

Κύτταρα: Οι Ζωντανές Μονάδες

2

Γενική Θεώρηση των Κυττάρων 24

Πλασματική Μembrάνη 25

Δομή 27

Λειτουργίες 27

Διαμεμβρανική Μεταφορά 27

Κυτταρόπλασμα 30

Κυττοσόλιο 30

Κυτταροπλασματικά Οργανίδια 30

Κυτταροπλασματικά Έγκλειστα 35

Πυρήνας 35

Πυρηνική Μembrάνη 36

Πυρηνίσκος 36

Χρωματίνη και Χρωμοσώματα 36

Ο Κύκλος Ζωής του Κυττάρου 38

Μεσόφαση 38

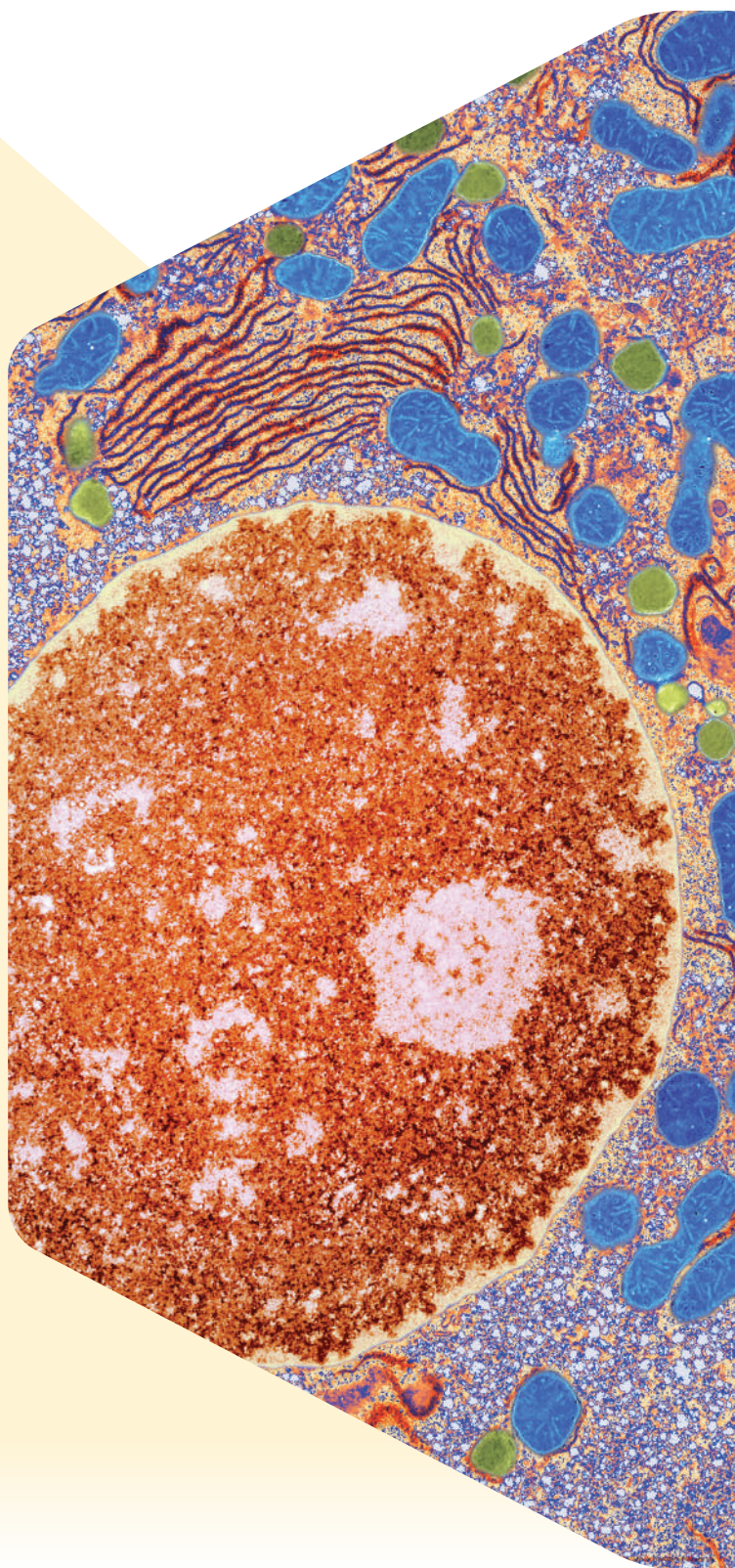
Κυτταρική Διάρθρωση 38

Στοιχεία της Ανάπτυξης των Κυττάρων 42

Κυτταρική Διαφοροποίηση 42

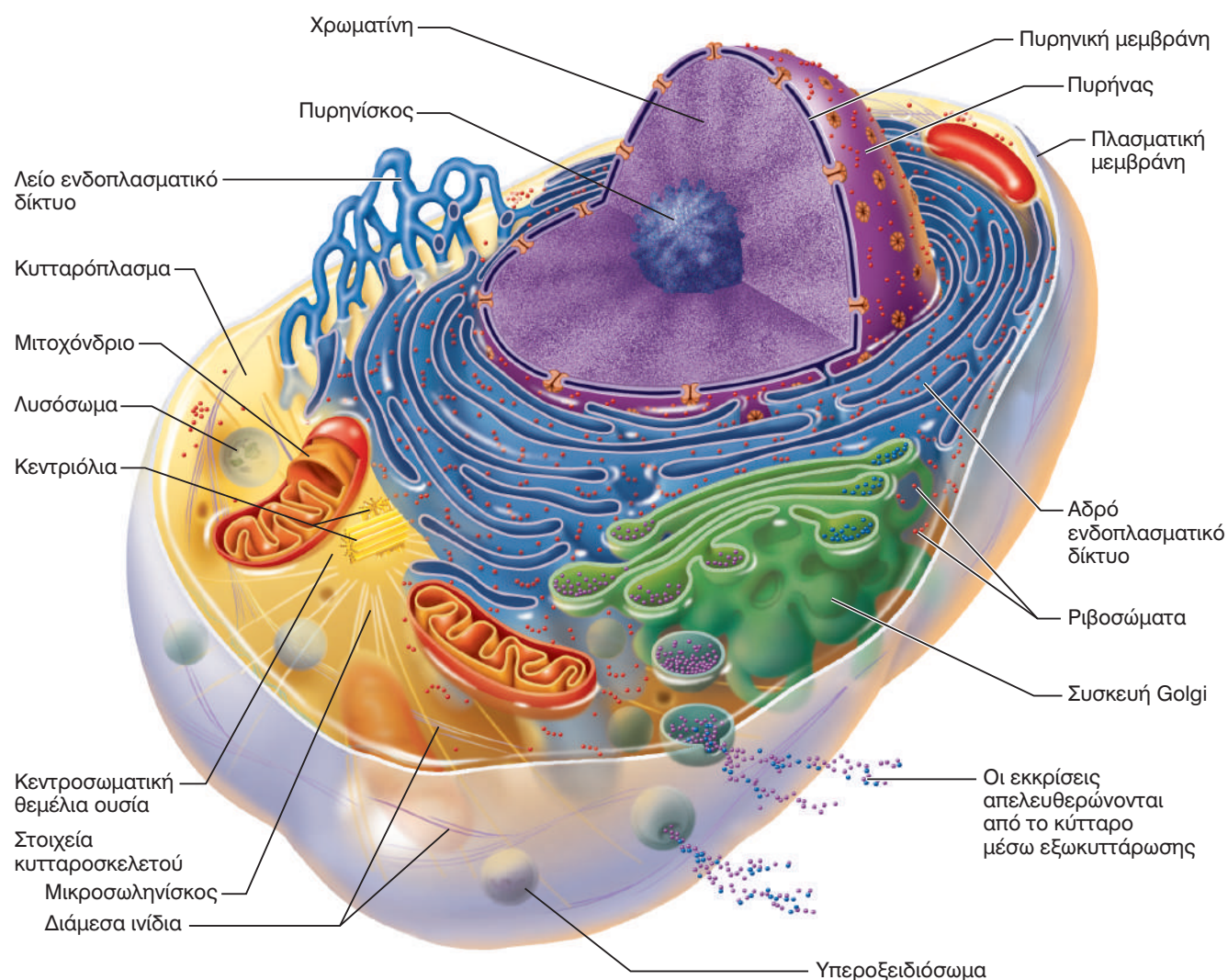
Γήρανση 43

Όλοι οι ζώντες οργανισμοί είναι κυτταρικής φύσης, από τους «μη εξελιγμένους», όπως π.χ. οι αμοιβάδες, μέχρι τους σύνθετους πολυκύτταρους οργανισμούς, όπως π.χ. τα δένδρα, τα ζώα και οι άνθρωποι. Όπως τα τούβλα και τα δοκάρια αποτελούν τις δομικές μονάδες των σπιτιών, έτσι και τα κύτταρα αποτελούν τις δομικές μονάδες όλων των ζώντων οργανισμών. Ο ανθρώπινος οργανισμός έχει περίπου 50 με 100 τρισεκατομμύρια κύτταρα. Το παρόν κεφάλαιο εξετάζει τη δομή και τις λειτουργίες που είναι κοινές στα διάφορα είδη κυττάρων του οργανισμού. Τα εξειδικευμένα κύτταρα και οι επιμέρους λειτουργίες τους, εξετάζονται λεπτομερώς σε επόμενα κεφάλαια.



Ηπατοκύτταρο (τεχνητά χρωματισμένη ΗΜΔ).





Εικόνα 2.1 Δομή ενός μη εξειδικευμένου κυττάρου. Κανένας κυτταρικός τύπος δεν είναι ακριβώς όπως αυτό το κύτταρο, αλλά αυτή η σύνθεση απεικονίζει τα χαρακτηριστικά που είναι κοινά στα ζωικά κύτταρα. Όλα τα οργανίδια αυτής της απεικόνισης δεν παρουσιάζονται στην ίδια κλίμακα.

ΓΕΝΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΩΝ ΚΥΤΤΑΡΩΝ

Εκπαιδευτικός στόχος

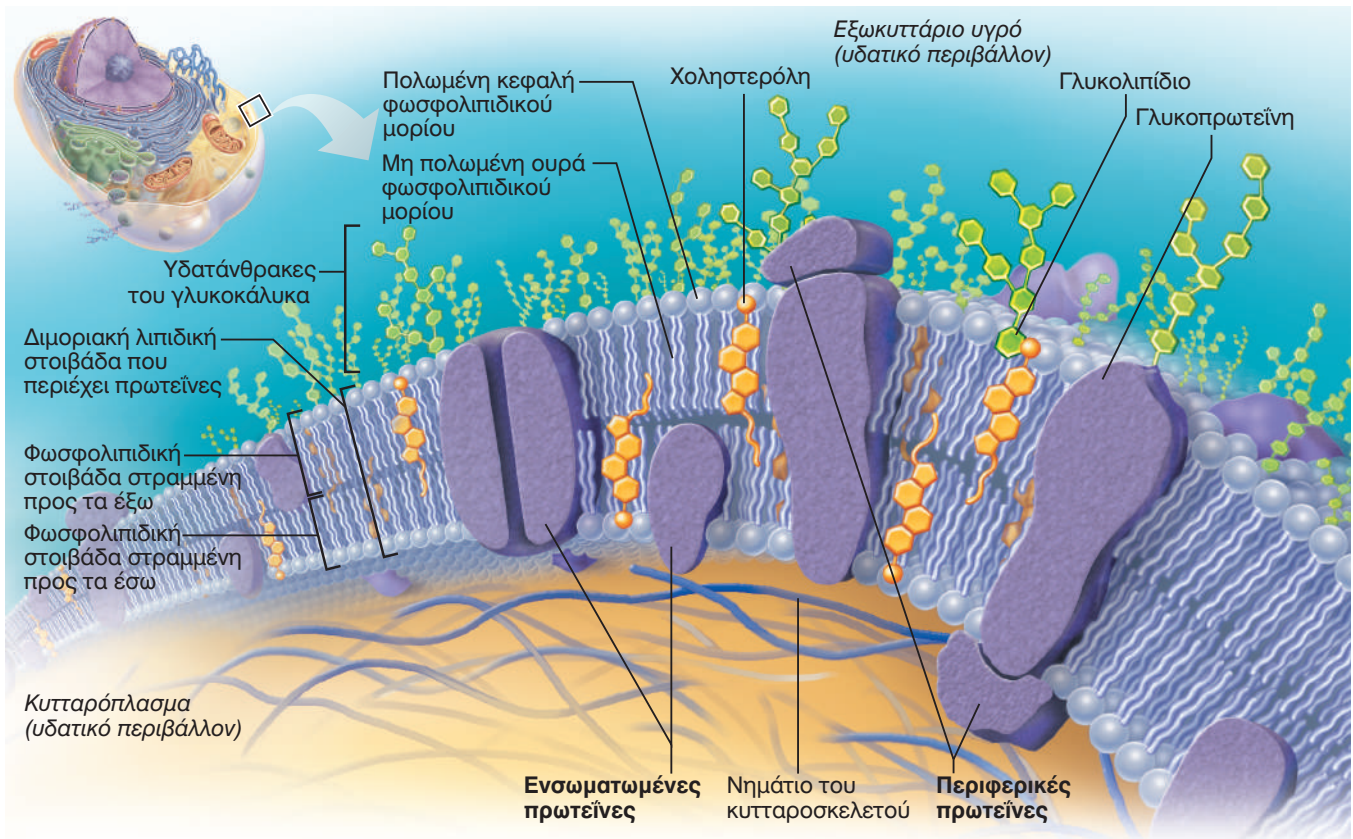
- Δώστε τον ορισμό του κυττάρου, των βασικών λειτουργιών του και των τριών κύριων περιοχών του.

Ο επιστήμονας Robert Hooke ήταν ο πρώτος που παρατήρησε φυτικά κύτταρα με ένα πρωτόγονο μικροσκόπιο στα τέλη του 1600. Ωστόσο, στα τέλη του 1830 δύο επιστήμονες, ο Matthias Schleiden και ο Theodor Schwann ήταν οι πρώτοι που υποστήριξαν με σθένος ότι όλα τα ζωντανά πλάσματα αποτελούνται από κύτταρα. Μετά από λίγο καιρό, ο παθολογοανατόμος Rudolf Virchow επέκτεινε αυτή την ιδέα υποστηρίζοντας ότι τα κύτταρα προέρχονται αποκλειστικά από άλλα κύτταρα. Η άποψη του Virchow ήταν επαναστατική επειδή έθετε υπό αμφισβήτηση την επικρατούσα θεωρία της αυτόματης γέννησης, η οποία υποστήριζε ότι οι οργανισμοί μπορούν να προέλθουν από μη ζώσα ύλη. Η κυτταρική έρευνα συνεχίζεται από τα τέλη του 19ου αιώνα μέχρι σήμερα με αμείωτη επιτυχία. Μάλιστα, η επιστημονική γνώση σχετικά με το κύτταρο αυξάνεται πλέον εκθετικά.

Τα κύτταρα είναι οι μικρότερες ζωντανές μονάδες του οργανισμού. Το κάθε κύτταρο επιτελεί όλες τις απαραίτητες λειτουργίες για τη διατήρηση της ζωής. Έκαστο κύτταρο μπορεί:

- Να προσλαμβάνει θρεπτικά συστατικά και άλλες απαραίτητες ουσίες από τα περιβάλλοντα σωματικά υγρά.
- Να χρησιμοποιεί αυτά τα θρεπτικά συστατικά ώστε να δημιουργεί τα απαραίτητα για την επιβίωσή του μόρια.
- Να απομακρύνει τα παραπροϊόντα του μεταβολισμού του.
- Να διατηρεί το σχήμα και τη δομική ακεραιότητά του.
- Να αυτο-αναπαράγεται.

Οι λειτουργίες αυτές επιτελούνται από τις πολλές υπομονάδες του κυττάρου, οι περισσότερες από τις οποίες ονομάζονται **οργανίδια** («μικρά όργανα»). Αν και οι διαφορετικοί τύποι κυττάρων επιτελούν διαφορετικές λειτουργίες, όλα σχεδόν τα ανθρώπινα κύτταρα περιέχουν τα ίδια βασικά μέρη και μπορούν να περιγραφούν με τους όρους ενός γενικού κυττάρου (**Εικόνα 2.1**). Τα ανθρώπινα κύτταρα έχουν τρία κύρια μέρη: πλασματική μεμβράνη, κυτταρόπλασμα και πυρήνα (**Πίνακας 2.1**). Η **πλασματική μεμβράνη** είναι το εξωτερικό όριο. Εσωτερικά αυτής της μεμβράνης βρίσκεται



Εικόνα 2.2 Η πλασματική μεμβράνη σύμφωνα με το μοντέλο του ρευστού μωσαϊκού.

το **κυτταρόπλασμα**, το οποίο καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος του κυττάρου, περιέχει τα περισσότερα κυτταρικά οργανίδια και περιβάλλει τον πυρήνα. Ο **πυρήνας** ελέγχει τις κυτταρικές λειτουργίες και βρίσκεται πλησίον του κέντρου του κυττάρου. Σκεφθείτε το κύτταρο ως ένα εργοστάσιο. Το κάθε οργανίδιο λειτουργεί ως ένα ειδικό τμήμα του εργοστασίου:

- Η **πλασματική μεμβράνη** είναι η περίφραξη και η πύλη ασφαλείας του κυττάρου. Σχηματίζει τα όρια του κυττάρου και επιτρέπει εκλεκτικά στις ουσίες να εισέλθουν στο κύτταρο ή να εξέλθουν από αυτό.
- Τα **ριβωσώματα** είναι η γραμμή συναρμολόγησης. Παράγουν τις πρωτεΐνες.
- Το **ενδοπλασματικό δίκτυο (ΕΔ)** είναι μέρος του τμήματος παραγωγής. Το αδρό ΕΔ παράγει πρωτεΐνες και το λείο ΕΔ μεταβολίζει τα λιπίδια και αποθηκεύει το ασβέστιο.
- Η **συσκευή Golgi** είναι το τμήμα συσκευασίας και αποστολής. Συσκευάζει τις πρωτεΐνες για χρήση είτε εντός ή εκτός του κυττάρου.
- Τα **λυσοσώματα** είναι το προσωπικό καθαρισμού και το κέντρο ανακύκλωσης. Διασπούν τις χρησιμοποιημένες πρωτεΐνες και τα άλλα κυτταρικά κατάλοιπα.
- Τα **μιτοχόνδρια** είναι ο σταθμός παραγωγής ενέργειας.
- Τα **υπεροξειδισώματα** είναι το τμήμα διαχείρισης των τοξικών αποβλήτων. Εξουδετερώνουν τις τοξικές ουσίες και τις απομακρύνουν από το κύτταρο.
- Τα **στοιχεία του κυτταροσκελετού** σχηματίζουν το δίκτυο και την υποδομή του κτιρίου. Διατηρούν το κυτταρικό σχήμα και την κυτταρική δομή και μεταφέρουν τα υλικά εντός του κυττάρου.

- Ο **πυρήνας** είναι ο διευθύνων σύμβουλος. Καθοδηγεί τη λειτουργία του κυττάρου.

Ακολουθεί συζήτηση για κάθε μια από τις παραπάνω κυτταρικές δομές.

✓ Ερωτήσεις κατανόησης

- ☐ 1. Ποιες είναι οι τρεις γενικές περιοχές του κυττάρου;

(Για τις απαντήσεις, βλέπε Παράρτημα Β.)

ΠΛΑΣΜΑΤΙΚΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ

Εκπαιδευτικοί στόχοι

- Περιγράψτε τη σύσταση και τις βασικές λειτουργίες της πλασματικής μεμβράνης.
- Εξηγήστε τις διαφορετικές διεργασίες που χρησιμοποιούνται για τη μετακίνηση των μορίων διαμέσου της πλασματικής μεμβράνης.

Η εξωτερική μεμβράνη του κυττάρου (**Εικόνα 2.2**) ονομάζεται **πλασματική μεμβράνη** ή **κυτταρική μεμβράνη** ή **πλασμαλήμμα**. Αυτή η λεπτή, εύκαμπτη στοιβάδα οριοθετεί την έκταση του κυττάρου, διαχωρίζοντας έτσι τα δύο κύρια διαμερίσματα των υγρών του οργανισμού: το **ενδοκυττάριο υγρό** εντός των κυττάρων και το **εξωκυττάριο υγρό** που κείται έξω από τα κύτταρα και ανάμεσα σε αυτά. Για να επιστρέψουμε στον παραλληλισμό με το εργοστάσιο, η πλασματική μεμβράνη μπορεί να θεωρηθεί ως ο φράκτης ασφαλείας που περιβάλλει τη μονάδα παραγωγής (κύτταρο). Το όριο αυτό περιέχει ειδικά σημεία ελέγχου (υποδοχείς) που επηρεάζουν τις κυτταρικές λειτουργίες με διάφορους τρόπους.

Πίνακας 2.1 Μέρη του Κυττάρου: Δομή και Λειτουργία

Κυτταρικό Μέρος	Δομή	Λειτουργίες
ΠΛΑΣΜΑΤΙΚΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ (Εικόνα 2.2)	Μεμβράνη που αποτελείται από μια διπλοστοιβάδα λιπιδίων (φωσφολιπίδια, χοληστερόλη κ.ά.) εντός της οποίας βρίσκονται ενσωματωμένες πρωτεΐνες. Οι πρωτεΐνες της εξωτερικής επιφάνειας και ορισμένα λιπίδια έχουν προσκολλημένες ομάδες σακχάρων	Χρησιμεύει ως εξωτερικός κυτταρικός φραγμός. Συμμετέχει στη μεταφορά ουσιών εντός και εκτός του κυττάρου. Οι πρωτεΐνες της εξωτερικής επιφάνειας λειτουργούν ως υποδοχείς (για ορμόνες, νευροδιαβιβαστές κλπ.) και χρησιμεύουν στη διακυτταρική αναγνώριση
ΚΥΤΤΑΡΟΠΛΑΣΜΑ	Η περιοχή του κυττάρου μεταξύ του πυρήνα και της πλασματικής μεμβράνης. Αποτελείται από το υγρό κυττοσόλιο που περιέχει διαλυτές ουσίες, έγκλειστα (αποθήκες θρεπτικών συστατικών, κοκκία χρωστικής) και οργανίδια , το μεταβολικό εργοστάσιο του κυτταροπλάσματος	
Κυτταροπλασματικά οργανίδια		
• Ριβοσώματα (Εικόνα 2.6)	Πυκνά σωματίδια που αποτελούνται από δύο υπομονάδες, η κάθε μία από τις οποίες περιέχει ριβοσωμικό RNA και πρωτεΐνες. Ελεύθερα ή προσκολλημένα στο αδρό ΕΔ	Η θέση της πρωτεϊνσύνθεσης
• Αδρό ενδοπλασματικό δίκτυο (Εικόνα 2.6)	Μεμβρανώδες σύστημα ασκών και σωληναρίων, που κατακλύζονται εξωτερικά από ριβοσώματα	Συνθέτει τις πρωτεΐνες που εκκρίνονται από το κύτταρο. Παράγει τις μεμβράνες του κυττάρου
• Λείο ενδοπλασματικό δίκτυο (Εικόνα 2.6)	Μεμβρανικό σύστημα ασκών και σωληναρίων χωρίς ριβοσώματα	Το σημείο της σύνθεσης των λιπιδίων και των στεροειδών ορμονών, του μεταβολισμού των λιπιδίων και της εξουδετέρωσης της φαρμακευτικής τοξικότητας
• Συσκευή Golgi (Εικόνες 2.7, 2.8)	Στοιβάδα λείων μεμβρανωδών ασκών πλησίον του πυρήνα	Συσκευάζει, τροποποιεί και διαχωρίζει τις πρωτεΐνες για έκκριση από το κύτταρο, αποθήκευση στα λυσοσώματα και ενσωμάτωση στις πλασματικές μεμβράνες
• Λυσοσώματα (Εικόνα 2.9)	Μεμβρανώδεις ασκοί που περιέχουν όξινες υδrolάσες	Θέση της ενδοκυττάριας πέψης
• Μιτοχόνδρια (Εικόνα 2.10)	Ραβδοειδείς δομές με διπλή μεμβράνη. Η εσωτερική μεμβράνη πτυχώνεται σχηματίζοντας προσεκβολές που ονομάζονται ακρολοφίες	Το σημείο σύνθεσης του ATP. Ο σταθμός παραγωγής ενέργειας του κυττάρου
• Υπεροξειδισώματα (Εικόνα 2.1)	Μεμβρανώδεις ασκοί που περιέχουν οξειδωτικά ένζυμα	Τα ένζυμα εξουδετερώνουν έναν αριθμό τοξικών ουσιών. Το σημαντικότερο ένζυμο, η καταλάση, διασπάει το υπεροξείδιο του υδρογόνου
• Μικρονημάτια (Εικόνα 2.11α)	Λεπτά νημάτια της συστατικής πρωτεΐνης ακτίνης	Εμπλέκονται στη μυϊκή σύσπαση και σε άλλους τύπους ενδοκυττάριας κίνησης. Συμβάλλουν στον σχηματισμό του κυτταροσκελετού
• Διάμεσα ινίδια (Εικόνα 2.11β)	Πρωτεϊνικές ίνες. Η σύστασή τους ποικίλλει	Τα σταθερά στοιχεία του κυτταροσκελετού. Αντίστανται στις δυνάμεις τάσης που ασκούνται πάνω στο κύτταρο
• Μικροσωληνίσκοι (Εικόνα 2.11γ)	Κυλινδρικές δομές που αποτελούνται από την πρωτεΐνη τουμπουλίνη	Στηρίζουν το κύτταρο και διαμορφώνουν το σχήμα του. Εμπλέκονται στην ενδοκυττάρια και κυτταρική κίνηση. Σχηματίζουν τα κεντριόλια
• Κεντριόλια (Εικόνα 2.12)	Ζεύγος κυλινδρικών σωματίων. Το κάθε ένα αποτελείται από εννέα τριπλέτες μικροσωληνίσκων	Οργανώνουν ένα δίκτυο μικροσωληνίσκων κατά τη μίτωση για τον σχηματισμό της ατράκτου και των αστέρων. Σχηματίζουν τις βάσεις των βλεφαρίδων και των μαστιγίων
ΠΥΡΗΝΑΣ (Εικόνα 2.13)	Περιβάλλεται από πυρηνική μεμβράνη. Περιέχει υγρό πυρηνόπλασμα, πυρηνίσκο και χρωματίνη	Κέντρο ελέγχου του κυττάρου. Υπεύθυνος για τη μεταφορά της γενετικής πληροφορίας και την παροχή οδηγιών για την πρωτεϊνσύνθεση
• Πυρηνική μεμβράνη (Εικόνα 2.13)	Διπλή μεμβρανική δομή. Διαθέτει πόρους. Αποτελεί συνέχεια του κυτταροπλασματικού ΕΔ	Διαχωρίζει το πυρηνόπλασμα από το κυτταρόπλασμα και ρυθμίζει τη διέλευση των ουσιών προς και από τον πυρήνα
• Πυρηνίσκος (Εικόνα 2.13)	Πυκνά σφαιρικά σωματίδια. Δεν περιβάλλονται από μεμβράνη	Σημείο σύνθεσης των υπομονάδων των ριβοσωμάτων
• Χρωματίνη (Εικόνες 2.13, 2.15)	Κοκκώδης, νηματοειδής ουσία που αποτελείται από DNA και πρωτεΐνες, τις ιστόνες	Τα γονίδια αποτελούνται από DNA

Δομή

Το μοντέλο του ρευστού μωσαϊκού της μεμβρανικής δομής αναπαριστά την πλασματική μεμβράνη ως μια διπλοστοιβάδα λιπιδικών μορίων, με πρωτεϊνικά μόρια να βρίσκονται εμβυθισμένα μέσα σε αυτή (Εικόνα 2.2). Στην πλασματική μεμβράνη η πολυπληθέστερη ομάδα λιπιδίων είναι τα φωσφολιπίδια. Το κάθε μόριο φωσφολιπιδίου έχει μια πολωμένη (ηλεκτρικά φορτισμένη) «κεφαλή» και μια μη πολωμένη (μη ηλεκτρικά φορτισμένη) «ουρά» που αποτελείται από δύο αλυσίδες λιπαρών οξέων, μοιάζοντας λοιπόν με ένα γλυφιτζούρι με δύο ξυλάκια. Οι πολωμένες κεφαλές έλκονται από το νερό –το κύριο συστατικό τόσο του κυτταροπλάσματος όσο και του εξωκυττάριου υγρού– και για αυτό κείτονται κατά μήκος της έσω καθώς και της έξω επιφάνειας της μεμβράνης. Οι μη πολωμένες ουρές αποφεύγουν το νερό και στοιχίζονται στο κέντρο της μεμβράνης. Το αποτέλεσμα είναι δύο παράλληλες στοιβάδες φωσφολιπιδικών μορίων με τις ουρές τους τοποθετημένες τη μια απέναντι από την άλλη. Με τον τρόπο αυτό σχηματίζεται η βασική διπλόστοιβη δομή της μεμβράνης.

Οι εσωτερικές και εξωτερικές στοιβάδες της μεμβράνης διαφέρουν κατά κάποιον τρόπο ως προς το είδος των λιπιδίων που περιέχουν. Στο 10% περίπου των εξωτερικών λιπιδικών μορίων προσκολλώνται υδατανθρακικές ομάδες, με αποτέλεσμα να προκύπτουν γλυκολιπίδια. Η πλασματική μεμβράνη περιέχει επίσης σημαντικές ποσότητες χοληστερόλης, ενός άλλου λιπιδίου. Η χοληστερόλη καθιστά τη μεμβράνη περισσότερο δύσκαμπτη και αυξάνει την αδιαπερατότητά της στο νερό και στα υδατοδιαλυτά μόρια.

Οι πρωτεΐνες αντιστοιχούν στο ήμισυ περίπου του βάρους της πλασματικής μεμβράνης. Οι πρωτεΐνες της μεμβράνης διακρίνονται σε δύο τύπους: ενσωματωμένες και περιφερικές (Εικόνα 2.2). Οι **ενσωματωμένες πρωτεΐνες** είναι εμβυθισμένες στη λιπιδική διπλοστοιβάδα ή στενά συνδεδεμένες με αυτή. Μερικές ενσωματωμένες πρωτεΐνες προεξέχουν μόνο από τη μία πλευρά της μεμβράνης, αλλά οι περισσότερες είναι **διαμεμβρανικές πρωτεΐνες**, οι οποίες διατρέχουν όλο το μήκος της μεμβράνης και προεξέχουν από αμφότερες τις πλευρές της. Αντίθετα, οι **περιφερικές πρωτεΐνες** δεν εμβυθίζονται καθόλου στη λιπιδική διπλοστοιβάδα, αλλά προσκολλώνται αρκετά χαλαρά στη μεμβρανική επιφάνεια. Οι περιφερικές πρωτεΐνες περιλαμβάνουν ένα δίκτυο ινιδίων που συμβάλλουν στη στήριξη της μεμβράνης από την κυτταροπλασματική της πλευρά. Χωρίς αυτή την ισχυρή υποστηρικτική βάση, η πλασματική μεμβράνη θα σχιζόταν πολύ εύκολα.

Στις ενσωματωμένες πρωτεΐνες προσκολλώνται βραχείες αλυσίδες υδατανθρακικών μορίων για να σχηματιστούν γλυκοπρωτεΐνες. Τα σάκχαρα αυτά προεξέχουν από την εξωτερική κυτταρική επιφάνεια, σχηματίζοντας τον *γλυκοκάλυκα*. Στον σχηματισμό του γλυκοκάλυκα συμμετέχουν επίσης τα σάκχαρα των μεμβρανικών γλυκολιπιδίων. Μπορεί κανείς λοιπόν να θεωρήσει ότι τα κύτταρά του είναι «επικαλυμμένα με σάκχαρα». Ο γλυκοκάλυκας είναι κολλώδης και συμβάλλει στη διακυτταρική σύνδεση. Δεδομένου ότι ο κάθε τύπος κυττάρων διαθέτει διαφορετική μορφολογία σακχάρων στον γλυκοκάλυκά του, ο γλυκοκάλυκας αποτελεί επίσης έναν χαρακτηριστικό βιολογικό δείκτη, μέσω του οποίου αναγνωρίζονται μεταξύ τους τα παρακείμενα κύτταρα. Για παράδειγμα, ένα σπερματοζώαριο αναγνωρίζει το ωάριο από την διαφορετική σύσταση του γλυκοκάλυκα του ωαρίου.

Λειτουργίες

Οι λειτουργίες της πλασματικής μεμβράνης σχετίζονται με την εντόπισή της στη διεπιφάνεια μεταξύ του εξωτερικού και του εσωτερικού του κυττάρου:

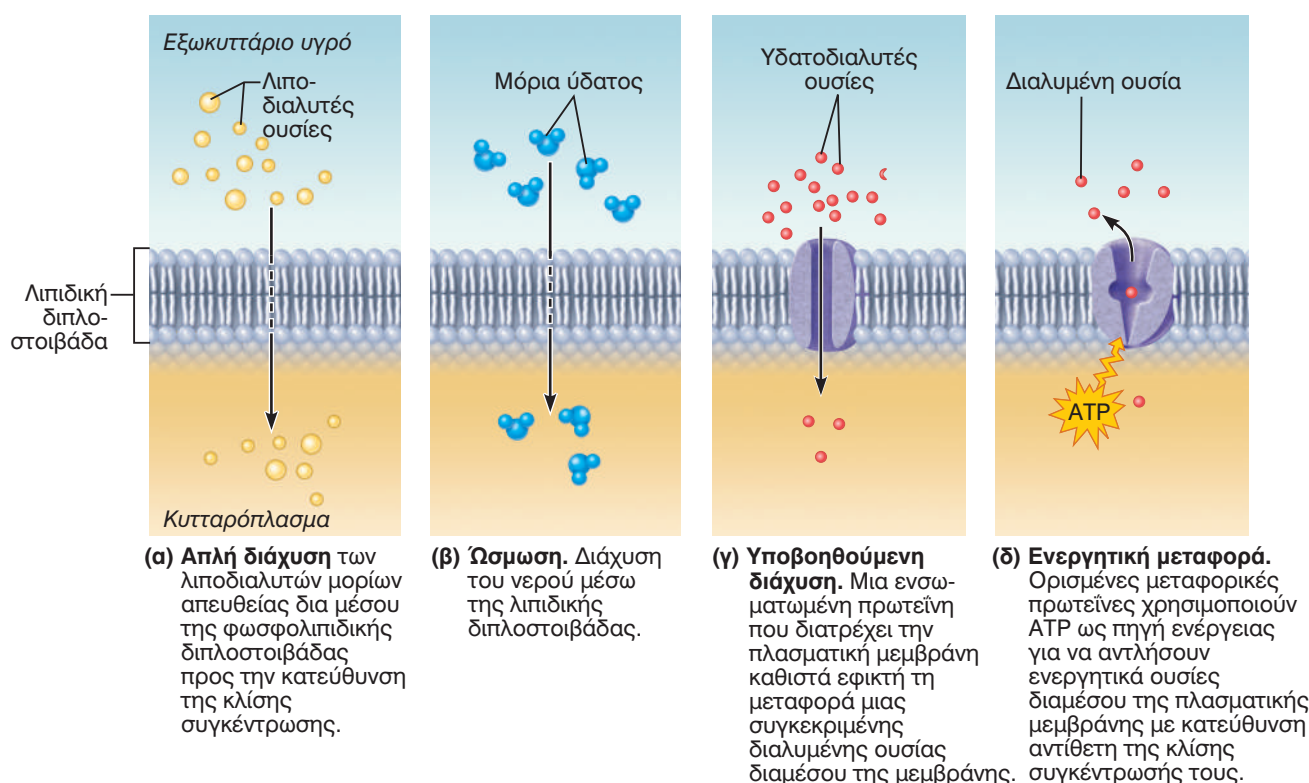
1. Η πλασματική μεμβράνη παρέχει έναν προστατευτικό φραγμό ενάντια σε ουσίες και δυνάμεις από το εξωτερικό του κυττάρου.
2. Μερικές μεμβρανικές πρωτεΐνες δρουν ως **υποδοχείς**, δηλαδή έχουν την ικανότητα να συνδέονται με ειδικά μόρια που φθάνουν από το εξωτερικό του κυττάρου. Μετά τη σύνδεση με τον υποδοχέα, το μόριο μπορεί να επάγει μια αλλαγή στην κυτταρική λειτουργία. Οι μεμβρανικοί υποδοχείς δρουν ως μέρος του συστήματος της κυτταρικής επικοινωνίας του οργανισμού.
3. Η πλασματική μεμβράνη ελέγχει ποιες ουσίες μπορούν να εισέλθουν στο κύτταρο ή να εξέλθουν από αυτό. Η μεμβράνη είναι ένας εκλεκτικός διαπερατός φραγμός που επιτρέπει μόνο σε ορισμένες ουσίες να διέλθουν μεταξύ ενδοκυττάριου και εξωκυττάριου υγρού, αποκλείοντας ταυτόχρονα κάποιες άλλες. Οι διεργασίες που εμπλέκονται στη μετακίνηση ουσιών διαμέσου της πλασματικής μεμβράνης περιγράφονται στη συνέχεια.

Διαμεμβρανική Μεταφορά

Τα μικρά, μη φορτισμένα μόρια, όπως π.χ. το οξυγόνο, το διοξείδιο του άνθρακα και τα λιποδιαλυτά μόρια, μπορούν να διέλθουν ελεύθερα μέσω της λιπιδικής διπλοστοιβάδας της πλασματικής μεμβράνης με μια διεργασία που ονομάζεται **απλή διάχυση**. Διάχυση είναι η τάση των μορίων ενός διαλύματος να μετακινούνται ανάλογα με την κλίση συγκέντρωσης, δηλαδή τα μόρια μετατοπίζονται από μια περιοχή στην οποία έχουν μεγαλύτερη συγκέντρωση προς μια περιοχή στην οποία έχουν μικρότερη συγκέντρωση. (Εικόνα 2.3α). Το νερό, όπως και άλλα μόρια, διαχέεται προς την κατεύθυνση της κλίσης συγκέντρωσης. Η διάχυση των μορίων του νερού διάμεσου μιας μεμβράνης ονομάζεται **ώσμωση** (Εικόνα 2.3β).

Ωστόσο, τα περισσότερα υδατοδιαλυτά ή φορτισμένα μόρια, όπως π.χ. η γλυκόζη, τα αμινοξέα και τα ιόντα δεν μπορούν να διέλθουν μέσω της λιπιδικής διπλοστοιβάδας με απλή διάχυση. Τέτοιες ουσίες μπορούν να διαπεράσουν την πλασματική μεμβράνη μόνο μέσω ειδικών μεταφορικών μηχανισμών που χρησιμοποιούν τις ενσωματωμένες πρωτεΐνες για να διακινήσουν ή να αντλήσουν τα μόρια διαμέσου της μεμβράνης ή να σχηματίσουν διαύλους μέσω των οποίων διέρχονται τα ειδικά μόρια. Μερικά από αυτά τα μόρια μετακινούνται προς την κατεύθυνση της κλίσης συγκέντρωσης και διαχέονται διαμέσου της πλασματικής μεμβράνης χάρη στη δυνατότητα μετακίνησης που τους παρέχει μια ειδική ενσωματωμένη πρωτεΐνη. Αυτή η μεταφορική διεργασία ονομάζεται **υποβοηθούμενη διάχυση** (Εικόνα 2.3γ). Άλλες ενσωματωμένες πρωτεΐνες μετακινούν τα μόρια διαμέσου της πλασματικής μεμβράνης με κατεύθυνση αντίθετη της κλίσης συγκέντρωσής τους, μια διεργασία που ονομάζεται **ενεργητική μεταφορά**, και απαιτεί τη χρήση ενέργειας (Εικόνα 2.3δ).

Τα μεγαλύτερα μόρια (μακρομόρια) και τα μεγάλα στερεά σωματίδια μεταφέρονται ενεργητικά μέσω της πλασματικής

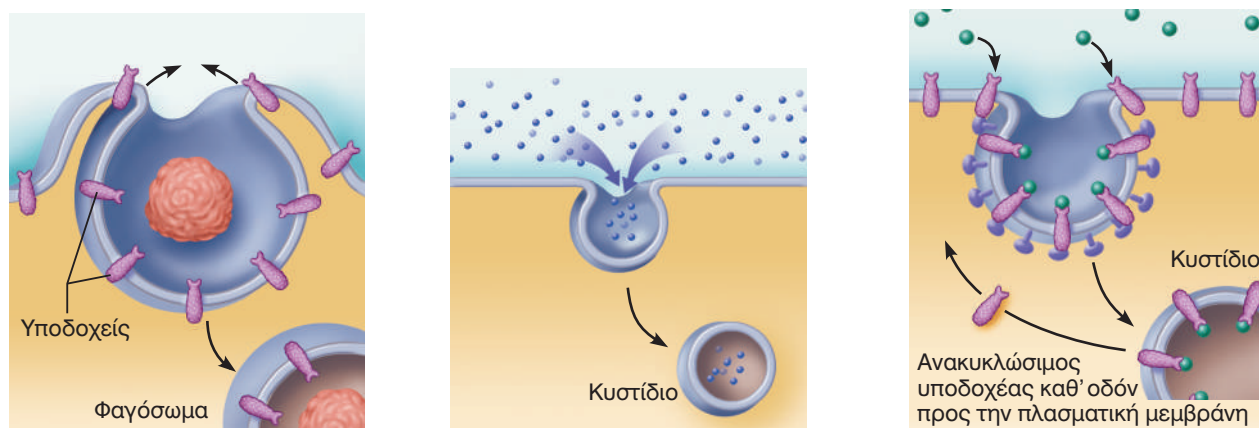


Εικόνα 2.3 Μηχανισμοί της διαμεμβρανικής μεταφοράς.

μεμβράνης μέσω μιας άλλης ομάδας διεργασιών, γνωστών ως **μεταφορά με κυστίδιο** ή **μαζική μεταφορά**. Για την κατανόηση της βασικής λειτουργικής ανατομικής είναι απαραίτητη η γνώση των δύο γενικών τύπων μαζικής μεταφοράς, της **εξωκυττάρωσης** και της **ενδοκυττάρωσης**.

Η **ενδοκυττάρωση** είναι ο μηχανισμός μέσω του οποίου

εισέρχονται στα κύτταρα τα μεγάλα σωματίδια και μακρομόρια (**Εικόνα 2.4**). Η ουσία που είναι να εισέλθει στο κύτταρο περικλείεται σε μια πτύχωση της πλασματικής μεμβράνης. Στην περιοχή της εγκόλπωσης, ειδικές πρωτεΐνες μπορεί να καλύπτουν την εσωτερική επιφάνεια της πλασματικής μεμβράνης (οι μωβ σαν καρφιά δομές που παρουσιάζονται



(α) Φαγοκυττάρωση. Το κύτταρο εγκολπώνει ένα μεγάλο σωματίδιο σχηματίζοντας προβάλλοντα ψευδοπόδια γύρω από αυτό και το περικλείει εντός μιας μεμβράνης που καλείται **φαγόσωμα**. Το φαγόσωμα στη συνέχεια συντήκεται με ένα λυσόσωμα και το περιεχόμενό του διασπάται. Το κυστίδιο μπορεί να είναι ή να μην είναι επικαλυμμένο με πρωτεΐνες. Ωστόσο, διαθέτει υποδοχείς που είναι σε θέση να δεσμεύουν μικροοργανισμούς ή στερεά σωματίδια.

(β) Πινοκυττάρωση. Η πτύχωση της πλασματικής μεμβράνης προς τα έσω μεταφέρει μια σταγόνα εξωκυττάριας υγρού, το οποίο περιέχει διαλυτές ουσίες, εντός του κυττάρου διαμέσου ενός πολύ μικρού κυστιδίου που περιβάλλεται από μεμβράνη. Δεν χρησιμοποιούνται υποδοχείς, οπότε η διαδικασία είναι μη ειδική.

(γ) Ενδοκυττάρωση μεσολαβούμενη από υποδοχείς. Οι εξωκυττάριας ουσίες προσδένονται σε ειδικούς πρωτεϊνικούς υποδοχείς σε περιοχές που φέρουν επικαλυμμένα με πρωτεΐνες βοθρία, δίνοντας στο κύτταρο τη δυνατότητα να εισάγει και να συμπυκνώνει ειδικές ουσίες εντός επικαλυμμένων με πρωτεΐνες κυστιδίων. Οι εισαγόμενες ουσίες μπορεί απλώς να απελευθερωθούν μέσα στο κύτταρο ή να καταλήξουν σε ένα λυσόσωμα για να διασπαστούν. Οι υποδοχείς ανακυκλώνονται προς την πλασματική μεμβράνη με τη βοήθεια κυστιδίων.

Εικόνα 2.4 Οι τρεις μορφές ενδοκυττάρωσης.

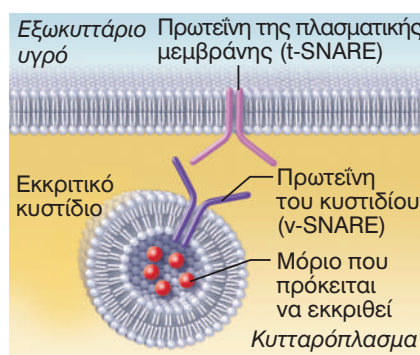
στην Εικόνα 2.4γ). Αυτό το πρωτεϊνικό κάλυμμα συμβάλλει στην επιλογή της ουσίας που θα μεταφερθεί και παραμορφώνει την μεμβράνη ώστε να σχηματιστεί ο μεμβρανώδης ασκός που ονομάζεται **κυστίδιο**. Το μεμβρανικό κυστίδιο αποκολλάται από την πλασματική μεμβράνη και μετακινείται εντός του κυτταροπλάσματος, όπου το περιεχόμενο του διασπάται. Υπάρχουν τρεις τύποι ενδοκυττάρωσης: φαγοκυττάρωση, πινοκυττάρωση και διαμεσολαβούμενη από υποδοχείς ενδοκυττάρωση.

Η **φαγοκυττάρωση (φαγοκύτωση)** είναι κυριολεκτικά η «κυτταρική βρώση» (Εικόνα 2.4α). Ορισμένα κύτταρα –για παράδειγμα τα περισσότερα λευκά αιμοσφαίρια– είναι ιδιαίτερα ικανά στη φαγοκυττάρωση. Αυτά τα κύτταρα συμβάλλουν στην αστυνόμευση και προστασία του σώματος φαγοκυτταρώνοντας τα βακτήρια, τους ιούς και άλλες εξωγενείς ουσίες. Τα κύτταρα αυτά «τρώνε» επίσης τα νεκρά και πάσχοντα κύτταρα του οργανισμού.

Τα κύτταρα όχι μόνο «τρώνε» αλλά επίσης «πίνουν». Η **πινοκυττάρωση (πινοκύτωση)** είναι η «κυτταρική πόση» (Εικόνα 2.4β). Η πινοκυττάρωση, μια λειτουργία ρουτίνας των περισσότερων κυττάρων, είναι ένας μη εκλεκτικός τρόπος δειγματοληψίας του εξωκυττάρου υγρού. Αυτή η διεργασία είναι ιδιαίτερα σημαντική στα κύτταρα που συμμετέχουν στην απορρόφηση θρεπτικών συστατικών, όπως π.χ. τα κύτταρα που επενδύουν τον εντερικό βλεννογόνο.

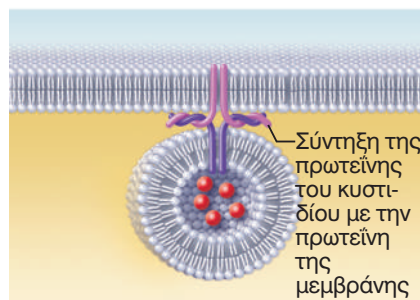
Μερικά μόρια, όπως π.χ. η ινσουλίνη και άλλες ορμόνες, διάφορα ένζυμα και οι *λιποπρωτεΐνες χαμηλής πυκνότητας* (LDLs, τα μόρια που διακινούν τη χοληστερόλη από την αιματική κυκλοφορία στα κύτταρα του σώματος) μεταφέρονται εντός των κυττάρων μέσω **διαμεσολαβούμενης από υποδοχείς ενδοκυττάρωσης (ενδοκύτωσης)**, μιας εξαιρετικά εκλεκτικής μεταφορικής διεργασίας (Εικόνα 2.4γ). Οι ουσίες αυτές συνδέονται με ειδικούς υποδοχείς της πλασματικής μεμβράνης για να μεταφερθούν εντός του κυττάρου. Δυστυχώς, η διαμεσολαβούμενη από υποδοχείς ενδοκυττάρωση χρησιμοποιείται και από επιβλαβείς παράγοντες, όπως π.χ. τοξίνες και ιούς, προκειμένου να εισέλθουν στα κύτταρα και να τους επιτεθούν.

Η **εξωκυττάρωση** είναι ένας ενεργητικός μηχανισμός μέσω του οποίου οι ουσίες μετακινούνται από το κυτταρόπλασμα προς το εξωτερικό του κυττάρου (Εικόνα 2.5). Η εξωκυττάρωση είναι υπεύθυνη για τις περισσότερες εκ-

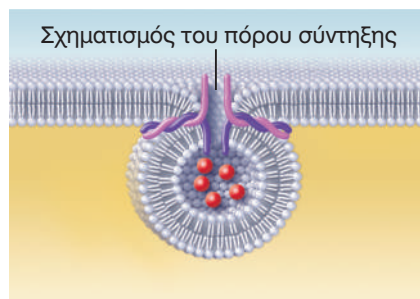


(α)
Η διεργασία της εξωκυττάρωσης

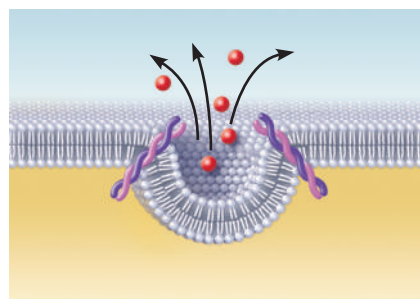
① Το μόριο που πρόκειται να εκκριθεί μεταναστεύει στην πλασματική μεμβράνη μέσα σε ένα κυστίδιο που περιβάλλεται από μεμβράνη.



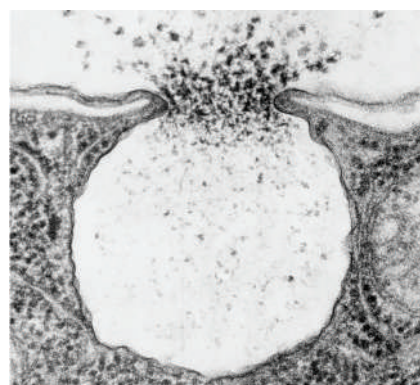
② Στην πλασματική μεμβράνη, οι πρωτεΐνες στην επιφάνεια του κυστιδίου (v-SNAREs, v=vesicle, κυστίδιο) συνδέονται με τις πρωτεΐνες-στόχους της πλασματικής μεμβράνης (t-SNAREs, t=target, στόχος).



③ Το κυστίδιο και η πλασματική μεμβράνη συντήκονται και διανοίγεται ένας πόρος.



④ Το περιεχόμενο του κυστιδίου απελευθερώνεται στο εξωτερικό του κυττάρου.



(β)
Μικροφωτογραφία ενός εκκριτικού κυστιδίου που απελευθερώνει το περιεχόμενό του μέσω εξωκυττάρωσης (110.000×)



ΚΛΙΝΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Υπερχοληστερολαιμία Στην κληρονομική της μορφή ονομάζεται *οικογενής υπερχοληστερολαιμία*. Σε αυτήν τα κύτταρα δε διαθέτουν επαρκείς πρωτεϊνικούς υποδοχείς που δεσμεύουν τα σωματίδια των λιποπρωτεϊνών χαμηλής πυκνότητας (LDLs) τα οποία μεταφέρουν χοληστερόλη. Ως αποτέλεσμα, η χοληστερόλη δεν μπορεί να εισέλθει στα κύτταρα και συσσωρεύεται στο αίμα. Εάν αφαιρεθεί χωρίς θεραπεία, η υπερχοληστερολαιμία προκαλεί αθηροσκλήρωση, γνωστή επίσης και ως ‘σκλήρυνση των αρτηριών’, μια κατάσταση που αυξάνει πολύ τον κίνδυνο για εγκεφαλικό επεισόδιο (απόφραξη των αγγείων του εγκεφάλου) ή στεφανιαία νόσο και έμφραγμα του μυοκαρδίου.

Εικόνα 2.5 Εξωκυττάρωση.

Σ.τ.Μ. Οι πρωτεΐνες SNARE (Soluble NSF Attachment Protein Receptor) είναι εξειδικευμένες πρωτεΐνες που απαντώνται στην επιφάνεια του κάθε κυστιδίου οι οποίες εμπλέκονται στην εκλεκτική προσκόλληση του κυστιδίου στη μεμβράνη-στόχο).

κριτικές διεργασίες, όπως π.χ. η απελευθέρωση βλέννης ή πρωτεϊνικών ορμονών από τα αδενικά κύτταρα του οργανισμού. (Οι λεπτομέρειες αυτής της διεργασίας παρουσιάζονται στην Εικόνα 2.5)

✓ Ερωτήσεις κατανόησης

- ☐ 2. Από ποιους τύπους μακρομορίων αποτελείται η πλασματική μεμβράνη;
- ☐ 3. Μέσω ποιας διεργασίας το νερό εισέρχεται στο κύτταρο και εξέρχεται από αυτό;
- ☐ 4. Ποια μεταφορική διεργασία διακινεί μεγάλα μακρομόρια προς το εξωτερικό του κυττάρου;

(Για τις απαντήσεις, βλέπε Παράρτημα Β.)

ΚΥΤΤΑΡΟΠΛΑΣΜΑ

Εκπαιδευτικοί στόχοι

- Περιγράψτε τη δομή και την κυτταρική λειτουργία του κάθε οργανιδίου: ριβοσώματα, ενδοπλασματικό δίκτυο, συσκευή Golgi, λυσοσώματα, υπεροξειδισώματα, μιτοχόνδρια, κυτταροσκελετός, κεντροσώματα και κεντριόλια.
- Αναλύστε τη δομή των γλυκοσωμάτων και των λιποσταγονιδίων.

Το **κυτταρόπλασμα**, κυριολεκτικά το «υλικό από το οποίο σχηματίζεται το κύτταρο», είναι το μέρος του κυττάρου που βρίσκεται εσωτερικά της πλασματικής μεμβράνης και εξωτερικά του πυρήνα. Οι περισσότερες κυτταρικές λειτουργίες επιτελούνται στο κυτταρόπλασμα, το οποίο αποτελείται από τρία κύρια δομικά συστατικά: *κυττοσόλιο, οργανίδια και έγκλειστα*.

Κυττοσόλιο

Το **κυττοσόλιο** είναι μια ζελατινώδης ουσία που περιέχει υγρό, εντός της οποίας πλέουν τα άλλα κυτταροπλασματικά δομικά συστατικά (Εικόνα 2.1). Αποτελείται από νερό, ιόντα και πολλά ένζυμα. Μερικά από αυτά τα ένζυμα ξεκινούν τη διάσπαση των θρεπτικών συστατικών (σάκχαρα, αμινοξέα και λιπίδια), τα οποία αποτελούν τις πρώτες ύλες και την πηγή ενέργειας για όλες τις κυτταρικές λειτουργίες. Σε πολλούς τύπους κυττάρων, το κυττοσόλιο καταλαμβάνει περίπου το μισό του όγκου του κυτταροπλάσματος.

Κυτταροπλασματικά Οργανίδια

Τυπικά, το κυτταρόπλασμα περιέχει περίπου εννέα τύπους οργανιδίων, το καθένα με μια διαφορετική λειτουργία που είναι απαραίτητη για την επιβίωση του κυττάρου. Ως ξεχωριστές μονάδες, τα οργανίδια διαμερισματοποιούν τις βιοχημικές αντιδράσεις του κυττάρου, αποτρέποντας έτσι την αλληλεπίδραση μεταξύ των αντιδράσεων, γεγονός που βελτιώνει τη λειτουργική απόδοση. Τα οργανίδια περιλαμβάνουν τα μιτοχόνδρια, τα ριβοσώματα, το αδρό και λείο ενδοπλασματικό δίκτυο, τη συσκευή Golgi, τα λυσοσώματα, τα υπεροξειδισώματα, τον κυτταροσκελετό και τα κεντριόλια (Εικόνα 2.1). Όπως θα διαπιστώσετε, τα περισσότερα οργανίδια περιβάλλονται από μια μεμβράνη που έχει παρόμοια σύσταση με την πλασματική μεμβράνη αλλά δεν διαθέτει γλυκοκάλυκα.

Εκτός ελαχίστων εξαιρέσεων, όλα τα κύτταρα του ανθρώπινου οργανισμού διαθέτουν τα ίδια είδη οργανιδίων. Ωστόσο, όταν ένας τύπος κυττάρων επιτελεί μια ειδική σωματική λειτουργία, τα οργανίδια που συνεισφέρουν σε αυτή τη λειτουργία είναι ιδιαίτερα άφθονα σε αυτό το κύτταρο. Έτσι, ορισμένα οργανίδια είναι καλύτερα αναπτυγμένα σε μερικά κύτταρα από ότι σε άλλα. Θα συναντήσετε παραδείγματα αυτού του κανόνα καθώς μελετάτε τα οργανίδια και τους ρόλους τους.

Ριβοσώματα

Τα **ριβοσώματα** είναι η γραμμή συναρμολόγησης του εργοστασίου, παράγοντας πρωτεΐνες που εξυπηρετούν την κυτταρική και εξωκυτταρική λειτουργία. Πρόκειται για μικρά σκουρόχρωμα κοκκία (**Εικόνα 2.6**). Σε αντίθεση με τα περισσότερα οργανίδια, δεν περιβάλλονται από μεμβράνη, αλλά συγκροτούνται από πρωτεΐνες μαζί με **ριβοσωμικό RNA** ($RNA = \text{ριβονουκλεϊκό οξύ}$). Το κάθε ριβόσωμα αποτελείται από δύο υπομονάδες που ταιριάζουν μεταξύ τους όπως το σώμα και το κάλυμμα ενός βελανιδιού.

Σχεδόν όλα τα κύτταρα παράγουν μεγάλες ποσότητες πρωτεϊνών και τα ριβοσώματα είναι οι θέσεις της πρωτεϊνοσύνθεσης. Πάνω στα ριβοσώματα, οι δομικές μονάδες που ονομάζονται αμινοξέα συνδέονται μεταξύ τους και σχηματίζουν τα πρωτεϊνικά μόρια. Αυτή η διεργασία συναρμολόγησης ονομάζεται *μετάφραση* και υπαγορεύεται από το γενετικό υλικό του κυτταρικού πυρήνα (deoxyribonucleic acid, DNA), οι οδηγίες του οποίου μεταφέρονται στα ριβοσώματα με αγγελιοφόρα μόρια που ονομάζονται **αγγελιοφόρο RNA (mRNA)**.

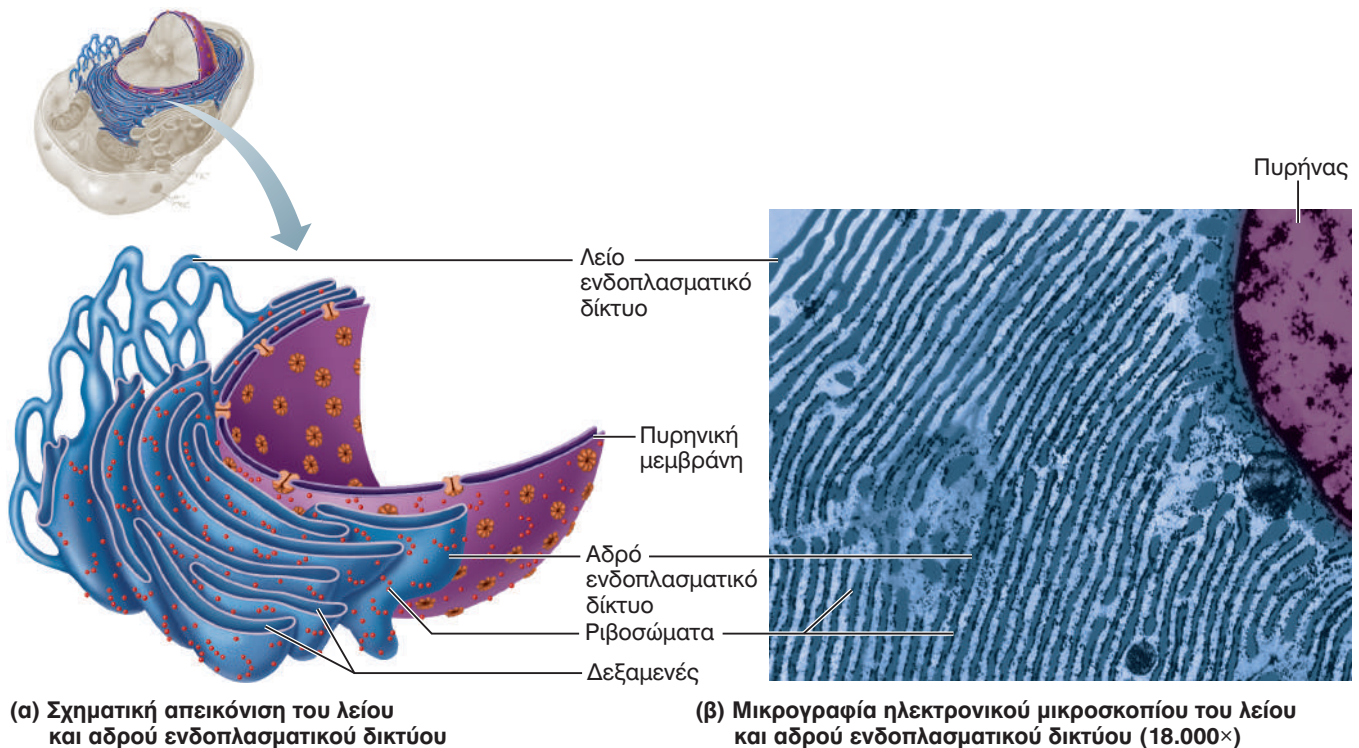
Πολλά ριβοσώματα επιπλέουν ελεύθερα εντός του κυττοσολίου. Αυτά τα **ελεύθερα ριβοσώματα** συνθέτουν τις διαλυτές πρωτεΐνες που δρουν εντός του κυττοσολίου. Τα ριβοσώματα που είναι προσκολλημένα στις μεμβράνες του αδρού ενδοπλασματικού δικτύου (Εικόνα 2.6) συνθέτουν τις πρωτεΐνες της κυτταρικής μεμβράνης ή αυτές που εξάγονται από το κύτταρο.

Ενδοπλασματικό Δίκτυο

Το **ενδοπλασματικό δίκτυο (ΕΔ)** είναι κυριολεκτικά το «δίκτυο εντός του κυτταροπλάσματος». Το ενδοπλασματικό δίκτυο σχηματίζει ένα εκτεταμένο σύστημα μεμβρανωδών φακέλων και σωλήνων εντός του κυτταροπλάσματος (Εικόνα 2.6). Αντιστοιχεί περίπου στο ήμισυ των εσωτερικών μεμβρανικών επιφανειών ενός ανθρώπινου κυττάρου μεσαίου μεγέθους. Υπάρχουν δύο διαφορετικά είδη ΕΔ: *αδρό ΕΔ* και *λείο ΕΔ*. Το κάθε είδος μπορεί να κυριαρχεί σε έναν συγκεκριμένο κυτταρικό τύπο, ανάλογα με τις ειδικές λειτουργίες του κυττάρου.

Αδρό Ενδοπλασματικό Δίκτυο. Το **αδρό ενδοπλασματικό δίκτυο (αδρό ΕΔ)** αποτελείται κυρίως από παράλληλες και εφαιπόμενες η μία με την άλλη κοιλότητες που περιβάλλονται από μεμβράνη και είναι γνωστές ως **δεξαμενές** (κοιλότητες γεμάτες υγρό). Οι εξωτερικές επιφάνειες των μεμβρανών του αδρού ΕΔ είναι κατάσπαρτες με ριβοσώματα τα οποία συνθέτουν πρωτεΐνες. Τα ριβοσώματα προσκολλώνται στην μεμβράνη όταν συνθέτουν πρωτεΐνη, και στη συνέχεια αποκολλώνται όταν η πρωτεΐνοσύνθεση έχει ολοκληρωθεί.

Το αδρό ενδοπλασματικό δίκτυο επιτελεί αρκετές λειτουργίες. Τα ριβοσώματα του συνθέτουν όλες τις πρωτεΐνες που εκκρίνονται από τα κύτταρα. Έτσι, το αδρό ΕΔ είναι ιδι-



(α) Σχηματική απεικόνιση του λείου και αδρού ενδοπλασματικού δικτύου

(β) Μικρογραφία ηλεκτρονικού μικροσκοπίου του λείου και αδρού ενδοπλασματικού δικτύου (18.000×)

Εικόνα 2.6 Το ενδοπλασματικό δίκτυο (ΕΔ) και τα ριβοσώματα.

αίτερα αναπτυγμένο στα αδενικά κύτταρα που εκκρίνουν μια μεγάλη ποσότητα πρωτεΐνης (π.χ. τα βλεννώδη κύτταρα). Παράγει τα πεπτικά ένζυμα που θα χρησιμοποιηθούν στα λυσosώματα. Το αδρό ΕΔ παράγει επίσης τόσο τις ενσωματωμένες πρωτεΐνες όσο και τα φωσφολιπιδικά μόρια των κυτταρικών μεμβρανών. Με άλλα λόγια, όλες οι κυτταρικές μεμβράνες ξεκινούν ως μεμβράνες του αδρού ΕΔ. Το αδρό ΕΔ μπορεί επομένως να θεωρηθεί το «εργοστάσιο παραγωγής μεμβρανών» του κυττάρου.

Λείο Ενδοπλασματικό Δίκτυο. Το λείο ενδοπλασματικό δίκτυο αποτελεί συνέχεια του αδρού ΕΔ (Εικόνα 2.6). Αποτελείται από σωληνάρια που διατάσσονται υπό μορφή διακλαδιζόμενου δικτύου. Επειδή δεν υπάρχουν προσκολλημένα ριβοσώματα στις μεμβράνες του, το λείο ΕΔ δεν αποτελεί σημείο πρωτεϊνσύνθεσης. Επιτελεί διαφορετικές λειτουργίες σε διάφορους τύπους κυττάρων, αλλά οι περισσότερες από αυτές σχετίζονται με τον μεταβολισμό των λιπιδίων, δηλαδή τη σύνθεση ή διάσπαση των λιπών. Το λείο ΕΔ είναι άφθονο στα κύτταρα που συνθέτουν τις στεροειδείς ορμόνες από χοληστερόλη, καθώς και στα ηπατοκύτταρα που εξουδετερώνουν τα λιποδιαλυτά φάρμακα. Ωστόσο, οι περισσότεροι τύποι κυττάρων διαθέτουν ελάχιστο λείο ΕΔ.

Μια άλλη σημαντική λειτουργία του λείου ΕΔ είναι η αποθήκευση των ιόντων ασβεστίου. Τα ιονισμένο ασβέστιο πυροδοτεί την έναρξη πολλών κυτταρικών διεργασιών, περιλαμβανομένης της μυϊκής σύσπασης και της αδενικής έκκρισης. Η συγκέντρωση του ασβεστίου στο κυττοσόλιο διατηρείται σε χαμηλό επίπεδο όταν δεν συντελούνται τέτοιες διεργασίες, επειδή το μεγαλύτερο μέρος των ιόντων ασβεστίου αντλείται προς το εσωτερικό του ΕΔ και παραμένει εκεί μέχρι να προκύψει ανάγκη. Το ΕΔ στα μυϊκά κύτταρα είναι πολύ εκτεταμένο, γεγονός που είναι αντιπροσωπευτικό αυτής της βασικής λειτουργίας.

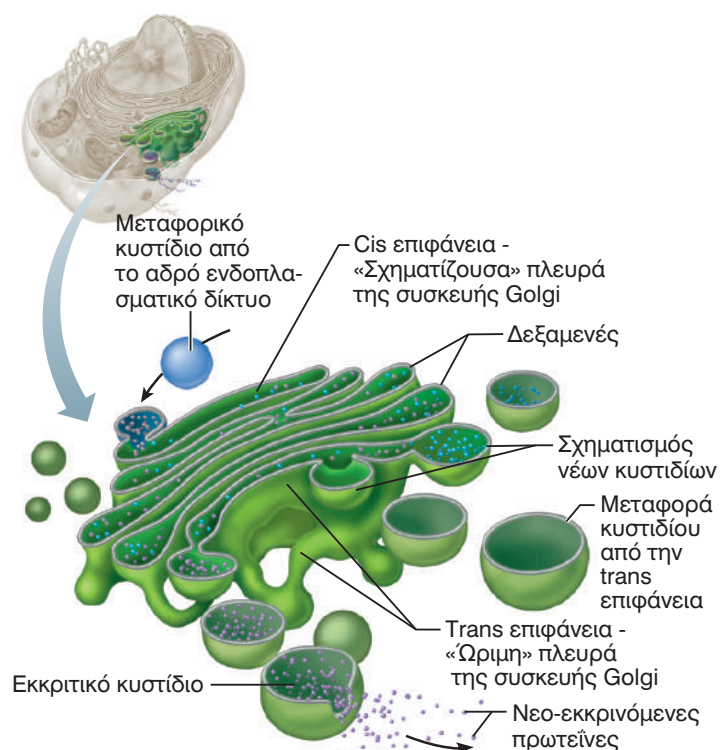
Συσκευή Golgi

Η **συσκευή Golgi** είναι ένας σωρός από τρεις έως δέκα δισκοειδείς δεξαμενές, κάθε μια από τις οποίες περιβάλλεται από μεμβράνη (Εικόνα 2.7). Μοιάζει με μια στοίβα από κοίλα πιατάκια, στην οποία το κάθε πιάτο επικάθεται πάνω στο επόμενο. Τα προϊόντα που παράγονται από το αδρό ΕΔ μεταφέρονται στη συσκευή Golgi από την κυρτή (*cis*) προς την κοίλη (*trans*) πλευρά. Ειδικότερα, η **cis επιφάνεια** υποδέχεται σφαιρικά, μεμβρανώδη **μεταφορικά κυστίδια** από το αδρό ΕΔ. Νέα κυστίδια εκφύονται από την **trans επιφάνεια** για να εγκαταλείψουν τη συσκευή.

Η συσκευή Golgi ταξινομεί, επεξεργάζεται και συσκευάζει τις πρωτεΐνες και τις μεμβράνες που συντίθενται από το αδρό ΕΔ. Οι λειτουργίες και τα προϊόντα της συσκευής Golgi ακολουθούν τρεις οδούς – Α, Β και Γ (Εικόνα 2.8). Στην οδό Α, η οποία λαμβάνει χώρα στα αδενικά κύτταρα, το πρωτεϊνικό προϊόν περιέχεται στα **εκκριτικά κυστίδια**. Αυτά τα κυστίδια απελευθερώνουν τελικά το περιεχόμενο τους στο εξωτερικό των κυττάρων μέσω εξωκυττάρωσης. Στην οδό Β, η οποία είναι κοινή σε όλα τα κύτταρα, η μεμβράνη του κυστιδίου συντήκεται με την πλασματική μεμβράνη και συμμετέχει στη διαμόρφωσή της, ενώ τα δομικά συστατικά της διαρκώς ανανεώνονται και ανακυκλώνονται. Στην οδό Γ, που επίσης είναι κοινή σε όλα τα κύτταρα, το κυστίδιο που εγκαταλείπει τη συσκευή Golgi είναι ένα λυσosώμα, ένας ασκός γεμάτος με πεπτικά ένζυμα που παραμένει εντός του κυττάρου. Άρα, η συσκευή Golgi είναι το τμήμα συσκευασίας και αποστολής του εργοστασίου. Υποδέχεται τα προϊόντα που παράγονται από το αδρό ΕΔ, τα συσκευάζει και τα αποστέλλει στον κατάλληλο προορισμό.

Λυσosώματα

Τα **λυσosώματα** είναι σφαιρικοί, μεμβρανώδεις ασκοί που περιέχουν πολλών ειδών πεπτικά ένζυμα (Εικόνα 2.9). Τα



(α) Πολλαπλά κυστίδια κατά τη διαδικασία απελευθέρωσης από τη συσκευή Golgi

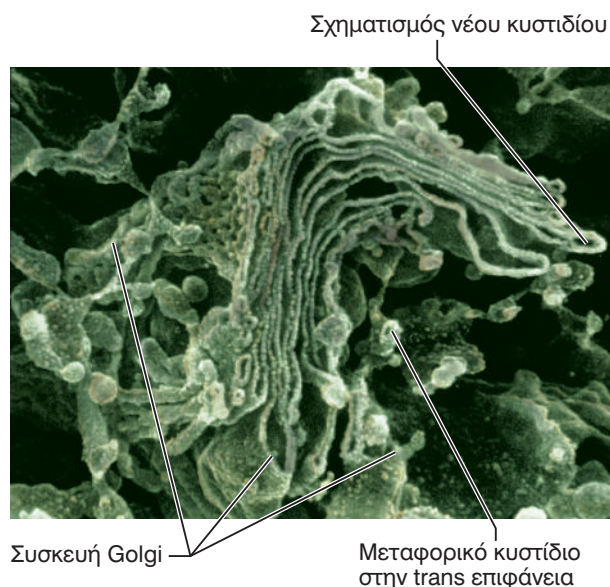
Εικόνα 2.7 Συσκευή Golgi.

ένζυμα αυτά, που ονομάζονται όξινες υδρολάσες, μπορούν να αποδομήσουν σχεδόν όλα τα είδη των μεγάλων βιολογικών μορίων. Τα λυσοσώματα μπορούν να θεωρηθούν ως το «συνεργείο κατεδάφισης» του κυττάρου, επειδή διασπούν τις άχρηστες ουσίες. Για παράδειγμα, συντήκονται με τα φαγοσώματα, απελευθερώνοντας τα ένζυμά τους εντός αυτών των κυστιδίων και διασπώντας τα περιεχόμενά τους (Εικόνα 2.8, οδός Γ).

Όταν οι εσωτερικές μεμβράνες του ίδιου του κυττάρου, οι πρωτεΐνες του ή τα οργανίδια του υποστούν βλάβη ή φθορά, περικλείονται από μια καινούργια μεμβράνη από το αδρό ΕΔ, σχηματίζοντας ένα κυστίδιο. Στη συνέχεια, τα παρακείμενα λυσοσώματα συντήκονται με αυτό το κυστίδιο για να διασπάσουν το περιεχόμενό του. Μέσα σε αυτά τα κυστίδια, η διάσπαση μπορεί να προχωρήσει με ασφάλεια, δεδομένου ότι οι περικλειόμενες μεμβράνες διατηρούν τα καταστρεπτικά ένζυμα σε απόσταση από τα υπόλοιπα κυτταρικά συστατικά. Τα φαγοκυτταρικά κύτταρα, όπως π.χ. μερικά λευκά αιμοσφαίρια, διαθέτουν έναν εξαιρετικά μεγάλο αριθμό λυσοσωμάτων για να καταστρέφουν τα εγκλωπωμένα βακτήρια και ιούς.

Μιτοχόνδρια

Τα **μιτοχόνδρια** αντιστοιχούν στον σταθμό παραγωγής ενέργειας του εργοστασίου. Τα οργανίδια αυτά παράγουν την ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία του κυττάρου. Συνήθως απεικονίζονται ως δομές με σχήμα φασολιού, λόγω της εικόνας τους στις διατομές που εξετάζονται στο μικροσκόπιο (Εικόνα 2.10). Στην πραγματικότητα, τα μιτοχόνδρια είναι επιμήκη και νηματοειδή. Στα ζώα κύτταρα, συστρέφονται και αλλάζουν σχήμα καθώς μετακινούνται διαμέσου του κυτταροπλάσματος. Τα περισσότερα οργανί-



(β) Μικρογραφία ηλεκτρονικού μικροσκοπίου της συσκευής Golgi (90.000×)

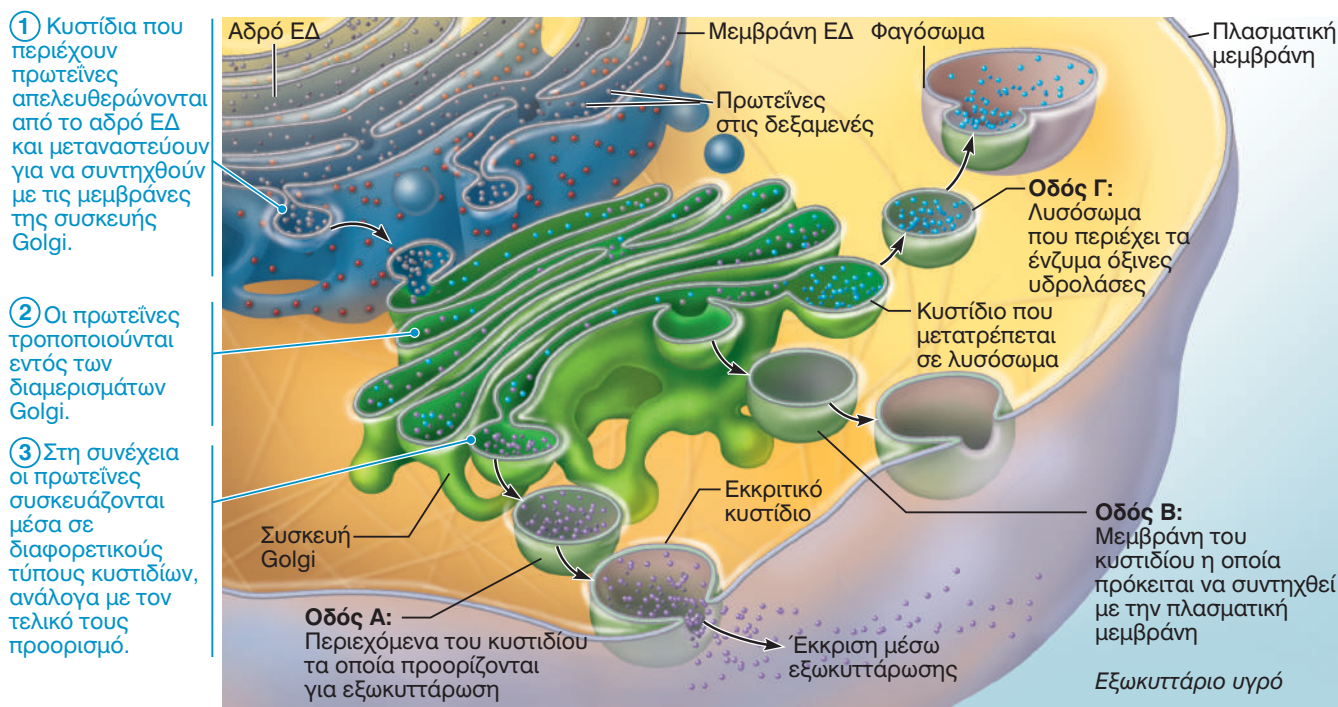


ΚΛΙΝΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

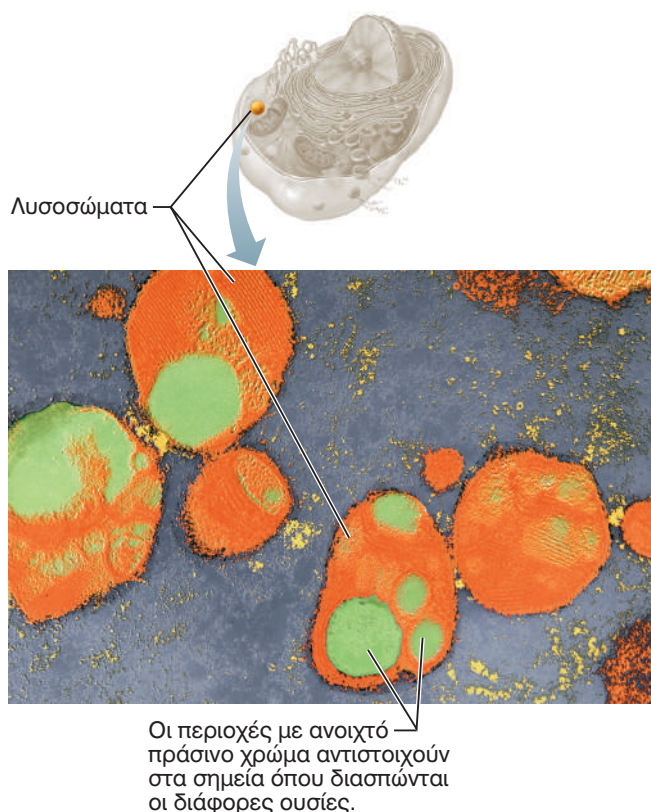
Νόσος Tay-Sachs Στην κληρονομική κατάσταση που ονομάζεται νόσος Tay-Sachs, τα λυσοσώματα του νεογνού στερούνται ενός ειδικού ενζύμου που διασπά συγκεκριμένα γλυκολιπίδια κατά τη φυσιολογική ανακύκλωση των φθαρμένων κυτταρικών μεμβρανών. Τα γλυκολιπίδια αυτά είναι ιδιαίτερα άφθονα στις μεμβράνες των νευρικών κυττάρων. Η συσσώρευση αδιάσπαστων γλυκολιπιδίων στα λυσοσώματα παρεμποδίζει τη φυσιολογική λειτουργία των νευρικών κυττάρων, οδηγώντας σε νοητική υστέρηση, τύφλωση, προοδευτική κινητική δυσλειτουργία και τελικά θάνατο πριν την ηλικία των 5 ετών.

δια περιβάλλονται από μια μεμβράνη, αλλά τα μιτοχόνδρια περιβάλλονται από δύο μεμβράνες: Η εξωτερική μεμβράνη είναι λεία και χωρίς ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, ενώ η εσωτερική μεμβράνη πτυχώνεται προς τα έσω σχηματίζοντας **ακρολοφίες** που μοιάζουν με ράφια. Αυτές προβάλλουν εντός της **μήτρας**, της ζελατινώδους ουσίας που βρίσκεται στο εσωτερικό του μιτοχονδρίου.

Τα μιτοχόνδρια παράγουν το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που χρησιμοποιεί το κύτταρο για να επιτελέσει τις λειτουργίες του. Αυτό το επιτυγχάνουν με τη συστηματική απελευθέρωση της ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στους χημικούς δεσμούς των μορίων των θρεπτικών συστατικών και ακολούθως τη μεταφορά αυτής της ενέργειας για την παραγωγή **τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP)**, του μορίου υψηλής ενέργειας που χρησιμοποιούν τα κύτταρα για να



Εικόνα 2.8 Η ακολουθία των γεγονότων από τη σύνθεση των πρωτεϊνών πάνω στο αδρό ΕΔ μέχρι την τελική διανομή αυτών των πρωτεϊνών.



Εικόνα 2.9 Μικρογραφία ηλεκτρονικού μικροσκοπίου των λυσοσωμάτων (27.000×), τεχνητά χρωματισμένη.

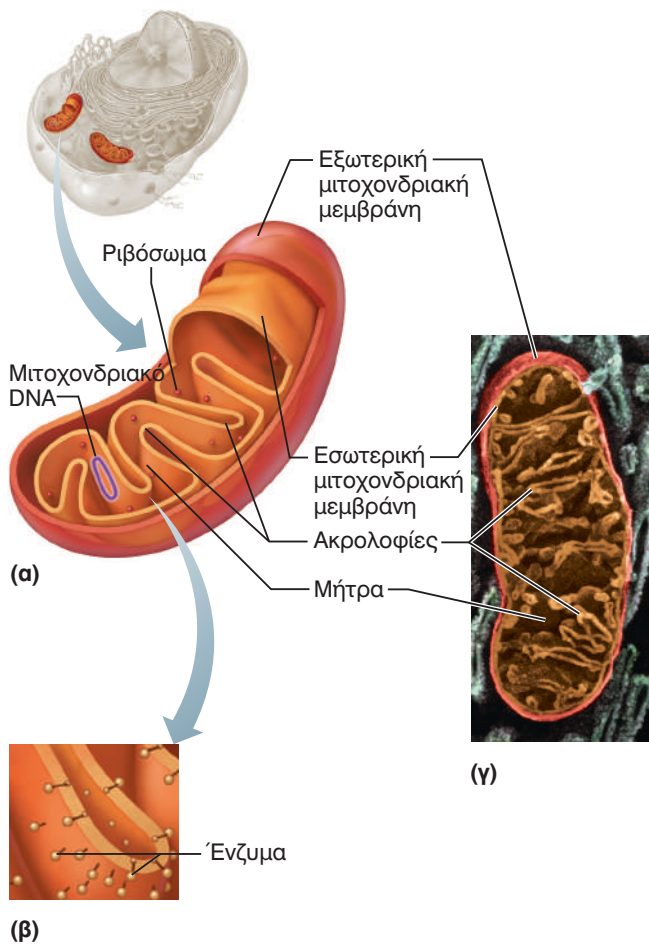
τροφοδοτήσουν ενεργειακά τις χημικές τους αντιδράσεις. Εντός των μιτοχονδρίων, η διαδικασία παραγωγής ATP ξεκινάει στη μήτρα (μέσω μιας διεργασίας που ονομάζεται κύκλος του κιτρικού οξέος) και ολοκληρώνεται πάνω στις ακρολοφίες της εσωτερικής μεμβράνης (μέσω μιας διεργα-

σίας που ονομάζεται οξειδωτική φωσφορυλίωση και μεταφορά ηλεκτρονίων). Οι τύποι κυττάρων με υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις, όπως π.χ. τα μυϊκά κύτταρα, έχουν μεγάλο αριθμό μιτοχονδρίων στο κυτταρόπλασμά τους. Επίσης, τα μιτοχόνδρια αυτών των κυττάρων έχουν μεγάλο αριθμό ακρολοφιών στο εσωτερικό τους.

Τα μιτοχόνδρια είναι μακράν τα πιο σύνθετα οργανίδια από οποιοδήποτε άλλο κυτταρικό οργανίδιο. Περιέχουν επίσης μια ποσότητα γενετικού υλικού (DNA) μητρικής προέλευσης και διαιρούνται για να δημιουργήσουν νέα μιτοχόνδρια, σαν να είναι και τα ίδια μικροσκοπικά κύτταρα. Περιέργως, τα μιτοχόνδρια μοιάζουν πολύ με μια ομάδα αρχαιοβακτηρίων. Σήμερα είναι ευρέως αποδεκτό ότι τα μιτοχόνδρια προέκυψαν από βακτήρια που είχαν εισβάλει σε προγόνους των σύγχρονων ζωικών και φυτικών κυττάρων.

Υπεροξειδισώματα

Τα **υπεροξειδισώματα** αντιστοιχούν στο σύστημα επεξεργασίας των τοξικών αποβλήτων του εργοστασίου. Είναι μεμβρανώδεις ασκοί που μοιάζουν με μικρά λυσοσώματα (Εικόνα 2.1). Περιέχουν διάφορα ένζυμα, κυρίως οξειδάσες και καταλάσες. Οι οξειδάσες χρησιμοποιούν το οξυγόνο για να εξουδετερώσουν τα δραστικά μόρια που είναι γνωστά ως **ελεύθερες ρίζες**, μετατρέποντάς τες σε υπεροξείδιο του υδρογόνου. Οι ελεύθερες ρίζες είναι φυσιολογικά παραπροϊόντα του κυτταρικού μεταβολισμού και εάν αφεθούν να συσσωρευτούν μπορεί να καταστρέψουν τις πρωτεΐνες, τις μεμβράνες και το DNA του κυττάρου. Το υπεροξείδιο του υδρογόνου είναι επίσης δραστικό και επικίνδυνο, αλλά μετατρέπεται από μια καταλάση σε νερό και οξυγόνο. Αυτή η κατευθυνόμενη από την καταλάση αντίδραση διασπά τα δηλητήρια που έχουν εισέλθει στο κύτταρο, όπως π.χ. το αλκοόλ, η φορμαλδεΰδη και η φαινόλη. Τα υπεροξειδισώματα είναι άφθονα στα ηπατικά και νεφρικά κύτταρα, όπου διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην απομάκρυνση των



Εικόνα 2.10 Μιτοχόνδρια. (α) Σχηματική απεικόνιση ενός μιτοχονδρίου σε επιμήκη διατομή. (β) Μεγέθυνση των ακρολοφιών που παρουσιάζει τα ένζυμα τα οποία εμπλέκονται στην παραγωγή ATP. (γ) Μικρογραφία ηλεκτρονικού μικροσκοπίου ενός μιτοχονδρίου (6000×).

τοξικών ουσιών από το σώμα. Επίσης, τα υπεροξειδωσώματα πραγματοποιούν και άλλες μεταβολικές αντιδράσεις, όπως είναι η διάσπαση των μακρών αλυσίδων των λιπαρών οξέων κατά τον μεταβολισμό των λιπιδίων.

Κυτταροσκελετός

Ο **κυτταροσκελετός**, κυριολεκτικά ο «σκελετός του κυττάρου», είναι ένα περίπλοκο δίκτυο ινιδίων που διατρέχουν ολόκληρο το κυττοσόλιο και αντιστοιχούν στον σκελετό του εργοστασιακού κτηρίου (**Εικόνα 2.11**). Το δίκτυο αυτό λειτουργεί σαν τα «οστά», τους «μύες» και τους «συνδέσμους» του κυττάρου, στηρίζοντας τις δομές του και παράγοντας τις διάφορες κινήσεις του. Οι τρεις τύποι ινιδίων του κυτταροσκελετού είναι τα **μικρονημάτια**, τα **ενδιάμεσα ινίδια** και οι **μικροσωληνίσκοι**, κανένα από τα οποία δεν καλύπτεται από μεμβράνη.

Τα **μικρονημάτια**, τα λεπτότερα στοιχεία του κυτταροσκελετού, αποτελούνται από αλυσίδες της πρωτεΐνης **ακτίνης** (**Εικόνα 2.11α**). Ονομάζονται επίσης **νημάτια ακτίνης** και συγκεντρώνονται κυρίως σε μια στοιβάδα ακριβώς κάτω από την πλασματική μεμβράνη. Τα νημάτια ακτίνης αλληλεπιδρούν με μια άλλη πρωτεΐνη που ονομάζεται **μυοσίνη** για να παράγουν τις δυνάμεις συστολής εντός του κυττάρου. Η αλληλεπίδραση ακτίνης και μυοσίνης διχοτομεί το ένα κύτταρο σε δύο κατά την κυτταρική διαίρεση (κυττα-

ροκίνηση, σελ. 39) και προκαλεί τις μεμβρανικές αλλαγές που συνοδεύουν την ενδοκυττάρωση και εξοκυττάρωση. Επίσης, αυτή η αλληλεπίδραση δίνει σε ορισμένα κύτταρα τη δυνατότητα να αναπτύξουν κυτταροπλασματικές προεκβολές που ονομάζονται **ψευδοπόδια**. Με τον τρόπο αυτό τα εν λόγω κύτταρα μπορούν να μετακινούνται έρποντας (αμοιβαδοειδής κίνηση). Επιπλέον, η μυοσίνη δρα ως κινητήριος πρωτεΐνη με σκοπό τη μετακίνηση ορισμένων οργανιδίων εντός του κυττάρου. Με εξαίρεση τα μυϊκά κύτταρα, όπου τα μικρονημάτια ακτίνης παραμένουν σταθερά και αμετάβλητα, γενικά τα μικρονημάτια αυτά είναι ασταθή, αφού διαρκώς διασπώνται και ανασυντίθενται από μικρότερες υπομονάδες.

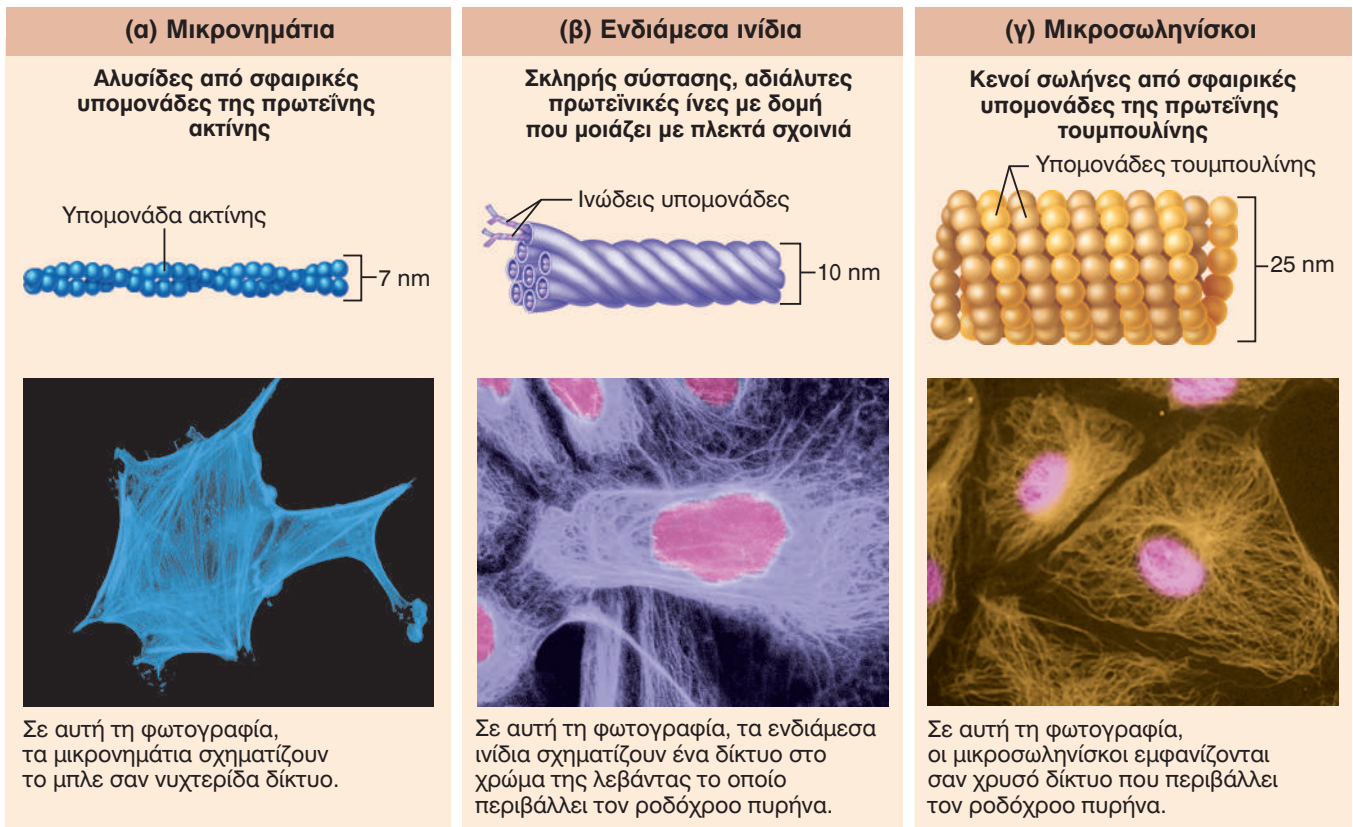
Τα **ενδιάμεσα ινίδια** (**Εικόνα 2.11β**) είναι αδιάλυτες πρωτεϊνικές ίνες με σκληρή σύσταση και διάμετρο ανάμεσα σε αυτή των μικρονηματίων και των μικροσωληνίσκων. Τα διάμεσα ινίδια αποτελούν τα πιο σταθερά και αμετάβλητα δομικά συστατικά του κυτταροσκελετού. Η σημαντικότερη ιδιότητά τους είναι η υψηλή αντοχή στον εφελκυσμό, που σημαίνει ότι λειτουργούν σαν ισχυρά συρμάτινα καλώδια που ανθίστανται στις **ελκτικές δυνάμεις** που ασκούνται στο κύτταρο. Συμμετέχουν επίσης στη σύνδεση μεταξύ παρακείμενων κυττάρων, αφού προσκολλώνται σε ειδικές κυτταρικές συνδέσεις που ονομάζονται **δεσμοσώματα** (σελ. 76).

Οι **μικροσωληνίσκοι**, τα δομικά συστατικά με τη μεγαλύτερη διάμετρο, είναι κενοί σωλήνες που αποτελούνται από σφαιρικές πρωτεϊνικές υπομονάδες οι οποίες ονομάζονται **τουμπουλίνες** (**Εικόνα 2.11γ**). Έχουν σκληρή σύσταση αλλά είναι εύκαμπτοι. Όλοι οι μικροσωληνίσκοι ακτινοβολούν από μια μικρή περιοχή του κυτταροπλάσματος πλησίον του πυρήνα, που ονομάζεται **κεντρόσωμα** (**Εικόνα 2.1**). Η ακτινοειδής μορφολογία των μικροσωληνίσκων καθορίζει το συνολικό σχήμα του κυττάρου, όπως και την κατανομή των κυτταρικών οργανιδίων. Τα μιτοχόνδρια, τα λυσοσώματα και τα εκκριτικά κοκκία προσκολλώνται στους μικροσωληνίσκους σαν τα στολίδια που κρέμονται από τα κλαδιά του χριστουγεννιάτικου δένδρου. Τα οργανίδια μετακινούνται εντός του κυτταροπλάσματος, ελκόμενα κατά μήκος των μικροσωληνίσκων από μικρές **κινητήριες πρωτεΐνες**, τις **κινησίνες** και **δυνείνες**, οι οποίες λειτουργούν όπως οι κινητήρες του τρένου στις σιδηροδρομικές γραμμές των μικροσωληνίσκων. Οι μικροσωληνίσκοι είναι εξαιρετικά δυναμικά οργανίδια, καθώς αναπτύσσονται συνεχώς από το κέντρο του κυττάρου, και υφίστανται διαρκή αποσυναρμολόγηση και ανασυναρμολόγηση.

Κεντρόσωμα και Κεντριόλια

Το **κεντρόσωμα** είναι μια σφαιρική δομή στο κυτταρόπλασμα πλησίον του πυρήνα (**Εικόνα 2.12**). Δεν περιέχει μεμβράνες. Αντί για αυτές, διαθέτει ένα εξωτερικό πρωτεϊνικό σχηματισμό με νεφελοειδή εμφάνιση που ονομάζεται **κεντροσωματική ουσία** και ένα εσωτερικό ζεύγος **κεντριολίων**. Η πρωτεΐνη της κεντροσωματικής ουσίας προετοιμάζει την ανάπτυξη και επιμήκυνση των μικροσωληνίσκων, γεγονός που εξηγεί γιατί οι επιμήκεις μικροσωληνίσκοι του κυτταροσκελετού ακτινοβολούν από το κεντρόσωμα στα μη διαιρούμενα κύτταρα (**Εικόνα 2.11γ**), καθώς και γιατί η μιτωτική άτρακτος των μικροσωληνίσκων ακτινοβολεί από το κεντρόσωμα στα διαιρούμενα κύτταρα (**Εικόνα 2.17**, σελ. 40-41).

Στον πυρήνα του κεντροσώματος, τα δύο βαρελοειδούς σχήματος κεντριόλια κείτονται κάθετα το ένα προς το άλ-



Εικόνα 2.11 Στοιχεία του κυτταροσκελετού. Σχηματικές απεικονίσεις (πάνω) και φωτογραφίες από μικροσκοπιο ανοσοφθορισμού (κάτω) των μελετώμενων δομών.

λο. Το τοίχωμα του κάθε κεντριολίου αποτελείται από 27 βραχείς μικροσωληνίσκους, τοποθετημένους σε εννέα ομάδες των τριών. Σε αντίθεση με τους άλλους μικροσωληνίσκους, αυτοί των κεντριολίων είναι σταθεροί και δεν αποσυναρμολογούνται. Λειτουργικά, τα κεντριόλια εξυπηρετούν το σχηματισμό των βλεφαρίδων και των μαστιγίων (σελ. 77 στο Κεφάλαιο 4), καθώς και της μιτωτικής ατράκτου (Εικόνα 2.17).

Κυτταροπλασματικά Έγκλειστα

Τα *έγκλειστα* είναι προσωρινές δομές του κυτταροπλάσματος που απαντώνται περιστασιακά σε συγκεκριμένους τύπους κυττάρων. Τα έγκλειστα περιέχουν χρωστικές, κρυστάλλους πρωτεϊνών και αποθήκες θρεπτικών συστατικών. Οι τελευταίες, που αποτελούν μακράν το σημαντικότερο είδος, είναι τα λιποσταγονίδια και τα γλυκοσώματα. Τα **λιποσταγονίδια** είναι σφαιρικά σταγονίδια αποθηκευμένου λίπους. Μπορεί να έχουν το ίδιο μέγεθος και την ίδια εμφάνιση με τα λυσοσώματα, αλλά διαφέρουν ως προς το ότι δεν διαθέτουν περιβάλλουσα μεμβράνη. Λίγοι μόνο τύποι κυττάρων περιέχουν λιποσταγονίδια: μικρά λιποσταγονίδια απαντώνται στα ηπατοκύτταρα και μεγάλα στα λιποκύτταρα. Τα **γλυκοσώματα** αποθηκεύουν σάκχαρα υπό μορφή γλυκογόνου, το οποίο είναι μια μακρά διακλαδίζομενη αλυσίδα μορίων γλυκόζης, της κύριας πηγής ενέργειας του κυττάρου. Τα γλυκοσώματα περιέχουν επίσης ένζυμα που συνθέτουν γλυκογόνο από υπομονάδες γλυκόζης ή το διασπούν σε αυτές. Δομικά, τα γλυκοσώματα είναι πυκνά, σφαιρικά κοκκία. Μοιάζουν με τα ριβοσώματα, αλλά η διάμετρός τους είναι διπλάσια.

✓ Ερωτήσεις κατανόησης

- ☐ 5. Ποια κυτταρικά οργανίδια εμπλέκονται στη σύνθεση και συσκευασία των πρωτεϊνών;
- ☐ 6. Ποια οργανίδια παράγουν την ενέργεια που απαιτείται για τις κυτταρικές λειτουργίες;
- ☐ 7. Ποια οργανίδια θα κυριαρχούν σε ένα κύτταρο που εξειδικεύεται στη φαγοκυττάρωση;
- ☐ 8. Ποια στοιχεία του κυτταροσκελετού ανθίστανται στην τάση συμβάλλοντας έτσι στη διατήρηση της δομικής ακεραιότητας του κυττάρου;

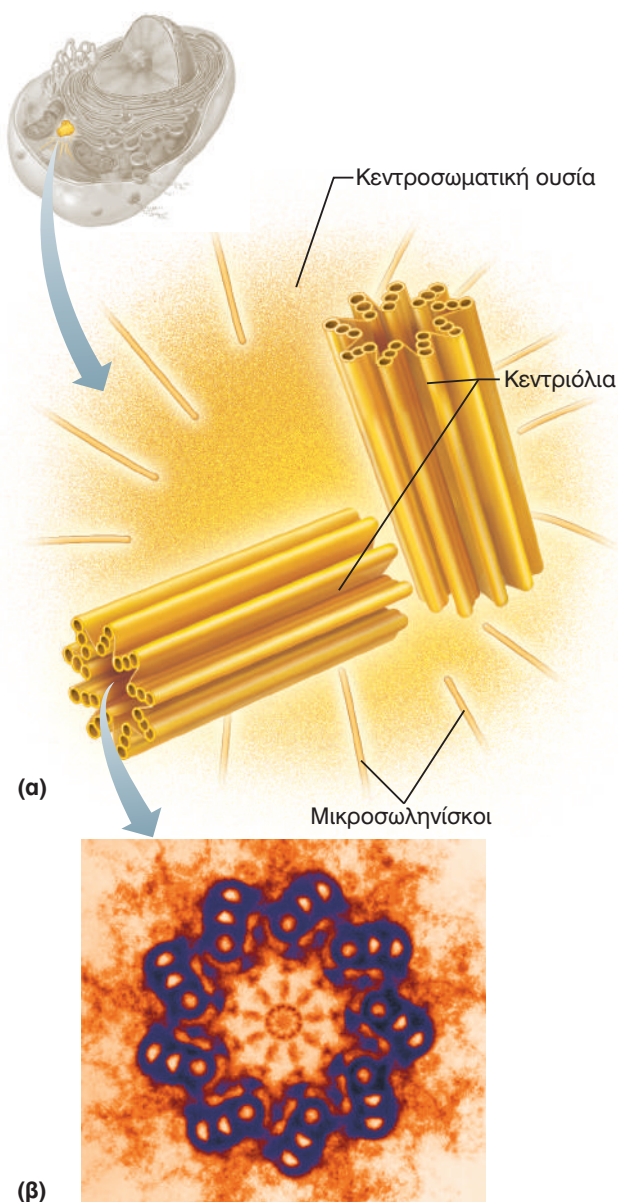
(Για τις απαντήσεις, βλέπε Παράρτημα Β.)

ΠΥΡΗΝΑΣ

Εκπαιδευτικός στόχος

- Περιγράψτε τον ρόλο του καθενός από τα τρία τμήματα του πυρήνα στον έλεγχο των κυτταρικών λειτουργιών: Πυρηνική μεμβράνη, πυρηνίσκος και χρωματίνη.

Ο **πυρήνας** είναι το κέντρο ελέγχου του κυττάρου. Το γενετικό του υλικό, το **δεσοξυριβονουκλεϊκό οξύ (DNA)**, κατευθύνει τις λειτουργίες του κυττάρου παρέχοντας οδηγίες για την πρωτεϊνοσύνθεση. Για να επιστρέψουμε στον παραλληλισμό με το εργοστάσιο, ο πυρήνας μπορεί να θεωρηθεί ως η κεντρική βιβλιοθήκη, το τμήμα σχεδιασμού, ο εργοδηγός και το διοικητικό συμβούλιο, όλα σε ένα. Ενώ τα περισσότερα κύτταρα έχουν μόνο ένα πυρήνα, ορισμένα κύτταρα, περιλαμβανομένων των σκελετικών μυϊκών κυττάρων, έχουν πολλαπλούς πυρήνες, δηλαδή είναι *πολυπύρηνα*. Η παρουσία



Εικόνα 2.12 Κεντροσώματα και κεντριόλια. (α) Ένα κεντροσώμα. **(β)** Ηλεκτρονική μικρογραφία ενός κεντριολίου σε διατομή. Το τοίχωμα του αποτελείται από εννέα ομάδες των τριών μικροσωληνίσκων (124.000×).

περισσότερων του ενός πυρήνων συνήθως σημαίνει ότι το κύτταρο χρειάζεται να ελέγξει μια ποσότητα κυτταροπλάσματος που είναι μεγαλύτερη από τη συνηθισμένη. Ένας τύπος κυττάρων του οργανισμού, τα ώριμα ερυθρά αιμοσφαίρια, είναι *απύρρινα*, δηλαδή δεν έχουν καθόλου πυρήνα. Φυσιολογικά, ο πυρήνας τους αποβάλλεται πριν τα κύτταρα αυτά εισέλθουν για πρώτη φορά στην αιματική κυκλοφορία.

Ο πυρήνας, που έχει διάμετρο 5 μm κατά μέσον όρο, είναι μεγαλύτερος από οποιοδήποτε άλλο οργανίδιο του κυτταροπλάσματος (Εικόνα 2.1). Αν και συνήθως είναι σφαιρικού ή ωοειδούς σχήματος, γενικά συμμορφώνεται με το συνολικό σχήμα του κυττάρου. Για παράδειγμα, εάν ένα κύτταρο είναι επιμηκυμένο ο πυρήνας μπορεί να είναι επίσης επιμηκυμένος. Τα κύρια τμήματα του πυρήνα είναι η *πυρηνική μεμβράνη* ή *φάκελος*, ο *πυρηνίσκος*, η *χρωματίνη* και τα *χρωμοσώματα* (Εικόνα 2.13).

Πυρηνική Μεμβράνη

Ο πυρήνας περιβάλλεται από μια **πυρηνική μεμβράνη** (ή αλλιώς **πυρηνικό φάκελο**), η οποία αποτελείται από δύο παράλληλες μεμβράνες που διαχωρίζονται η μία από την άλλη με έναν χώρο γεμάτο με υγρό (Εικόνα 2.13α). Η εξωτερική μεμβράνη αποτελεί συνέχεια του αδρού ΕΔ και έχει ριβοσώματα στην εξωτερική επιφάνειά της. Μετά από κάθε κυτταρική διαίρεση σχηματίζεται εκ νέου από το αδρό ΕΔ, άρα αποτελεί προφανώς ένα εξειδικευμένο τμήμα του αδρού ΕΔ. Η εσωτερική μεμβράνη επενδύεται από πρωτεϊνικά νημάτια, το **πυρηνικό έλασμα**, το οποίο διατηρεί το σχήμα του πυρήνα (Εικόνα 2.13β).

Σε διάφορα σημεία, οι δύο στοιβάδες της πυρηνικής μεμβράνης συντήκονται και σχηματίζουν τους **πυρηνικούς πόρους** (Εικόνα 2.13α και β). Ο κάθε πόρος σχηματίζεται από ένα σύμπλεγμα με σχήμα βραχιολίου που αποτελείται από περισσότερες των 22 πρωτεϊνών, ενώ υπάρχουν αρκετές χιλιάδες πόρων σε κάθε πυρήνα. Όπως οι άλλες κυτταρικές μεμβράνες, η πυρηνική μεμβράνη παρουσιάζει εκλεκτική διαπερατότητα, και οι πόροι της επιτρέπουν σε μεγάλα μόρια να εισέλθουν ή να εξέλθουν από τον πυρήνα, ανάλογα με τις ανάγκες. Για παράδειγμα, τα πρωτεϊνικά μόρια που εισέρχονται από το κυτταρόπλασμα και τα μόρια του RNA που εξέρχονται από τον πυρήνα μετακινούνται γενικά δι-αμέσου των πόρων.

Η πυρηνική μεμβράνη περικλείει ένα ζελατινώδες υγρό που ονομάζεται *πυρηνόπλασμα*, εντός του οποίου πλέουν η χρωματίνη και ο πυρηνίσκος. Όπως το κυττοσόλιο, το πυρηνόπλασμα περιέχει άλατα, θρεπτικά συστατικά και άλλες απαραίτητες χημικές ουσίες.

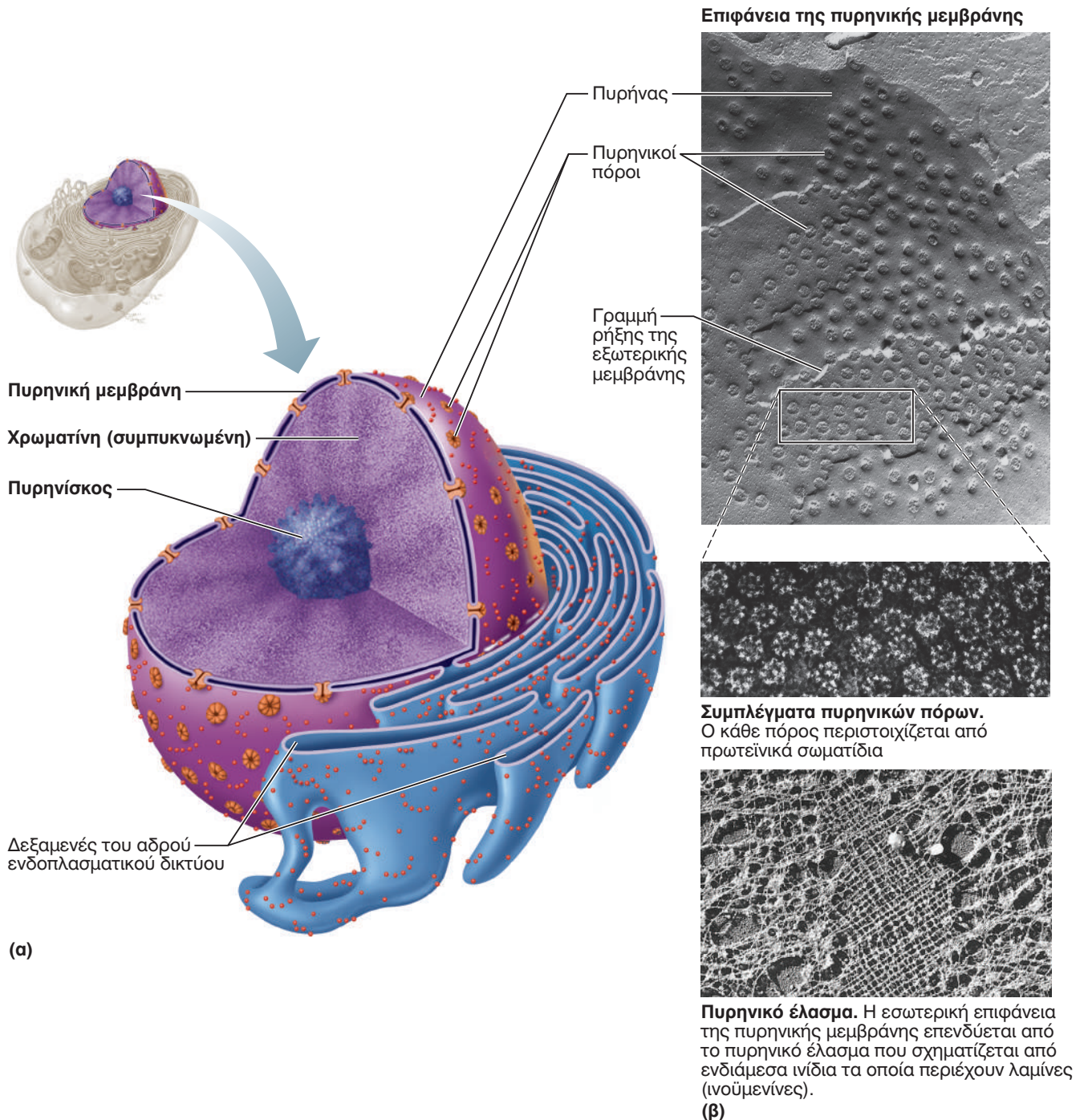
Πυρηνίσκος

Ο **πυρηνίσκος** είναι ένα σκουρόχρωμο σωματίο εντός του κυτταρικού πυρήνα (Εικόνα 2.13). Μέσα στον πυρήνα μπορεί να υπάρχει ένας ή περισσότεροι πυρηνίσκοι. Ο κάθε πυρηνίσκος περιέχει τμήματα από αρκετά διαφορετικά χρωμοσώματα και χρησιμεύει ως η «μηχανή παραγωγής ριβοσωμάτων» του κυττάρου. Ειδικότερα, διαθέτει χιλιάδες αντίγραφα των γονιδίων που κωδικοποιούν το ριβοσωμικό RNA και χρησιμεύει ως το σημείο όπου συναρμολογούνται οι μεγάλες και μικρές υπομονάδες των ριβοσωμάτων. Αυτές οι υπομονάδες εγκαταλείπουν τον πυρήνα μέσω των πυρηνικών πόρων και συνενώνονται μέσα στο κυτταρόπλασμα για να σχηματίσουν τα πλήρη ριβοσώματα.

Χρωματίνη και Χρωμοσώματα

Το DNA είναι μια επιμήκης διπλή έλικα που μοιάζει με σπειροειδή σκάλα (Εικόνα 2.14). Αυτή η διπλή έλικα αποτελείται από τέσσερις διαφορετικές υπομονάδες που ονομάζονται *νουκλεοτίδια*, το καθένα από τα οποία περιέχει μια διαφορετική *αζωτούχο βάση*. Αυτές οι βάσεις – θυμίνη (thymine-T), αδερίνη (adenine-A), κυτοσίνη (cytosine-C) και γουανίνη (guanine-G) συνδέονται μεταξύ τους για να σχηματιστούν τα σκαλοπάτια της «σκάλας» και η διπλή έλικα του DNA.

Η διπλή έλικα του DNA (Εικόνα 2.15 ①) συνδέεται με πρωτεϊνικά μόρια και περιελίσσεται σχηματίζοντας ινίδια αυξανόμενης δομικής πολυπλοκότητας και πάχους. Το μόριο του DNA μαζί με τις πρωτεΐνες σχηματίζουν τη **χρω-**



Εικόνα 2.13 Ο πυρήνας. (α) Τρισδιάστατη απεικόνιση του πυρήνα, που παρουσιάζει τη συνέχεια της πυρηνικής μεμβράνης με το αδρό ενδοπλασματικό δίκτυο. (β) Μικρογραφία ΗΜΔ.

ματίνη. Κάθε ζεύγος στροφών της έλικας του DNA συνδέεται με οκτώ πρωτεϊνικά μόρια δισκοειδούς σχήματος, που ονομάζονται **ιστόνες** (Εικόνα 2.15 ②). Κάθε άθροισμα DNA με ιστόνες ονομάζεται **νουκλεόσωμα**. Στη μικρογραφία ηλεκτρονικού μικροσκοπίου της χρωματίνης, τα νουκλεοσώματα μοιάζουν με χάντρες σε ένα κορδόνι. Σε αυτή τη μορφή της η χρωματίνη ονομάζεται **αποσυσπειρωμένη χρωματίνη ή ευχρωματίνη**. Η περαιτέρω περιέλιξη των νουκελοσωμάτων σχηματίζει μια συμπαγή ελικοειδή ίνα. Αυτές οι παχιές ίνες χρωματίνης ονομάζονται **συμπυκνωμένη χρωματίνη ή ετεροχρωματίνη**. (Εικόνα 2.15 ③.)

Όταν το κύτταρο δεν βρίσκεται σε φάση διαίρεσης και επιτελεί τις φυσιολογικές του λειτουργίες, η χρωματίνη έχει είτε την αποσυσπειρωμένη ή τη συμπυκνωμένη της μορ-

φή. Το στενά περιελισσόμενο DNA της συμπυκνωμένης χρωματίνης είναι ανενεργές. Η ευχρωματίνη είναι η ενεργός περιοχή του DNA, η οποία κατευθύνει τις συνθετικές λειτουργίες του κυττάρου. Ειδικότερα, η ευχρωματίνη είναι το σημείο όπου συντελείται η αντιγραφή του γενετικού κώδικα του DNA στα μόρια του αγγελιοφόρου RNA, μια διεργασία που ονομάζεται **μεταγραφή**. Τα πιο δραστήρια κύτταρα του σώματος διαθέτουν μεγάλη ποσότητα ευχρωματίνης και λίγη ετεροχρωματίνη.

Κατά τη διάρκεια της κυτταρικής διαίρεσης, η δομή της χρωματίνης μεταβάλλεται περαιτέρω: Οι ελικοειδείς ίνες των νουκλεοσωμάτων σχηματίζουν βρόχους (Εικόνα 2.15 ④) και ακολούθως συσπειρώνονται περαιτέρω σε πιο σύν-

θετες δομές, τις χρωματίδες (Εικόνα 2.15 ⑤) του **χρωμοσώματος**. Έκαστο χρωμόσωμα περιέχει ένα πολύ μακρύ μόριο DNA, και υπάρχουν 46 χρωμοσώματα σε κάθε φυσιολογικό σωματικό κύτταρο. Όταν ένα κύτταρο διαιρείται, τα χρωμοσώματά του παρουσιάζουν τη μέγιστη συσπείρωση και μοιάζουν με παχιά ραβδία (Εικόνα 2.15 ⑥). Τα χρωμοσώματα παρουσιάζουν έντονη κινητικότητα κατά τη διάρκεια της κυτταρικής διαίρεσης (σελ. 42-43) και η συμπαγής φύση τους συμβάλλει στην προστασία των εύθραυστων ινιδίων χρωματίνης από μπλεξίματα και ρήξεις κατά τη μετακίνηση των χρωμοσωμάτων. Όταν η κυτταρική διαίρεση σταματάει, πολλά τμήματα του χρωμοσώματος αποσυσπειρώνονται για να σχηματιστεί η ευχρωματίνη, και να καταστεί έτσι εφικτή η μεταγραφή.

✓ Ερωτήσεις κατανόησης

- ☐ 9. Τι παράγει ο πυρηνίσκος;
- ☐ 10. Ποια κυτταροπλασματικά οργάνδια αποτελούν συνέχεια της πυρηνικής μεμβράνης;
- ☐ 11. Ποια είναι η διαφορά μεταξύ αποσυσπειρωμένης και συμπυκνωμένης χρωματίνης ως προς την εμφάνιση; Ποια είναι η διαφορά αυτών των δύο μορφών χρωματίνης ως προς τη λειτουργία;

(Για τις απαντήσεις, βλέπε Παράρτημα Β.)

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΖΩΗΣ ΤΟΥ ΚΥΤΤΑΡΟΥ

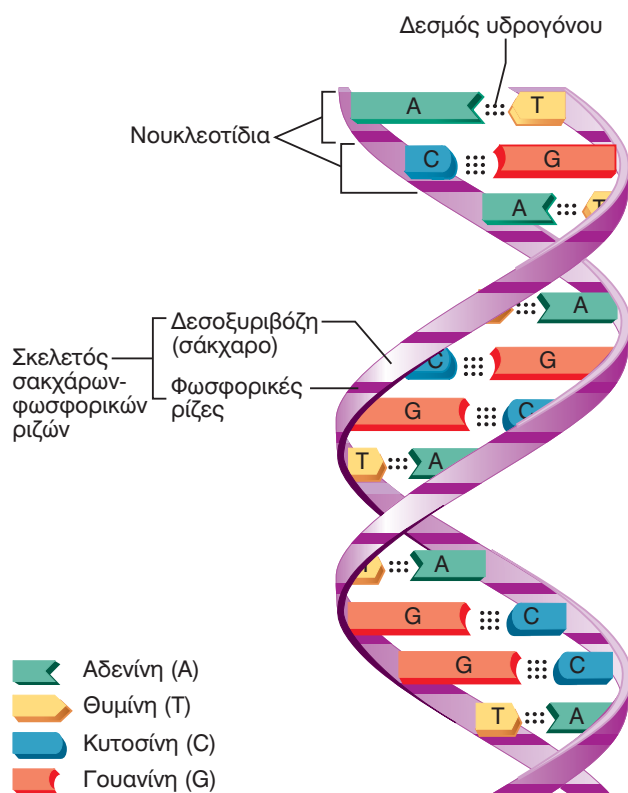
Εκπαιδευτικός στόχος

- Απαριθμήστε τις φάσεις του κύκλου ζωής του κυττάρου και περιγράψτε ένα καθοριστικό γεγονός της κάθε φάσης.

Ο **κύκλος ζωής του κυττάρου (κυτταρικός κύκλος)** είναι μια σειρά από αλλαγές που υφίσταται το κύτταρο από τη στιγμή που σχηματίζεται μέχρι που αυτοαναπαράγεται. Ο κύκλος αυτός διαχωρίζεται σε δύο σημαντικές περιόδους (**Εικόνα 2.16**): τη **μεσόφαση** κατά την οποία το κύτταρο αναπτύσσεται και επιτελεί τις συνήθεις λειτουργίες του και την **κυτταρική διαίρεση** ή **μιτωτική φάση**, κατά την οποία το κύτταρο διαιρείται σε δύο κύτταρα.

Μεσόφαση

Κατά τη **μεσόφαση**, το κύτταρο, πέραν του ότι πραγματοποιεί τις απαραίτητες λειτουργίες για τη διατήρηση της ζωής, προετοιμάζεται για την επόμενη κυτταρική διαίρεση. Η μεσόφαση υποδιαιρείται στις φάσεις G_1 , S και G_2 . Κατά τη φάση G_1 (**gap 1, κενό 1**), την πρώτη φάση της μεσόφασης, τα κύτταρα είναι μεταβολικά ενεργά, συνθέτουν πρωτεΐνες με ταχείς ρυθμούς και αναπτύσσονται πολύ γρήγορα. Αυτή είναι η φάση με την μεγαλύτερη μεταβλητότητα από πλευράς διάρκειας. Στα ταχέως διαιρούμενα κύτταρα, η φάση G_1 διαρκεί αρκετές ώρες. Στα βραδέως διαιρούμενα κύτταρα μπορεί να διαρκέσει αρκετές ημέρες ακόμα και χρόνια. Πλησίον του τέλους της φάσης G_1 , τα κεντριόλια αρχίζουν να πολλαπλασιάζονται προετοιμαζόμενα για κυτταρική διαίρεση. Κατά το επόμενο στάδιο, τη **φάση S (synthetic phase, συνθετική φάση)**, το DNA αυτο-διπλασιάζεται, διασφαλίζοντας ότι τα δύο θυγατρικά κύτταρα θα περιέχουν



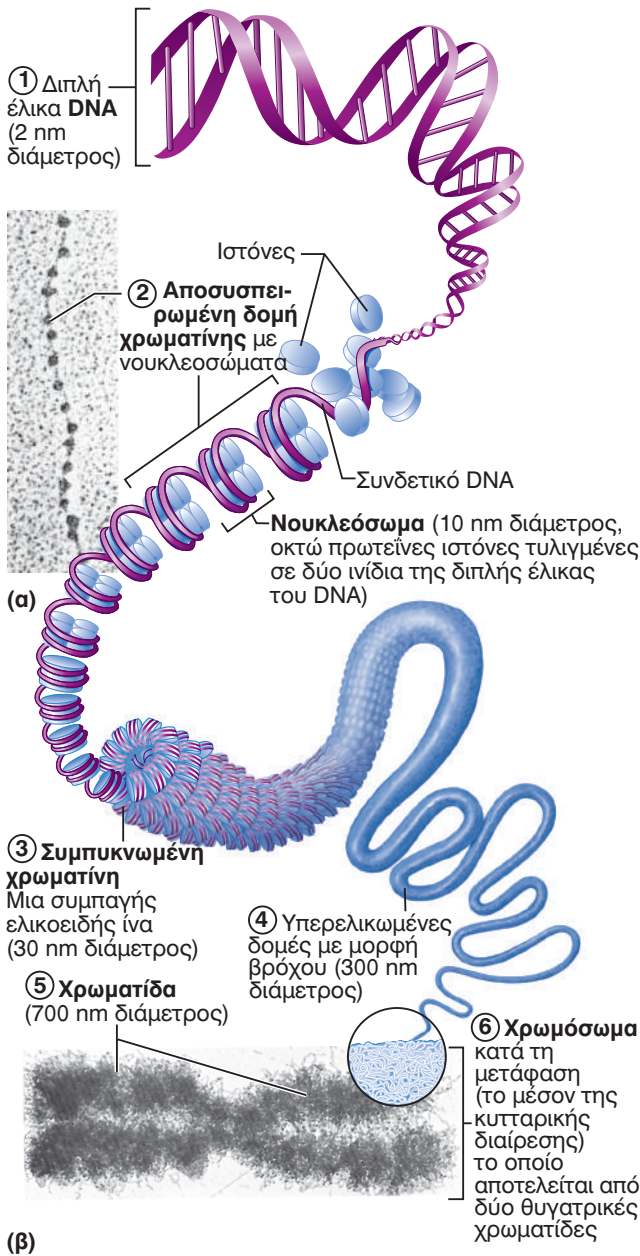
Εικόνα 2.14 Μοριακή δομή του DNA. Το DNA έχει τη μορφή διπλής έλικας που αποτελείται από αλυσίδες νουκλεοτιδικών μορίων. Το κάθε νουκλεοτίδιο αποτελείται από ένα σάκχαρο, μια φωσφορική ρίζα και μία από τις εξής τέσσερις αζωτούχες βάσεις: θυμίνη (T), αδενίνη (A), κυτοσίνη (C) ή γουανίνη (G).

πανομοιότυπα αντίγραφα του γενετικού υλικού. Το τελικό μέρος της μεσόφασης, ονομάζεται G_2 (**gap 2, κενό 2**) και είναι σύντομο. Σε αυτό το διάστημα συντίθενται τα ένζυμα που είναι αναγκαία για την κυτταρική διαίρεση. Τα κεντριόλια σταματούν την αντιγραφή τους κατά το τέλος της φάσης G_2 . Το κύτταρο πλέον είναι έτοιμο να διαιρεθεί. Καθόλη την διάρκεια και των τριών υποφάσεων, το κύτταρο συνεχίζει να αναπτύσσεται, να παράγει πρωτεΐνες και κυτταροπλασματικά οργάνδια και να επιτελεί τις φυσιολογικές μεταβολικές του λειτουργίες.

Καθόλη τη διάρκεια του κυτταρικού κύκλου υπάρχουν σημεία ελέγχου που αξιολογούν τις κυτταρικές λειτουργίες, όπως π.χ. την κυτταρική ανάπτυξη, τον πολλαπλασιασμό του DNA και τον σχηματισμό της μιτωτικής ατράκτου. Το σημείο ελέγχου G_1 αξιολογεί το μέγεθος του κυττάρου πριν τη σύνθεση του DNA και το σημείο ελέγχου G_2/M αξιολογεί για τυχόν βλάβες στο μόριο του DNA και εκτιμάει την ακρίβεια της αντιγραφής του (Εικόνα 2.16). Η μίτωση μπορεί να ανασταλεί πλήρως σε αυτά τα σημεία ελέγχου, αποτρέποντας έτσι την αναπαραγωγή κατεστραμμένων κυττάρων. Τυχόν μεταλλάξεις στα γονίδια που κωδικοποιούν αυτά τα σημεία ελέγχου μπορεί να οδηγήσουν σε ανεξέλεγκτη κυτταρική διαίρεση και ογκογένεση.

Κυτταρική Διαίρεση

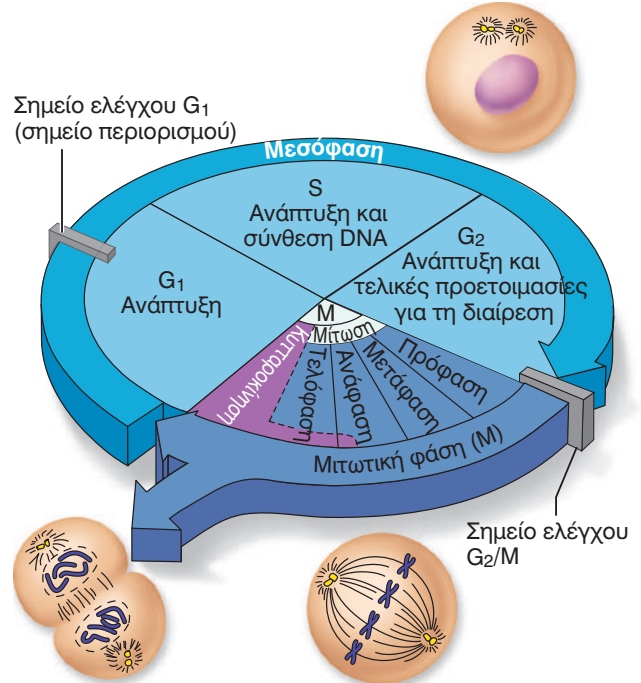
Η κυτταρική διαίρεση είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη του σώματος και την επιδιόρθωση των ιστών. Τα βραχύβια



Εικόνα 2.15 Δομή χρωματίνης και χρωμοσωμάτων. (α) Μικρογραφία ηλεκτρονικού μικροσκοπίου της αποσυσπειρωμένης χρωματίνης (36500x). (β) Διάταξη DNA και ιστονών στη χρωματίνη, από την πλέον αποσυσπειρωμένη της μορφή (1) στην πιο συμπυκνωμένη της μορφή (6), σε ένα χρωμόσωμα.

κύτταρα που αποπίπτουν διαρκώς, όπως π.χ. τα κύτταρα του δέρματος και του εντέρου, αυτο-αναπαράγονται σχεδόν ασταμάτητα. Άλλα κύτταρα, όπως π.χ. τα ηπατικά, αναπαράγονται βραδέως (αντικαθιστώντας μόνο τα κύτταρα που έχουν φθαρεί), αλλά μπορούν να αναπαραχθούν ταχέως εάν το όργανο υποστεί βλάβη. Τα κύτταρα του νευρικού ιστού και, στην πλειονότητά τους, τα κύτταρα των σκελετικών μυών δεν είναι ικανά να διαιρεθούν μετά την πλήρη ωρίμανση τους. Η επιδιόρθωση πραγματοποιείται μόνο μέσω ουλώδους ιστού (ενός τύπου ινώδους συνδετικού ιστού).

Τα κύτταρα διαιρούνται κατά τη **φάση Μ (mitotic, μιτωτική)** του κύκλου ζωής τους, η οποία ακολουθεί τη μεσόφαση (Εικόνα 2.16). Στους περισσότερους τύπους κυττάρων, η διαίρεση περιλαμβάνει δύο ξεχωριστά γεγονότα: τη



Εικόνα 2.16 . Κυτταρικός κύκλος. Οι δύο βασικές φάσεις της ζωής και αναπαραγωγής του κάθε κυττάρου είναι η μεσόφαση και η μιτωτική φάση (M). Η διάρκεια του κυτταρικού κύκλου ποικίλλει ανάμεσα στους διάφορους τύπους κυττάρων, αλλά το στάδιο G₁ της μεσόφασης τείνει να είναι το πιο παρατεταμένο και με τη μεγαλύτερη μεταβλητότητα από πλευράς διάρκειας.

μίτωση ή διχοτόμηση του πυρήνα και την *κυτταροκίνηση* ή διχοτόμηση ολόκληρου του κυττάρου σε δύο νέα κύτταρα.

Μίτωση

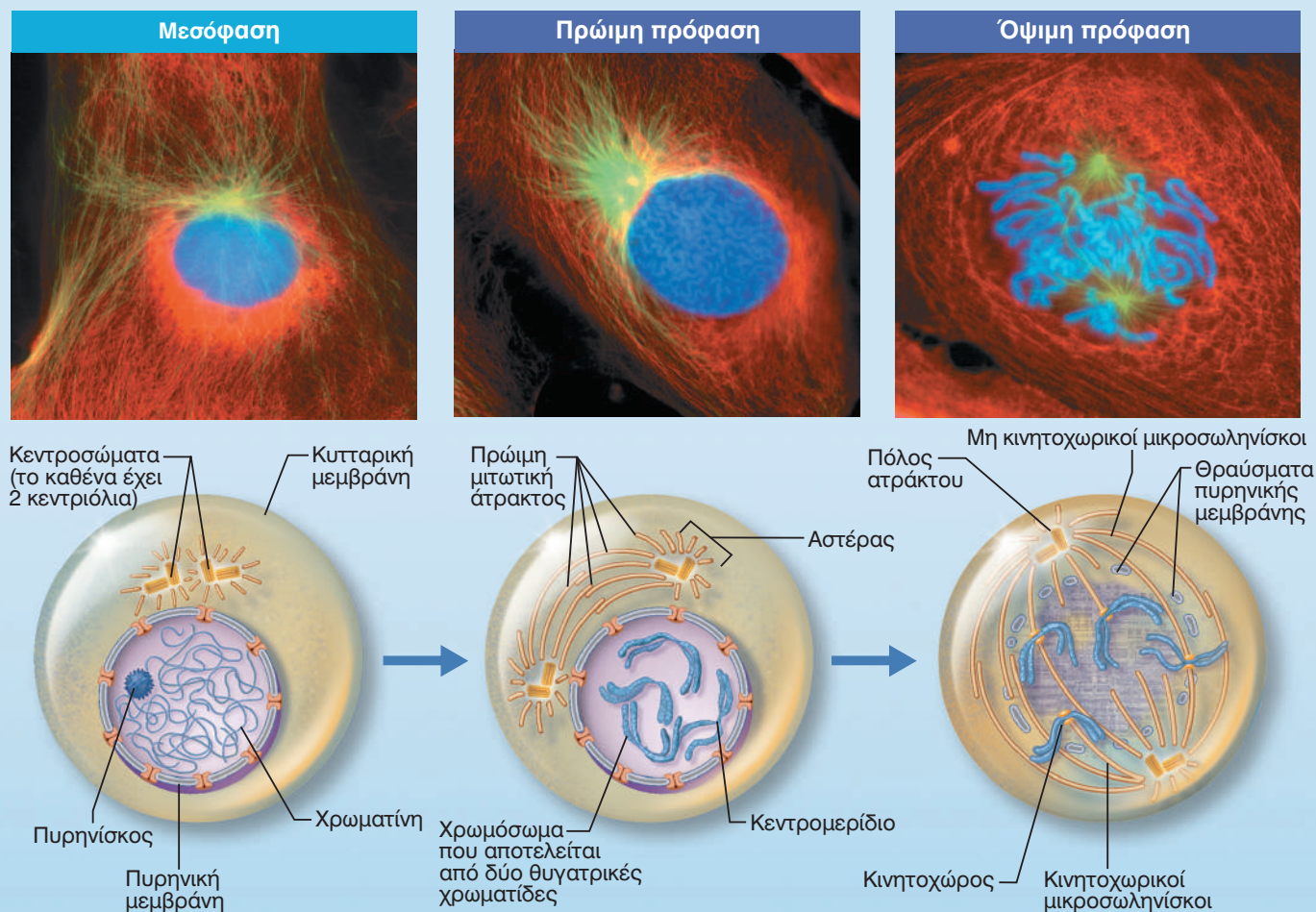
Η **μίτωση** είναι μια σειρά γεγονότων κατά τη διάρκεια των οποίων το διπλασιασμένο DNA του αρχικού κυττάρου διαιρείται στα δύο νέα κύτταρα. Η μίτωση κορυφώνεται με τη διχοτόμηση του πυρήνα. Καθόλη τη διάρκεια αυτών των γεγονότων, τα χρωμοσώματα απεικονίζονται ως παχιά ραβδία ή ίνες. Πράγματι, ο όρος *μίτωση* ουσιαστικά σημαίνει «το στάδιο των μίτων (νημάτων)». Η μίτωση διαχωρίζεται σε τέσσερις διαδοχικές φάσεις: πρόφαση, μετάφαση, ανάφαση και τελόφαση. Ωστόσο, στην πραγματικότητα είναι μια ενιαία διαδικασία, με την κάθε φάση να συνεχεται ομαλά με την επόμενη. Η διάρκεια της ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο των κυττάρων, αλλά συνήθως διαρκεί περίπου 2 ώρες. Η μίτωση περιγράφεται λεπτομερώς στην ενότητα **ΒΑΣΙΚΟ ΣΗΜΕΙΟ** για τη Μίτωση (Εικόνα 2.17).

Κυτταροκίνηση

Ο διαχωρισμός ενός κυττάρου σε δύο κατά το τέλος του κυτταρικού κύκλου ονομάζεται **κυτταροκίνηση**, που ουσιαστικά σημαίνει «μετατόπιση (απομάκρυνση) των κυττάρων». Ξεκινάει κατά την ανάφαση και ολοκληρώνεται μετά το τέλος της μίτωσης (Εικόνα 2.17). Ουσιαστικά, ένας δακτύλιος συσταλτών νηματίων ακτίνης και μυοσίνης στο κέντρο του αρχικού κυττάρου συσπάται έντονα και διχοτομεί το κύτταρο σε δύο νέα κύτταρα. Τα δύο νέα κύτταρα, που ονομάζονται *θυγατρικά κύτταρα*, εισέρχονται ακολούθως στη μεσόφαση του κυτταρικού κύκλου.

(Το κείμενο συνεχίζει στην σελίδα 42.)

Εικόνα 2.17 Η μίτωση είναι η διεργασία της διχοτόμησης του πυρήνα κατά την οποία τα χρωμοσώματα κατανέμονται σε δύο θυγατρικούς πυρήνες. Μαζί με την κυτταροκίνηση δημιουργεί δύο πανομοιότυπα θυγατρικά κύτταρα.



Μεσόφαση

Μεσόφαση

Η μεσόφαση είναι η περίοδος της ζωής του κυττάρου, κατά την οποία αυτό επιτελεί τις φυσιολογικές μεταβολικές του δραστηριότητες και αναπτύσσεται. Η μεσόφαση δεν αποτελεί μέρος της μίτωσης.

- Κατά τη μεσόφαση, η ουσία που περιέχει το DNA έχει τη μορφή χρωματίνης. Η πυρηνική μεμβράνη και ο πυρηνίσκος/οι είναι άθικτα και ορατά.
- Η μεσόφαση υποδιαιρείται σε τρεις ξεχωριστές περιόδους: G1, S και G2.

Οι μικρογραφίες OM παρουσιάζουν διαιρούμενα πνευμονικά κύτταρα σαλαμάνδρας. Φθορίζοντες δείκτες χρωματίζουν τις δομές των κυττάρων. Τα χρωμοσώματα φαίνονται μπλε και οι μικροσωληνίσκοι πράσινοι. (Οι κόκκινες ίνες είναι τα ενδιάμεσα ινίδια.) Η σχηματική απεικόνιση παρουσιάζει λεπτομέρειες που δεν είναι ορατές στη μικρογραφία. Για λόγους απλούστευσης, απεικονίζονται μόνο τέσσερα χρωμοσώματα.

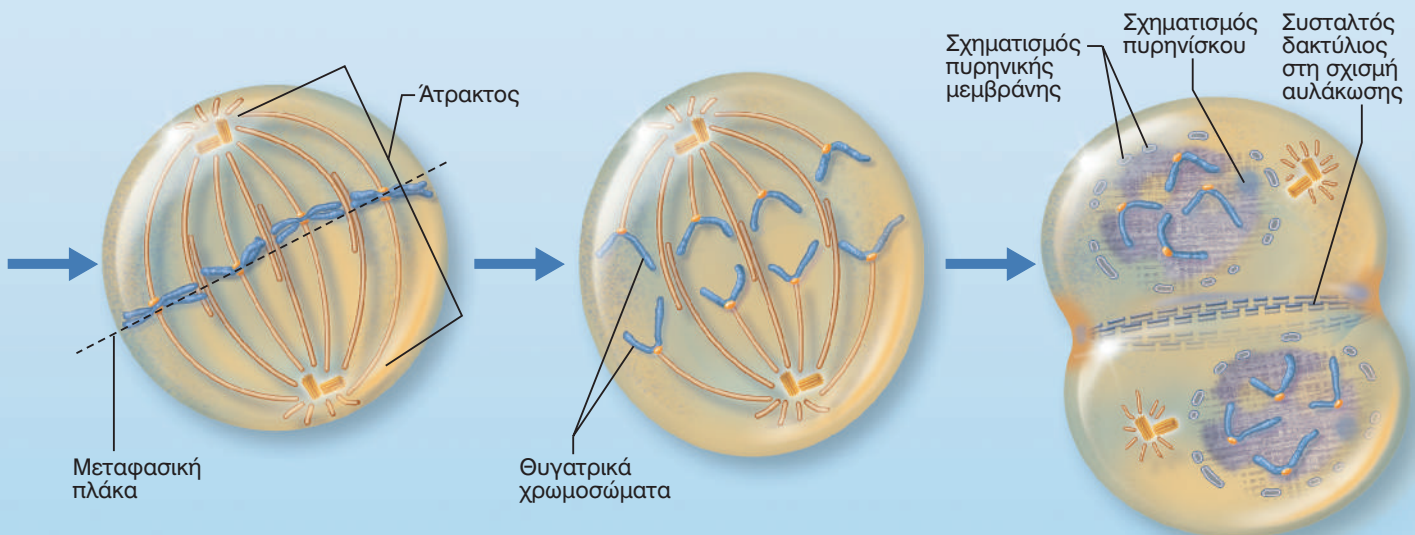
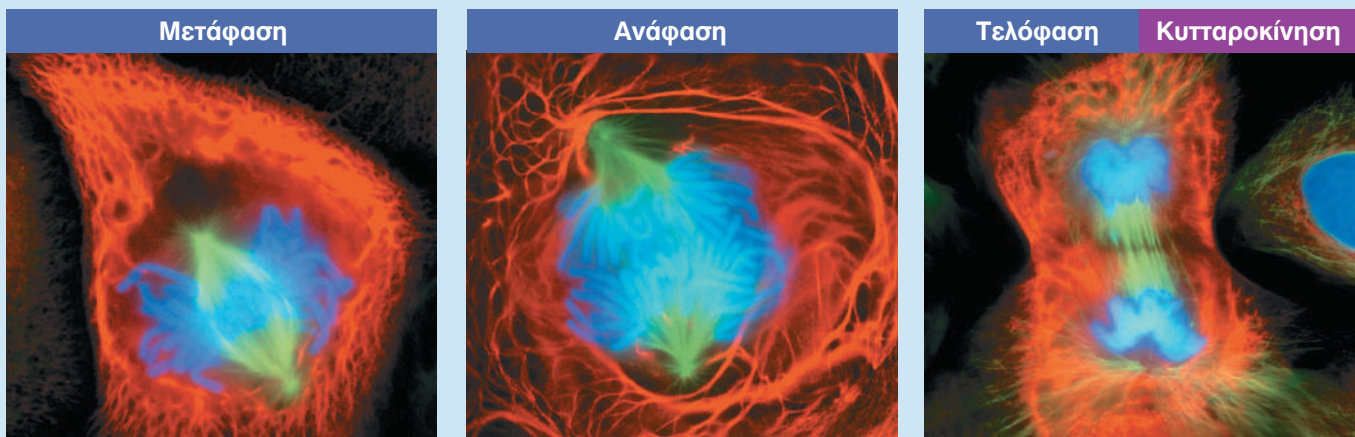
Πρόφαση – Πρώτη φάση της μίτωσης

Πρώιμη πρόφαση

- Η χρωματίνη περιελλίσσεται και συσπειρώνεται, σχηματίζοντας τα ραβδοειδή χρωμοσώματα.
- Το κάθε διπλασιασμένο χρωμόσωμα αποτελείται από δύο πανομοιότυπα νημάτια, που ονομάζονται αδελφές χρωματίδες, οι οποίες συγκρατούνται μεταξύ τους με το κεντρομερίδιο. (Αργότερα, οι χρωματίδες θα διαχωριστούν και η κάθε μια θα αποτελεί ένα νέο χρωμόσωμα.)
- Καθώς τα χρωμοσώματα εμφανίζονται, οι πυρηνίσκοι εξαφανίζονται και τα δύο κεντροσώματα διαχωρίζονται το ένα από το άλλο.
- Τα κεντροσώματα λειτουργούν ως εστιακά σημεία ανάπτυξης μιας συνάθροισης των μικροσωληνίσκων που είναι γνωστή ως μιτωτική άτρακτος. Καθώς οι μικροσωληνίσκοι επιμηκύνονται, ωθούν τα κεντροσώματα προς τα αντίθετα άκρα (πόλους) του κυττάρου.
- Από την κεντροσωματική ουσία αναδύονται συστοιχίες μικροσωληνίσκων που ονομάζονται αστέρες.

Όψιμη πρόφαση

- Η πυρηνική μεμβράνη διαρρηγνύεται επιτρέποντας στην άτρακτο να αλληλεπιδρά με τα χρωμοσώματα.
- Ορισμένοι αναπτυσσόμενοι μικροσωληνίσκοι της άτρακτου προσκολλώνται στους κινητοχώρους, ειδικές πρωτεϊνικές δομές σε κάθε χρωμοσωματικό κεντρομερίδιο. Αυτοί οι μικροσωληνίσκοι ονομάζονται κινητοχωρικοί μικροσωληνίσκοι.
- Οι υπόλοιποι (μη προσκολλημένοι) μικροσωληνίσκοι της άτρακτου καλούνται μη κινητοχωρικοί μικροσωληνίσκοι. Οι μικροσωληνίσκοι ολισθαίνουν ο ένας σε σχέση με τον άλλο, πιέζοντας τους πόλους να απομακρυνθούν.
- Οι κινητοχωρικοί μικροσωληνίσκοι έλκουν το κάθε χρωμόσωμα από τους δύο πόλους προς αντίθετες κατευθύνσεις, με αποτέλεσμα να οδηγούνται τελικά τα χρωμοσώματα στο κέντρο ή ισημερινό του κυττάρου.



Μετάφαση – Δεύτερη φάση της μίτωσης

- Τα δύο κεντροσώματα βρίσκονται στους αντίθετους πόλους του κυττάρου.
- Τα χρωμοσώματα συναθροίζονται στη μέση γραμμή του κυττάρου, με τα κεντρομερίδιά τους να είναι ακριβώς ευθυγραμμισμένα στον ισημερινό της άτρακτου. Αυτό το φανταστικό επίπεδο στη μεσότητα μεταξύ των δύο πόλων ονομάζεται **μεταφασική πλάκα**.
- Στο τέλος της μετάφασης, ενεργοποιούνται τα ένζυμα που πραγματοποιούν τον διαχωρισμό των χρωματίδων μεταξύ τους.

Ανάφαση – Τρίτη φάση της μίτωσης

Η **ανάφαση**, η βραχύτερη φάση της μίτωσης, ξεκινάει αιφνιδώς καθώς τα κεντρομερίδια των χρωμοσωμάτων διαχωρίζονται ταυτόχρονα. Τώρα η κάθε χρωματίδα μετατρέπεται σε ένα καινούργιο χρωμόσωμα.

- Οι κινητοχωρικοί μικροσωληνίσκοι που μετακινούνται από τις κινητήριες πρωτεΐνες στους κινητοχώρους, έλκουν προοδευτικά το κάθε χρωμόσωμα προς τον σύστοιχο του πόλο.
- Ταυτόχρονα, οι κινητοχωρικοί μικροσωληνίσκοι ολισθαίνουν ο ένας σε σχέση με τον άλλο, επιμηκύνονται και ωθούν τους δύο πόλους του κυττάρου προς αντίθετες κατευθύνσεις.
- Τα κινούμενα χρωμοσώματα έχουν σχήμα V. Τα κεντρομερίδια δείχνουν τον δρόμο, και τα «σκέλη» των χρωμοσωμάτων ακολουθούν πίσω τους.
- Η κίνηση και ο διαχωρισμός των χρωμοσωμάτων υποβοηθείται από το γεγονός ότι τα χρωμοσώματα είναι βραχέα, συμπαγή σωματίδια. Τα διάχυτα ινίδια της χρωματίνης θα σύρονταν, θα μπλέκονταν μεταξύ τους και θα έσπαναν, οδηγώντας σε μη ακριβή «διαμερισμό» της στα θυγατρικά κύτταρα.

Τελόφαση – Τελική φάση της μίτωσης

Τελόφαση

Η **τελόφαση** ξεκινάει μόλις σταματήσει η κίνηση των χρωμοσωμάτων. Αυτή η τελική φάση είναι όπως η πρόφαση αλλά συντελείται αντίστροφα.

- Τα πανομοιότυπα ζεύγη χρωμοσωμάτων στους αντίθετους πόλους του κυττάρου αρχίζουν να αποσυσπειρώνονται και να ανακτούν τη νηματοειδή μορφή της χρωματίνης.
- Σχηματίζεται μια νέα πυρηνική μεμβράνη γύρω από κάθε μάζα χρωματίνης, επανεμφανίζεται ο πυρηνίσκος εντός του πυρήνα και η άτρακτος διασπάται και εξαφανίζεται.
- Τώρα η μίτωση έχει τελειώσει. Το κύτταρο, για σύντομο διάστημα, είναι διπύρνηνο (έχει δύο πυρήνες) και ο κάθε νέος πυρήνας είναι πανομοιότυπος με τον αρχικό μητρικό πυρήνα.

Κυτταροκίνηση – Διάρθρωση κυτταροπλάσματος

Η **κυτταροκίνηση** ξεκινάει κατά την όψιμη ανάφαση και συνεχίζει εντός και πέραν της τελόφασης. Ένας συσταλτός δακτύλιος μικρονηματίων ακτίνης σχηματίζει τη **σχισμή αυλάκωσης** και διχοτομεί το κύτταρο.

✓ Ερωτήσεις κατανόησης

- ☐ 12. Σε ποια φάση του κυτταρικού κύκλου δαπανάει το κύτταρο το μεγαλύτερο μέρος της ζωής του;
- ☐ 13. Ποια είναι η έννοια της ρίζας των λέξεων που σχηματίζουν τους όρους ανάφαση, μετάφαση και τελόφαση; Τι συμβαίνει κατά τη διάρκεια αυτών των φάσεων της μίτωσης;

(Για τις απαντήσεις, βλέπε Παράρτημα Β.)

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΩΝ ΚΥΤΤΑΡΩΝ

Εκπαιδευτικοί στόχοι

- Κατονομάστε ορισμένους τύπους εξειδικευμένων κυττάρων και συσχετίστε το συνολικό τους σχήμα με τις ειδικές τους λειτουργίες.
- Συγκρίνετε τις θεωρίες της κυτταρικής διαφοροποίησης και γήρανσης.

Κυτταρική Διαφοροποίηση

Η προγεννητική ανάπτυξη του κάθε ανθρώπου ξεκινά με ένα και μόνο κύτταρο, το γονιμοποιημένο ωάριο, από το οποίο προκύπτουν όλα τα κύτταρα του σώματος. Η κυτταρική εξειδίκευση ξεκινά στα αρχικά στάδια της εμβρυϊκής ανάπτυξης. Ορισμένα μετασχηματίζονται σε ηπατοκύτταρα, άλλα σε νευρικά κύτταρα και άλλα σε κρυσταλλοειδείς φακούς του οφθαλμού. Κάθε κύτταρο του οργανισμού μας περιέχει τα ίδια γονίδια. (Κάθε γονίδιο, με απλά λόγια, είναι το τμήμα του DNA που υπαγορεύει μια ειδική κυτταρική λειτουργία, συνήθως κωδικοποιώντας μια συγκεκριμένη πρωτεΐνη.) Εάν όλα τα κύτταρα μας περιέχουν ακριβώς τα ίδια γονίδια, τότε πώς διαφοροποιούνται για να δημιουργήσουν εξειδικευμένες δομές και να αναλάβουν συγκεκριμένες λειτουργίες;

Τα κύτταρα σε κάθε περιοχή του αναπτυσσόμενου εμβρύου είναι εκτεθειμένα σε διαφορετικά χημικά σήματα που στρέφουν τα κύτταρα προς διαφορετικές οδούς ανάπτυξης. Το κυτταρόπλασμα του γονιμοποιημένου ωαρίου περιέχει μόρια του αγγελιοφόρου RNA (mRNA) και πρωτεΐνες, τα οποία προέρχονται από τη μητέρα. Τις πρώτες ημέρες της ανάπτυξης, όταν το γονιμοποιημένο ωάριο διαιρείται, το κυτταρόπλασμα του κάθε θυγατρικού κυττάρου προσλαμβάνει μια διαφορετική σύσταση αυτών των μορίων. Αυτά τα μητρικής προέλευσης κυτταροπλασματικά μόρια επηρεάζουν τη λειτουργία του εμβρυϊκού γονιδιώματος. Με αυτόν τον τρόπο, ενεργοποιούνται διαφορετικά γονίδια σε κάθε κύτταρο, γεγονός που οδηγεί στην κυτταρική διαφοροποίηση. Μόλις ξεκινήσει η έκφραση του ειδικού για το κύτταρο γονιδίου, το κύτταρο παράγει ειδικά σηματοδοτικά μόρια που επηρεάζουν την ανάπτυξη των παρακείμενων κυττάρων ενεργοποιώντας ή αδρανοποιώντας ορισμένα από τα γονίδιά τους. Μερικά γονίδια είναι ενεργά σε όλα τα κύτταρα. Για παράδειγμα, όλα τα κύτταρα πρέπει να επιτελούν πρωτεϊνοσύνθεση και παραγωγή ATP. Ωστόσο, τα γονίδια για την σύνθεση εξειδικευμένων πρωτεϊνών, όπως π.χ. οι ορμόνες και η βλέννη, ενεργοποιούνται μόνο σε συγκεκριμένους κυτταρικούς πληθυσμούς. Το κλειδί της κυτταρικής εξειδίκευσης βρίσκεται στο είδος των παραγόμενων πρωτεϊνών και αντιπροσωπεύει τη διαφορική γονιδιακή ενεργ-

γοποίηση ανάμεσα στους διαφορετικούς τύπους κυττάρων.

Η κυτταρική εξειδίκευση, που ονομάζεται και *κυτταρική διαφοροποίηση* οδηγεί σε *δομική* ποικιλομορφία ανάμεσα στους τύπους κυττάρων του οργανισμού. Σε διαφορετικά κύτταρα κυριαρχούν διαφορετικά οργανίδια. Για παράδειγμα, τα μυϊκά κύτταρα παράγουν τεράστιες ποσότητες των πρωτεϊνών ακτίνης και μυοσίνης και το λίπος αποθηκεύεται στα λιποκύτταρα. Τα φαγοκυτταρικά κύτταρα παράγουν περισσότερα λυσοσωματικά ένζυμα και περιέχουν πολλά λυσοσώματα. Υπάρχουν περίπου 200 διαφορετικοί τύποι κυττάρων στον οργανισμό μας, οι οποίοι διαφέρουν σημαντικά ως προς το μέγεθος, το σχήμα και τη λειτουργία. Οι τύποι αυτοί περιλαμβάνουν τα σφαιροειδή λιποκύτταρα, τα δισκοειδή ερυθρά αιμοσφαίρια, τα διακλαδιζόμενα νευρικά κύτταρα και τα κυβοειδή κύτταρα των νεφρικών σωληναρίων. Τα σχήματα των κυττάρων και η διάταξη των οργανιδίων τους σχετίζεται με την εξειδικευμένη λειτουργία αυτών των κυττάρων (**Εικόνα 2.18**). Τα κύτταρα ταξινομούνται στις ακόλουθες λειτουργικές ομάδες:

(α) Κύτταρα που συνδέουν τα μέρη του σώματος ή επενδύουν τα όργανα

Ινοβλάστης. Το επιμηκυμένο σχήμα αυτού του κυττάρου εκτείνεται κατά μήκος των ινών που εκκρίνει και οι οποίες μοιάζουν με καλώδιο. Διαθέτει επίσης πλούσιο αδρό ΕΔ και μεγάλη συσκευή Golgi για την παραγωγή και έκκριση των πρωτεϊνικών συστατικών αυτών των ινών.

Επιθηλιακό κύτταρο. Το σχήμα αυτών των κυττάρων καθιστά εφικτή τη συνάθροισή τους σε μεγάλους πληθυσμούς ώστε να σχηματιστεί μια στοιβάδα που ονομάζεται *επιθήλιο*. Κάθε επιθηλιακό κύτταρο διαθέτει άφθονα ενδύματα ινίδια που ανθίστανται στη ρήξη όταν ασκούνται στο επιθήλιο δυνάμεις έλξης ή τριβής. Ορισμένα επιθηλιακά κύτταρα είναι αδενικά κύτταρα, με άφθονο αδρό ΕΔ, συσκευή Golgi και εκκριτικά κοκκία.

Ερυθροκύτταρο (ερυθρό αιμοσφαίριο). Το κύτταρο αυτό μεταφέρει τα αναπνευστικά αέρια, οξυγόνο και διοξείδιο του άνθρακα. Χάρη στο αμφίκυκλο δισκοειδές σχήμα του διαθέτει επιπρόσθετη επιφάνεια για την πρόσληψη των αναπνευστικών αερίων, και επιπλέον δεν συναντάει μεγάλη αντίσταση στη ροή. Εντός του ερυθροκυττάρου υπάρχει τόσο μεγάλη ποσότητα αιμοσφαιρίνης που όλα τα άλλα οργανίδια έχουν αποβληθεί για να δημιουργηθεί ο απαραίτητος χώρος.

(β) Κύτταρα που παράγουν κίνηση και μετατοπίζουν τα μέρη του σώματος

Σκελετικά μυϊκά και λεία μυϊκά κύτταρα. Τα κύτταρα αυτά είναι επιμηκυμένα και γεμάτα με άφθονα νημάτια ακτίνης και μυοσίνης, για να είναι σε θέση να βραχύνονται και να ασκούν δύναμη.

(γ) Κύτταρα που αποθηκεύουν θρεπτικά συστατικά

Λιποκύτταρο. Το τεράστιο σφαιρικό σχήμα των λιποκυττάρων δημιουργείται από τη μεγάλη ποσότητα λιποσταγονιδίων που αποθηκεύουν στο κυτταρόπλασμά τους.

(δ) Κύτταρα που καταπολεμούν τις λοιμώξεις

Μακροφάγο (ένα φαγοκυτταρικό κύτταρο). Το κύτταρο αυτό εκτείνει μακρά ψευδοπόδια για να μετακινείται εντός



(α) Κύτταρα που συνδέουν τα μέρη του σώματος, επενδύουν τα όργανα ή μεταφέρουν αέρια

(β) Κύτταρο που μετακινεί όργανα και μέρη του σώματος

(γ) Κύτταρο που αποθηκεύει θρεπτικά συστατικά (δ) Κύτταρο που καταπολεμά τις λοιμώξεις

(ε) Κύτταρο που συλλέγει πληροφορίες και ελέγχει τις σωματικές λειτουργίες

(ζ) Αναπαραγωγικό κύτταρο

Εικόνα 2.18 Κυτταρική ποικιλομορφία. (Σημειώστε ότι τα κύτταρα δεν απεικονίζονται στην ίδια κλίμακα.)

των ιστών και να προσεγγίζει τις εστίες της λοίμωξης. Τα πολλαπλά λυσοσώματα εντός του κυττάρου διασπούν τους εγκλωβισμένους λοιμώδεις μικροοργανισμούς.

(ε) Κύτταρα που συγκεντρώνουν πληροφορίες και ελέγχουν τις σωματικές λειτουργίες

Νευρικό κύτταρο (νευρώνας). Το κύτταρο αυτό διαθέτει μακρές αποφυάδες για να λαμβάνει τα μηνύματα και να τα μεταδίδει σε άλλες δομές του σώματος. Οι αποφυάδες καλύπτονται από μια εκτεταμένη πλασματική μεμβράνη, τα δομικά συστατικά της οποίας ανανεώνονται διαρκώς. Η σύνθεση των δομικών συστατικών της μεμβράνης εξυπηρετείται από ένα εκτεταμένο αδρό ΕΔ.

(ζ) Αναπαραγωγικό κύτταρο

Σπέρμα (στους άνδρες). Αυτό το κύτταρο είναι επίμηκες και χάρη στο σχήμα του μπορεί να κολυμπάει χωρίς να συναντάει μεγάλη αντίσταση ώστε να προσεγγίσει και να γονιμοποιήσει το ωάριο. Η ουρά του είναι ένα ευκίνητο *μαστίγιο* (σελ. 78 στο Κεφάλαιο 4).

Τα περισσότερα όργανα είναι καλά σχηματισμένα και λειτουργικά πολύ πριν τη γέννηση, αλλά ο οργανισμός συνεχίζει να αναπτύσσεται με την παραγωγή περισσότερων κυττάρων καθόλη την παιδική και εφηβική ηλικία. Μόλις επιτευχθεί το μέγεθος της ενήλικης ζωής η κυτταρική διαίρεση επιβραδύνεται σημαντικά και συντελείται κυρίως για να αντικαθιστά τα βραχύβια κύτταρα και να επιδιορθώνει τα τραύματα.

Γήρανση

Η κυτταρική γήρανση αποτελεί ένα αδιαμφισβήτητο γεγονός που ευθύνεται για τα περισσότερα προβλήματα τα οποία συνοδεύουν την προχωρημένη ηλικία. Αν και η γήρανση είναι πολύπλοκη και σίγουρα οφείλεται σε πολλούς μηχανισμούς, η καλύτερα τεκμηριωμένη θεωρία υποστηρίζει ότι οι ελεύθερες ρίζες διαδραματίζουν τον σημαντικότερο ρόλο. Αυτά τα έντονα δραστικά και επομένως καταστροφικά μόρια είναι κατά κύριο λόγο παραπροϊόντα του φυσιολογικού κυτταρικού μεταβολισμού, αν και μπορούν να σχηματιστούν ως απάντηση σε εξωγενείς βλαπτικούς παράγοντες, όπως π.χ. η ακτινοβολία και οι χημικοί ρύποι. Σύμφωνα με αυτή τη θεωρία, οι ελεύθερες ρίζες συσσωρεύονται και προοδευτικά καταστρέφουν τα βασικά κυτταρικά μόρια. Τα περισσότερα στοιχεία προέρχονται από πειράματα σε λιγότερο πολύπλοκα ζώα, όπως π.χ. σκουλήκια και μύγες, στα οποία η εξουδετέρωση των ελεύθερων ριζών και η επιδιόρθωση των βλαβών έχει αποδειχθεί ότι αυξάνει το προσδόκιμο επιβίωσης. Η βιταμίνη Ε και C φαίνεται ότι δρουν ως αντιοξειδωτικά στον ανθρώπινο οργανισμό και μπορεί να συμβάλλουν στην αποτροπή της υπερβολικής παραγωγής ελεύθερων ριζών.

Οι περισσότερες ελεύθερες ρίζες παράγονται στα μιτοχόνδρια, τα οργανίδια με τους υψηλότερους μεταβολικούς ρυθμούς. Οι επιστήμονες ισχυρίζονται ότι η μείωση της παραγωγής ενέργειας, λόγω βλάβης των μιτοχονδρίων από τις ελεύθερες ρίζες, εξασθενεί τα κύτταρα και επιφέρει σε αυτά πρόωπη γήρανση. Πρόκειται για τη *μιτοχονδριακή θεωρία της γήρανσης*. Είναι γνωστό εδώ και πολλά χρόνια ότι εάν οι αρουραίοι και τα ποντίκια του εργαστηρίου υποσιτίζονται ελαφρώς, το προσδόκιμο επιβίωσης τους αυξάνεται πάνω από 30%. Το ίδιο εύρημα έχει επιβεβαιωθεί και στα πρωτεύοντα. Δεδομένου ότι ο περιορισμός των θερμίδων μειώνει τον ρυθμό του μεταβολισμού καθιστώντας τον ταυτόχρονα πιο αποδοτικό, παράγονται λιγότερες καταστροφικές ελεύθερες ρίζες και η γήρανση επιβραδύνεται.

Σύμφωνα με τις *γενετικές θεωρίες της γήρανσης*, η γήρανση είναι προγραμματισμένη στα γονίδια μας. Οι θεωρίες αυτές προέρχονται από την παρατήρηση ότι ο οργανισμός γερνάει με προβλέψιμο τρόπο, σαν η γήρανση να αποτελεί φυσιολογικό τμήμα της ανθρώπινης ανάπτυξης (και η ανάπτυξη είναι γνωστό ότι ελέγχεται από γονίδια). Η επιβίωση των αρουραίων και των μυγών μπορεί να παραταθεί με επιλεκτική διασταύρωση, και στα ζώα έχουν ανακαλυφθεί γονίδια που επιτείνουν ή αμβλύνουν τη μακροζωία. Αν και

ορισμένα από αυτά τα γονίδια δρουν επηρεάζοντας τις ελεύθερες ρίζες, άλλα δρουν με λιγότερο κατανοητούς τρόπους.

Το σπουδαιότερο εύρημα για την προγραμματισμένη γήρανση αφορά τα **τελομερή**, τις δομές που περιορίζουν τον μέγιστο αριθμό διαιρέσεων των κυττάρων. Τα τελομερή είναι επαναλαμβανόμενες μικρές αλληλουχίες νουκλεοτιδίων που δεν περιέχουν σημαντικές γενετικές πληροφορίες και επικαλύπτουν τα άκρα των χρωμοσωμάτων. Αν και δεν φέρουν γονίδια, φαίνεται ότι είναι ζωτικής σημασίας για την επιβίωση των χρωμοσωμάτων. Κάθε φορά που το DNA διπλασιάζεται αποκόπτονται 50 με 100 τελικά νουκλεοτίδια και το τελομερές βραχύνεται λίγο. Όταν το τελομερές φθάσει σε ένα συγκεκριμένο ελάχιστο μήκος, πυροδοτείται το σήμα «διακοπής της διαίρεσης». Η *τελομεράση* είναι ένα ένζυμο που εμποδίζει την αποδόμηση των τελομερών προσθέτοντας επιπλέον επαναλαμβανόμενες αλληλουχίες στα άκρα του. Η τελομεράση απαντάται στα βλαστικά κύτταρα που πολλαπλασιάζονται αδιάκοπα, καθώς και στα καρκινικά κύτταρα, αλλά όχι στους άλλους τύπους κυττάρων.

Πολλές μελέτες έχουν δείξει ότι τα βραχυσμένα τελομε-

ρή συνοδεύονται από αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης ηλικιοεξαρτώμενων νοσημάτων όπως π.χ. ο σακχαρώδης διαβήτης, τα καρδιαγγειακά νοσήματα, η νόσος του Alzheimer και ορισμένα είδη καρκίνων. Στο εγγύς μέλλον, μπορεί να χρησιμοποιηθούν, για κλινικούς λόγους, δοκιμασίες μέτρησης του μήκους των τελομερών ως δείκτες αξιολόγησης της κατάστασης υγείας του ατόμου.

✓ Ερωτήσεις κατανόησης

- ☐ 14. Ποιες κυτταρικές δομές είναι άφθονες στα κύτταρα που εξειδικεύονται στην επίτευξη των κινήσεων, όπως είναι τα μυϊκά κύτταρα;
- ☐ 15. Ποια οργανίδια είναι άφθονα στα κύτταρα που παράγουν και εκκρίνουν ορμόνες;
- ☐ 16. Σύμφωνα με ποια θεωρία της γήρανσης που παρουσιάζεται στο παρόν κεφάλαιο, μπορεί η διεργασία της γήρανσης να τροποποιηθεί μέσω της ατομικής συμπεριφοράς;

(Για απαντήσεις βλέπε Παράρτημα Β.)



ΣΧΕΤΙΚΟΙ ΚΛΙΝΙΚΟΙ ΟΡΟΙ

Απόπτωση Ο προγραμματισμένος κυτταρικός θάνατος. Αυτή η διεργασία της ελεγχόμενης κυτταρικής αυτοκτονίας εξαφανίζει τα κύτταρα που είναι καταπονημένα, υπεράριθμα ή ηλικιωμένα. Ως απάντηση στα κατεστραμμένα μακρομόρια εντός του κυττάρου ή σε κάποιο εξωκυττάριο σήμα, ενεργοποιείται μια σειρά ενδοκυττάρων ενζύμων που καταστρέφουν το DNA των κυττάρων, τον κυτταροσκελετό και άλλες δομές, επιφέροντας έναν γρήγορο, «νοικοκυρεμένο» θάνατο. Το αποπτωτικό κύτταρο συρρικνώνεται χωρίς διαφυγή του περιεχομένου του στους γύρω ιστούς. Αποκολλάται από τα άλλα κύτταρα και διασπάται αμέσως από τα παρακείμενα κύτταρα. Αυτή η οργανωμένη ακολουθία αποφεύγει τη φλεγμονή (σελ. 95-96) και επομένως ελαχιστοποιεί την ιστική βλάβη. Τα καρκινικά κύτταρα δεν μπορούν να υποστούν απόπτωση, αλλά τα στερημένα από οξυγόνο κύτταρα υφίστανται εκτεταμένη απόπτωση (για παράδειγμα, τα καρδιακά και εγκεφαλικά κύτταρα επί εμφράγματος του μυοκαρδίου και εγκεφαλικού επεισοδίου, αντίστοιχα).

Δυσπλασία Μια μεταβολή στο μέγεθος, στο σχήμα ή στη διάταξη των κυττάρων του λόγω παρατεταμένου ερεθισμού ή φλεγμονής (για παράδειγμα από λοιμώξεις).

Υπερπλασία Ο υπέρμετρος κυτταρικός πολλαπλασιασμός. Σε αντίθεση με τα καρκινικά κύτταρα, τα υπερπλαστικά διατηρούν το κανονικό τους σχήμα καθώς και τη διάταξή τους εντός των ιστών.

Υπερτροφία Η υπερβολική ανάπτυξη ενός οργάνου ή ιστού λόγω αύξησης του μεγέθους των κυττάρων του. Η υπερτροφία είναι η φυσιολογική απάντηση των σκελετικών μυϊκών κυττάρων στην άσκηση. Η υπερτροφία διαφέρει από την υπερπλασία, την κατάσταση κατά την οποία τα κύτταρα αυξάνουν σε αριθμό αλλά όχι σε μέγεθος.

Νέκρωση Ο θάνατος ενός κυττάρου ή μιας ομάδας κυττάρων λόγω βλάβης ή νόσου. Η οξεία βλάβη προκαλεί την εξοίδηση και ρήξη των κυττάρων και επάγει μια φλεγμονώδη απάντηση. Σε αντίθεση με την απόπτωση, πρόκειται για τυχαίο, μη ελεγχόμενο κυτταρικό θάνατο.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

ΓΕΝΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΩΝ ΚΥΤΤΑΡΩΝ (σελ. 24-25)

1. Τα κύτταρα είναι οι βασικές δομικές και λειτουργικές μονάδες της ζωής.
2. Υπάρχουν 50 με 100 τρισεκατομμύρια κύτταρα στον ανθρώπινο οργανισμό. Το παρόν κεφάλαιο επικεντρώνεται στα κοινά χαρακτηριστικά όλων των κυττάρων.
3. Τα κύτταρα προσλαμβάνουν θρεπτικά συστατικά, συνθέτουν μόρια, απομακρύνουν τα παραπροϊόντα του μεταβολισμού, διατηρούν το σχήμα τους και αναπαράγονται.
4. Κάθε κύτταρο έχει τρία κύρια μέρη: πλασματική μεμβράνη, κυτταρόπλασμα και πυρήνα.

ΠΛΑΣΜΑΤΙΚΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ (σελ. 25-30)

Δομή (σελ. 27)

5. Η πλασματική μεμβράνη σχηματίζει το όριο του κυττάρου. Το μοντέλο του ρευστού μωσαϊκού αναπαριστά την πλασματική μεμβράνη ως μια διπλοστοιβάδα λιπιδικών μορίων (φωσφολιπίδια, χοληστερόλη και γλυκολιπίδια), με μόρια των πρωτεϊνών να βρίσκονται εμβυθισμένα μέσα σε αυτή.
6. Οι περισσότερες μεμβρανικές πρωτεΐνες είναι ενσωματωμένες πρωτεΐνες που διατρέχουν όλο το μήκος της μεμβράνης. Αντίθετα, οι περιφερικές πρωτεΐνες είναι προσκολλημένες στη μεμβρανική επιφάνεια συμβάλλοντας, μεταξύ άλλων λειτουργιών, και στη στήριξη της μεμβράνης.

7. Οι υδατανθρακικές ομάδες των μεμβρανικών γλυκοπρωτεϊνών και γλυκολιπιδίων προεξέχουν από την επιφάνεια του κυττάρου και συμμετέχουν στον σχηματισμό του γλυκοκάλυκα (επικάλυψη του κυττάρου), ο οποίος εξυπηρετεί τη διακυτταρική σύνδεση και αναγνώριση.

Λειτουργίες (σελ. 27)

8. Η πλασματική μεμβράνη λειτουργεί ως εύθραυστος φραγμός που προστατεύει το περιεχόμενο του κυττάρου. Καθορίζει τι εισέρχεται στο κύτταρο και τι εξέρχεται από αυτό. Μερικές πρωτεΐνες της πλασματικής μεμβράνης λειτουργούν ως υποδοχείς για εξωκυττάρια σηματοδοτικά μόρια.

Διαμεμβρανική Μεταφορά (σελ. 27-30)

9. Τα μικρά μη φορτισμένα μόρια περνούν μέσω της μεμβράνης μέσω απλής διάχυσης. Το νερό εισέρχεται και εξέρχεται μέσω ώσμωσης. Τα μεγαλύτερα ή φορτισμένα μόρια περνούν μέσω μεταφορικών μηχανισμών μεταφοράς στους οποίους συμμετέχουν ενσωματωμένες πρωτεΐνες. Η μετακίνηση των μορίων προς την κατεύθυνση της κλίσης συγκέντρωσης μέσω μια ενσωματωμένης πρωτεΐνης ονομάζεται υποβοηθούμενη διάχυση. Η μετακίνηση με κατεύθυνση αντίθετη της κλίσης συγκέντρωσής τους ονομάζεται ενεργητική μεταφορά, μια διεργασία που απαιτεί τη χρήση ενέργειας.
10. Τα μεγάλα σωματίδια και μακρομόρια μεταφέρονται ενεργητικά διαμέσου των μεμβρανών μέσω ενδοκυττάρωσης ή εξωκυττάρωσης. Η ενδοκυττάρωση μεταφέρει μεγάλες ουσίες εντός του κυττάρου υπό μορφή πακέτων πλασματικής μεμβράνης η οποία έχει πτυχωθεί ώστε να σχηματιστούν κυτταροπλασματικά κυστίδια. Εάν η ουσία είναι ένα σωματίδιο, η διεργασία ονομάζεται φαγοκυττάρωση. Εάν η ουσία είναι ένα διαλυμένο μόριο στο εξωκυττάριο υγρό, η διεργασία είναι γνωστή ως πινοκυττάρωση. Η διαμεσολαβούμενη από υποδοχείς ενδοκυττάρωση είναι εκλεκτική. Συγκεκριμένα μόρια προσκολλώνται στους υποδοχείς πάνω στην μεμβράνη πριν εισέλθουν εντός του κυττάρου μέσα σε κυστίδια επικαλυμμένα με πρωτεΐνες.
11. Στην εξωκυττάρωση, κυτταροπλασματικά μεμβρανώδη κυστίδια συντήκονται με την πλασματική μεμβράνη και απελευθερώνουν το περιεχόμενό τους έξω από το κύτταρο.

ΚΥΤΤΑΡΟΠΛΑΣΜΑ (σελ. 30-35)

Κυττοσόλιο (σελ. 30)

12. Το κυττοσόλιο είναι ένα παχύρευστο υγρό που περιέχει νερό, διαλυμένα ιόντα και ένζυμα. Τα κυτταροπλασματικά οργανίδια και τα έγκλειστα πλέουν μέσα στο κυττοσόλιο.

Κυτταροπλασματικά Οργανίδια (σελ. 30-35)

13. Το κάθε οργανίδιο επιτελεί ειδικές λειτουργίες. Οι διάφοροι τύποι κυττάρων του οργανισμού έχουν διαφορετικό αριθμό από κάθε τύπο οργανιδίων.
14. Τα ριβοσώματα είναι σκουρόχρωμα κοκκία και αποτελούνται από δύο υπομονάδες, η κάθε μια από τις οποίες περιέχει πρωτεΐνη και ριβοσωμικό RNA. Τα ριβοσώματα είναι οι θέσεις της πρωτεϊνσύνθεσης (μετάφραση). Τα ελεύθερα ριβοσώματα παράγουν τις πρωτεΐνες που χρησιμοποιούνται στο κυτταρόπλασμα.
15. Το αδρό ενδοπλασματικό δίκτυο είναι ένα σύστημα μεμβρανωδών κοιλοτήτων (δεξαμενών), κατάσπαρτο με ριβοσώματα. Τα ριβοσώματα παράγουν τις πρωτεΐνες, οι οποίες εισέρχονται στις δεξαμενές και τελικά εκκρίνονται από το κύτταρο. Το αδρό ενδοπλασματικό δίκτυο παράγει επίσης όλες τις μεμβράνες του κυττάρου.
16. Το λείο ενδοπλασματικό δίκτυο, ένα δίκτυο μεμβρανωδών σωληνίσκων που δεν περιέχουν ριβοσώματα, εμπλέκεται

στον μεταβολισμό των λιπιδίων. Το λείο ενδοπλασματικό δίκτυο αποθηκεύει επίσης τα ιόντα ασβεστίου.

17. Η συσκευή Golgi είναι ένας σωρός δισκοειδών δεξαμενών που έχει μια cis (κυρτή) και μια trans (κοίλη) πλευρά. Ταξινομεί τα προϊόντα του αδρού ενδοπλασματικού δικτύου και στη συνέχεια τα αποστέλλει, εντός κυστιδίων που περιβάλλονται από μεμβράνη, στον κατάλληλο προορισμό. Τα λυσοσώματα και τα εκκριτικά κυστίδια προέρχονται από τη συσκευή Golgi.
18. Τα λυσοσώματα είναι σφαιρικοί μεμβρανώδεις ασκοί που περιέχουν πεπτικά ένζυμα. Διασπούν τα κατεστραμμένα οργανίδια και τις ουσίες που εισέρχονται στο κύτταρο μέσω κυστιδίων που περιβάλλονται από μεμβράνη.
19. Τα μιτοχόνδρια είναι νηματοειδή οργανίδια που καλύπτονται από δύο μεμβράνες, εκ των οποίων η έσω σχηματίζει ακρολοφίες σαν ράφια. Τα μιτοχόνδρια είναι το κύριο σημείο της σύνθεσης του ATP, της κύριας πηγής ενέργειας του κυττάρου.
20. Τα υπεροξειδισώματα είναι μεμβρανώδεις ασκοί που περιέχουν ένζυμα, τα οποία πραγματοποιούν αρκετές μεταβολικές διεργασίες. Μετατρέπουν τις ελεύθερες ρίζες σε υπεροξειδίο του υδρογόνου. Επίσης, χρησιμοποιούν το υπεροξειδίο του υδρογόνου για να διασπάσουν ορισμένα οργανικά δηλητήρια.
21. Ο κυτταροσκελετός περιλαμβάνει πρωτεϊνικά ραβδία τριών διαφορετικών τύπων –μυονήματα ακτίνης, ενδιάμεσα ινίδια και μικροσωληνίσκους– όλα εντός του κυττοσολίου. Τα μικρονήματα ακτίνης αλληλεπιδρούν με τη μυοσίνη και παράγουν τις δυνάμεις συστολής. Τα ενδιάμεσα ινίδια, τα οποία ανθίστανται στην τάση που ασκείται στο κύτταρο, είναι σταθερά. Οι μικροσωληνίσκοι, οι οποίοι ακτινοβολούν από την περιοχή του κεντροσώματος, διαμορφώνουν το σχήμα του κυττάρου. Επίσης οργανώνουν την κατανομή και διακίνηση διαφόρων οργανιδίων εντός του κυτταροπλάσματος. Τόσο οι μικροσωληνίσκοι όσο και τα μικρονήματα τείνουν να είναι ασταθή, να διασπώνται και να ανασυντίθενται.
22. Το κεντρόσωμα είναι μια σφαιρική περιοχή του κυτταροπλάσματος πλησίον του πυρήνα. Αποτελείται από μια ουσία με νεφελοειδή εμφάνιση που περιβάλλει ένα ζεύγος κεντριολίων. Οι πρωτεΐνες της θεμέλιας ουσίας καθηλώνουν τους μακρούς μικροσωληνίσκους του κυτταροσκελετού και τους μικροσωληνίσκους της μιτωτικής ατράκτου. Τα κεντριόλια είναι δομές βαρελοειδούς σχήματος με τοιχώματα από βραχείς μικροσωληνίσκους.

Κυτταροπλασματικά Έγκλειστα (σελ. 35)

23. Τα έγκλειστα είναι προσωρινές δομές του κυτταροπλάσματος. Σε αυτά περιλαμβάνονται οι αποθήκες θρεπτικών συστατικών, όπως π.χ. τα λιποσταγονίδια και τα γλυκοσώματα που περιέχουν γλυκογόνο.

ΠΥΡΗΝΑΣ (σελ. 35-38)

24. Ο πυρήνας περιέχει το γενετικό υλικό (DNA) και είναι το κέντρο ελέγχου του κυττάρου. Τα περισσότερα κύτταρα έχουν έναν κεντρικά τοποθετημένο πυρήνα σχήματος σφαίρας ή αυγού.

Πυρηνική Μεμβράνη (σελ. 36)

25. Ο πυρήνας περιβάλλεται από μια εκλεκτικά διαπερατή πυρηνική μεμβράνη, η οποία διαθέτει άφθονους πυρηνικούς πόρους. Οι πόροι αυτοί επιτρέπουν την διέλευση μεγάλων μορίων όπως είναι το RNA και οι πρωτεΐνες προς το εσωτερικό ή εξωτερικό του πυρήνα. Η πυρηνική μεμβράνη αποτελεί συνέχεια του αδρού ενδοπλασματικού δικτύου.

Πυρηνίσκος (σελ. 36)

26. Ο πυρηνίσκος είναι ένα σκουρόχρωμο σωματίο εντός του πυρήνα που περιέχει αντίγραφα των γονιδίων που κωδικοποιούν το ριβοσωμικό RNA. Οι πυρηνίσκοι παράγουν τις υπομονάδες των ριβοσωμάτων.

Χρωματίνη και Χρωμοσώματα (σελ. 36-38)

27. Το μόριο του DNA είναι μια διπλή έλικα που αποτελείται από τέσσερις τύπους νουκλεοτιδίων, με τις βάσεις θυμίνη, αδενίνη, κυτοσίνη και γουανίνη.
28. Η χρωματίνη είναι ένα νηματοειδές υλικό (DNA και ιστόνες) του πυρήνα που σχηματίζει τα χρωμοσώματα. Κατά την κυτταρική διαίρεση, όλη η χρωματίνη παρουσιάζει τη μέγιστη συσπείρωση, κάνοντας τα χρωμοσώματα να μοιάζουν με παχιά ραβδία. Στα μη διαιρούμενα κύτταρα, η χρωματίνη είναι ένα μείγμα ανενεργών συσπειρωμένων περιοχών (συμπυκνωμένη χρωματίνη - ετεροχρωματίνη) και ενεργών, αποσυσπειρωμένων περιοχών (αποσυσπειρωμένη χρωματίνη - ευχρωματίνη).

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΖΩΗΣ ΤΟΥ ΚΥΤΤΑΡΟΥ (σελ. 38-42)

29. Ο κύκλος ζωής του κυττάρου είναι μια σειρά από μεταβολές που υφίσταται το κύτταρο από τη στιγμή που σχηματίζεται μέχρι την στιγμή που διαιρείται.

Μεσόφαση (σελ. 38)

30. Η μεσόφαση είναι η φάση του κύκλου ζωής του κυττάρου στην οποία δεν υπάρχει κυτταρική διαίρεση. Συνίσταται στις φάσεις G_1 , S και G_2 . Κατά τη φάση G_1 το κύτταρο αναπτύσσεται. Κατά φάση S το DNA διπλασιάζεται και κατά τη φάση G_2 πραγματοποιούνται οι τελικές προετοιμασίες για την επερχόμενη κυτταρική διαίρεση.

Κυτταρική Διαίρεση (σελ. 38-42)

31. Η κυτταρική διαίρεση, απαραίτητη για την ανάπτυξη και επιδιόρθωση του οργανισμού, συντελείται κατά τη φάση M (μίτωση). Η κυτταρική διαίρεση περιλαμβάνει δύο ξεχωριστά γεγονότα: μίτωση και κυτταροκίνηση.
32. Η μίτωση, η διχοτόμηση του πυρήνα, έχει τέσσερα στάδια: (1) *πρόφαση*, όταν εμφανίζονται οι χρωματίδες, εξαφανίζεται

η πυρηνική μεμβράνη και σχηματίζεται η μитωτική άτρακτος, (2) *μετάφαση*, όταν οι χρωματίδες ευθυγραμμίζονται με τον ισημερινό του κυττάρου, (3) *ανάφαση*, όταν οι χρωματίδες σχήματος V έλκονται προς αντίθετες κατευθύνσεις και (4) *τελόφαση*, όταν η χρωματίνη αποσυσπειρώνεται και ο πυρήνας ανασχηματίζεται. Η μίτωση διαμοιράζει τα διπλάσια χρωμοσώματα στους δύο θυγατρικούς πυρήνες. Η κυτταροκίνηση, που ολοκληρώνεται μετά τη μίτωση, είναι η διχοτόμηση του κυττάρου σε δύο νέα κύτταρα.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΩΝ ΚΥΤΤΑΡΩΝ

(σελ. 42-44)

Κυτταρική Διαφοροποίηση (σελ. 42-43)

33. Το πρώτο κύτταρο του ανθρώπινου οργανισμού είναι το γονιμοποιημένο ωάριο. Η κυτταρική διαφοροποίηση ξεκινάει νωρίς κατά την ανάπτυξη και θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει τη διαφορική γονιδιακή ενεργοποίηση.
34. Υπάρχουν περίπου 200 διαφορετικοί τύποι κυττάρων στον ανθρώπινο οργανισμό. Τα κύτταρα αυτά έχουν διάφορα σχήματα τα οποία αντιπροσωπεύουν τις ειδικές κυτταρικές λειτουργίες. Σε διαφορετικά κύτταρα κυριαρχούν διαφορετικά οργανίδια. (Εικόνα 2.18).
35. Κατά την ενήλικη ζωή, ο αριθμός των κυττάρων παραμένει σχετικά σταθερός και η κυτταρική διαίρεση συντελείται κυρίως για να αντικαθιστά τα απολεσθέντα κύτταρα.

Γήρανση (σελ. 43-44)

36. Η γήρανση των κυττάρων (και ολόκληρου του οργανισμού) ενδέχεται να αντικατοπτρίζει συσσωρευμένη βλάβη από τις ελεύθερες ρίζες ή μπορεί να είναι μια διεργασία που επηρεάζεται από γενετικούς παράγοντες ή και τα δύο. Μπορεί επίσης να αντιπροσωπεύει μια απώλεια της ικανότητας για κυτταρική διαίρεση με την πάροδο του χρόνου.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗΣ

Ερωτήσεις Πολλαπλής Επιλογής/Αντιστοίχισης

(Για τις απαντήσεις, βλέπε Παράρτημα Β.)

- Η διεργασία της ενδοκυττάρωσης κατά την οποία μεταφέρεται σωματιδιακή ύλη εντός του κυττάρου ονομάζεται (α) φαγοκυττάρωση, (β) πινοκυττάρωση, (γ) εξωκυττάρωση.
- Η πυρηνική ουσία που αποτελείται από τις ιστόνες και DNA είναι (α) η χρωματίνη, (β) η πυρηνική μεμβράνη, (γ) το πυρηνόπλασμα, (δ) οι πυρηνικοί πόροι.
- Οι τελικές προετοιμασίες για την κυτταρική διαίρεση πραγματοποιούνται σε αυτό το στάδιο του κύκλου ζωής του κυττάρου: (α) G_1 , (β) G_2 , (γ) M, (δ) S.
- Η βασική διπλοστοιβάδα της πλασματικής μεμβράνης δημιουργείται σχεδόν αποκλειστικά από (α) φωσφολιπιδικά μόρια, (β) περιφερικές πρωτεΐνες, (γ) μόρια χοληστερόλης, (δ) ενσωματωμένες πρωτεΐνες.
- Αναγνωρίστε την κυτταρική δομή ή οργανίδιο που περιγράφεται σε κάθε μια από τις παρακάτω προτάσεις.
 - Ένας σωρός 3-10 μεμβρανωδών δίσκων με κυστίδια.
 - Μια συνέχεια της πυρηνικής μεμβράνης σχηματίζει αυτό το κυτταροπλασματικό οργανίδιο που είναι καλυμμένο με ριβοσώματα.
 - Στα μη διαιρούμενα κύτταρα τα έντονα συσπειρωμένα τμήματα των χρωμοσωμάτων σχηματίζουν αυτόν τον τύπο χρωματίνης.

- Αυτό το είδος ενδοπλασματικού δικτύου είναι ένα δίκτυο κενών σωλήνων που εμπλέκονται στον μεταβολισμό των λιπιδίων.
 - Ένα σύμπλεγμα οκτώ μορίων ιστόνης, και των ινιδίων του DNA που περιελίσσονται γύρω από αυτά.
 - Τα ραβδία του κυτταροσκελετού με τη μεγαλύτερη διάμετρο (επιλέξτε από μικροσωληνίσκους, μικρονημάτια, ενδιάμεσα ινίδια).
 - Το μοναδικό οργανίδιο με DNA και ακρολοφίες.
 - Αυτό το ενεργοπαραγωγό οργανίδιο είναι πιθανότατα απόγονος των βακτηρίων.
 - Σε αυτό το οργανίδιο συντελείται η πρωτεϊνόςυνθεση.
- Βρείτε τη *λανθασμένη* πρόταση όσον αφορά τα κεντριόλια.
 - Αρχίζουν να διπλασιάζονται στη G_1 , (β) Εντοπίζονται στα κεντροσώματα, (γ) Αποτελούνται από μικροσωληνίσκους, (δ) Είναι μεμβρανώδεις δομές βαρελοειδούς σχήματος που κείτονται παράλληλα μεταξύ τους.
 - Η επιφάνεια trans της συσκευής Golgi (α) είναι η κυρτή της επιφάνεια, (β) είναι η θέση στην οποία τα προϊόντα εγκαταλείπουν τη συσκευή Golgi μέσα σε κυστίδια, (γ) υποδέχεται μεταφορικά κυστίδια από το αδρό ενδοπλασματικό δίκτυο, (δ) βρίσκεται στο κέντρο της συσκευής Golgi, (ε) είναι ίδια με την επιφάνεια cis.
 - Βρείτε τη *λανθασμένη* πρόταση όσον αφορά τα λυσοσώματα (α) Έχουν την ίδια δομή και λειτουργία με τα υπερο-

ξειδιοσώματα. (β) Σχηματίζονται από προσεκβολές της συσκευής Golgi. (γ) Τα λυσοσωματικά ένζυμα δεν κυκλοφορούν ελεύθερα στο κυτταρόπλασμα των υγιών κυττάρων. (δ) Είναι άφθονα στα φαγοκυτταρικά κύτταρα.

9. Κατονομάστε το κατάλληλο στάδιο της μίτωσης (πρόφαση, μετάφαση, ανάφαση, τελόφαση) για κάθε ένα από τα ακόλουθα.

- (α) Τα χρωμοσώματα ευθυγραμμίζονται στη μεσότητα του κυττάρου.
(β) Η πυρηνική μεμβράνη κατακερματίζεται.
(γ) Η πυρηνική μεμβράνη ανασχηματίζεται.
(δ) Η μιτωτική άτρακτος σχηματίζεται.
(ε) Τα χρωμοσώματα (χρωματίδες) έχουν σχήμα V.

10. Κατονομάστε το δομικό συστατικό του κυτταροσκελετού (μικρονημάτια ακτίνης, ενδιάμεσα ινίδια ή μικροσωληνίσκοι) για κάθε ένα από τα ακόλουθα.

- (α) προσδίδει στο κύτταρο το σχήμα του
(β) ανθίσταται στην τάση που ασκείται στο κύτταρο
(γ) ακτινοβολεί από το κεντρόσωμα
(δ) αλληλεπιδρά με τη μυοσίνη για να παραχθεί η δύναμη συστολής
(ε) είναι τα πιο σταθερά
(ζ) σχετίζεται με κινήσεις και δυνείνες.
(η) σχετίζεται με την κινητήρια πρωτεΐνη μυοσίνη

11. Σε διαφορετικά είδη κυττάρων είναι άφθονα διαφορετικά οργάνια. Αντιστοιχίστε τους τύπους κυττάρων με τα όργανα που αφθονούν σε αυτούς, τοποθετώντας το σωστό γράμμα από τη στήλη Β σε κάθε κενό της στήλης Α. Ακολουθήστε τις υποδείξεις που παρέχονται στις παρενθέσεις.

Στήλη Α

- ____ (1) κύτταρο στο επινεφρίδιο που παράγει στεροειδείς ορμόνες
____ (2) λευκό αιμοσφαίριο (φαγοκυτταρικό)
____ (3) ηπατοκύτταρο (εξουδετερώνει τα δηλητήρια)
____ (4) μυϊκό κύτταρο (έντονα συσταλτό)
____ (5) βλεννώδες κύτταρο (εκκρίνει πρωτεϊνικό παράγωγο)
____ (6) επιθηλιακό κύτταρο στην εξωτερική στοιβάδα του δέρματος (αντέχει στην τάση)
____ (7) νεφρικό σωληναριακό κύτταρο (συνθέτει και χρησιμοποιεί μεγάλες ποσότητες ATP)

Στήλη Β

- (α) μιτοχόνδρια
(β) λείο ενδοπλασματικό δίκτυο
(γ) υπεροξειδιοσώματα
(δ) μικρονημάτια
(ε) αδρό ενδοπλασματικό δίκτυο
(ζ) διάμεσα ινίδια
(η) λυσοσώματα

12. Σε ποιες από αυτές τις διεργασίες εμπλέκονται ειδικοί μεμβρανικοί υποδοχείς; (α) φαγοκυττάρωση, (β) διαμεσολαβούμενη από υποδοχείς ενδοκυττάρωση, (γ) εξωκυττάρωση, (δ) πινοκυττάρωση.

Ερωτήσεις Βραχείας Ανάπτυξης

13. Κατονομάστε όλα τα κυτταροπλασματικά όργανα που αποτελούνται (τουλάχιστον εν μέρει) από μεμβράνες με λιπδική διπλοστοιβάδα. Στη συνέχεια κατονομάστε όλα τα

κυτταροπλασματικά όργανα που δεν είναι μεμβρανώδη.

14. Ο Μ. έχασε ένα βαθμό στο διαγώνισμα ανατομίας επειδή νόμιζε ότι ο *πυρήνας* και ο *πυρηνίσκος* ήταν η ίδια λέξη και η ίδια δομή. Ποια είναι τα χαρακτηριστικά που διαφοροποιούν τον πυρήνα από τον πυρηνίσκο.
15. Στο παρόν κεφάλαιο αναφέρθηκε ότι τα μιτοχόνδρια είναι τα πιο σύνθετα όργανα του κυτταροπλάσματος. Ποιο εύρημα υποστηρίζει αυτόν τον ισχυρισμό;
16. Δώστε τον ορισμό του *χρωμοσώματος*. Στη συνέχεια συγκρίνετε τη διάταξη της χρωματίνης ενός διαιρούμενου και ενός μη διαιρούμενου κυττάρου.
17. Κατονομάστε ποιο ή ποια κυτταρικά όργανα συμμετέχουν σε κάθε μια από τις κυτταρικές λειτουργίες που αναφέρθηκαν σε προηγούμενο σημείο του κεφαλαίου (σελ. 23).
18. Χρησιμοποιήστε τον παραλληλισμό του κυττάρου με ένα εργοστάσιο για να περιγράψετε τη λειτουργία των παρακάτω κυτταρικών δομών: πλασματική μεμβράνη, μιτοχόνδρια, πυρήνα, συσκευή Golgi, ριβοσώματα, λυσοσώματα, υπεροξειδιοσώματα.

Ερωτήσεις Κριτικής Σκέψης και Κλινικής Εφαρμογής

1. Η Χ., που είναι 30 ετών, παραμένει 5 κιλά κάτω από το ιδανικό σωματικό της βάρος γιατί νομίζει ότι έτσι θα επιβραδύνει τη διαδικασία της γήρανσης. Ο γιατρός της την προειδοποίησε να μην χάσει άλλα κιλά ή να μην γίνει ανορεκτική, αλλά ταυτόχρονα παραδέχτηκε ότι υπάρχουν κάποια επιστημονικά δεδομένα που υποστηρίζουν την άποψή της. Ποια είναι αυτά τα δεδομένα;
2. Ο Κ. έχει τη νευρική συνήθεια να δαγκώνει την εσωτερική επιφάνεια του χείλους του με τα μπροστινά δόντια του. Το χείλος του διογκωνόταν λόγω διαρκούς ερεθισμού. Ο οδοντίατρός του Κ. παρατήρησε το ιδιαίτερα διογκωμένο χείλος και του πρότεινε να το ελέγξει για πιθανή κακοήθεια. Η βιοψία αποκάλυψε υπερπλασία και διάσπαρτες περιοχές δυσπλασίας, αλλά χωρίς ενδείξεις όγκου. Τι σημαίνουν αυτοί οι όροι; Πάσχει τελικά ο Κ. από καρκίνο του στόματος;
3. Η φυσιολογική λειτουργία ενός ογκοκατασταλτικού γονιδίου που δρα στο σημείο ελέγχου G1 είναι να αποτρέπει τα κύτταρα με κατεστραμμένα χρωμοσώματα και DNA να «προχωρήσουν από τη φάση G1 στη φάση S». Άλλο ένα ογκοκατασταλτικό γονίδιο που δρα στο σημείο ελέγχου G2/M αποτρέπει «τη μετάβαση από τη φάση G2 στη φάση M». Όταν αυτά τα ογκοκατασταλτικά γονίδια δυσλειτουργούν, μπορεί να προκληθεί καρκινογένεση. Εξηγήστε τι σημαίνουν οι φράσεις στα εισαγωγικά.
4. Στο εργαστήριο ανατομίας πολλοί φοιτητές εκτίθενται στα χημικά συντηρητικά φαινόλη, φορμαλδεΰδη και αλκοόλη. Τα κύτταρά τους διασπούν αποτελεσματικά αυτές τις τοξίνες. Ποια κυτταρικά όργανα είναι υπεύθυνα για αυτό;
5. Το κατασταλτικό φαινοβαρβιτάλη είναι ένα λιποδιαλυτό φάρμακο. Τι θα συμβεί στο λείο ενδοπλασματικό δίκτυο των ηπατοκυττάρων στα άτομα που χρησιμοποιούν αυτό το φάρμακο για ένα χρονικό διάστημα;
6. Το φάρμακο βινβλαστίνη (vinblastine) χρησιμοποιείται στη θεραπεία του καρκίνου για να αναχαιτίζει την ανεξέλεγκτη διαίρεση των καρκινικών κυττάρων. Η βινβλαστίνη αναστέλλει τη συναρμολόγηση και ανάπτυξη των μικροσωληνίσκων. Εξηγήστε με ποιον τρόπο αυτή η δράση του φαρμάκου αποτρέπει την μίτωση (ανατρέξτε στην Εικόνα 2.17).