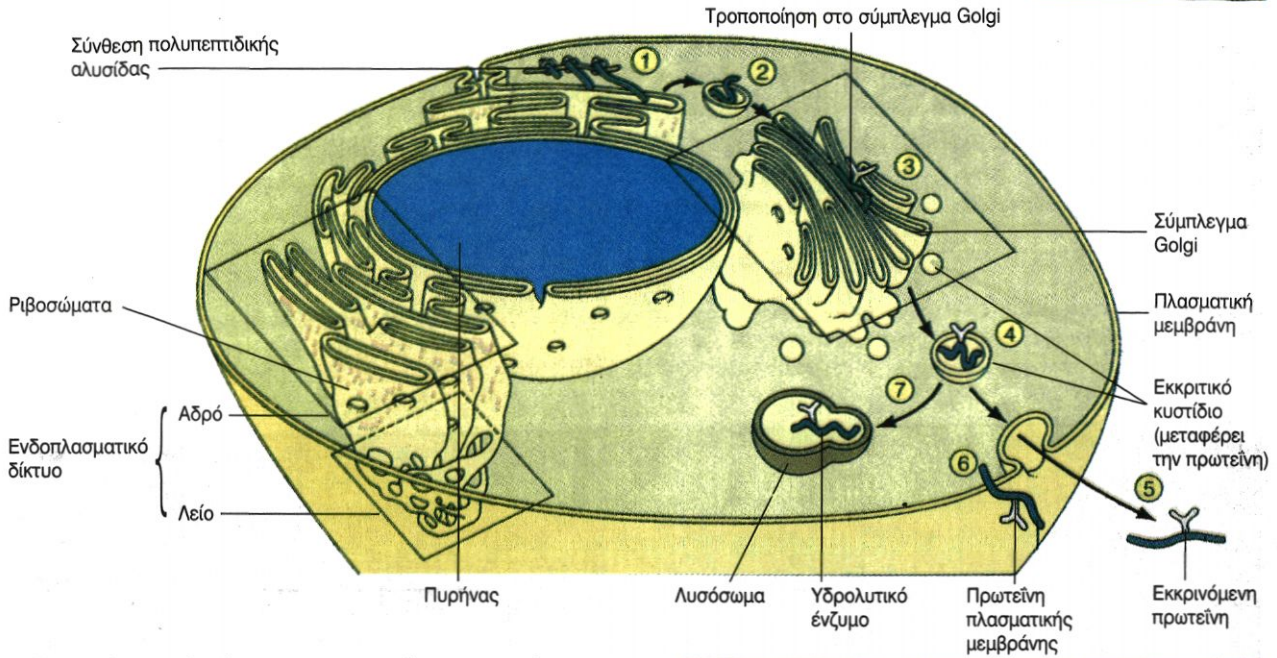
Οι μεμβράνες του παρέχουν επιφάνειες στις οποίες εδράζονται ένζυμα. Σε διαφορετικές περιοχές εδράζονται ένζυμα που εξυπηρετούν διαφορετικές αντιδράσεις του μεταβολισμού.

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.

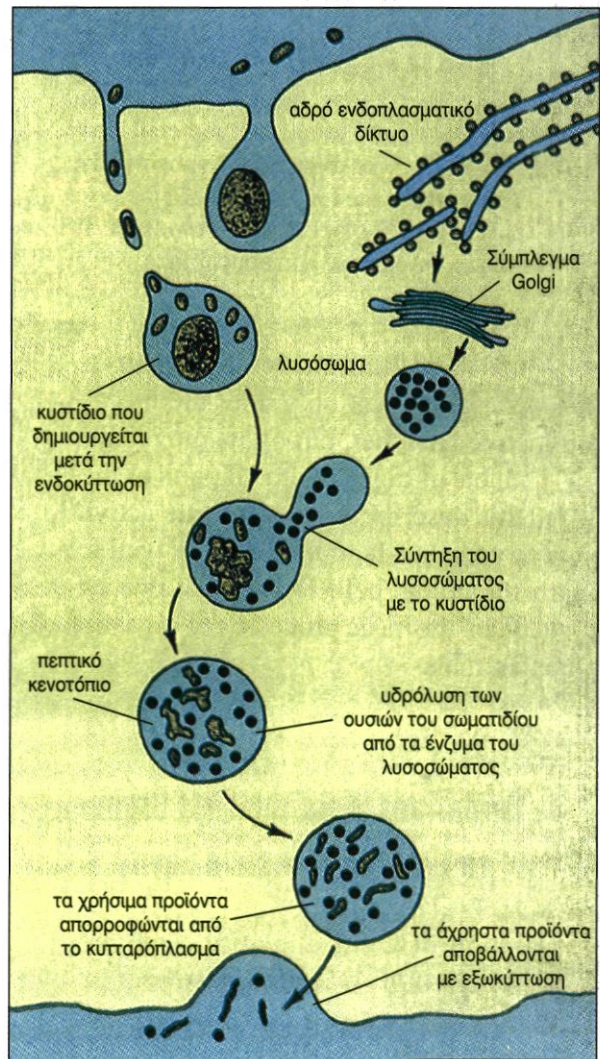
Η μεταφορά των πρωτεϊνών από το ενδοπλασματικό δίκτυο προς το σύμπλεγμα Golgi γίνεται είτε μέσω της φυσικής σύνδεσης των μεμβρανών των δύο οργανιδίων είτε με τη βοήθεια κυστιδίων. Στη δεύτερη περίπτωση, που είναι και η συνηθέστερη, οι πρωτεΐνες που έχουν παραχθεί στα ριβοσώματα του αδρού ενδοπλασματικού 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 εξωκύτωσης. Τα υπόλοιπα μεταφέρουν τις πρωτεΐνες που περιέχουν εκεί όπου τις χρειάζεται το κύτταρο.



Ενδομεμβρανικό σύστημα του κυττάρου (πορεία παραγωγής και διάθεσης των πρωτεϊνών).

• **Λυσοσώματα:** Τα λυσοσώματα είναι σφαιρικά οργανίδια που περιβάλλονται από απλή στοιχειώδη μεμβράνη. Περιέχουν υδρολυτικά ένζυμα που βοηθούν στην πέψη μεγαλομοριακών ουσιών ενδοκυτταρικής ή εξοκυτταρικής 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.

• **Υπεροξειδισώματα:** Είναι μικρά σφαιρικά κυστίδια που περιβάλλονται από απλή στοιχειώδη μεμβράνη και περιέχουν οξειδωτικά ένζυμα που βοηθούν διάφορες μεταβολικές διεργασίες. Ειδικά στα υπεροξειδισώματα των ηπατικών και νεφρικών κυττάρων γίνεται και η μετατροπή του οιοπνεύματος σε ακεταλδεΐδη. Εξασφαλίζεται έτσι η αποτοξίνωση του οργανισμού μας από το οινόπνευμα που καταναλώνουμε. Μια άλλη πολύ σημαντική προσφορά των υπεροξειδισωμάτων 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.

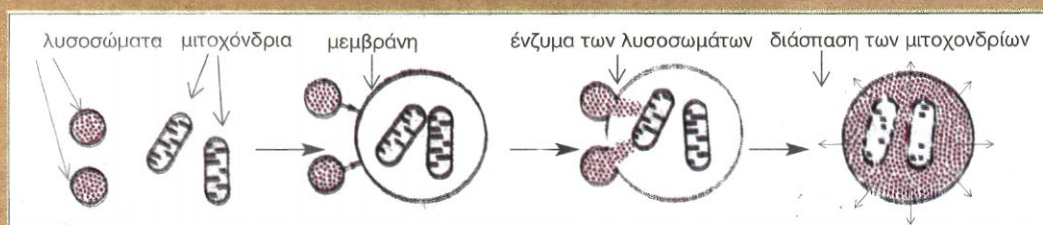


Ο ρόλος των λυσοσωμάτων στην ενδοκυτταρική πέψη.

Η... ΑΛΛΗ ΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΛΥΣΟΣΩΜΑΤΩΝ

Η δράση των λυσοσωμάτων εκδηλώνεται στη **φαγοκυττάρωση**, στην **αυτοφαγία** και στην **αυτόλυση**. Η φαγοκυττάρωση έχει ήδη αναφερθεί. Με την αυτοφαγία τα κύτταρα καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες τους, όταν βρίσκονται σε συνθήκες αστίας. 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. Η αυτόλυση είναι η προγραμματισμένη «αυτοκτονία» των κυττάρων. Για παράδειγμα, κατά τη μετατροπή του γυρίνου σε βάτραχο η ουρά αποκόπτεται, με καταστροφή των κυττάρων της, λόγω αυτόλυσης.

Λύση μιτοχονδρίου με τη βοήθεια των λυσοσωμάτων.



- **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 κενοτοπιών. Παράδειγμα αποτελούν τα **πεπτικά κενοτόπια**, που δημιουργούνται κατά την ενδοκύτωση 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

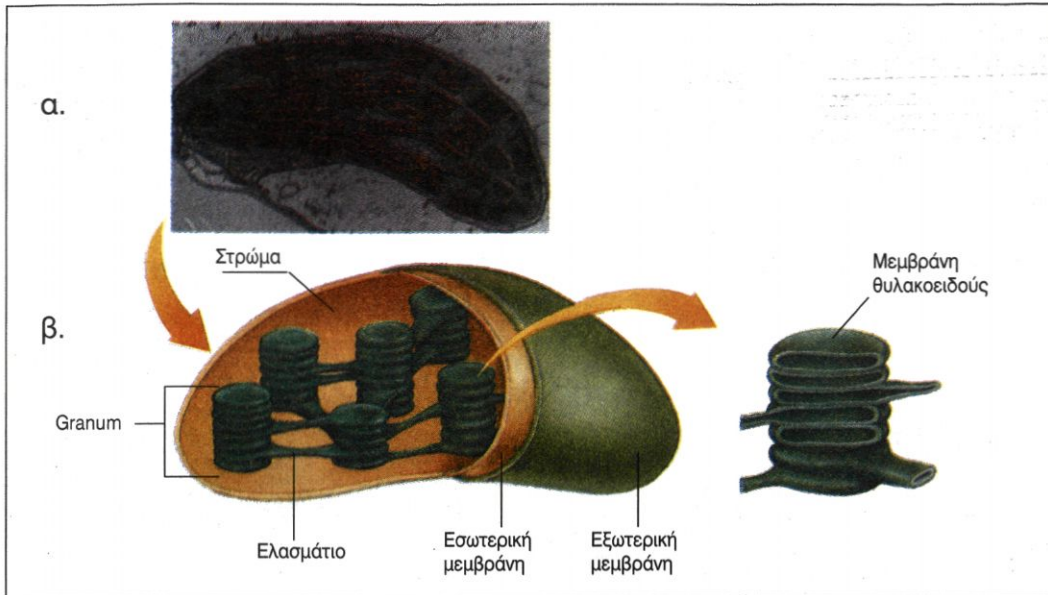
Τα κύτταρα χρειάζονται ενέργεια, για να διατηρήσουν τη δομή και τη λειτουργικότητά τους. Την ενέργεια αυτή την αντλούν συνεχώς από το περιβάλλον τους. Δεν αρκεί όμως μόνο η εισαγωγή ενέργειας στα κύτταρα. Χρειάζεται και η μετατροπή της σε μορφή τέτοια, που να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τα κύτταρα για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



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

ζών των φυτών και αποτελούν αποθήκες αμύλου, καθώς επίσης οι **χρωμοπλάστες**, που περιέχουν χρωστικές και βρίσκονται στα άνθη, στα φύλλα και στους καρπούς.

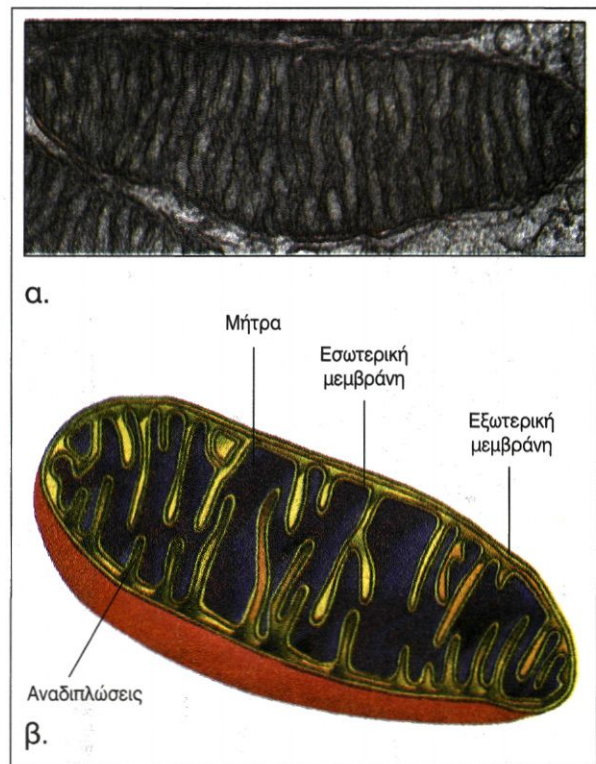
• **Μιτοχόνδρια:** Τα μιτοχόνδρια υπάρχουν σε όλα τα ευκαρυωτικά κύτταρα (φωτοσυνθετικά και μη), με εξαίρεση τα ώριμα ερυθρά αιμοσφαίρια. Είναι τα οργανίδια στα οποία γίνεται μετατροπή της ενέργειας σε μορφή που να μπορεί να αξιοποιηθεί για τις διάφορες λειτουργίες του κυττάρου.

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 σχε-

τική 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

ΑΣ ΣΚΕΦΤΟΥΜΕ...

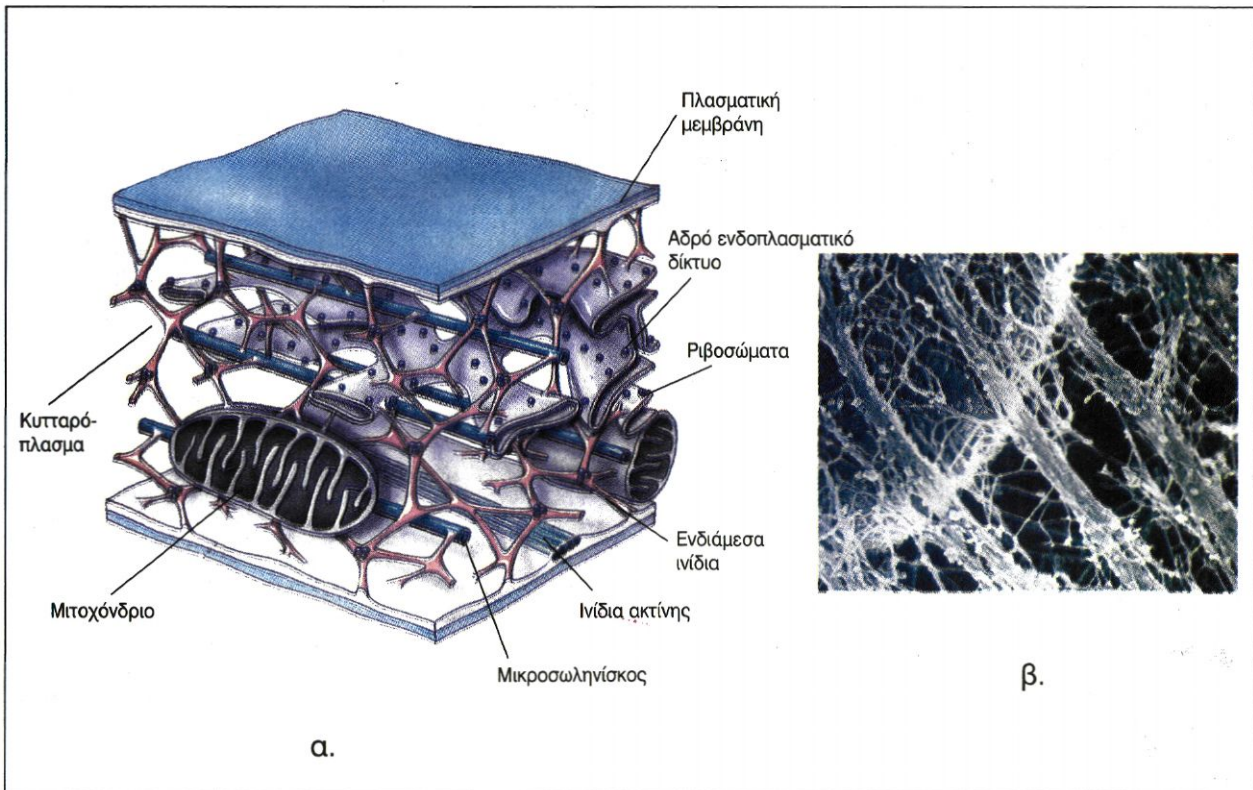
Γιατί ένα μυϊκό κύτταρο περιέχει πολλά μιτοχόνδρια, ενώ ένα λευκό αιμοσφαίριο πολλά λυσοσώματα;

Η σχετική γενετική αυτοδυναμία που διαθέτουν τα μιτοχόνδρια και οι χλωροπλάστες οδήγησε στην υπόθεση ότι πρόκειται για προκαρυωτικούς οργανισμούς, οι οποίοι σε ένα από τα πρώιμα στάδια της εξέλιξης εισέδυσαν στο ευκαρυωτικό κύτταρο και έκτοτε συμβιώνουν με αυτό.

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 κίνησή 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

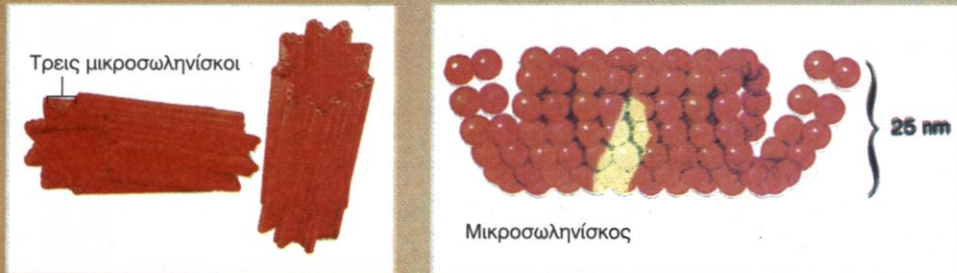
διάφορους πολυσακχαρίτες. Ο κυριότερος από αυτούς είναι η **κυτταρίνη**.

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.

ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΚΥΤΤΑΡΙΚΟΥ ΣΚΕΛΕΤΟΥ

Μικροσωληνίσκοι: Υπάρχουν σε όλα τα είδη των ευκαρυωτικών κυττάρων και εμφανίζονται με τη μορφή κοίλων κυλίνδρων. Το τοίχωμά 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 ατράκτος 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

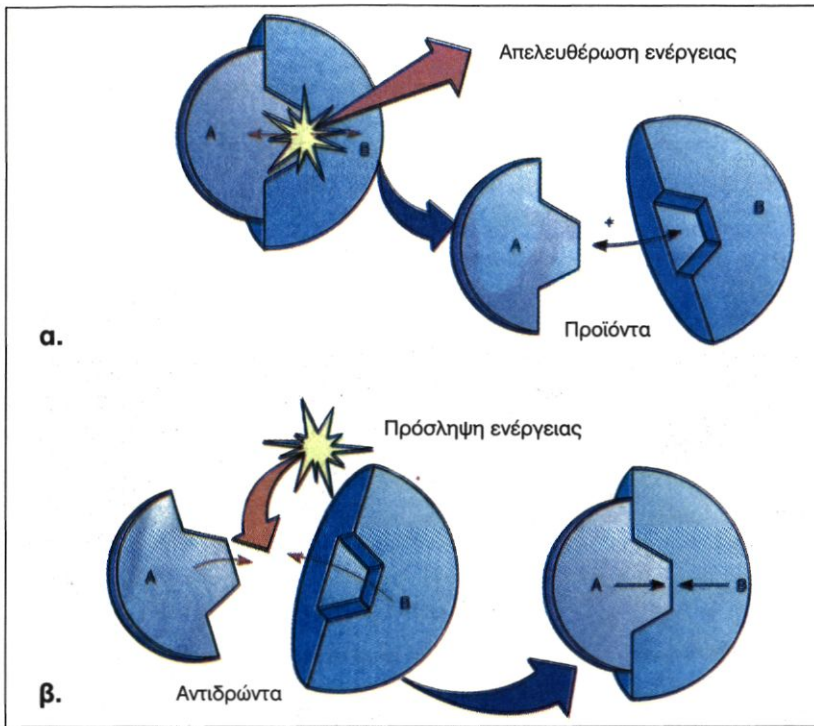


Κεντροσωμάτιο.

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.

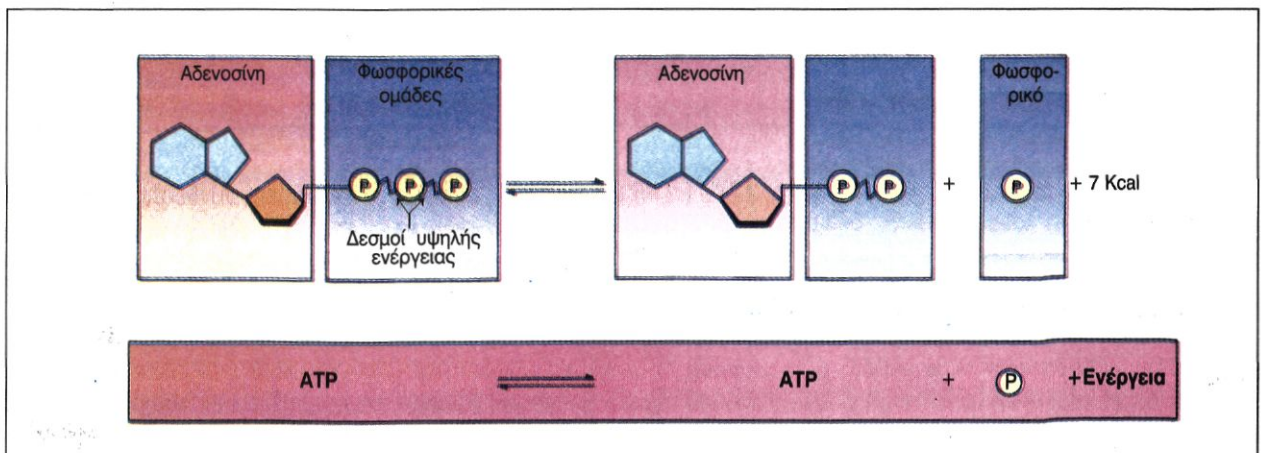


Τύποι χημικών αντιδράσεων:
(α) Εξώθερμη αντίδραση,
(β) Ενδόθερμη αντίδραση.

Σε όλα τα κύτταρα για τη μεταφορά της χημικής ενέργειας από τις εξώθερμες αντιδράσεις στις ενδόθερμες χρησιμοποιείται κυρίως το μόριο **τριφωσφορική αδενοσίνη (ATP)**. Το ATP είναι ένα τριφωσφορικό νουκλεοτίδιο. Οι τρεις φωσφορικές ομάδες (P) βρίσκονται σε σειρά και οι χημικοί δεσμοί που ενώνουν τις δύο τελευταίες περικλείουν μεγάλο ποσό ενέργειας γι' αυτό και χαρακτηρίζονται ως **δεσμοί υψηλής ενέργειας**. Θα μπορούσαμε να παραλληλίσουμε τις δύο τελευταίες φωσφορικές ομάδες με βαγόνια μιας ατμομηχανής, που μπορούν να συνδεθούν ή να αποσυνδεθούν. Μάλιστα, στην περίπτωση μας, αυτό μπορεί να συμβεί εύκολα, γιατί οι δεσμοί υψηλής ενέργειας

ας είναι ασταθείς και εύκολα διασπώνται με υδρόλυση.

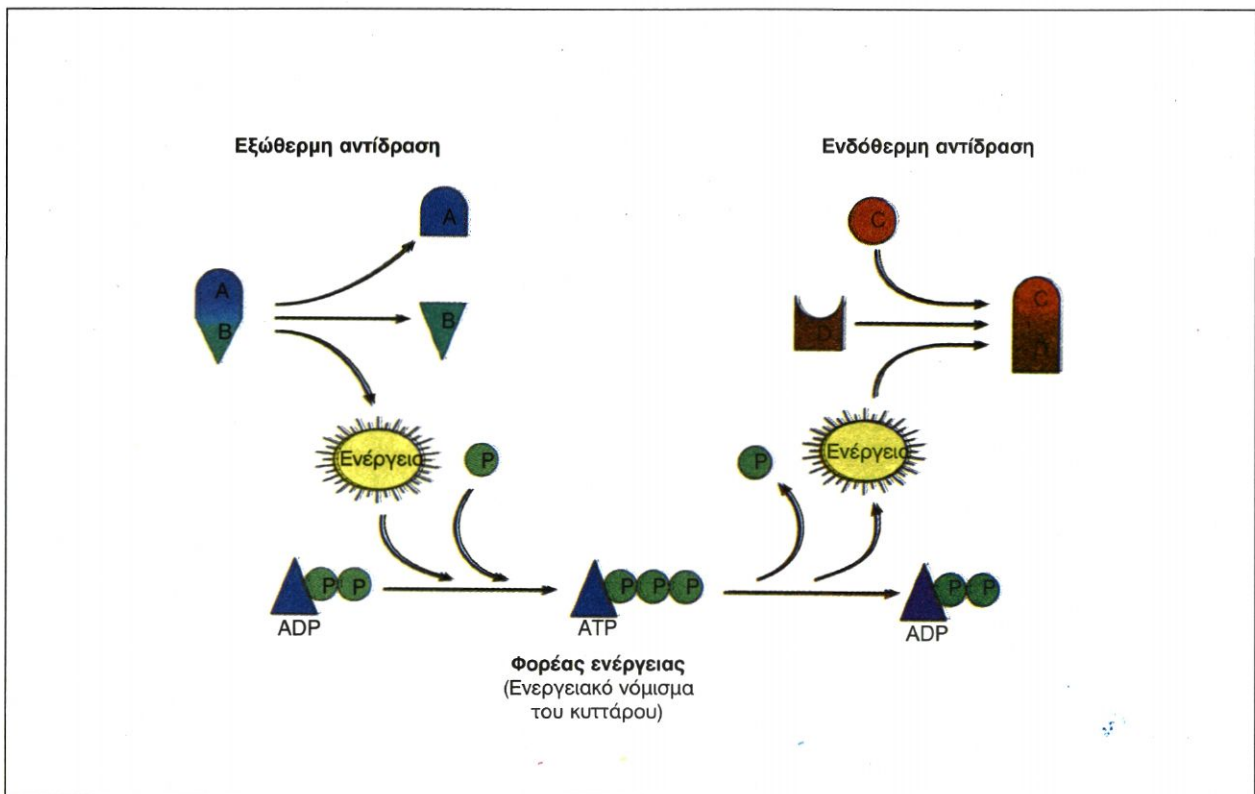
Το ATP παραλαμβάνει και μεταφέρει ενέργεια σε οποιοδήποτε μέρος του κυττάρου, και την αποδίδει γρήγορα με μία και μόνο χημική αντίδραση. Σ' αυτό βοηθά η δομή του, η δυνατότητα σχηματισμού του από **ADP (διφωσφορική αδενοσίνη)**, ένα φωσφορικό οξύ και ενέργεια, και το γεγονός ότι η αντίδραση αυτή είναι αμφίδρομη. Επειδή το ATP μεσολαβεί στις συναλλαγές μεταξύ των κυτταρικών διεργασιών που αποδίδουν και αυτών που καταναλώνουν ενέργεια, χαρακτηρίζεται ως **ενεργειακό νόμισμα**.



Διάσπαση και επανασύνθεση του ATP.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι το ATP, ως ο κύριος, άμεσος δότης ενέργειας για τα κύτταρα (στοιχειώδης μονάδα ενέργειας), θα πρέπει συνεχώς να αναγεννάται από ADP και φωσφορικό οξύ. Τα κύτταρα δηλαδή χρησιμοποιούν το ATP σαν ένα είδος επαναφορτιζόμενης μπαταρίας. Όταν η ενέργεια των «κυτταρικών μπαταριών - ATP» εξαντληθεί, οι «αποφορτισμένες μπαταρίες - ADP» επαναφορτίζονται. Γενικά στη φύση αυτό γίνεται με δύο τρόπους: είτε με δεσμευση φωτεινής ενέργειας και μετατροπή της σε χημική κατά τη φωτοσύνθεση είτε με ενέργεια που προέρχεται από αντιδράσεις διάσπασης οργανικών ουσιών, όπως η οξειδωση της γλυκόζης. Τις δύο αυτές

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



Μεταφορά ενέργειας από μια εξώθερμη αντίδραση σε μια ενδόθερμη μέσω του ATP.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το σύνολο των χημικών αντιδράσεων που γίνονται στα κύτταρα των οργανισμών συνιστούν το μεταβολισμό, που διακρίνεται στον καταβολισμό και στον αναβολισμό.

Η μεταφορά ενέργειας μέσα στα κύτταρα γίνεται με τη σύζευξη των εξώθερμων με τις ενδόθερμες αντι-

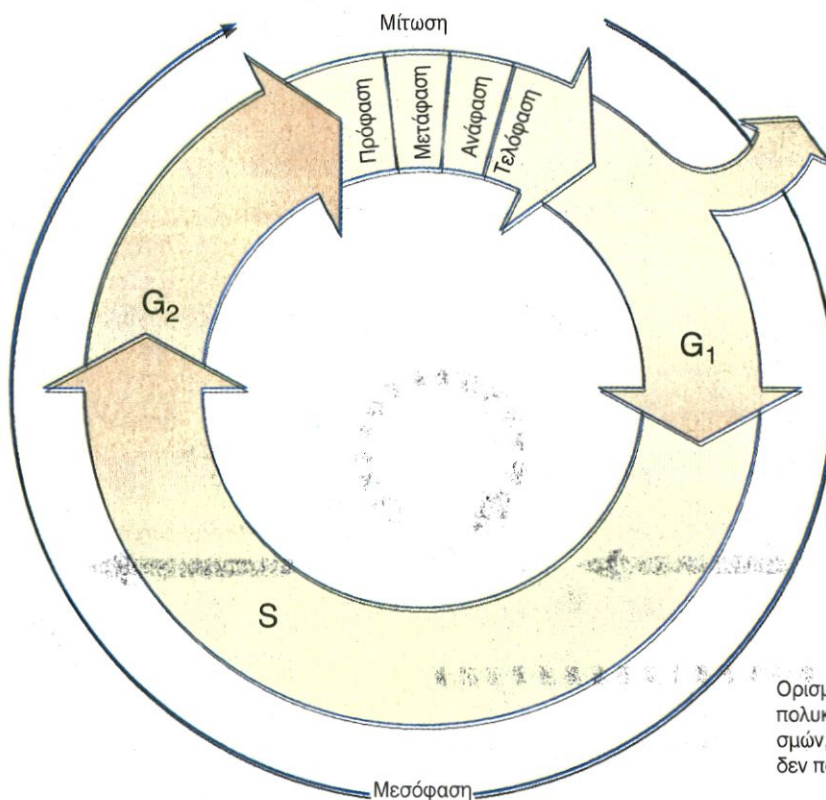
δράσεις. Σε όλα τα κύτταρα για τη μεταφορά της χημικής ενέργειας από τις εξώθερμες στις ενδόθερμες αντιδράσεις χρησιμοποιείται κυρίως το μόριο ATP. Η ενέργεια που δεσμεύεται σ' αυτό το μόριο αποδίδεται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των διάφορων κυτταρικών λειτουργιών. Για το σχηματισμό του ATP χρησιμοποιείται ενέργεια που προέρχεται από την κυτταρική αναπνοή και τη φωτοσύνθεση.

4.1

ΚΥΚΛΟΣ ΖΩΗΣ ΤΟΥ ΚΥΤΤΑΡΟΥ

Το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από τη δημιουργία ενός κυττάρου ως τότε που και το ίδιο θα παράγει τους απογόνους του, ονομάζεται **κυτταρικός κύκλος**, ή **κύκλος ζωής του κυττάρου**. Τον κύκλο αυτό, αν και αποτελεί μια συνεχή διαδοχή γεγονότων, τον χωρίζουμε σε δύο φάσεις, στη **μεσόφαση** και στη **μιτωτική διαίρεση** ή **μίτωση**, προκειμένου να τον περιγράψουμε και να τον μελετήσουμε καλύτερα.

Η **μεσόφαση** παρεμβάλλεται σε δύο διαδοχικές μιτωτικές διαιρέσεις και αντιπροσωπεύει το 90% έως 95% της διάρκειας του κυτταρικού κύκλου. Τα κύτταρα κατά τη διάρκειά της φαίνεται να «αδρανούν», γιατί δεν παρατηρούνται έντονα κινητικά φαινόμενα στο χώρο του πυρήνα. Στην πραγματικότητα όμως αποτελεί αφ' ενός περίοδο αύξησης του όγκου του κυττάρου και αφ' ετέρου περίοδο προετοιμασίας του κυττάρου για την επικείμενη διαίρεσή του. Αυτό σημαίνει έντονες μεταβολικές διαδικασίες (διπλασιασμό του DNA, σύνθεση mRNA, tRNA, πρωτεϊνών κτλ.).



Ορισμένα είδη κυττάρων πολυκύτταρων οργανισμών, π.χ. τα νευρικά, δεν πολλαπλασιάζονται.

Η μεσόφαση υποδιαιρείται στα στάδια G₁, S και G₂. Στο στάδιο G₁, που είναι το μεγαλύτερο σε διάρκεια, γίνεται η βιοσύνθεση mRNA, tRNA, ριβοσωμάτων και πρωτεϊνών (δομικών και λειτουργικών).

Παράλληλα, εξίσου έντονη είναι και η αναπνοή του κυττάρου, ώστε να καλύψει τις αυξημένες ενεργειακές ανάγκες αυτής της περιόδου.

Στο στάδιο S, που είναι το μικρότερο σε διάρκεια, γίνεται ο αυτοδιπλασιασμός του γενετικού υλικού. Στο τέλος αυτού του σταδίου το κύτταρο έχει διπλασιάσει την ποσότητα του γενετικού του υλικού, ενώ τα δύο αντίγραφα που έχουν παραχθεί φέρουν ταυτόσημες γενετικές πληροφορίες.

Το στάδιο G₂ είναι μια μεταβατική περίοδος πριν από την έναρξη της μιτωτικής διαίρεσης. Στη διάρκεια της τα μιτοχόνδρια, οι χλωροπλάστες και το κεντροσωμάτιο (στα ζωικά κύτταρα) διαιρούνται. Τα χρωμοσώματα δεν μπορούν ακόμη να γίνουν ορατά ως μεμονωμένες δομές, γιατί η χρωματίνη που τα συνιστά δεν έχει ακόμη συμπυκνωθεί στο μέγιστο βαθμό.

4.2

ΜΟΡΙΑΚΗ ΓΕΝΕΤΙΚΗ

Το κεντρικό δόγμα της Βιολογίας

Κάθε κύτταρο, και κατ' επέκταση κάθε οργανισμός, κατασκευάζει τις δομές του και πραγματοποιεί τις λειτουργίες του σύμφωνα με μια σειρά πληροφοριών, που έχει κληρονομήσει από τους προγόνους του.

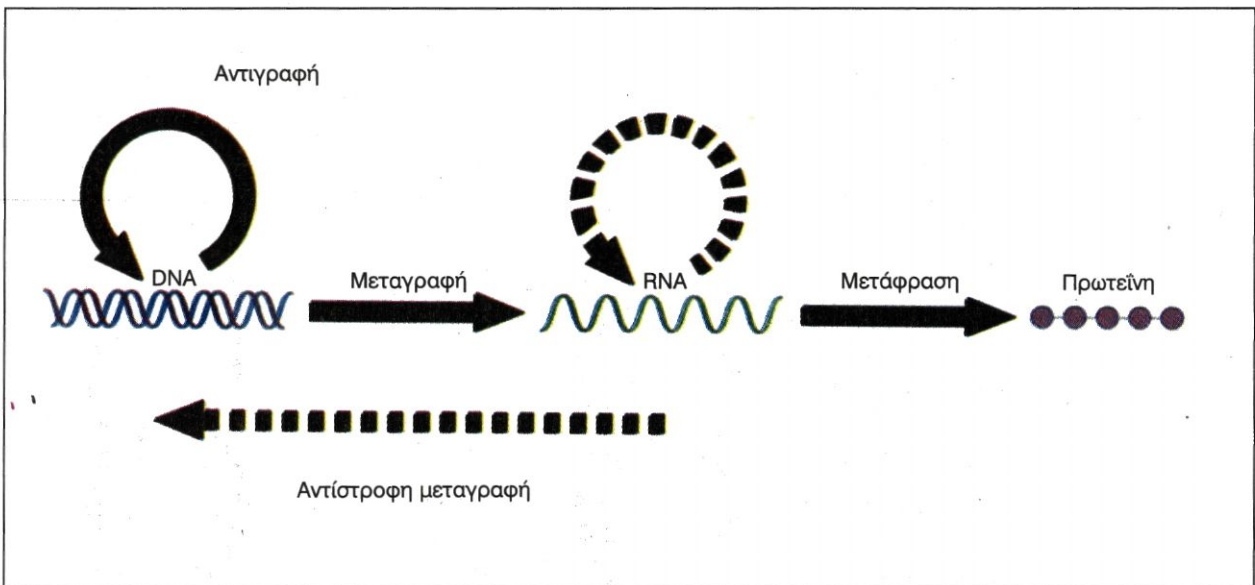
Οι πληροφορίες αυτές είναι καταγεγραμμένες στην αλληλουχία των αζωτούχων βάσεων του DNA, του μορίου δηλαδή που αποτελεί το γενετικό υλικό των κυττάρων.

Η λειτουργία του DNA ως γενετικού υλικού είναι δυνατή, γιατί το μόριο αυτό έχει τις παρακάτω ιδιότητες:

- α. Παράγει ακριβή αντίγραφά του, έτσι ώστε η γενετική πληροφορία μεταβιβάζεται αναλλοίωτη από κύτταρο σε κύτταρο και από γενιά σε γενιά.
- β. Προσδιορίζει την παραγωγή των διάφορων ειδών

RNA και, μέσω αυτών, των πρωτεϊνών. Οι πρωτεΐνες, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι υπεύθυνες για τα βασικά δομικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των κυττάρων. Η κατεύθυνση με την οποία η γενετική πληροφορία, που είναι καταγεγραμμένη στο μόριο του DNA «ρέει» προς τις πρωτεΐνες, ονομάστηκε **κεντρικό δόγμα της Βιολογίας**.

Έως το 1970 οι επιστήμονες πίστευαν στην καθολικότητα του δόγματος της Μοριακής Βιολογίας. Εκείνη τη χρονιά οι Χ. Τέμιν και Ντ. Μπάλτιμορ ανακάλυψαν ότι ορισμένοι ιοί, οι οποίοι διαθέτουν RNA ως γενετικό υλικό, μπορούν, με πρότυπο αυτό, να συνθέτουν DNA. Αυτό οδηγεί στην επαναδιατύπωση του κεντρικού δόγματος της Βιολογίας. Έτσι στη σύγχρονη διατύπωση του περιλαμβάνεται και η αμφίδρομη πορεία της γενετικής πληροφορίας από το RNA στο DNA. Έως σήμερα δεν έχει διαπιστωθεί αμφίδρομη ροή της γενετικής πληροφορίας από τις πρωτεΐνες προς το RNA. Αν διαπιστωνόταν ποτέ κάτι τέτοιο, θα προκαλούσε ριζικές αναπροσαρμογές στο οικοδόμημα της Βιολογίας.



Διάγραμμα του κεντρικού δόγματος της Βιολογίας. Έχει πλέον αποδειχτεί ότι μπορεί να γίνει σύνθεση RNA με πρότυπο επίσης RNA, χωρίς τη μεσολάβηση DNA.

Αντιγραφή του DNA

Απαραίτητη προϋπόθεση για τη μεταβίβαση της γενετικής πληροφορίας από τα κύτταρα στα θυγατρικά τους (και φυσικά από τους οργανισμούς στους απογόνους τους), είναι ο αυτοδιπλασιασμός του μορίου του DNA. Πώς όμως γίνεται αυτό;

Οι πρώτες έρευνες σχετικά με τον αυτοδιπλασιασμό του γενετικού υλικού έγιναν στο βακτήριο *Escherichia coli* (Εσερίχια κόλι) από τον Α. Κόρνμπεργκ. Η επιλογή του βακτηρίου αυτού δεν έγινε τυχαία. Η *Escherichia coli* αποτελεί ένα από τα προσφιλέστερα πειραματικά «υλικά» των γενετιστών και των μοριακών βιολόγων.

Αυτό που διευκολύνει τις μελέτες τους είναι ότι το DNA του μικροοργανισμού αυτού, όπως και όλων των προκαρυωτικών οργανισμών, δεν εμφανίζεται συνδεδεμένο με πρωτεΐνες μ' αυτό τον πολύπλοκο τρόπο που παρουσιάζεται συνδεδεμένο το DNA των κυττάρων των ευκαρυωτικών οργανισμών. Ήταν συνεπώς ευκολότερο να μελετηθεί στους οργανισμούς αυτούς η διαδικασία αυτοδιπλασιασμού του DNA.

Η μελέτη αυτή, που κράτησε χρόνια, έδειξε ότι ο διπλασιασμός ξεκινά από κάποιο σημείο της αλυσίδας του DNA. Τα γεγονότα που ακολουθούν είναι κατά σειρά:

- Σπάσιμο των δεσμών υδρογόνου μεταξύ των συμπληρωματικών βάσεων μιας περιοχής.
- Ξετύλιγμα της δίκλωνης έλικας στην περιοχή αυτή.
- Αντιγραφή και των δύο κλώνων του DNA ταυτόχρονα, με τη βοήθεια ενός ενζύμου (DNA πολυμεράση III). Η αντιγραφή γίνεται με τον εξής τρόπο: απέναντι από κάθε νουκλεοτίδιο και των δύο μητρικών κλώνων τοποθετείται ένα άλλο νουκλεοτίδιο, **σύμφωνα με την αρχή της συμπληρωματικότητας των βάσεων**. Δηλαδή απέναντι από τα νουκλεοτίδια που περιέχουν τις αζωτούχες βάσεις αδενίνη, θυμίνη, γουανίνη, κυτοσίνη τοποθετούνται νουκλεοτίδια που φέρουν, αντίστοιχα, τις βάσεις θυμίνη, αδενίνη, κυτοσίνη, γουανίνη και συνδέονται μεταξύ τους με ομοιοπολικό δεσμό.

Έτσι, σταδιακά, και καθώς το αρχικό άνοιγμα διευρύνεται, σχηματίζονται οι δύο θυγατρικές πολυνουκλεοτιδικές αλυσίδες, καθεμιά από τις οποίες είναι συμπληρωματική της μητρικής που χρησιμοποίησε ως πρότυπο. Στο τέλος δηλαδή του αυτοδιπλασιασμού όλου του μητρικού μορίου έχουν παραχθεί δύο μόρια. Καθένα από αυτά αποτελείται από μία μητρική και από τη συμπληρωματική της θυγατρική αλυσίδα. Τα νέα μόρια έχουν πανομοιότυπες αλληλουχίες βάσεων τόσο μεταξύ τους όσο και με το αρχικό μόριο. Ο τρόπος αυτός αυτοδιπλασιασμού του DNA χαρακτηρίζεται ως **ημισυντηρητικός**, γιατί κάθε θυγατρικό μόριο αποτελείται από έναν παλαιό κλώνο και από έναν εξ ολοκλήρου νέο.

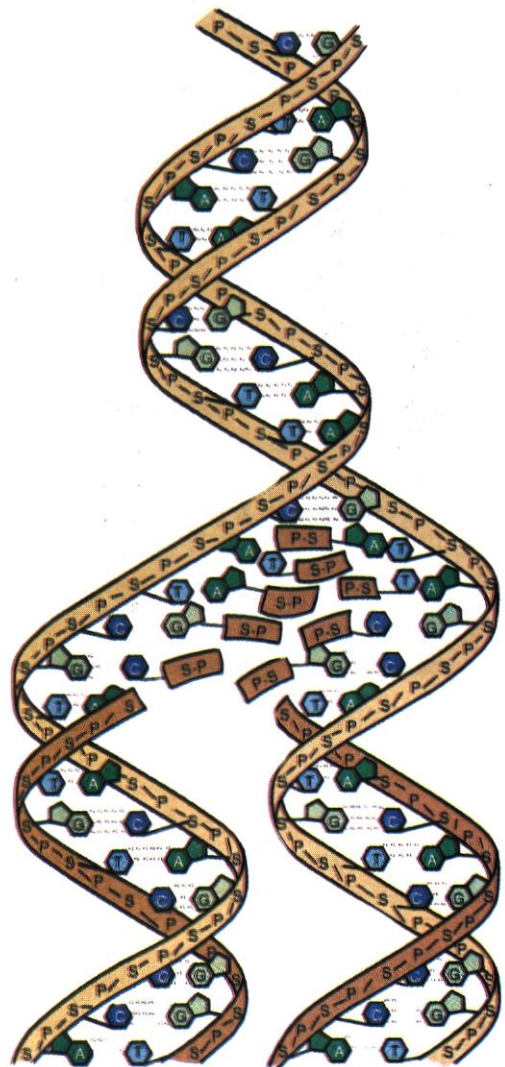
Η πιστότητα της αντιγραφής διασφαλίζεται με ένα μηχανισμό στον οποίο μετέχει πάλι το ίδιο ένζυμο (DNA πολυμεράση III). Το ένζυμο αυτό έχει την ικανότητα να διαπιστώνει και να επιδιορθώνει τα λάθη που έχουν συμβεί κατά τη διάρκεια της αντιγραφής. Μπορεί δηλαδή, να ανακαλύπτει και να απομακρύνει τα νουκλεοτίδια που έχουν τοποθετηθεί κατά παράβαση της αρχής της συμπληρωματικότητας.

Στα ευκαρυωτικά κύτταρα φαίνεται ότι η

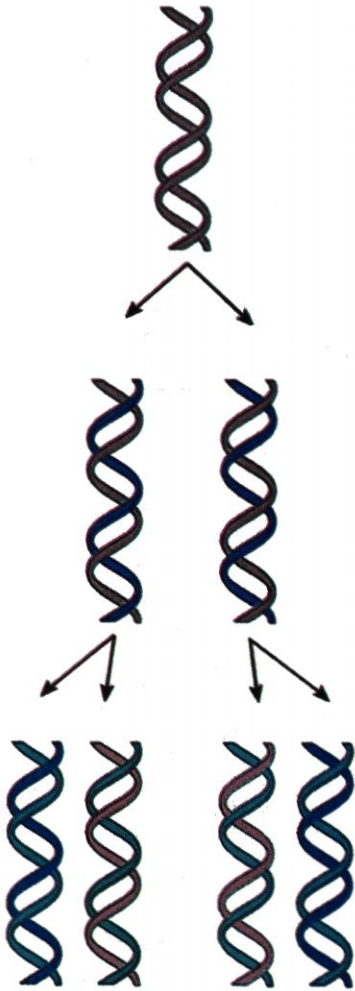
έναρξη της αντιγραφής δε γίνεται από ένα μόνο σημείο, όπως στα βακτήρια, αλλά από πολυάριθμα σημεία ταυτοχρόνως. Έτσι μπορεί να εξηγηθεί η μεγάλη ταχύτητα με την οποία επιτελείται.

Χάρη στον αυτοδιπλασιασμό του DNA, που γίνεται στον πυρήνα πριν από τη διαίρεση του κυττάρου, κάθε θυγατρικό κύτταρο παίρνει το ίδιο ακριβώς γενετικό υλικό σε ποσότητα και ποιότητα με αυτό που είχε το μητρικό κύτταρο. Οι γενετικές πληροφορίες δηλαδή αντιγράφονται και μεταβιβάζονται με εκπληκτική ακρίβεια από γενιά σε γενιά κυττάρων και κατ' επέκταση οργανισμών.

Ο αυτοδιπλασιασμός του DNA.



- Αλυσίδες μητρικού μορίου DNA
- **Πρώτη αντιγραφή:** θυγατρικές αλυσίδες συμπληρωματικές των μητρικών που χρησιμοποιήθηκαν ως πρότυπα.
- **Δεύτερη αντιγραφή:** θυγατρικές αλυσίδες συμπληρωματικές εκείνων που έχουμε μετά την πρώτη αντιγραφή.



Ημι-αυτοδιπλασιασμός του DNA.

Μεταγραφή

Με δεδομένο ότι το DNA, στο οποίο είναι καταγεγραμμένες οι γενετικές πληροφορίες, βρίσκεται στον πυρήνα του κυττάρου, ενώ οι πρωτεΐνες συντίθενται στα ριβοσώματα, που βρίσκονται στην εξωτερική επιφάνεια των αγωγών του αδρού ενδοπλασματικού δικτύου και στο κυτταρόπλασμα, γίνεται φανερό η ανάγκη οι γενετικές πληροφορίες, για να κατευθύνουν την παραγωγή των πρωτεϊνών, να μεταφέρονται από τον πυρήνα στο κυτταρόπλασμα.

Θα μπορούσε βέβαια το ίδιο το μόριο του DNA ή μικρά τμήματά του να μετακινούνται από τον πυρήνα στο κυτταρόπλασμα. Όμως η πυρηνική μεμβράνη δεν είναι

διαπερατή από το DNA, γι' αυτό άλλωστε δεν έχει ποτέ ανιχνευτεί πυρηνικό DNA στο κυτταρόπλασμα. Μια ανάγκη που επίσης εμφανίζεται συχνά σε όλα τα κύτταρα (προκαρυωτικά και ευκαρυωτικά) είναι να παράγουν ταυτόχρονα πολυάριθμα μόρια της ίδιας πρωτεΐνης. Είναι επομένως πρακτικά αδύνατο το ίδιο μόριο DNA να βρίσκεται ταυτόχρονα σε διαφορετικά ριβοσώματα τα οποία απαιτούνται για την παραγωγή πολλών μορίων της ίδιας πρωτεΐνης.

Λύση στο πρόβλημα αυτό δίνει ένα ενδιάμεσο μόριο, το οποίο παράγεται με πρότυπο το DNA και το οποίο μεταφέρει την πληροφορία από τον πυρήνα στο κυτταρόπλασμα. Το ενδιάμεσο αυτό μόριο μπορεί να παραχθεί σε πολλά αντίγραφα. Έτσι εξηγείται η δυνατότητα να γίνεται σύνθεση πολλών μορίων της ίδιας πρωτεΐνης. Η ύπαρξη του ενδιάμεσου αυτού μορίου, που ονομάστηκε **αγγελιαφόρο RNA (mRNA)**, επιβεβαιώθηκε πειραματικά το 1961 από τους Φ. Ζακόμπ και Ζ. Μονό. Η διαδικασία με την οποία παράγεται το mRNA ονομάζεται **μεταγραφή**. Ας δούμε τον τρόπο με τον οποίο γίνεται:

Στο τμήμα του DNA όπου υπάρχει η γενετική πληροφορία την οποία το κύτταρο θέλει να μεταγράψει σπάνε οι δεσμοί υδρογόνου, που συγκρατούν τις αζωτούχες βάσεις, και ανοίγει η διπλή έλικα. Αρχίζει στη συνέχεια η σύνθεση ενός μορίου mRNA, με πρότυπο τον έναν από τους δύο κλώνους του DNA, που φέρει την πληροφορία για τη σύνθεση της συγκεκριμένης πρωτεΐνης.

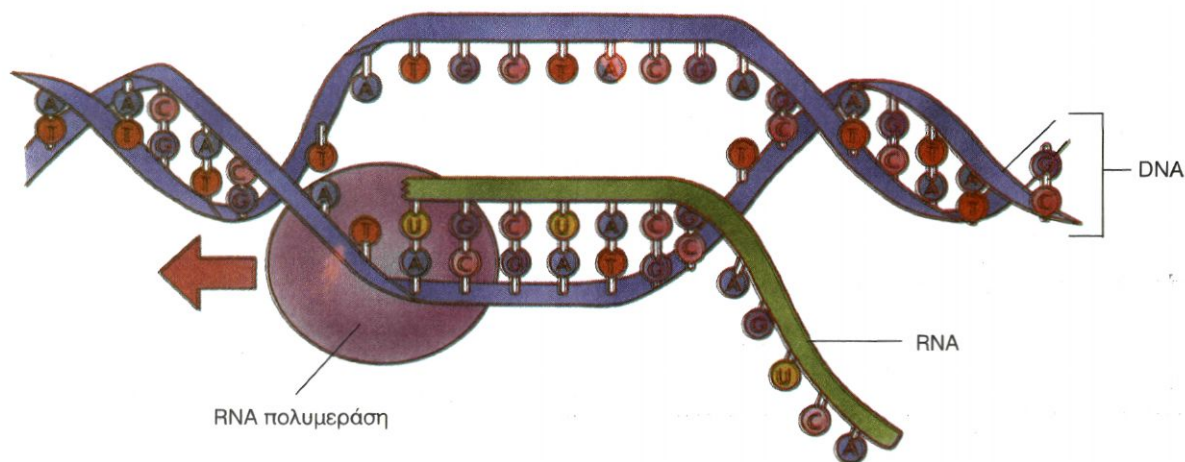
Απέναντι από κάθε δεσοξυριβονουκλεοτίδιο αυτού του κλώνου τοποθετείται ένα ριβονουκλεοτίδιο σύμφωνα με την αρχή της συμπληρωματικότητας των βάσεων, που εφαρμόστηκε και κατά την αντιγραφή, με μία όμως διαφορά: απέναντι από κάθε δεσοξυριβονουκλεοτίδιο του μεταγραφόμενου κλώνου, που περιέχει αδερίνη, τοποθετείται ένα ριβονουκλεοτίδιο, που περιέχει ουρακίλη. Το ένζυμο RNA πολυμεράση συνδέει τα ριβονουκλεοτίδια, που προστίθενται το ένα μετά το άλλο, με ομοιοπολικό δεσμό.

Όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία, έχει πλέον συντεθεί ένα μονόκλωνο μόριο mRNA, του οποίου η αλληλουχία των ριβονουκλεοτιδίων «υπαγορεύτηκε» από την αλληλουχία των δεσοξυριβονουκλεοτιδίων του μεταγραφόμενου τμήματος του DNA, δηλαδή από ένα **γονίδιο**. Χρησιμοποιούμε για τη διαδικασία αυτή τον όρο «μεταγραφή», γιατί η γενετική πληροφορία που ήταν καταγεγραμμένη στη γλώσσα του DNA (A, T, G, C) μεταγράφεται στη γλώσσα του RNA, στην οποία αντί της θυμίνης χρησιμοποιείται η αζωτούχα βάση ουρακίλη.

Όπως η αντιγραφή, έτσι και η μεταγραφή είναι μια ακριβής διαδικασία. Ωστόσο και στη μεταγραφή συμβαίνουν λάθη, που είναι μάλιστα πιθανότερα από ό,τι στην αντιγραφή, γιατί η RNA πολυμεράση δεν παίζει ρόλο ελεγκτή της ορθής τοποθέτησης των ριβονουκλεοτιδίων. Βέβαια τα λάθη αυτά, σε αντίθεση με τα λάθη της αντιγραφής, δε διαιωνίζονται μεταβιβαζόμε-

να από γενιά σε γενιά. Αφορούν μόνο το μόριο ή τα μόρια πρωτεΐνης που θα παραχθούν από το συγκεκριμένο mRNA.

Με μεταγραφή δεν παράγεται μόνο το mRNA αλλά και τα άλλα είδη RNA, όπως το tRNA, που συμμετέχει στη διαδικασία της πρωτεϊνοσύνθεσης, και το rRNA, που αποτελεί δομικό συστατικό των ριβοσωμάτων.



Μεταγραφή μιας περιοχής του DNA σε RNA, με τη βοήθεια του ενζύμου RNA πολυμεράση.

Μετάφραση

Το τελευταίο στάδιο στην έκφραση της γενετικής πληροφορίας είναι η μετάφρασή της, δηλαδή η παραγωγή του πρωτεϊνικού μορίου. Στη διαδικασία αυτή, που γίνεται στα ριβοσώματα, η αλληλουχία των νουκλεοτιδίων του mRNA «υπαγορεύει» την παραγωγή μιας πολυπεπτιδικής αλυσίδας με καθορισμένη αλληλουχία αμινοξέων.

Με τον τρόπο αυτό η γενετική πληροφορία, που είναι καταγραμμένη στα νουκλεϊνικά οξέα στη γλώσσα των τεσσάρων γραμμάτων (A, T, G, C για το DNA και A, U, G, C για το RNA), μεταφράζεται σε μια ολότελα διαφορετική γλώσσα με 20 διαφορετικά γράμματα, όσα είναι δηλαδή, τα διαφορετικά αμινοξέα που συνθέτουν τις πρωτεΐνες όλων των οργανισμών.

Όμως, ενώ κατά τη μεταγραφή δεν παρουσιάζονταν προβλήματα κωδικοποίησης, αφού κάθε βάση του DNA αντιστοιχεί σε μια συμπληρωματική της του mRNA, κατά τη μετάφραση παρουσιάζεται το εξής πρόβλημα: οι διαφορετικές αζωτούχες βάσεις είναι τέσσερις, ενώ τα διαφορετικά αμινοξέα που συνθέτουν τις πρωτεΐνες είναι είκοσι. Συνεπώς δεν είναι δυνατό ένα νουκλεοτίδιο να κωδικοποιεί ένα αμινοξύ,

διότι τότε δε θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν περισσότερα από τέσσερα διαφορετικά αμινοξέα. Ούτε είναι πιθανό μια δυάδα νουκλεοτιδίων να κωδικοποιεί ένα αμινοξύ, διότι τότε θα κωδικοποιούνταν το πολύ δεκαέξι διαφορετικά αμινοξέα, όσες είναι δηλαδή οι διαφορετικές δυάδες νουκλεοτιδίων που μπορούν να σχηματιστούν. Αν όμως μια τριάδα νουκλεοτιδίων κωδικοποιεί ένα αμινοξύ, τότε οι συνδυασμοί που προκύπτουν είναι εξήντα τέσσερις (4^3), δηλαδή αριθμός ικανός για την κωδικοποίηση των είκοσι διαφορετικών αμινοξέων.

Με τα πειράματα που έγιναν το 1961 από το Μ. Νίρεμπεργκ και ολοκληρώθηκαν το 1965 από τους Σ. Οχόα και Γκ. Κοράνα προσδιορίστηκε το αμινοξύ που κωδικοποιείται από κάθε τριάδα νουκλεοτιδίων, η οποία ονομάζεται **κωδικόνιο**.

Έτσι συντάχθηκε ο **γενετικός κώδικας**, το λεξικό δηλαδή με βάση το οποίο μεταφράζεται η γενετική πληροφορία. Τα χαρακτηριστικά του γενετικού κώδικα είναι:

- Ο γενετικός κώδικας είναι **τριάδικος**, μια τριάδα δηλαδή νουκλεοτιδίων (κωδικόνιο) κωδικοποιεί ένα αμινοξύ.
- Από τα εξήντα τέσσερα διαφορετικά κωδικόνια τέσ-

		Δεύτερο γράμμα					
		U	C	A	G		
Πρώτο γράμμα	U	UUU } φαινυλαλανίνη UUC } UUA } λευκίνη UUG }	UCU } UCC } σερίνη UCA } UCG }	UAU } τυροσίνη UAC } UAA } λήξη UAG } λήξη	UGU } κυστεΐνη UGC } UGA } λήξη UGG } τρυπτοφάνη	Τρίτο γράμμα	U C A G
	C	CUU } λευκίνη CUC } CUA } CUG }	CCU } CCC } προλίνη CCA } CCG }	CAU } ιστιδίνη CAC } CAA } γλουταμίνη CAG }	CGU } CGC } ργνίνη CGA } CGG }		U C A G
	A	AUU } ισολευκίνη AUC } AUA } AUG } μεθειονίνη έναρξη	ACU } ACC } θρεονίνη ACA } ACG }	AAU } ασπαραγγίνη AAC } AAA } λυσίνη AAG }	AGU } σερίνη AGC } AGA } αργινίνη AGG }		U C A G
	G	GUU } βαλίνη GUC } GUA } GUG }	GCU } GCC } αλανίνη GCA } GCG }	GAU } ασπαρτικό οξύ GAC } GAA } γλουταμινικό οξύ GAG }	GGU } GGC } γλυκίνη GGA } GGG }		U C A G

σερα έχουν διαφορετικό ρόλο από τα υπόλοιπα στη μεταφραστική διαδικασία. Τα τρία από αυτά δεν κωδικοποιούν κανένα αμινοξύ και λειτουργούν ως σήματα λήξης της μετάφρασης, ενώ το τέταρτο (AUG), εκτός από το ότι κωδικοποιεί το αμινοξύ μεθειονίνη, λειτουργεί και ως σήμα έναρξης της μετάφρασης.

- Ο γενετικός κώδικας είναι **εκφυλισμένος**, με την έννοια ότι όλα τα αμινοξέα, εκτός από δύο, κωδικοποιούνται από περισσότερα του ενός κωδικόνια. Η ύπαρξη αυτών των κωδικονίων, που χαρακτηρίζονται ως **συνώνυμα**, παρέχει τη δυνατότητα η γενετική πληροφορία να εκφράζεται αναλλοίωτα, παρά τις ενδεχόμενες αλλαγές στο γενετικό υλικό.
- Ο γενετικός κώδικας είναι **μη επικαλυπτόμενος**. Αυτό σημαίνει ότι η μετάφραση ξεκινά από καθορισμένα σημεία του mRNA προχωρώντας τρία νουκλεοτίδια κάθε φορά. Έτσι αποκλείεται ένα νουκλεοτίδιο να διαβαστεί δύο φορές ως μέλος διαφορετικών κωδικονίων.
- Είναι **παγκόσμιος**, καθώς οι έως τώρα ενδείξεις συνηγορούν στο ότι το ίδιο κωδικόνιο κωδικοποιεί το ίδιο αμινοξύ σε όλους τους οργανισμούς. Η παγκοσμιότητα του γενετικού κώδικα είναι ένα από τα ισχυρότερα επιχειρήματα υπέρ της κοινής καταγωγής των οργανισμών.

Ας δούμε τώρα και τους υπόλοιπους παράγοντες που παίρνουν μέρος στην πρωτεϊνοσύνθεση και στη συνέχεια θα γνωρίσουμε το μηχανισμό της.

Εκτός από το mRNA, τα ριβοσώματα και φυσικά τα αμινοξέα, στην πρωτεϊνοσύνθεση μετέχουν επίσης το tRNA, διάφορα ένζυμα και ενέργεια με τη μορφή ATP κ.ά. Τα tRNA διαθέτουν μία χαρακτηριστική τριάδα νουκλεοτιδίων, που λέγεται **αντικωδικόνιο**, και είναι μπληρωματική με ένα κωδικόνιο του mRNA. Έτσι τα διάφορα είδη tRNA μπορούν να αναγνωρίζουν τα κωδικόνια που είναι συμπληρωματικά των αντικωδικονίων τους, και να συνδέονται μαζί τους με δεσμούς υδρογόνου. Το tRNA διαθέτει επίσης μία θέση σύνδεσής του με ένα αμινοξύ. Μάλιστα, κάθε μόριο tRNA, ανάλογα με το αντικωδικόνιό του, συνδέεται με ένα συγκεκριμένο είδος αμινοξέος.

ΑΣ ΣΚΕΦΤΟΥΜΕ...

Ποια είναι η διαφορά μεταξύ ενός νουκλεοτιδίου, μιας αζωτούχας βάσης και ενός κωδικονίου;

Η διαδικασία της μετάφρασης περιλαμβάνει τρία στάδια: την έναρξη, την επιμήκυνση και τη λήξη.

Έναρξη: Το mRNA, που έχει συντεθεί στον πυρήνα, μεταναστεύει στο κυτταρόπλασμα και συνδέεται με ένα ριβόσωμα σε συγκεκριμένη θέση. Το πρώτο κωδικόνιο που «διαβάζει» το ριβόσωμα είναι το AUG, που χαρακτηρίζεται ως **κωδικόνιο έναρξης**, γιατί σηματοδοτεί την έναρξη της πρωτεϊνοσύνθεσης. Ταυτόχρονα μεταφέρεται και συνδέεται στο ριβόσωμα ένα μόριο tRNA, που φέρει το αμινοξύ μεθειονίνη και έχει αντικωδικόνιο συμπληρωματικό του κωδικονίου έναρξης.

Επιμήκυνση: Ένα δεύτερο μόριο tRNA με αντικωδικόνιο συμπληρωματικό του δεύτερου, κατά σειρά, κωδικονίου τοποθετείται στο ριβόσωμα, δίπλα στο πρώτο, μεταφέροντας εκεί το δεύτερο αμινοξύ. Ανάμεσα στο δεύτερο αμινοξύ και στη μεθειονίνη δημιουργείται ένας δεσμός (πεπτιδικός) που τα συγκρατεί ενωμένα. Το πρώτο tRNA αποδεσμεύει τη μεθειονίνη και απελευθερώνεται στο κυτταρόπλασμα, ενώ το ριβόσωμα μετατοπίζεται προς το επόμενο κωδικόνιο. Με αυτή όμως τη μετατόπιση το δεύτερο tRNA μεταφέρεται στη θέση του ριβοσώματος στην οποία ήταν το πρώτο tRNA. Στη συνέχεια ένα τρίτο tRNA, το οποίο μεταφέρει το τρίτο αμινοξύ, συνδέεται στο ριβόσωμα, δίπλα στο δεύτερο. Ανάμεσα στο δεύτερο και στο τρίτο αμινοξύ σχηματίζεται πεπτιδικός δεσμός. Κάθε φορά που το ριβόσωμα μετατοπίζεται στο επόμενο σε θέση κωδικόνιο του mRNA, ένα νέο tRNA, με το αμινοξύ που μεταφέρει, τοποθετείται απέναντι από το κωδικόνιο αυτό. Το νέο αμινοξύ ενώνεται με πεπτιδικό δεσμό με το προηγούμενο και η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται, επιμηκύνοντας την πεπτιδική αλυσίδα μέχρι την ολοκλήρωση της σύνθεσής της.

Λήξη: Όταν το ριβόσωμα φτάσει σε ένα από τα τρία κωδικόνια λήξης (UAG, UAA, UGA), σταματάει η πρωτεϊνοσύνθεση. Η πολυπεπτιδική αλυσίδα απελευθερώνεται από τα ριβοσώματα. Βέβαια, όπως έχει ήδη αναφερθεί, με τη σύνθεση των πολυπεπτιδικών αλυσίδων δεν ολοκληρώνεται πάντα και η σύνθεση των πρωτεϊνικών μορίων. Πολλές από τις πολυπεπτιδικές αλυσίδες χρειάζεται να υποστούν ενζυμική επεξεργασία στα κατάλληλα οργανίδια (σύμπλεγμα Golgi, αδρό ενδοπλασματικό δίκτυο για τα ευκαρυωτικά κύτταρα), προκειμένου να αποτελέσουν ή να συμμετάσχουν στη δημιουργία ενός πρωτεϊνικού μορίου.

Αξίζει να σημειωθεί ότι είναι δυνατό σε ένα μόριο mRNA να συνδέονται ταυτόχρονα πολλά ριβοσώματα. Έτσι τα κύτταρα μπορούν να παράγουν σε μικρό χρονικό διάστημα πολυάριθμα αντίγραφα του ίδιου πρωτεϊνικού μορίου.

ΑΣ ΣΚΕΦΤΟΥΜΕ...

Αν μια αλληλουχία νουκλεοτιδίων του DNA είναι T A C A A A G C A, ποια είναι η αλληλουχία νουκλεοτιδίων του mRNA που μπορεί να προκύψει από αυτήν; Ποια αμινοξέα μπορεί να προκύψουν από αυτή την αλληλουχία νουκλεοτιδίων;

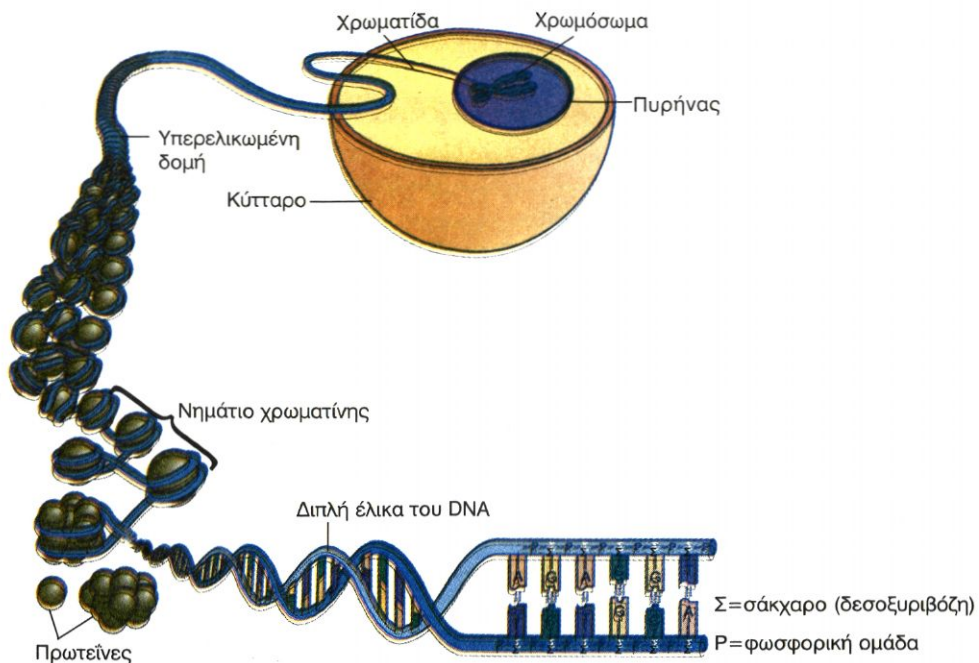
Η χρωματίνη και το χρωμόσωμα

Στο μοντέλο που πρότειναν οι Τζ. Γουάτσον και Φ. Κρικ το μόριο του DNA εμφανίζεται με τη μορφή μιας διπλής έλικας. Είναι άραγε δυνατό να παρατηρήσουμε τη διπλή έλικα στο μικροσκόπιο;

Προς το παρόν όχι. Η διπλή έλικα του DNA συσπειρώνεται στο χώρο και τελικά εμφανίζεται με δύο μορφές. Την κυκλική, που συναντιέται στα βακτήρια, στα μιτοχόνδρια και συχνά στους χλωροπλάστες, και την ευθεία, με την οποία το συναντούμε στους πυρήνες των ευκαρυωτικών κυττάρων.

Ο άλλος λόγος είναι ότι στα ευκαρυωτικά κύτταρα το μόριο του DNA συμμετέχει στη σύνθεση της **χρωματίνης**, μιας νουκλεοπρωτεΐνης που συνίσταται από DNA, από μικρή ποσότητα RNA και από πρωτεΐνες σε ποσοστό που ξεπερνά το 50% του βάρους της. Η χρωματίνη στις διάφορες φάσεις της ζωής του κυττάρου παρουσιάζεται και με διαφορετική μορφή. Όταν το κύτταρο δεν είναι στη φάση της διαίρεσής του, η χρωματίνη παρουσιάζεται με τη μορφή ενός πλέγματος, που λέγεται **δίκτυο χρωματίνης**. Το δίκτυο αυτό αποτελείται από μεμονωμένες ίνες και από κοκκία. Καθεμιά από τις ίνες αυτές είναι το αποτέλεσμα μιας πολύπλοκης περιέλιξης του μορίου του DNA γύρω από τις πρωτεΐνες, οι οποίες μετέχουν στη δομή της χρωματίνης. Όταν το κύτταρο διαιρείται, η χρωματίνη συμπυκνώνεται και παίρνει τελικά τη μορφή δομών, που ονομάζονται **χρωμοσώματα**.

Τα χρωμοσώματα που υπάρχουν στα σωματικά κύτταρα των ανώτερων οργανισμών παρουσιάζονται σε ζευγάρια. Τα χρωμοσώματα που ανήκουν στο ίδιο ζευγάρι χαρακτηρίζονται ως **ομόλογα**. Τα μέλη ενός ζευγαριού ομόλογων χρωμοσωμάτων μορφολογικά

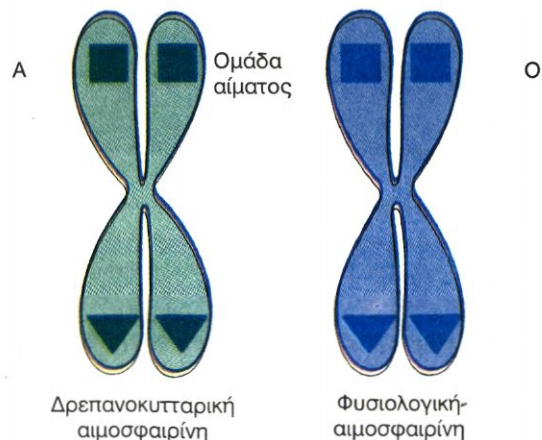
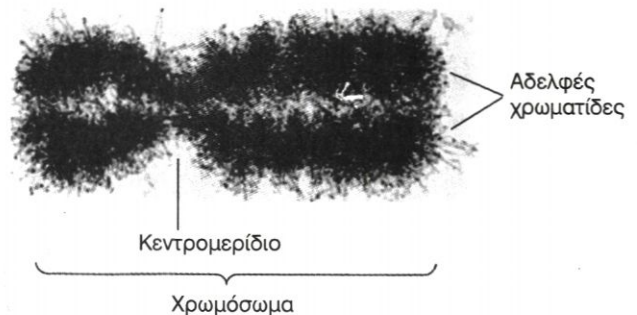


Διαδοχικά στάδια κατά το «πακετάρισμα» του DNA στον πυρήνα των ευκαρυωτικών κυττάρων.

είναι όμοια μεταξύ τους, έχουν δηλαδή ίδιο σχήμα και μέγεθος. Η πιο ενδιαφέρουσα όμως ομοιότητα των ομόλογων χρωμοσωμάτων είναι ότι περιέχουν γονίδια που ελέγχουν το ίδιο γνώρισμα, με τον ίδιο ή με διαφορετικό τρόπο, και επίσης ότι τα γονίδια αυτά εδράζονται στην ίδια θέση (**γονιδιακός τόπος**) και στα δύο χρωμοσώματα. Κύτταρα που έχουν τα χρωμοσώματά τους και συνεπώς τα γονίδιά τους σε ζευγάρια χαρακτηρίζονται ως **διπλοειδή (2n)**, σε αντίθεση με τα κύτταρα που περιέχουν μία απλή σειρά χρωμοσωμάτων και γονιδίων, όπως οι γαμέτες, τα οποία χαρακτηρίζονται ως **απλοειδή (n)**.

Ο αριθμός των χρωμοσωμάτων που υπάρχει στα κύτταρα των διαφορετικών φυτικών και ζωικών ειδών είναι αυστηρά καθορισμένος. Κάθε απόκλιση από αυτόν προκαλεί μεταβολές στα χαρακτηριστικά και διακυμάνσεις στη βιωσιμότητα των οργανισμών ενός είδους που την παρουσιάζει.

Πριν ολοκληρώσουμε τη μελέτη της οργάνωσης του γενετικού υλικού, είναι χρήσιμο να αναρωτηθούμε αν υπάρχει πράγματι ανάγκη το γενετικό υλικό να είναι τόσο πολύπλοκα οργανωμένο. Γνωρίζουμε ότι το DNA είναι ένα γιγαντιαίο μόριο. Αν συνδέεται με πρωτεΐνες, είναι για να τυλιγεται γύρω τους, ώστε να «πακετάρει» και να χωρά στον περιορισμένο χώρο του πυρήνα.



Δύο γονιδιακοί τόποι: στον έναν εδράζονται τα αλληλόμορφα για την ομάδα αίματος και στον άλλον τα αλληλόμορφα για τη σύνθεση της αιμοσφαιρίνης.

4.3

ΚΥΤΤΑΡΙΚΗ ΔΙΑΙΡΕΣΗ

Κάτι πολύ ενδιαφέρον, που ίσως δεν το έχουμε ποτέ αναλογιστεί, είναι ότι στον οργανισμό μας παράγονται διαρκώς νέα κύτταρα. Στο χρόνο που χρειάζεται για να ολοκληρώσουμε τη μελέτη αυτής της σελίδας θα έχουν παραχθεί στο σώμα μας ένα δισεκατομμύριο περίπου νέων κυττάρων. Καθένα από αυτά είναι προϊόν μιας κυτταρικής διαίρεσης, δηλαδή της διαδικασίας με την οποία πολλαπλασιάζονται τα κύτταρα. Αφού όμως τα κύτταρα αποτελούν τη θεμελιώδη μονάδα της ζωής, κάθε διαδικασία που γίνεται σ' αυτά πρέπει να αποτελεί την αφετηρία για μια αντίστοιχη διαδικασία του οργανισμού. Αν λοιπόν η συστολή των μυϊκών κυττάρων είναι η αφετηρία της κίνησης, η κυτταρική διαίρεση είναι η αφετηρία της ανάπτυξης και της αναπαραγωγής των οργανισμών.

Πιο συγκεκριμένα, με κυτταρική διαίρεση επιτελείται:

- η μονογονική αναπαραγωγή των οργανισμών, κατά την οποία το νέο ή τα νέα άτομα προέρχονται από ένα μόνο γονέα,
- η αμφιγονική αναπαραγωγή των οργανισμών, κατά την οποία το νέο άτομο είναι προϊόν γονιμοποίησης, συνένωσης δηλαδή δύο εξειδικευμένων κυττάρων (γαμετών), που προέρχονται από γονείς διαφορετικού φύλου,
- η αύξηση του αριθμού των κυττάρων και συνεπώς η ανάπτυξη των πολυκύτταρων οργανισμών,
- η αντικατάσταση των νεκρών, κατεστραμμένων ή

ΑΣ ΣΚΕΦΤΟΥΜΕ...

Γιατί κύτταρα διαφορετικού τύπου, του ίδιου οργανισμού (π.χ. του ανθρώπου), παρουσιάζουν διαφορετικό ρυθμό στη μεταγραφική και στη μετάφραση;

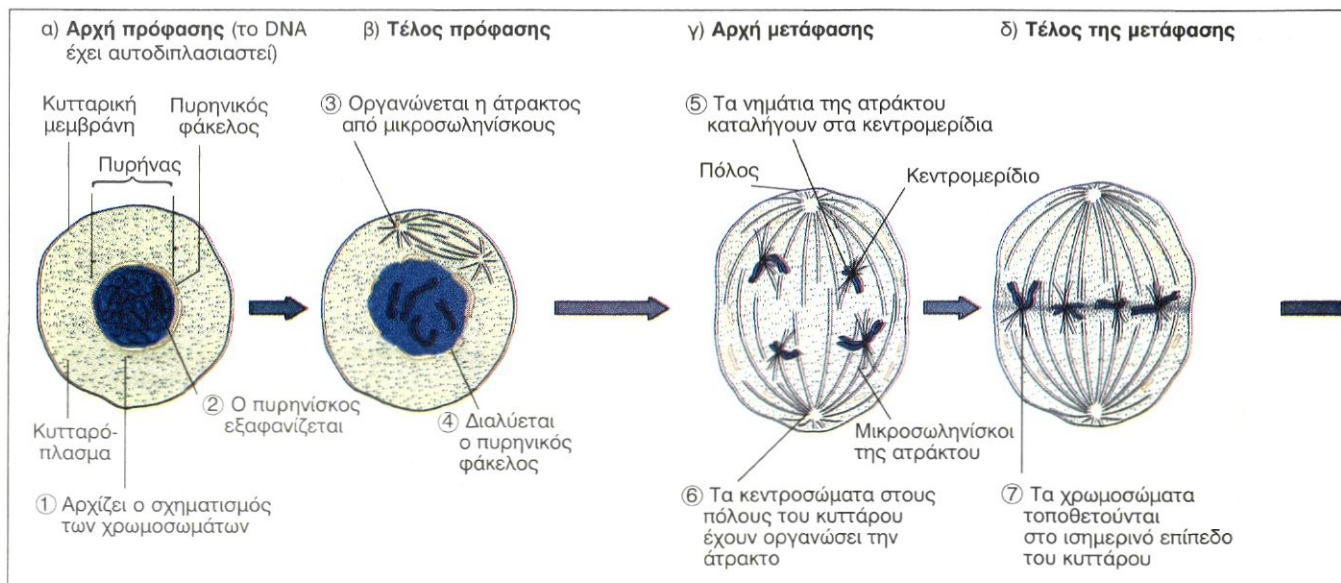
γγρασμένων κυττάρων στους ιστούς με άλλα όμοια με αυτά.

Ο βασικός τύπος κυτταρικής διαίρεσης στα ευκαρυωτικά κύτταρα είναι η **μίτωση**. Ωστόσο οι ευκαρυωτικοί οργανισμοί, που παράγονται αμφιγονικά, έχουν αναπτύξει και μια πιο εξελιγμένη παραλλαγή της, τη **μείωση**, με την οποία παράγουν τους απλοειδείς γαμέτες τους. Στους προκαρυωτικούς οργανισμούς η κυτταρική διαίρεση είναι απλούστερη, γίνεται με διχοτόμηση, και δεν έχει τα χαρακτηριστικά της μίτωσης.

Μίτωση

Το 1879 ένας Γερμανός ανατόμος, ο Β. Φλέμινγκ, ανακάλυψε ότι στον πυρήνα υπάρχει ένα χαρακτηριστικό νηματοειδές υλικό. Παρατηρώντας μάλιστα τα κύτταρα σε διάφορα στάδια της ζωής τους, παρατήρησε

Φάσεις της μίτωσης σε ζωικό κύτταρο σχηματικά.



ότι τα νημάτια που συνιστούν αυτό το υλικό, αφού βραχυνθούν και παχυνθούν, κόβονται, για να διανεμηθούν στους απογόνους του κυττάρου. Την ακολουθία αυτών των φαινομένων την ονόμασε **μίτωση**, από την ελληνική λέξη **μίτος**, που σημαίνει «νήμα». Σήμερα γνωρίζουμε ότι τα νημάτια του Β. Φλέμινγκ είναι τα χρωμοσώματα, οι φορείς των γονιδίων, και ότι η μίτωση είναι ο βασικός τύπος διαίρεσης των ευκαρυωτικών κυττάρων.

Η μίτωση είναι το συντομότερο αλλά και εντυπωσιακότερο τμήμα του κυτταρικού κύκλου, που οδηγεί τελικά στη δημιουργία δύο πανομοιότυπων μεταξύ τους (όσο και με το μητρικό) θυγατρικών κυττάρων. Αυτό διασφαλίζεται με δύο διαδοχικές διαδικασίες, την **πυρηνική διαίρεση** και την **κυτταροπλασματική διαίρεση**, που συμβαίνουν στη διάρκεια της μίτωσης.

Κατά τη διάρκεια της πυρηνικής διαίρεσης γίνεται ακριβοδίκαιη διανομή γενετικού υλικού στους δύο θυγατρικούς πυρήνες.

Κατά τη διάρκεια της κυτταροπλασματικής διαίρεσης το κυτταρόπλασμα του μητρικού κυττάρου μοιράζεται στα δύο θυγατρικά κύτταρα, έτσι ώστε το καθένα να αποκτήσει το απαραίτητο κυτταρόπλασμα και οργανίδια.

Πυρηνική διαίρεση

Η πυρηνική διαίρεση είναι ένα συνεχές φαινόμενο και μόνο για να διευκολυνθούμε στη μελέτη και την περιγραφή του, το χωρίζουμε σε στάδια. Τα στάδια αυτά

για τα περισσότερα ευκαρυωτικά κύτταρα είναι τέσσερα: η **πρόφαση**, η **μετάφαση**, η **ανάφαση** και η **τελόφαση**. Ας τα δούμε ένα ένα:

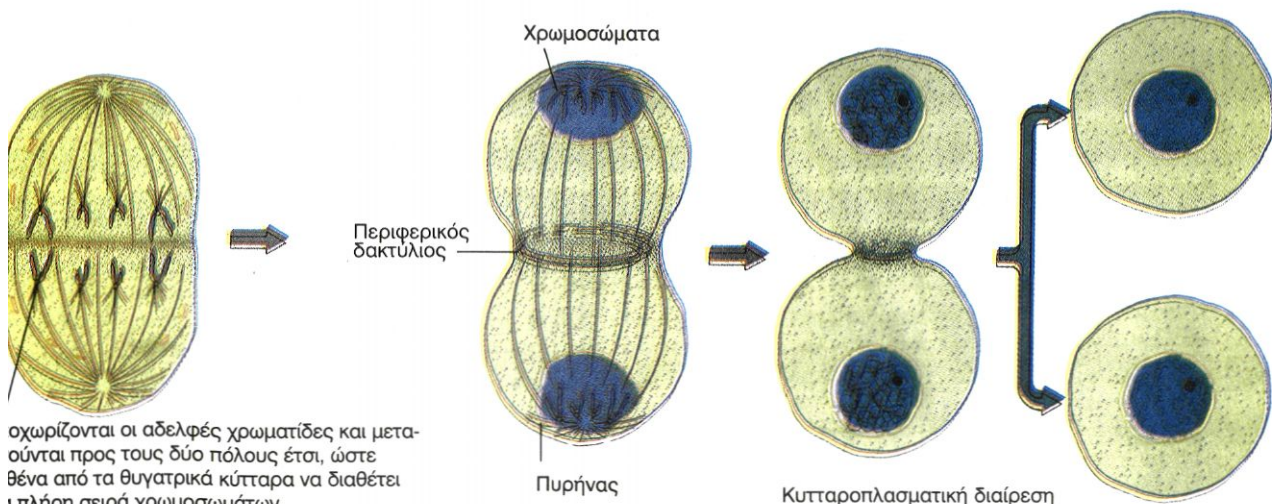
Πρόφαση: Είναι το μεγαλύτερο σε διάρκεια: στάδιο της μίτωσης. Στη διάρκειά της τα ινίδια της χρωματίνης αρχίζουν να περιελίσσονται και να συμπυκνώνονται, για να πάρουν τη χαρακτηριστική μορφή των χρωμοσωμάτων. Κάθε χρωμόσωμα αποτελείται από δύο αδελφές χρωματίδες, ενωμένες στο κεντρομερίδιο. Επειδή οι αδελφές χρωματίδες είναι αποτέλεσμα του αυτοδιπλασιασμού του γενετικού υλικού, που έγινε κατά τη μεσόφαση, αποτελούνται (η καθεμιά) από ένα δίκλωνο μόριο DNA και είναι γενετικά όμοιες. Ο λόγος για τον οποίο το γενετικό υλικό του κυττάρου «πακετάρεται» σε χρωμοσώματα είναι απλός:

δεν πρέπει να σπάσει ούτε να χαθεί τίποτε κατά τη μεταφορά του γενετικού υλικού στα θυγατρικά κύτταρα. Στη συνέχεια σχηματίζεται η άτρακτος. Αυτό στα ζωικά κύτταρα γίνεται με τη βοήθεια του κεντροσωματίου, που έχει ήδη διπλασιαστεί κατά τη μεσόφαση. Τα δύο κεντροσωμάτια μετακινούνται προς τους δύο πόλους. Από κάθε κεντροσωμάτιο προβάλλουν ακτινωτά νημάτια, οι **μικροσωληνίσκοι**, που σιγά σιγά σχηματίζουν την **άτρακτο**. Στα φυτικά κύτταρα είναι προφανές ότι η άτρακτος δεν οργανώνεται από κεντροσωμάτια, αφού δε διαθέτουν τέτοια.

Ο πυρηνικός φάκελος και ο πυρηνίσκος αποδιοργανώνονται, επιτρέποντας στους μικροσωληνίσκους να εισβάλουν στο χώρο που καταλάμβανε ο πυρήνας και

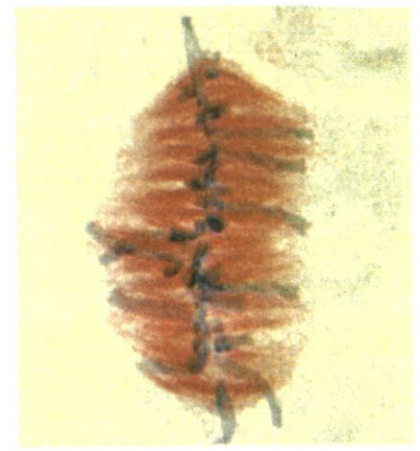
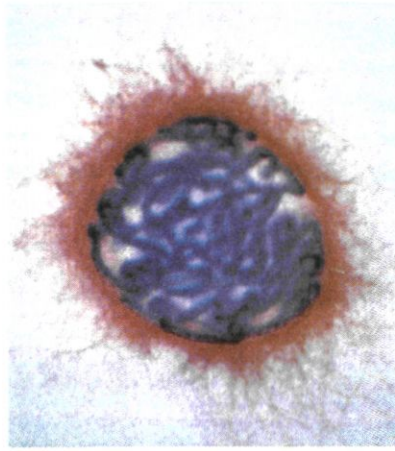
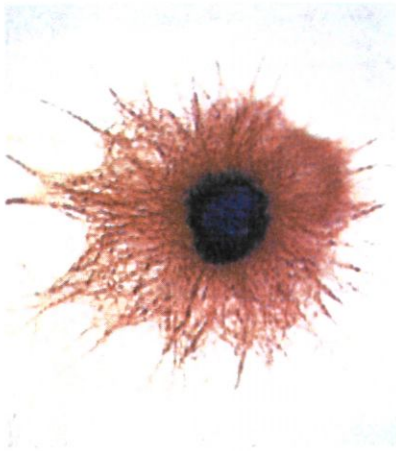
ε) Ανάφαση

στ) Τελόφαση



αχωρίζονται οι αδελφές χρωματίδες και μεταφέρονται προς τους δύο πόλους έτσι, ώστε θένα από τα θυγατρικά κύτταρα να διαθέτει 1 πλήρη σειρά χρωμοσωμάτων.

Κυτταροπλασματική διαίρεση



Οι φάσεις της μίτωσης όπως φαίνονται στο μικροσκόπιο.

να ενωθούν με τα κεντρομερίδια των χρωμοσωμάτων.

Μετάφαση: Με την έναρξή της τα χρωμοσώματα εγκαταλείπουν τις τυχαίες θέσεις που καταλάμβαναν κατά την πρόφαση και αρχίζουν να μετακινούνται κατά μήκος των νημάτων της ατράκτου, προς το **ισημερινό επίπεδο του κυττάρου**.

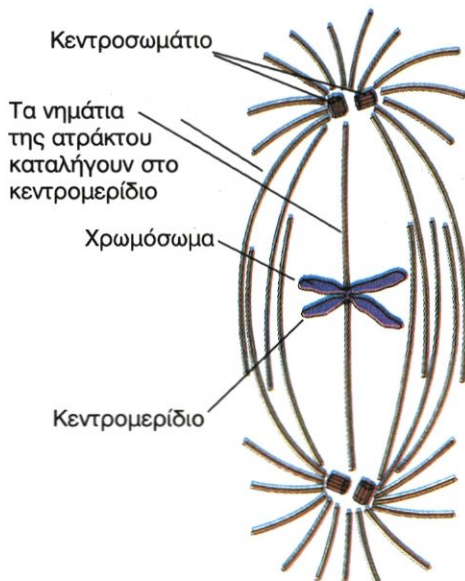
Στο τέλος αυτής της φάσης τα χρωμοσώματα έχουν φτάσει στο ισημερινό επίπεδο, με τις αδελφές χρωμα-

τίδες κάθε χρωμοσώματος να έχουν τοποθετηθεί παράλληλα προς αυτό.

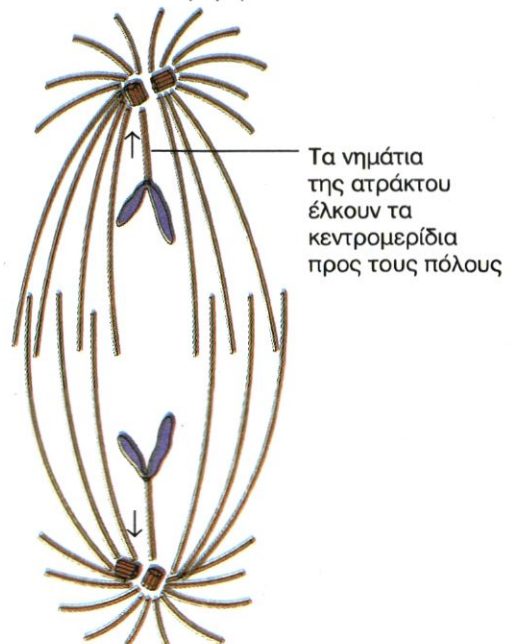
Κατά τη μετάφαση συνεχίζεται η συμπύκνωση της χρωματίνης. Στο τέλος της τα χρωμοσώματα έχουν το μέγιστο βαθμό συμπύκνωσης· γι' αυτό είναι περισσότερο διακριτά από όσο σε κάθε άλλο στάδιο του κυτταρικού κύκλου. Γι' αυτό το λόγο η παρατήρηση, η φωτογράφιση, όπως και κάθε άλλη διαδικασία που αφορά τη μελέτη της δομής, το μήκος ή τον αριθμό

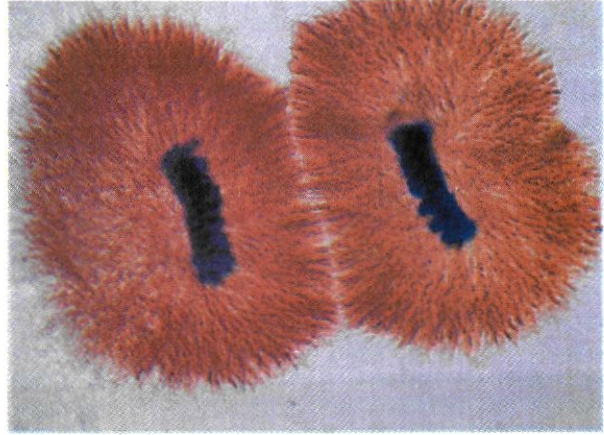
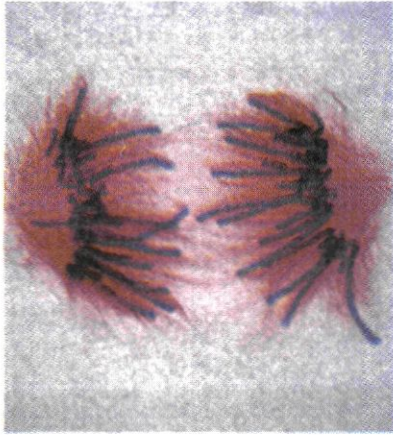
Κίνηση των χρωματίδων που έλκονται από τα νημάτια της ατράκτου κατά την ανάφαση.

α) Η άτρακτος



β) Τα νημάτια της ατράκτου έλκουν τα κεντρομερίδια





των χρωμοσωμάτων γίνονται κατά τη διάρκεια της.

Ανάφαση: Αρχίζει με τη διαίρεση του κεντρομεριδίου κάθε χρωμοσώματος. Με την ολοκλήρωση αυτής της διαίρεσης καθεμιά από τις αδελφές χρωματίδες ανεξαρτητοποιείται από την άλλη. Οι μικροσωληνίσκοι της ατράκτου ασκούν αντίθετη έλξη στα δημιουργούμενα κεντρομερίδια και έτσι οι δύο αδελφές χρωματίδες αποχωρίζονται, σαν να κινούνται πάνω σε ράγες τρένου, προς αντίθετο πόλο η καθεμιά. Από το σημείο αυτό θεωρούμε ότι κάθε χρωματίδα αποτελεί πλέον ένα ανεξάρτητο χρωμόσωμα.

Τελόφαση: Όταν καθεμιά από τις δύο πλήρεις σειρές χρωμοσωμάτων, που δημιουργήθηκαν κατά την ανάφαση, φθάσει στον πόλο του κυττάρου προς τον οποίο κατευθυνόταν, αρχίζει το τελικό στάδιο της πυρηνικής διαίρεσης, η τελόφαση. Στη διάρκεια της συμβαίνουν οι ακριβώς αντίστροφες διαδικασίες από αυτές που συνέβησαν στην πρόφαση.

Η άτρακτος αποδιοργανώνεται και επανεμφανίζονται οι πυρηνικοί φάκελοι. Δημιουργούνται έτσι δύο θυγατρικοί πυρήνες. Σε καθέναν από αυτούς τα χρωμοσώματα επανέρχονται στη μορφή του δικτύου χρωματίνης της μεσόφασης και επανασηματίζεται ο πυρηνίσκος.

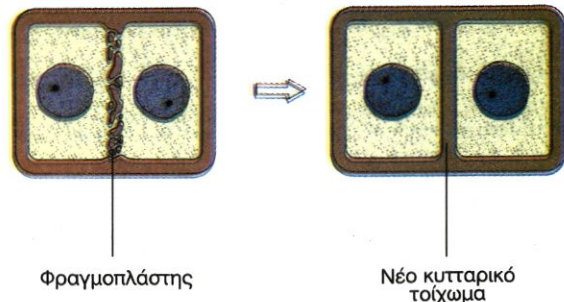
Κυτταροπλασματική διαίρεση

Με τη διαδικασία της πυρηνικής διαίρεσης δημιουργούνται δύο γενετικά πανομοιότυποι πυρήνες, που μοιράζονται ωστόσο το ίδιο κυτταρόπλασμα. Για να ολοκληρωθεί συνεπώς η μίτωση, πρέπει να διαιρεθεί και το κυτταρόπλασμα, ώστε να σχηματιστούν δύο

αυτοτελή κύτταρα. Αυτό γίνεται με τη διαδικασία της κυτταροπλασματικής διαίρεσης, κατά την οποία διανέμεται το κυτταρόπλασμα στα δύο θυγατρικά κύτταρα.

Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται αυτό εξαρτάται από το είδος του κυττάρου. Στα ζωικά κύτταρα, στο ύψος του ισημερινού επιπέδου του κυττάρου, σχηματίζεται ένας περιφερικός δακτύλιος από ινίδια ακτίνης. Ο δακτύλιος αυτός με την πάροδο του χρόνου στενεύει όλο και περισσότερο, ώσπου να διχοτομήσει τελικά το κύτταρο (αυλάκωση).

Στα ανώτερα φυτικά κύτταρα η κυτταροπλασματική διαίρεση γίνεται με εντελώς διαφορετικό τρόπο. Ήδη, από το τέλος της ανάφασης, στην περιοχή του ισημερινού επιπέδου αρχίζει να δημιουργείται από μικροσωληνίσκους ένα πλέγμα, ο **φραγμοπλάστης**. Από το φραγμοπλάστη θα προκύψουν τα κυτταρικά τοιχώματα των δύο θυγατρικών κυττάρων.



Διαίρεση του κυτταροπλάσματος σε φυτικό κύτταρο.

ΑΣ ΣΚΕΦΤΟΥΜΕ...

Μια χημική ουσία (cytochalasin B) εμποδίζει την κυτταροπλασματική διαίρεση, καταστρέφοντας τα μικροϊνίδια του περιφερικού δακτυλίου. Ποιες συνέπειες μπορεί να έχει αυτό για τη μίτωση;

Η διάρκεια του κυτταρικού κύκλου αλλά και η διάρκεια καθεμιάς από τις φάσεις του εξαρτώνται από τον τύπο του κυττάρου αλλά και από εξωτερικούς παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, η παροχή θρεπτικών ουσιών, οξυγόνου κ.ά. Μερικά κύτταρα ολοκληρώνουν τον κυτταρικό τους κύκλο σύντομα και αυτό τους επιτρέπει να διαιρούνται με μεγάλη συχνότητα. Άλλα, όπως τα νευρικά κύτταρα, από τη στιγμή που θα δημιουργηθούν, διαιρούνται σπάνια ή και καθόλου.

Η βιολογική σημασία της μίτωσης

Ένα ζωγραφικό πίνακα τον αξιολογούμε καλύτερα, αν κάνουμε ένα βήμα πίσω, ώστε να τον αντικρίσουμε συνολικά. Παρόμοια στη μίτωση μια απομάκρυνση από τις λεπτομέρειές της ίσως βοηθήσει να κατανοήσουμε καλύτερα τη μεγάλη βιολογική σημασία της. Αν παραλείψουμε λοιπόν τα ενδιάμεσα στάδια και εστιάσουμε την προσοχή μας μόνο στο αρχικό κύτταρο και στα δύο θυγατρικά του, τότε θα παρατηρήσουμε ότι έχουν μια σημαντική ομοιότητα. Και τα τρία είναι ταυτόσημα από γενετική άποψη, γιατί καθένα από τα δύο θυγατρικά πήρε τη μία από τις δύο αδελφές χρωματίδες κάθε χρωμοσώματος του μητρικού κυττάρου.

Η μίτωση δηλαδή είναι μια διαδικασία που ευνοεί τη γενετική σταθερότητα και για το λόγο αυτό άλλωστε αποτελεί τη διαδικασία με την οποία γίνεται:

- Η μονογονική αναπαραγωγή των μονοκύτταρων και των πολυκύτταρων ευκαρυωτικών οργανισμών (π.χ. η βλαστητική αναπαραγωγή των φυτών με παραφυάδες, οφθαλμούς κτλ.). Οι απόγονοί τους έχουν τον ίδιο αριθμό και το ίδιο είδος χρωμοσωμάτων με τους προγόνους τους.

- Η ανάπτυξη των πολυκύτταρων οργανισμών και η ανανέωση των κυττάρων τους. Τα κύτταρα που προστίθενται στον αναπτυσσόμενο οργανισμό, ή αντικαθιστούν κατεστραμμένα ή γηρασμένα, έχουν ίδιο αριθμό και είδος χρωμοσωμάτων με τα κύτταρα από τα οποία προήλθαν.

ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΚΥΤΤΑΡΩΝ

Ο χρόνος που χρειάζεται για να ολοκληρωθεί ένας πλήρης κυτταρικός κύκλος, διαφέρει στα κύτταρα διαφορετικού είδους του ίδιου οργανισμού. Εξαρτάται, σε μεγάλο βαθμό, από τη λειτουργία την οποία επιτελεί το κύτταρο στον οργανισμό.

Είδος κυττάρου	Χρόνος σε ώρες
Πρώιμα κύτταρα μυελού των οστών.	18
Κύτταρα που καλύπτουν εσωτερικά το παχύ έντερο.	39
Κύτταρα που καλύπτουν εσωτερικά το ορθό.	48
Γονιμοποιημένο ωάριο.	36-60
Καρκινικά κύτταρα στομάχου.	72

ΑΣ ΣΚΕΦΤΟΥΜΕ...

Υπάρχει μια χημική ουσία, η κολχικίνη, την οποία παίρνουμε από τους σπόρους ενός μικρού φυτού που μοιάζει με κρόκο. Η ουσία αυτή χρησιμοποιείται στα βιολογικά εργαστήρια λόγω της ιδιότητάς της να εμποδίζει το σχηματισμό της ατράκτου. Στην περίπτωση που θα χρησιμοποιηθεί, με δεδομένο ότι η κολχικίνη δε θανατώνει τα κύτταρα, ποια στάδια του κυτταρικού κύκλου θα υποστούν μεταβολές και ποια θα μείνουν ως έχουν;

Μείωση

Το πιο ενδιαφέρον ίσως χαρακτηριστικό της Γενετικής είναι ότι είναι η επιστήμη των αντιθέσεων. Η έκφραση «**τα όμοια γεννούν όμοια**», που συνοψίζει τη βασική αρχή της κληρονομικότητας ότι οι οργανισμοί μεταβιβάζουν τα χαρακτηριστικά τους στους απογόνους τους, επιβεβαιώνεται από την καθημερινή εμπειρία, όσο επιβεβαιώνονται και οι εξαιρέσεις της. Με τους γονείς μας εμφανίζουμε τα ίδια βασικά ανθρώπινα χαρακτηριστικά, δεν είμαστε όμως πιστά αντίγραφα τους, ούτε μοιάζουμε με τα αδέρφια μας σαν δύο σταγόνες νερό. Τι ακριβώς συμβαίνει; Στη μονογονική αναπαραγωγή, οι γενετικές πληροφορίες για τη δημιουργία του νέου ατόμου προέρχονται από ένα μοναδικό γονέα. Είναι λοιπόν επόμενο οι απόγονοι, λόγω της πιστότητας της αντιγραφής του γενετικού υλικού και της ακρίβειας της διανομής του με τη μίτωση, να είναι πιστά αντίγραφα του.

Αντίθετα, στην αμφιγονική αναπαραγωγή, τις γενετικές πληροφορίες για τη δημιουργία του νέου ατόμου συνεισφέρουν δύο γονείς διαφορετικού φύλου. Οι απόγονοι επομένως δεν μπορεί να είναι ακριβή αντίγραφα κανενός, αλλά προϊόν γενετικής συμβολής και των δύο.

Εδώ όμως ανακύπτει ένα πρόβλημα. Αν κάθε γονέας μεταβίβαζε στον απόγονό του τον ακριβή αριθμό χρωμοσωμάτων του, το νέο άτομο θα είχε το άθροισμα του αριθμού των χρωμοσωμάτων και των δύο. Ένας τέτοιος όμως απόγονος, ακόμη κι αν επιβίωνε, θα είχε διαφορετικό αριθμό χρωμοσωμάτων από αυτόν που είναι καθορισμένος για το είδος του.

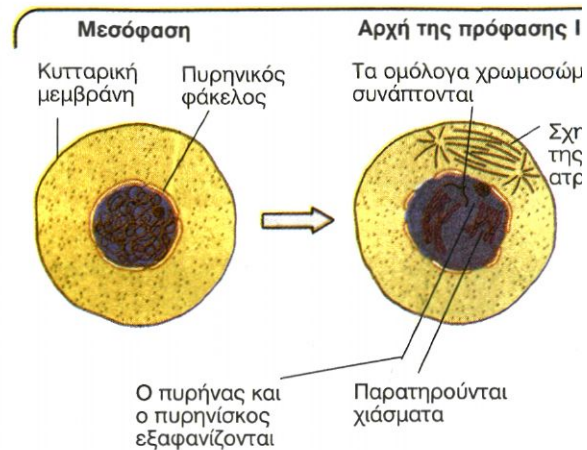
Το πρόβλημα αυτό για τους αμφιγονικά αναπαραγόμενους οργανισμούς λύθηκε στη διάρκεια της εξέλιξης μέσα από δύο μηχανισμούς, τη **μείωση** και τη **γονιμοποίηση**.

Με τη μείωση κάθε γονέας παράγει τους **γαμέτες** του, δηλαδή εξειδικευμένα αναπαραγωγικά κύτταρα, που φέρουν το μισό αριθμό χρωμοσωμάτων από τον κανονικό, είναι δηλαδή απλοειδή.

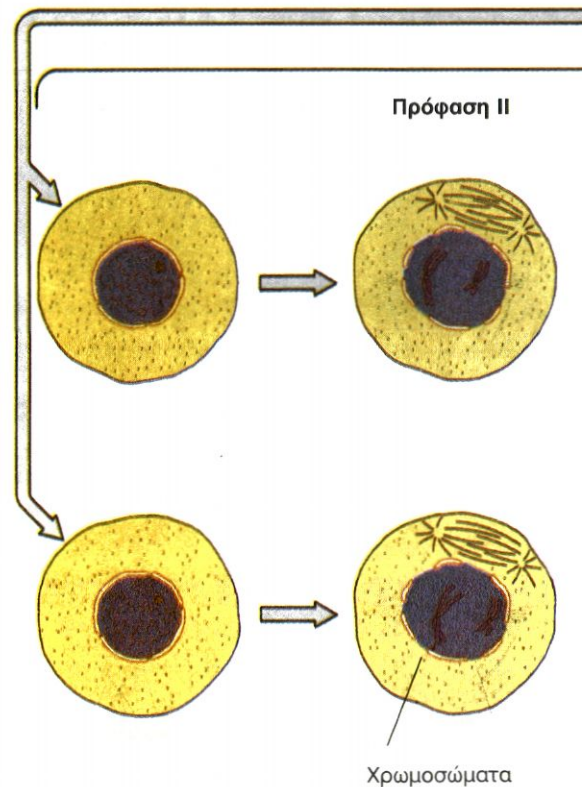
Με τη γονιμοποίηση ο αρσενικός γαμέτης και ο θηλυκός γαμέτης συνενώνονται σε ένα νέο κύτταρο, το **ζυγωτό**, από το οποίο, με συνεχείς μιτωτικές διαιρέσεις, προκύπτει ο νέος οργανισμός. Το κύτταρο αυτό είναι διπλοειδές και, κατ' επέκταση διπλοειδής είναι και ο νέος οργανισμός, αφού η συνένωση των απλοειδών γαμετών επαναφέρει τον αριθμό χρωμοσωμάτων στο κανονικό.

Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι η μείωση δεν αποσκοπεί στην παραγωγή γαμετών που γενικά και αόριστα έχουν το μισό αριθμό χρωμοσωμά-

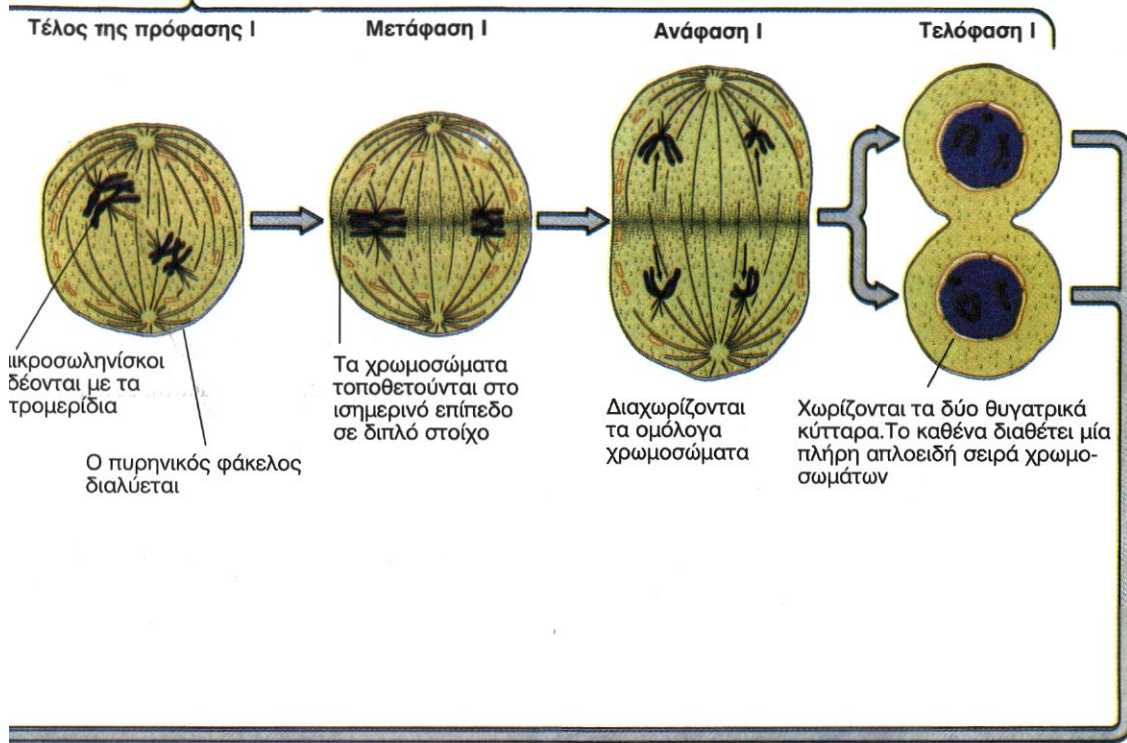
Σχηματική απεικόνιση των φάσεων της μείωσης.



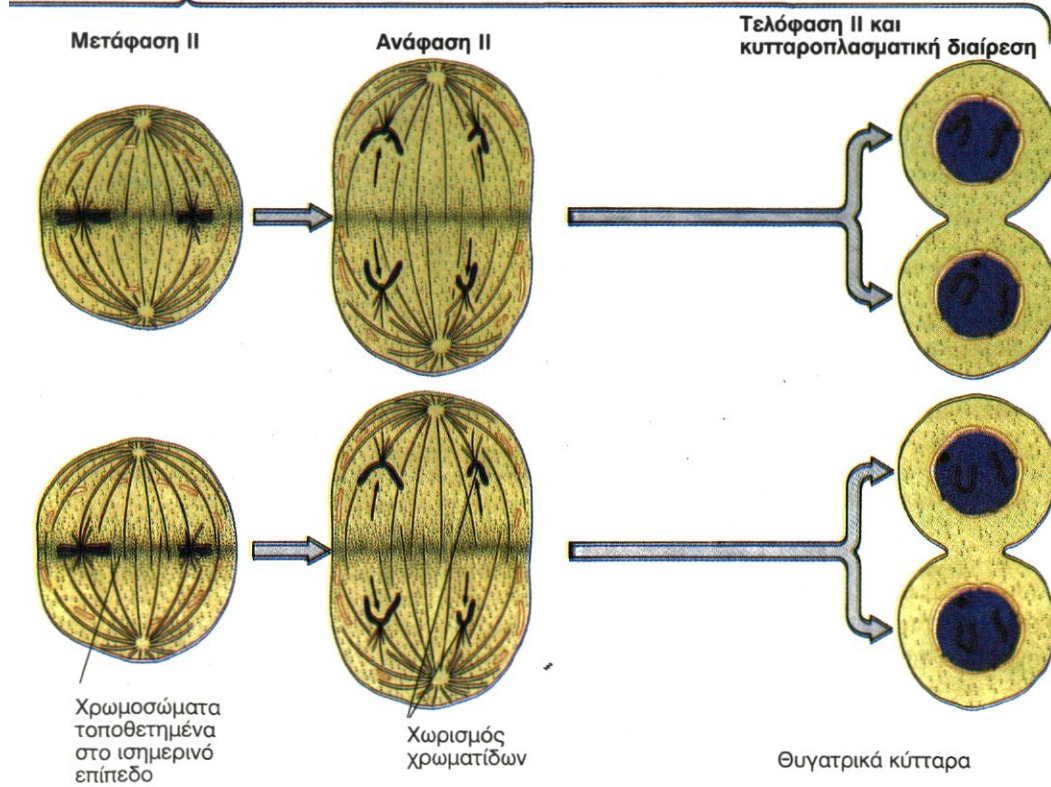
Την πρώτη μειωτική διαίρεση την ακολουθεί μια δεύτερη χωρίς να γίνει διπλασιασμός του γενετικού υλικού



Πρώτη μειωτική διαίρεση



Δεύτερη μειωτική διαίρεση



των. Αντίθετα παράγει γαμέτες που έχουν πάρει, από κάθε ζεύγος ομόλογων χρωμοσωμάτων, υποχρεωτικά τη μία χρωματίδα, η οποία με το τέλος της μείωσης αντιστοιχεί σε ένα χρωμόσωμα.

Ας δούμε πώς γίνονται όλα αυτά κι ακόμη πώς αυτός ο τύπος κυτταρικής διαίρεσης λειτουργεί ως ένας θαυμάσιος μηχανισμός παραγωγής γενετικής ποικιλομορφίας.

Η μείωση γίνεται σε μια ειδική κατηγορία διπλοειδών κυττάρων, που χαρακτηρίζονται ως **άωρα γεννητικά κύτταρα**. Μετά τον αυτοδιπλασιασμό του γενετικού υλικού (καθένα χρωμόσωμα αποτελείται από δύο χρωματίδες), στο κύτταρο που πρόκειται να υποστεί μείωση γίνονται δύο διαδοχικές κυτταρικές διαιρέσεις. Καθεμιά από αυτές περιλαμβάνει μια διαίρεση του πυρήνα και μια διαίρεση του κυτταροπλάσματος. Από την πρώτη κυτταρική διαίρεση, που χαρακτηρίζεται ως **1η μειωτική διαίρεση** ή **μείωση I**, παράγονται δύο κύτταρα. Καθένα από αυτά υφίσταται τη δεύτερη κυτταρική διαίρεση, που χαρακτηρίζεται ως **2η μειωτική διαίρεση** ή **μείωση II**, με αποτέλεσμα την παραγωγή τεσσάρων γαμετών.

Σε ό,τι αφορά τον άνθρωπο, και οι τέσσερις γαμέτες στον άνδρα είναι λειτουργικοί, δηλαδή σπερματοζώαρια. Αντίθετα στη γυναίκα ένας μόνο από τους τέσσερις γαμέτες είναι λειτουργικός, δηλαδή ωάριο.

Πρώτη μειωτική διαίρεση

Πρόφαση I: Είναι το μεγαλύτερο σε διάρκεια στάδιο της μείωσης. Τα γεγονότα που συμβαίνουν στη διάρκειά της είναι τα ακόλουθα:

α. Εμφανίζονται τα χρωμοσώματα, χωρίς όμως να είναι δυνατή, στα αρχικά τουλάχιστον στάδια, η διάκριση των αδελφών χρωματίδων.

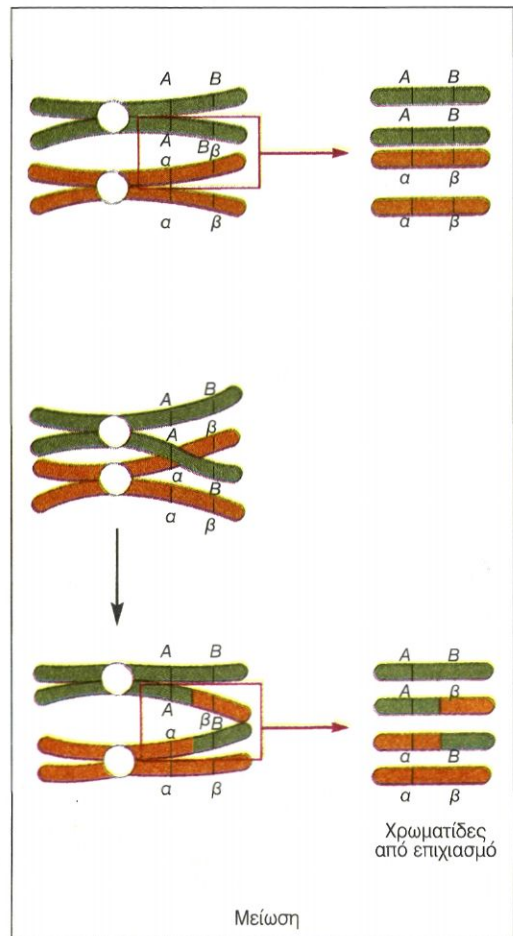
β. Τα ομόλογα χρωμοσώματα εγκαταλείπουν τις τυχαίες θέσεις που κατείχαν στο χώρο του πυρήνα, πλησιάζουν και τοποθετούνται το ένα απέναντι στο άλλο. Το φαινόμενο αυτό, που ονομάζεται **σύναψη**, γίνεται με εξαιρετική ακρίβεια, γιατί τα ομόλογα χρωμοσώματα στοιχίζονται έτσι, ώστε οι αντίστοιχοι γονιδιακοί τόποι (δηλ. οι θέσεις στις οποίες εδράζονται τα γονίδια που ελέγχουν το ίδιο γνώρισμα) να είναι ο ένας απέναντι στον άλλο.

γ. Ορισμένες φορές, εξαιτίας της σύναψης, είναι δυνατό οι μη αδελφές χρωματίδες των ομόλογων χρωμοσωμάτων, που έχουν γίνει πια ορατές, να «μπερδευτούν» μεταξύ τους. Έτσι δημιουργούνται τα χαρακτηριστικά και ορατά από το οπτικό μικροσκόπιο **χιόσματα**, στα οποία οι χρωματίδες κόβονται και επανασυγκολλώνται, αφού όμως έχουν ανταλλάξει μεταξύ τους ομόλογα

χρωμοσωμικά τμήματα. Το φαινόμενο αυτό, που ονομάζεται **επιχiasμός**, δίνει τη δυνατότητα στα ομόλογα χρωμοσώματα να ανταλλάξουν μεταξύ τους γονίδια. Αυτό εξασφαλίζει γενετική ποικιλότητα στους οργανισμούς που αναπαράγονται με αμφιγονία.

δ. Στο τέλος του σταδίου, όπως και στη μιτωτική πρόφαση, αποδιοργανώνεται ο πυρηνικός φάκελος και εξαφανίζεται ο πυρηνίσκος, ενώ αρχίζει ο σχηματισμός της ατράκτου και η μετακίνηση των ομόλογων χρωμοσωμάτων προς το ισημερινό επίπεδο του κυττάρου.

Μετάφαση I: Κατά τη διάρκεια της τα ζεύγη των ομόλογων χρωμοσωμάτων ολοκληρώνουν τη μετακίνησή τους προς το ισημερινό επίπεδο του κυττάρου. Αντίθετα όμως με ό,τι συμβαίνει στη μιτωτική μετάφαση, επειδή το κάθε χρωμόσωμα τοποθετείται απέναντι στο ομόλογό του, ο στοίχος που δημιουργείται δεν είναι στοίχος μεμονωμένων χρωμοσωμάτων αλλά ζευγών ομολόγων. Επειδή στη συνέχεια κάθε χρωμόσω-



Διάγραμμα όπου φαίνονται οι χρωματίδες που προκύπτουν από επιχiasμό.

μα από τα μέλη κάθε ζευγαριού ομολόγων μπορεί να κατευθυνθεί είτε προς τον έναν είτε προς τον άλλο πόλο, είναι δυνατός ένας μεγάλος αριθμός διαφορετικών συνδυασμών. Το φαινόμενο αυτό, που λέγεται **ανεξάρτητος συνδυασμός των χρωμοσωμάτων**, είναι ένας μηχανισμός αναδιανομής των γονιδίων που βρίσκονται σε διαφορετικά, μη ομόλογα, χρωμοσώματα. Η άτρακτος έχει πλέον οργανωθεί πλήρως και τα νημάτια της καταλήγουν στα κεντρομερίδια.

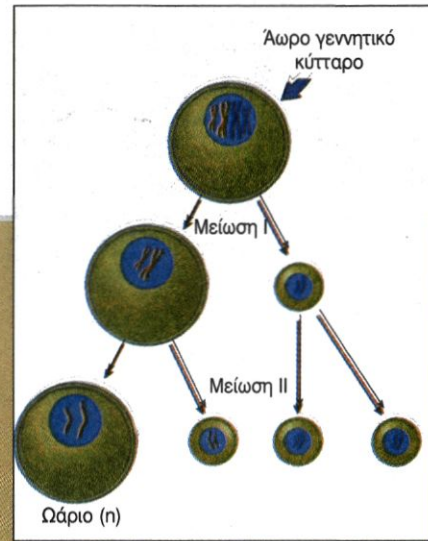
Ανάφαση I: Αντίθετα από τη μιτωτική ανάφαση, τα κεντρομερίδια δε διαιρούνται, με απο-τέλεσμα να μην αποχωρίζονται οι αδελφές χρωματίδες. Αποχωρίζονται όμως τα μέλη κάθε ζεύγους ομόλογων χρωμοσωμάτων. Σχηματίζονται έτσι δύο **πλήρεις απλοειδείς σειρές χρωμοσωμάτων**, που απομακρύνονται κατευθυνόμενες προς τους αντίθετους πόλους.

Τελόφαση I: Όταν καθεμιά από τις δύο πλήρεις απλοειδείς σειρές χρωμοσωμάτων φτάσει στον πόλο του κυττάρου προς τον οποίο κατευθυνόταν, αρχίζει το τελικό στάδιο, η τελόφαση I. Τα περισσότερα κύτταρα, ταυτόχρονα με την τελόφαση I, προχωρούν στην κυτταροπλασματική διαίρεση. Από αυτήν παράγονται δύο απλοειδή κύτταρα, στα οποία τα χρωμοσώματα αποτελούνται από δύο αδελφές χρωματίδες ενωμένες στην περιοχή του κεντρομεριδίου. Την πρώτη μειωτική διαίρεση ακολουθεί η δεύτερη, χωρίς να μεσολαβεί αυτοδιπλασιασμός του γενετικού

υλικού πριν από αυτήν.

Δεύτερη μειωτική διαίρεση

Καθένα από τα δύο κύτταρα που προκύπτουν από την 1η μειωτική διαίρεση υφίσταται μια διαίρεση που έχει την ίδια ακολουθία γεγονότων με τη μίτωση. Στο τέλος της έχουν παραχθεί τέσσερα απλοειδή κύτταρα, που έχουν το μισό της ποσότητας του γενετικού υλικού του αρχικού κυττάρου. Αυτό συμβαίνει, γιατί καθένα τους έχει πάρει τη μια αδελφή χρωματίδα από κάθε ζευγάρι ομόλογων χρωμοσωμάτων.



Σχηματισμός ωαρίου.

ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΩΑΡΙΟΥ

Από τη γέννησή της μια γυναίκα διαθέτει στις ωοθήκες της περίπου 200.000 άωρα γεννητικά κύτταρα, που βρίσκονται στο στάδιο της πρόφασης. Κάτω από την επίδραση των γυναικείων ορμονών (οιστρογόνων και προγεστερόνης), γύρω στα δώδεκα χρόνια της, αρχίζει να έχει εμμηνορροϊκό κύκλο (περίοδο) κάθε είκοσι οκτώ ημέρες. Αυτό σημαίνει ότι κάθε μήνα ένα από τα άωρα γεννητικά κύτταρα ολοκληρώνει τον κύκλο της μείωσης για την παραγωγή ωαρίου, που είναι έτοιμο για πιθανή γονιμοποίηση από κάποιο σπερματοζώαριο. Στη διάρκεια της ζωής μιας γυναίκας ωριμάζουν, συνολικά, περίπου τετρακόσια άωρα γεννητικά κύτταρα σε ωάρια. Δηλαδή το άωρο γεννητικό κύτταρο που θα ωριμάσει τελευταίο, για να ολοκληρώσει τον κύκλο της μείωσης, παραμένει στο στάδιο της πρόφασης της πρώτης μειωτικής διαίρεσης πενήντα περίπου χρόνια.

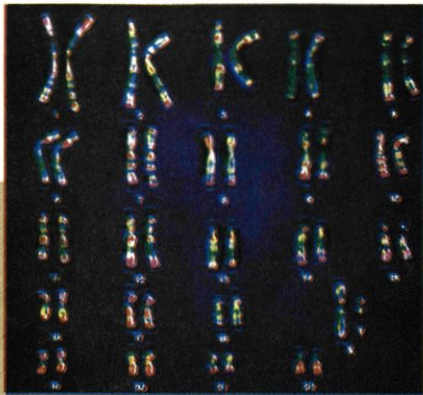
ΑΣ ΣΚΕΦΤΟΥΜΕ...

Πολλοί από αυτούς που πολέμησαν στο Βιετνάμ και οι οποίοι εκτέθηκαν στη δράση χημικών ουσιών (π.χ. ουσιών που κατέστρεφαν τη βλάστηση) παραπονιούνται ότι τα παιδιά τους, που γεννήθηκαν πολύ αργότερα, έχουν εκ γενετής προβλήματα. Για τα προβλήματα αυτά ενοχοποιούν τη διοξίνη, μία από τις ουσίες που χρησιμοποιήθηκαν. Ποια κύτταρα αυτών των ανδρών πιστεύετε ότι προσβλήθηκαν από την ουσία αυτή, ώστε να προκληθούν γενετικά προβλήματα στα παιδιά τους, χρόνια αργότερα; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.

Η βιολογική σημασία της μείωσης

Το ερώτημα που αντιμετωπίσαμε στην αρχή του κεφαλαίου ήταν: «Πώς είναι δυνατό να έχουμε τα ίδια βασικά ανθρώπινα χαρακτηριστικά με τα συγγενικά μας πρόσωπα, χωρίς να είμαστε πανομοιότυποι μεταξύ μας;». Τώρα που γνωρίζουμε τις λεπτομέρειες της μείωσης ίσως μπορούμε να το απαντήσουμε.

Η μείωση σε συνδυασμό με τη γονιμοποίηση διασφα-



ΚΑΡΥΟΤΥΠΟΣ

Καρυότυπος είναι η φωτογραφική απεικόνιση των μεταφασικών χρωμοσωμάτων ενός οργανισμού, τοποθετημένων με σειρά από το μεγαλύτερο χρωμόσωμα προς το μικρότερο.

Γενικά, από τον καρυότυπο μπορούμε να παρατηρήσουμε οτιδήποτε έχει σχέση με τον αριθμό και το είδος των χρωμοσωμάτων, καθώς και με χρωμοσωμικές ανωμαλίες, που είναι ορατές με το οπτικό μικροσκόπιο.

Για να γίνει ο καρυότυπος ενός οργανισμού, πρέπει να πάρουμε από αυτόν κύτταρα τα οποία πολλαπλασιάζονται γρήγορα. Τέτοια κύτταρα στον άνθρωπο είναι τα λευκά αιμοσφαίρια. Καλλιεργούμε τα κύτταρα αυτά και, όταν φτάσουμε στη μετάφαση, αναστέλλουμε την κυτταρική διαίρεση με ειδικές ουσίες. Στη συνέχεια βάζουμε τα χρωμοσώματά τους με κατάλληλες χρωστικές και τα φωτογραφίζουμε. Κόβουμε από τη φωτογραφία ένα ένα τα χρωμοσώματα και φτιάχνουμε μια νέα εικόνα, στην οποία τα χρωμοσώματα είναι τοποθετημένα με σειρά από το μεγαλύτερο προς το μικρότερο και τα ομόλογα χρωμοσώματα είναι τοποθετημένα το ένα δίπλα στο άλλο.

Στα βαμμένα χρωμοσώματα διακρίνονται ζώνες, από τις οποίες μπορούμε να βγάλουμε διάφορα συμπεράσματα σχετικά με χρωμοσωμικές ανωμαλίες που αφορούν την κατασκευή τους.

Το γεγονός ότι, χάρη στον ανεξάρτητο συνδυασμό χρωμοσωμάτων και στον επιχιασμό είναι στατιστικά απίθανη η δημιουργία πανομοιότυπων μεταξύ τους οργανισμών, που είναι και η ουσία της γενετικής ποικιλομορφίας που χαρακτηρίζει τους αμφιγονικά αναπαραγόμενους οργανισμούς, έχει μεγάλη σημασία για την εξέλιξη.

Μερικοί από τους συνδυασμούς γονιδίων (άρα και γνωρισμάτων που επηρεάζονται από τα γονίδια αυτά) είναι επιτυχεστέροι απ' ό,τι άλλοι, με την έννοια ότι προσφέρουν μεγαλύτερες δυνατότητες επιβίωσης στο φορέα τους σε συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες. Ο μηχανισμός αυτός συμβάλλει στην εξέλιξη, γιατί κάθε πληθυσμός περνά στις επόμενες γενιές του πιο ευνοϊκούς συνδυασμούς γονιδίων και γνωρισμάτων.

λίζει στο δημιουργούμενο ζυγωτό μια πλήρη διπλοειδή σειρά χρωμοσωμάτων και γονιδίων. Έτσι ο οργανισμός που θα προέλθει από αυτό εκδηλώνει, όπως οι γονείς του και τα αδέρφια του, το σύνολο των βασικών γνωρισμάτων που προσδιορίζει το είδος τους.

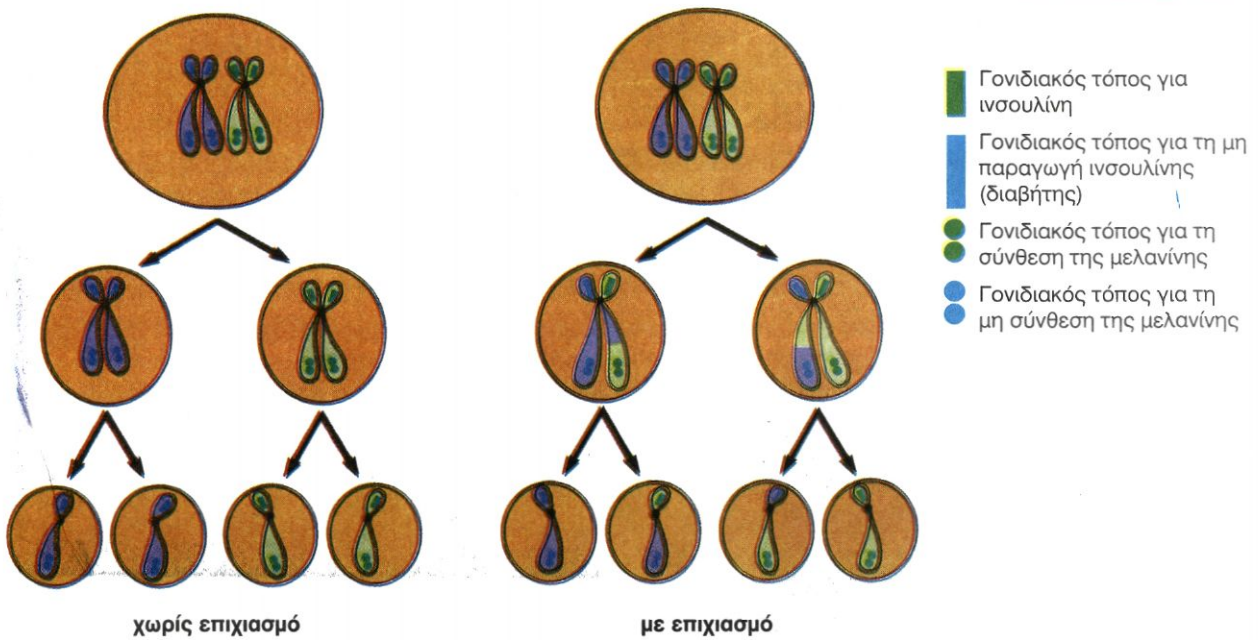
Ταυτόχρονα όμως κάθε οργανισμός έχει πάρει από τους γονείς του, μέσω των γαμετών τους, μια συλλογή χρωμοσωμάτων και γονιδίων, που είναι απίθανο να υπάρχει σε κάποιο από τα αδέρφια του. Αυτή η μοναδική συλλογή αποκτάται, όπως είδαμε, χάρη στους δύο μηχανισμούς, τον **ανεξάρτητο συνδυασμό χρωμοσωμάτων** και τον **επιχιασμό**.

Χάρη στον ανεξάρτητο συνδυασμό χρωμοσωμάτων δημιουργείται ένα πλήθος από νέους συνδυασμούς μη ομόλογων χρωμοσωμάτων και συνεπώς ένα πλήθος από νέους συνδυασμούς γονιδίων, που βρίσκονται σε μη ομόλογα χρωμοσώματα.

Η απλοειδής σειρά χρωμοσωμάτων συμβολίζεται με **n**. Η διπλοειδής, αντίστοιχα, συμβολίζεται με **2n**. Στον άνθρωπο για παράδειγμα, $n=23$ και $2n=46$.

Όταν ένα κύτταρο με $2n$ χρωμοσώματα υφίσταται μείωση για την παραγωγή γαμετών, τότε οι διαφορετικοί συνδυασμοί μη ομόλογων χρωμοσωμάτων που μπορούν να εμφανιστούν σε διαφορετικούς γαμέτες (απλοειδή n κύτταρα) που θα προκύψουν από αυτήν είναι 2^n . Αυτό για τον άνθρωπο σημαίνει ότι κάθε γονέας έχει καταθέσει σε κάθε γαμέτη του τον **έναν** από τους 2^{23} συνδυασμούς που μπορεί να παραγάγει.

Σε αντίθεση με τον ανεξάρτητο συνδυασμό χρωμοσωμάτων, ο οποίος έχει ως αποτέλεσμα την αναδιανομή των γονιδίων που βρίσκονται σε μη ομόλογα χρωμοσώματα, ο επιχιασμός ανασυνδυάζει γονίδια



Με τον επιχιασμό διαφοροποιείται η γονιδιακή σύσταση των γαμετών.

που βρίσκονται στο ίδιο το ζεύγος ομόλογων χρωμοσωμάτων. Αυτό συμβαίνει, γιατί με την ανταλλαγή αντίστοιχων τμημάτων, που γίνεται μεταξύ των μη αδελφών χρωματίδων των ομόλογων χρωμοσωμάτων, ανταλλάσσονται και γονίδια.

Ο συνδυασμός των δύο μηχανισμών που αναφέρθηκαν έχει ως συνέπεια σε κάθε γαμέτη να αντιπροσωπεύεται ένα μοναδικό «μείγμα» γονιδίων που βρίσκονται σε διαφορετικά χρωμοσώματα και ταυτόχρονα ένα μοναδικό «μείγμα» γονιδίων που βρίσκονται στο ίδιο χρωμόσωμα.

Έτσι λοιπόν, χάρη στη μείωση, είναι στατιστικά απίθανο εμείς και κάποιο από τα αδέρφια μας να έχουμε την ίδια συλλογή χρωμοσωμάτων και γονιδίων και από τους δύο γονείς, οπότε να είμαστε πανομοιότυποι μεταξύ μας.

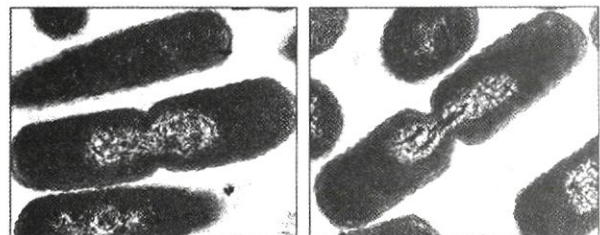
Το γεγονός αυτό, που είναι η ουσία της γενετικής ποικιλομορφίας που χαρακτηρίζει τους αμφιγονικά αναπαραγόμενους οργανισμούς, έχει μεγάλη σημασία για την εξέλιξη.

Μερικοί από τους συνδυασμούς γονιδίων (άρα και γνωρισμάτων που επηρεάζονται από τα γονίδια αυτά) είναι επιτυχέστεροι απ' ό,τι άλλοι, με την έννοια ότι προσφέρουν μεγαλύτερες δυνατότητες επιβίωσης στο φορέα τους σε συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες. Ο μηχανισμός αυτός συμβάλλει στην εξέλιξη, γιατί κάθε πληθυσμός περνά στις επόμενες γενιές του πιο ευνοϊκούς συνδυασμούς γονιδίων και γνωρισμάτων.

Κυτταρική διαίρεση στους προκαρυωτικούς οργανισμούς

Το είδος της κυτταρικής διαίρεσης με το οποίο αναπαράγονται οι προκαρυωτικοί οργανισμοί, συγκρινόμενο με το βασικό τύπο κυτταρικής διαίρεσης των ευκαρυωτικών, τη μίτωση, είναι απλούστερο. Το βακτηριακό «χρωμόσωμα», για παράδειγμα, είναι ουσιαστικά ένα κυκλικό μόριο DNA, το οποίο αυτοδιπλασιάζεται πριν από τη διαίρεση του βακτηρίου. Τα δύο «χρωμοσώματα» μοιράζονται στα θυγατρικά κύτταρα με τη βοήθεια της κυτταρικής μεμβράνης, χωρίς τη δημιουργία ατράκτου.

Τη διανομή του γενετικού υλικού ακολουθεί η διαίρεση του κυτταροπλάσματος. Τα δύο θυγατρικά κύτταρα αποχωρίζονται με την ανάπτυξη νέων κυτταρικών τοιχωμάτων.



α.

β.

Διαίρεση προκαρυωτικού κυττάρου, όπου φαίνεται η διαίρεση: α) της πυρηνικής περιοχής και β) του κυτταροπλάσματος.