

ΚΥΤΤΑΡΟΔΙΑΙΡΕΣΗ

Επιμέλεια: Ιατρόπουλος Γεώργιος

*Χρησιμοποιήθηκαν σχήματα και κείμενα
από τα βιβλία *Molecular Biology of the cell*
και τη *Βιολογία Κυττάρων* των κ. Μαρμάρα
– Λαμπροπούλου.*

Ορισμός της έννοιας

- Είναι το φαινόμενο που παρατηρείται προς το τέλος κάθε κυτταρικού κύκλου και συνίσταται στη διαίρεση ενός πατρικού κυττάρου σε 2 θυγατρικά.

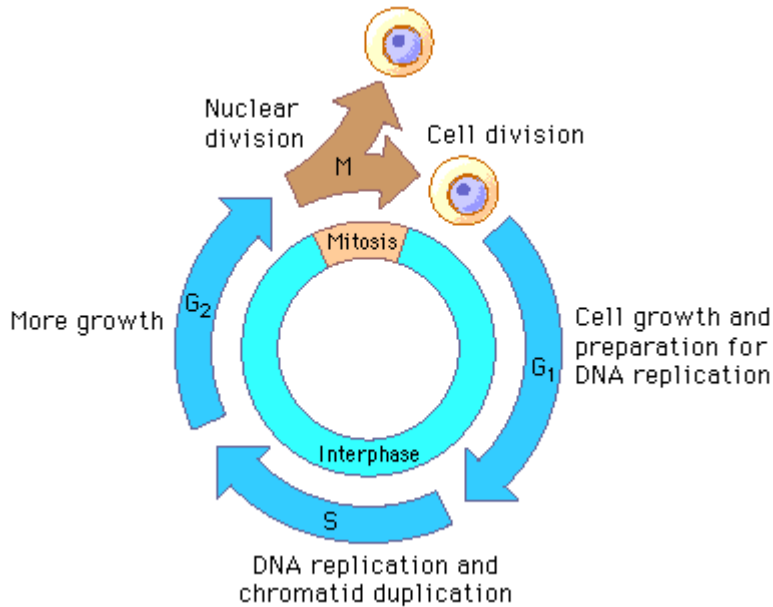
ΕΙΔΗ ΚΥΤΤΑΡΟΔΙΑΙΡΕΣΕΩΝ ***(ΕΥΚΑΡΥΩΤΙΚΑ ΚΥΤΤΑΡΑ)***

1. Μίτωση

2. Μείωση

ΚΥΚΛΟΣ ΖΩΗΣ ΤΟΥ ΚΥΤΤΑΡΟΥ

ΣΤΑΔΙΑ ΜΕΣΟΦΑΣΗΣ



Μεσόφαση (Interface) είναι η χρονική περίοδος στη ζωή του κυττάρου κατά την οποία δε συμβαίνουν τα φαινόμενα της κυτταροδιαίρεσης.

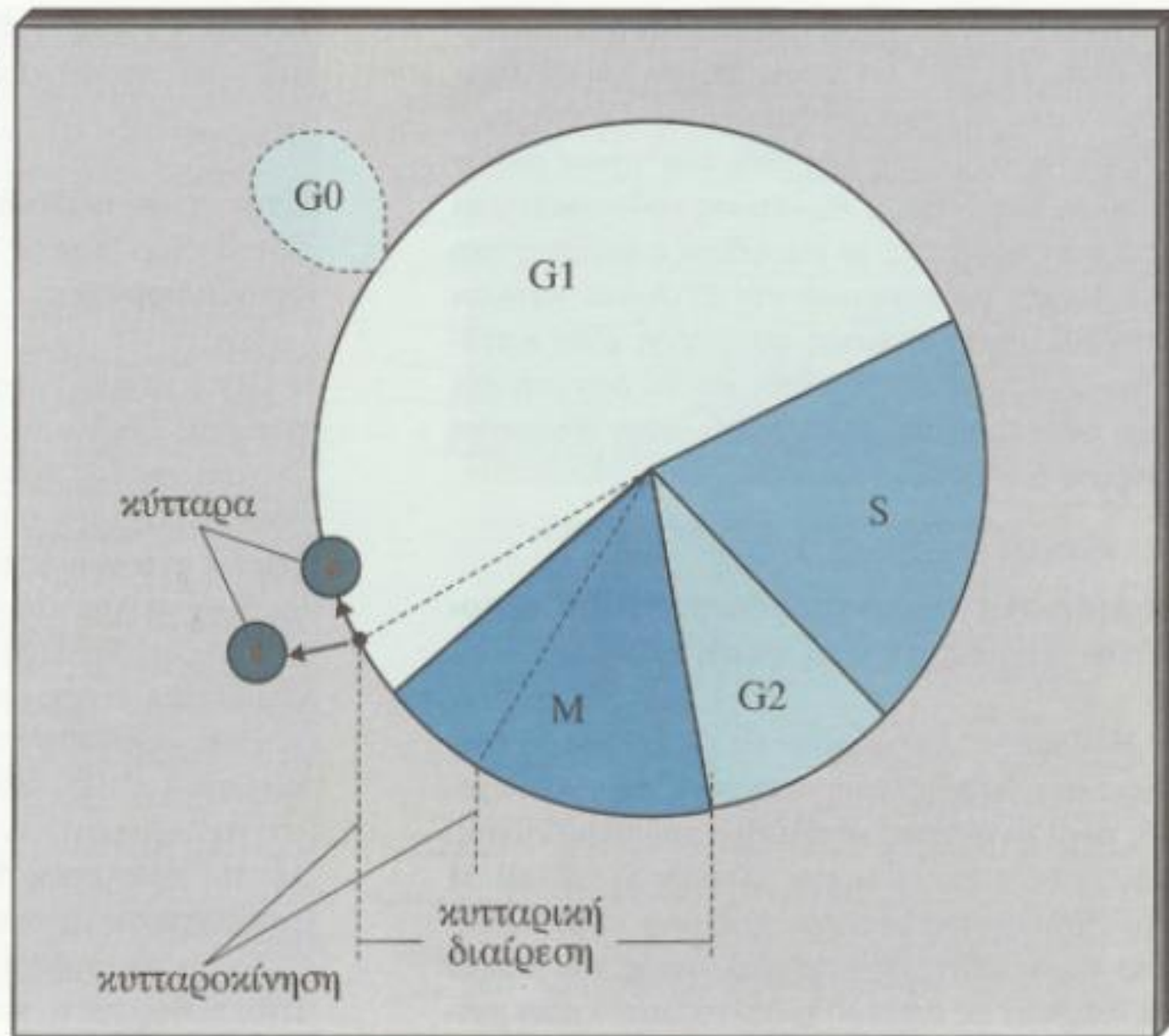
G₁: Είναι το μεσοδιάστημα από τη στιγμή που θα γεννηθεί το κύτταρο μέχρι να αρχίσει η αντιγραφή του DNA (γενετικό υλικό). Η διάρκεια του κυτταρικού κύκλου εξαρτάται κυρίως από τη φάση G₁. Σε ορισμένες περιπτώσεις κύτταρα που βρίσκονται στη G₁ φάση, αντί να προετοιμάζονται για τη σύνθεση του DNA, εισέρχονται σε ένα στάδιο αναστολής γνωστό ως G₀. Η διάρκεια του G₀ κυμαίνεται από ημέρες, μήνες ή και χρόνια. Η ρύθμιση της διάρκειας του κυτταρικού κύκλου επιτελείται σε κάποιο ειδικό σημείο προς το τέλος της φάσης G₁ που λέγεται **σημείο περιορισμού**. Αν ξεπεραστεί αυτό το σημείο ο κύκλος ολοκληρώνεται ανεξάρτητα από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Η διάρκεια των φάσεων S, G₂, M (κυτταροδιαίρεση) ελάχιστα επηρεάζεται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος.

S: Η χρονική περίοδος κατά την οποία γίνεται η σύνθεση (αυτοδιπλασιασμός, αντιγραφή) του DNA.

G₂: Είναι το μεσοδιάστημα από τη στιγμή που θα γίνει η αντιγραφή του DNA, μέχρι να αρχίσει η διαίρεση του κυττάρου.

Ενώ οι ιστόνες και το DNA παράγονται στην S φάση του κυτταρικού κύκλου, το σύνολο σχεδόν των υπόλοιπων πρωτεϊνών και του RNA παράγεται σε όλη τη διάρκεια της μεσόφασης.

Σχ. 12 - 1: Ο κυτταρικός κύκλος. Όπως φαίνεται η κυτταροκίνηση αρχίζει συνήθως κατά τη διάρκεια της μίτωσης και ολοκληρώνεται αμέσως μετά το τέλος της μίτωσης. Ακόμα τα κύτταρα μερικές φορές παρατείνουν τη φάση G, εισερχόμενα στη φάση αναμονής G₀.



Σκοπός της μεσόφασης

Χρονικά η μεσόφαση καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος του κύκλου ζωής του κυττάρου, περίπου το 90-95%, ενώ όλα τα άλλα στάδια μόνο το 5-10%. Κατά τη μεσόφαση γίνονται τα εξής:

- **Διπλασιασμός του γενετικού υλικού (DNA)**
- **Αύξηση της κυτταρικής αναπνοής:** Ενεργειακή προετοιμασία του κυττάρου για να γίνει η κυτταροδιαίρεση.
- **Αυξάνεται η βιοχημική δραστηριότητα:** Εκτός από το διπλασιασμό του DNA γίνεται η σύνθεση RNA και πρωτεϊνών καθώς και ο σχηματισμός νέων κυτταρικών οργανιδίων (μιτοχονδρίων, χλωροπλαστών, ριβοσωμάτων κ.ά.).

Το Γενετικό Υλικό Στα Ευκαρυωτικά Κύτταρα

Αποτελείται από ευθύγραμμα δίκλωνα τμήματα τα οποία περιβάλλονται από πρωτεΐνες (ιστόνες και μη ιστόνες). Αυτά στο μεσοφασικό κύτταρο καλούνται **ινίδια χρωματίνης**.

Στη φάση S τα ινίδια χρωματίνης διπλασιάζονται με τη διαδικασία της **αντιγραφής**. Τα δύο όμοια ινίδια που προέρχονται από την αντιγραφή ενός αρχικού παραμένουν ενωμένα σε ένα σημείο που καλείται **κεντρομερίδιο**.

Κατά την κυτταροδιαίρεση, τα ενωμένα στο κεντρομερίδιο ινίδια χρωματίνης συσπειρώνονται και αποτελούν τις **αδελφές χρωματίδες**, οι οποίες μαζί αποτελούν το **χρωμόσωμα**. Λόγω της ύπαρξης ενός κοινού σημείου ανάμεσα στις χρωματίδες (κεντρομερίδιο) τα χρωμοσώματα αποκτούν σχήμα X ή Λ.

Ανάλογα με τη θέση του κεντρομεριδίου από το κέντρο των χρωματίδων προς τα άκρα, τα χρωμοσώματα διακρίνονται σε **μετακεντρικά**, **υπομετακεντρικά** και **ακροκεντρικά**.

Σχήμα χρωσωμάτων και θέση κεντρομεριδίου (Σχήμα Σχολικού Βιβλίου)

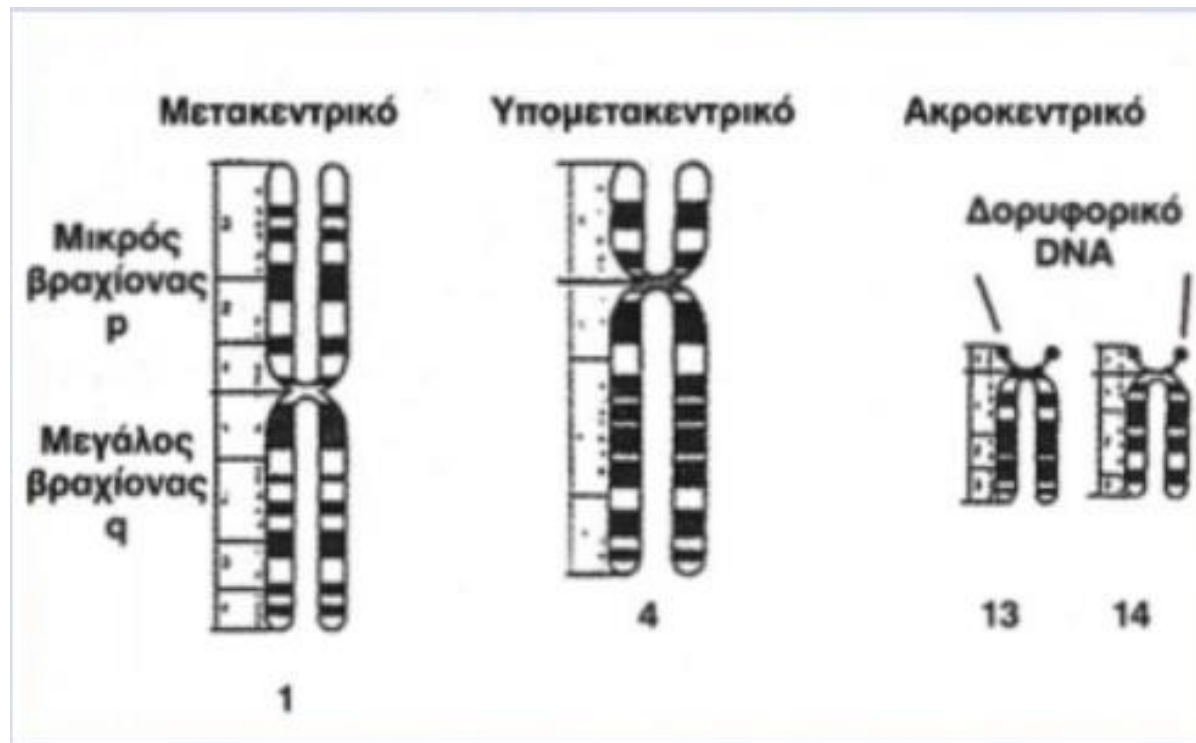
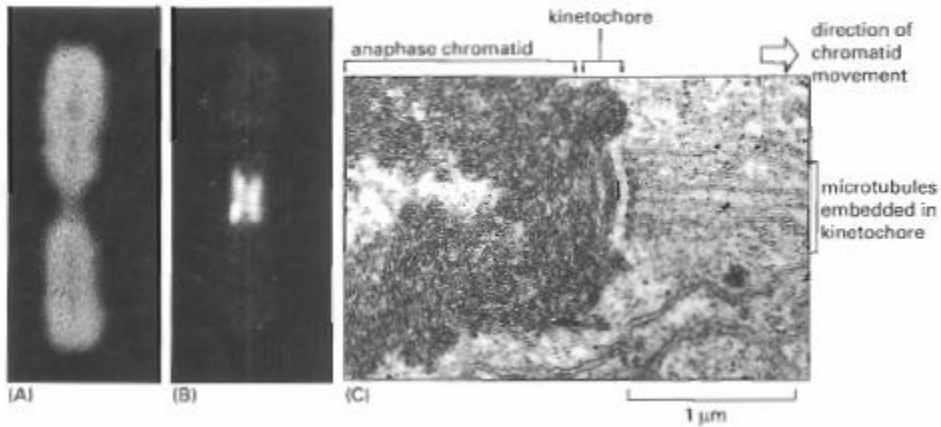
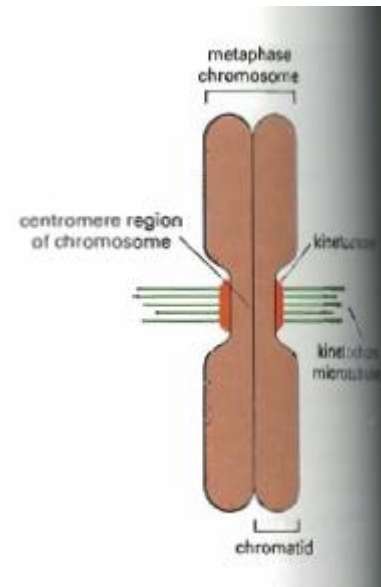
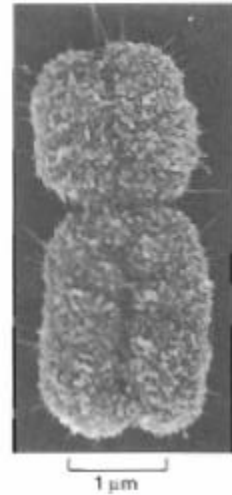


Figure 18-14 The centromere. Scanning electron micrograph of a human mitotic chromosome, consisting of two sister chromatids joined along their length. The constricted region is the centromere. (Courtesy of Terry D. Allen.)



ΟΜΟΛΟΓΙΑ ΧΡΩΜΟΣΩΜΑΤΩΝ

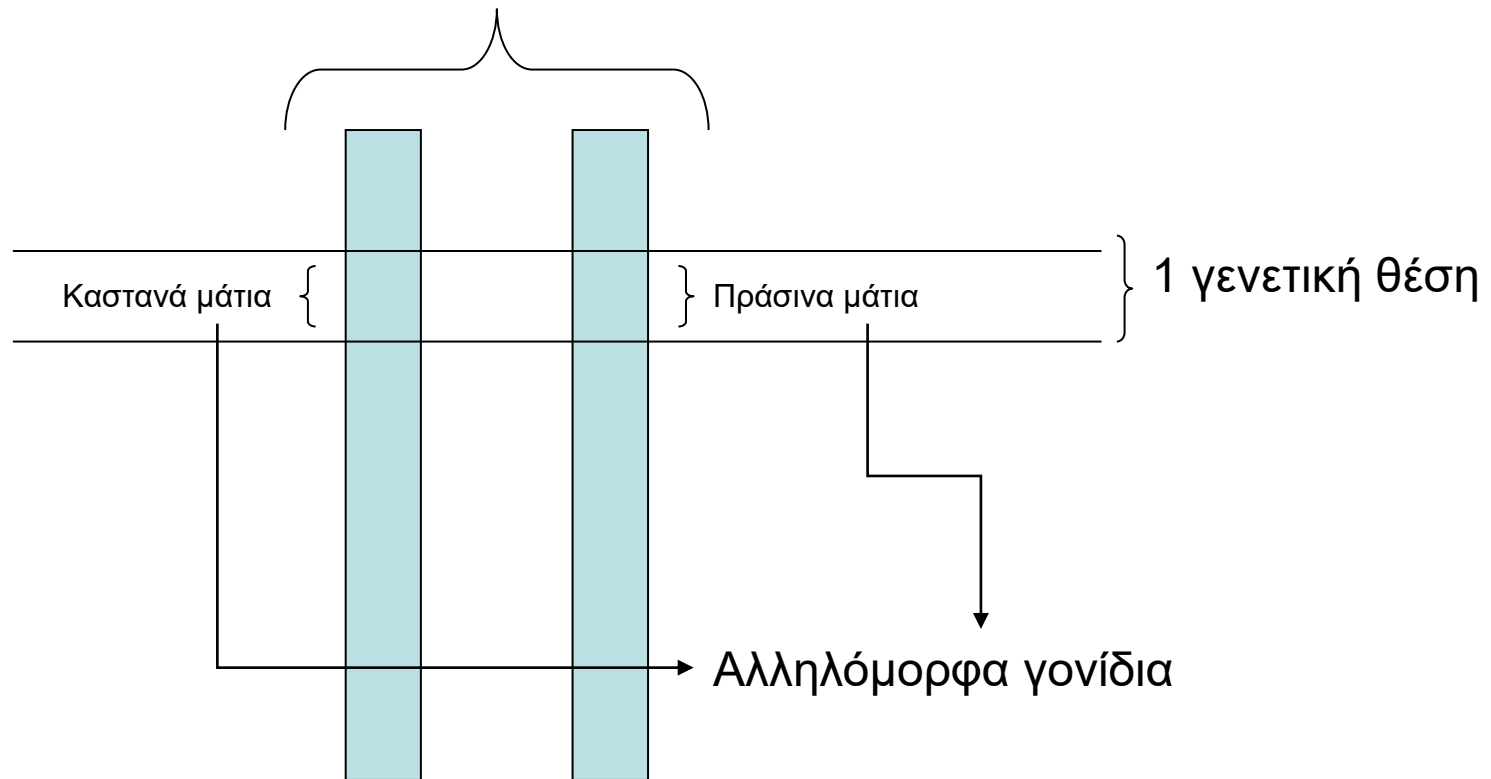
Γενετική θέση: Είναι η περιοχή ενός χρωμοσώματος η οποία περιέχει 1 γονίδιο για ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό π.χ. χρώμα ματιών. Τα ομόλογα χρωμοσώματα φέρουν τις ίδιες θέσεις, αλλά τα γονίδια που βρίσκονται σε αυτές μπορεί να εκφράζουν το ίδιο χαρακτηριστικό με διαφορετικό τρόπο π.χ. Πράσινο χρώμα ματιών, καστανό χρώμα ματιών. Τέτοια γονίδια λέγονται αλληλόμορφα.

Ομόλογα λέγονται τα χρωμοσώματα που έχουν τα ίδια δομικά χαρακτηριστικά δηλαδή μέγεθος και σχήμα (θέση κεντρομεριδίου), αλλά και ίδια χρωματική ζώνωση μετά από χρώση με ειδικές τεχνικές. Η ομοιότητα αυτή οφείλεται στο ότι τα ομόλογα χρωμοσώματα έχουν την ίδια αλληλουχία γενετικών θέσεων κατά μήκος τους. Όμως τα αλληλόμορφα που περιέχουν αυτές οι γενετικές θέσεις μπορεί να διαφέρουν. Τα ομόλογα χρωμοσώματα ζευγαρώνουν κατά τη μετάφαση I της μείωσης.

Σειρά ομολόγων χρωμοσωμάτων: Κάθε σύνολο χρωμοσωμάτων που περιέχει 1 χρωμόσωμα από κάθε ζευγάρι ομολόγων χρωμοσωμάτων ενός κυττάρου και κατ' επέκταση ενός οργανισμού.

- *Πρέπει όμως να προσεχτεί το γεγονός ότι ίδιες γενετικές θέσεις βρίσκονται μόνο μεταξύ ομολόγων χρωμοσωμάτων και σε συγκεκριμένη θέση. Για παράδειγμα γονίδια για ένα συγκεκριμένο γνώρισμα υπάρχουν σε πολλά διαφορετικά χρωμοσώματα που δεν είναι ομόλογα μεταξύ τους, ή ακόμα και σε διαφορετικές θέσεις του ίδιου χρωμοσώματος, αλλά ποτέ δε μιλάμε για ίδια γενετική θέση.*

Ομόλογα ινίδια χρωματίνης



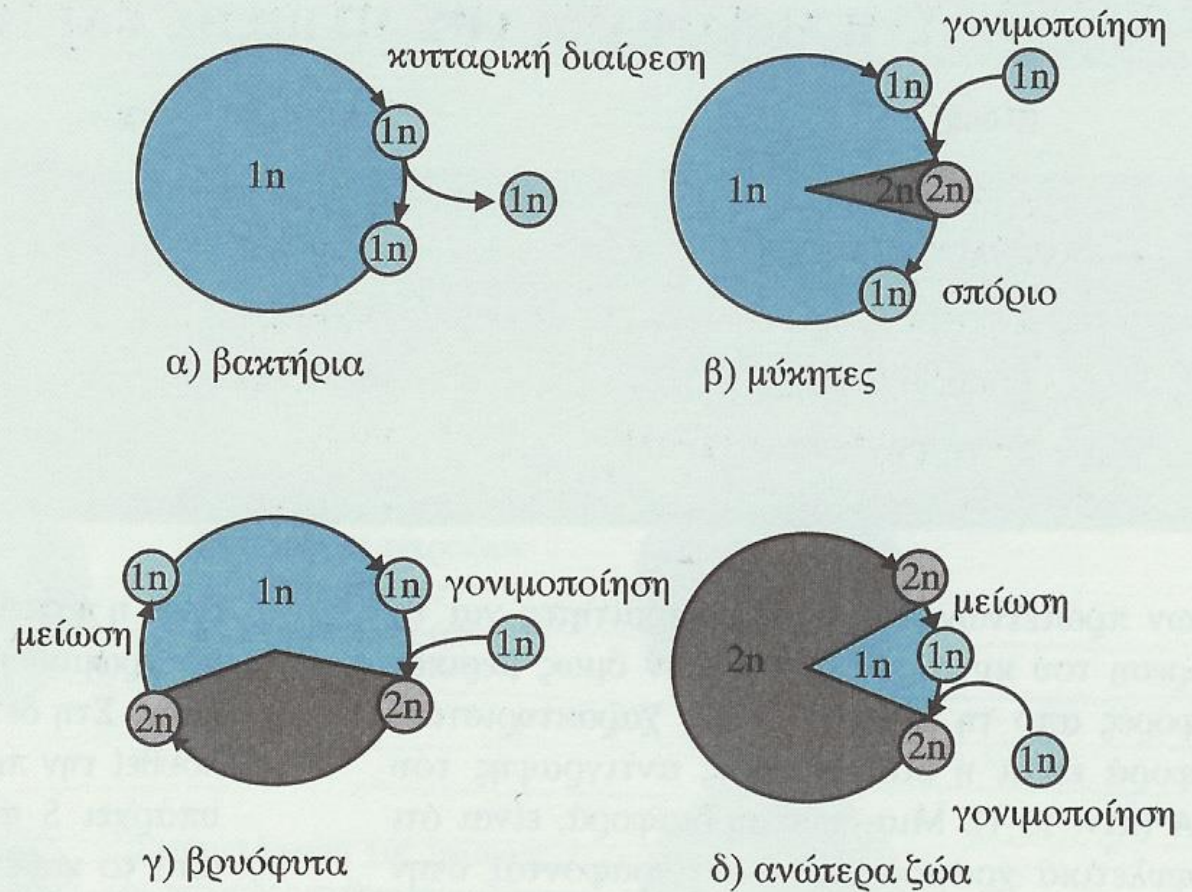
Είδη Ευκαρυωτικών κυττάρων με βάση το γενετικό υλικό που περιέχουν

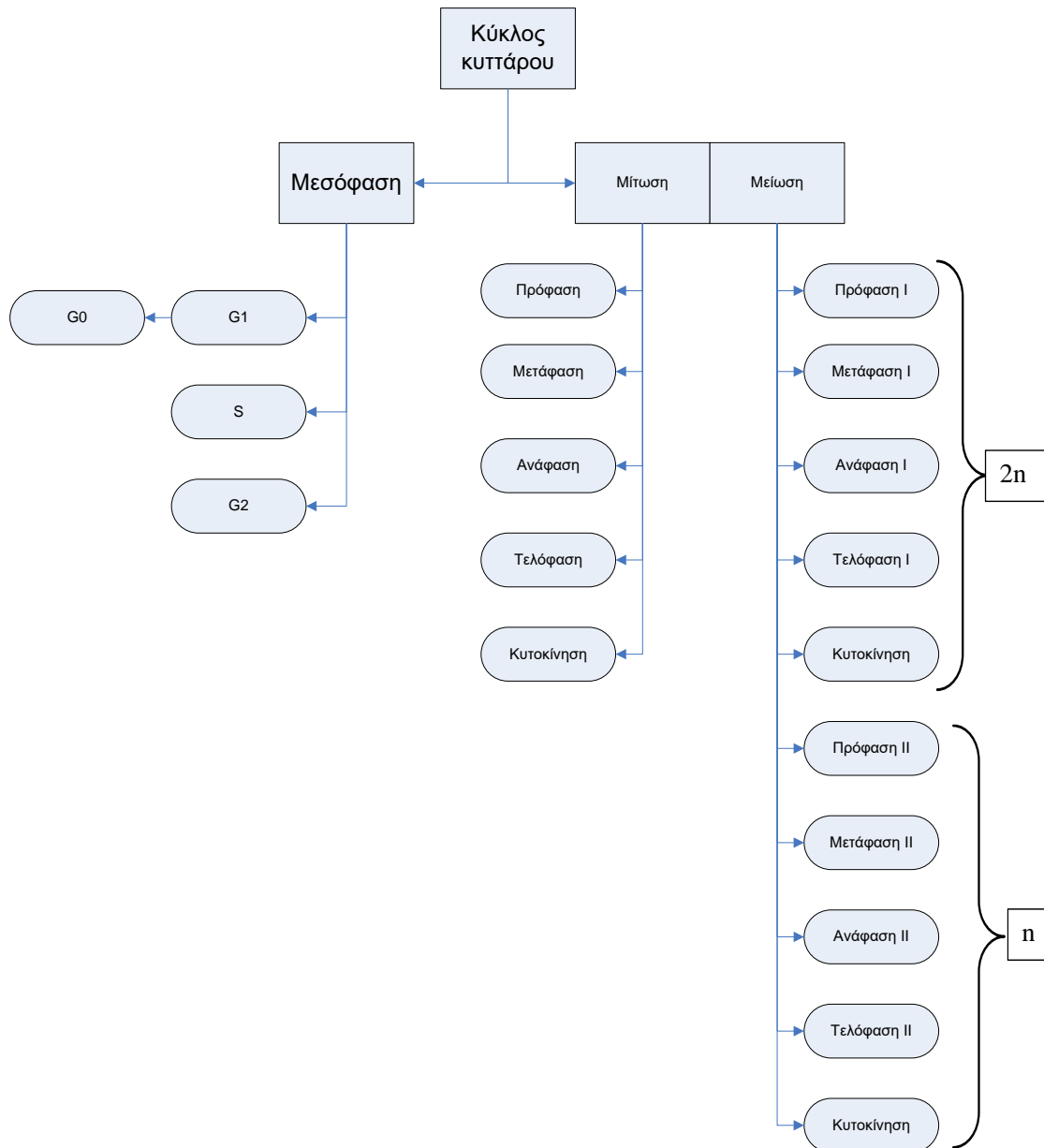
- **Απλοειδή**: Είναι τα κύτταρα που περιέχουν 1 σειρά ομολόγων χρωμοσωμάτων (n), δηλαδή κάθε γενετική θέση αντιπροσωπεύεται 1 φορά.
- **Διπλοειδή**: Είναι τα κύτταρα που περιέχουν 2 σειρές ομολόγων χρωμοσωμάτων ($2n$), δηλαδή κάθε γενετική θέση αντιπροσωπεύεται 2 φορές.

Ρόλος

Μίτωση	Μείωση
<ol style="list-style-type: none">1. Πολλαπλασιασμός των μονοκύτταρων πρωτοζώων, κατώτερων ζώων καθώς και φυτών (Μονογονική αναπαραγωγή).2. Αύξηση των πολυκύτταρων οργανισμών (ωρίμανση) και ...3. Αναπλήρωση των πεθαμένων κυττάρων τους (ομοιόσταση).4. Ανάπλαση σε κατώτερους ζωικούς οργανισμούς (πχ αστερίας). <p>❑ <u>Το αποτέλεσμα της μίτωσης είναι η δημιουργία 2 κυττάρων πανομοιότυπων με το πατρικό (κλωνοποίηση).</u></p>	<p>Είναι η κυτταροδιαίρεση που εξυπηρετεί τις λειτουργίες της αμφιγονικής αναπαραγωγής με τους εξής τρόπους:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Στους απλοειδείς οργανισμούς η μετατροπή του διπλοειδούς ζυγωτού σε 4 απλοειδή άτομα.2. Στους διπλοειδείς οργανισμούς η δημιουργία απλοειδών γαμετών, από ειδικά (διπλοειδή) σωματικά κύτταρα (άωρα γεννητικά).3. Ο ελεύθερος ανασυνδυασμός του γενετικού υλικού μέσω του χρωμοσωμικού ανασυνδυασμού, με τελικό αποτέλεσμα την εμφάνιση νέων φαινοτύπων (γνωρισμάτων). <p>❑ <u>Το αποτέλεσμα της μείωσης είναι η δημιουργία 4 απλοειδών θυγατρικών κυττάρων από ένα διπλοειδές πατρικό.</u></p>

Σχ. 13 - 6: Ο κύκλος ζωής σε αντιπροσωπευτικές κατηγορίες οργανισμών. Όπως φαίνεται η επικράτηση της απλοειδούς ή της διπλοειδούς φάσης διαφέρει σημαντικά στις διάφορες κατηγορίες και εξαρτάται από τον οργανισμό.





Η μείωση χαρακτηρίζεται από έναν κύκλο αντιγραφής του DNA που ακολουθείται από 2 πυρηνικές διαιρέσεις. Η δεύτερη πυρηνική διαίρεση είναι ουσιαστικά μια μίτωση.

Τα στάδια του κύκλου της μίτωσης.

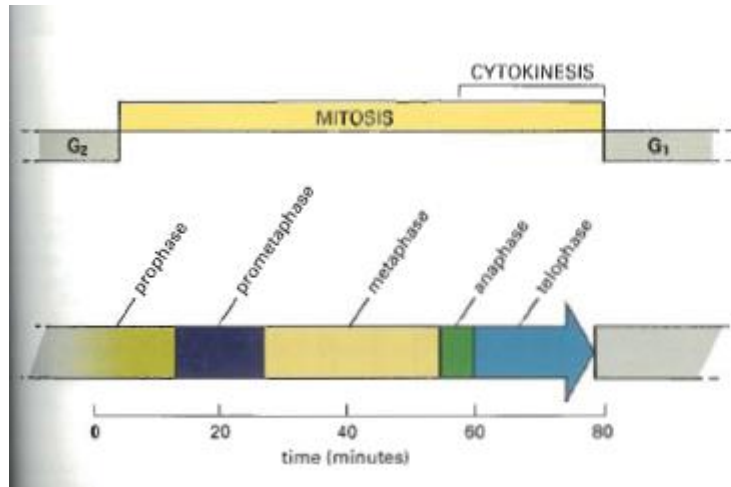
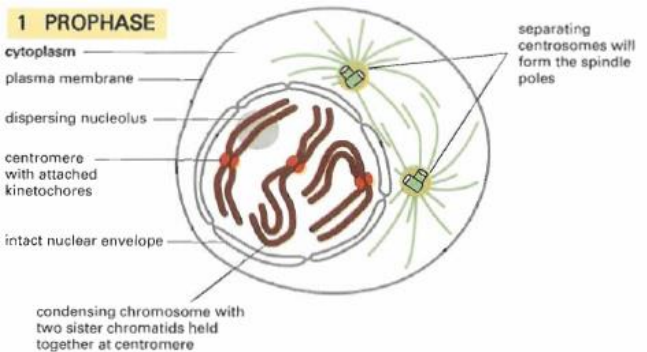


Figure 18-7 A typical time course for mitosis and cytokinesis (M phase) in a mammalian cell. The times vary for different cell types and are much shorter in embryonic cell cycles. Note that cytokinesis begins before mitosis ends. The beginning of prophase (and therefore of M phase as a whole) is defined as the point in the cell cycle at which condensed chromosomes first become visible—a somewhat arbitrary criterion, since the extent of chromosome condensation appears to increase continuously during late G₂. The beginning of prometaphase is defined as the time when the nuclear envelope breaks down.

Διαφορές και ομοιότητες μείωσης μίτωσης.

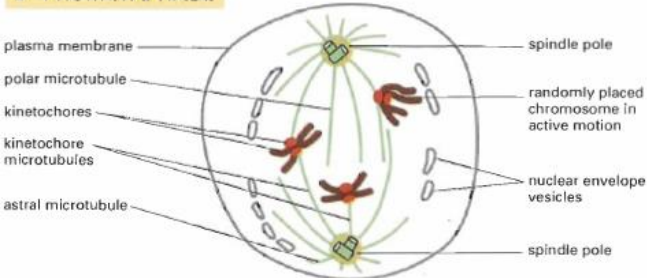
ΜΙΤΩΣΗ	ΜΕΙΩΣΗ
Πυρηνική διαίρεση	Πυρηνική διαίρεση
<p>Πρόφαση:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Το κεντροσωμάτιο (ζωικά κύτταρα) έχει διαιρεθεί και τα δύο του τμήματα βρίσκονται σε 2 αντίθετες θέσεις, τους πόλους του κυττάρου. Στα φυτικά κύτταρα δεν υπάρχει κεντροσωμάτιο και τα ινίδια της ατράκτου οργανώνονται χωρίς αυτό. Στους μύκητες και σε ορισμένα πρωτόζωα αντί του κεντροσωματίου υπάρχουν τα πολικά σωμάτια. 2. Οι χρωματίδες συγκρατημένες από το κεντρομερίδιο συσπειρώνονται, κονταίνουν και παχαίνουν παίρνοντας καθορισμένη μορφή και αποτελούν τα χρωμοσώματα. 3. Η πυρηνική μεμβράνη και ο πυρηνίσκος αρχίζουν να εξαφανίζονται. 4. Πρωτεϊνικά νημάτια (μικροσωληνίσκοι) διαπερνούν τον πυρήνα συγκλίνοντας προς τους πόλους σχηματίζοντας την άτρακτο. <p>Τα στάδια 3 και 4 αποτελούν το στάδιο της προμετάφασης.</p>	<p>Πρόφαση Ι:</p> <p>Καμμία διαφορά.</p>
<p>Μετάφαση:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Η διάλυση της πυρηνικής μεμβράνης έχει ολοκληρωθεί. 2. Τα χρωμοσώματα κινούνται προς τον ισημερινό του κυττάρου με τη βοήθεια των μικροσωληνίσκων της ατράκτου. Οι μικροσωληνίσκοι συνδέονται με τον κινητοχώρο του κεντρομεριδίου κάθε χρωμοσώματος. 3. Τα χρωμοσώματα διατάσσονται στο ισημερινό επίπεδο. Η διάταξή τους είναι τυχαία. 4. Τα νημάτια της ατράκτου ασκούν αντίθετη έλξη στα κεντρομερίδια που συγκρατούν τις αδελφές χρωματίδες. 5. Προς το τέλος της μετάφασης το κεντρομερίδιο διαιρείται και αρχίζει ο αποχωρισμός των αδελφών χρωματίδων και η μετακίνησή τους προς τους πόλους του κυττάρου. <p><i>Η φάση αυτή, και ιδιαίτερα το τέλος της, είναι η πιο κατάλληλη για να προσδιοριστεί ο αριθμός των χρωμοσωμάτων στα διάφορα είδη των οργανισμών, γιατί τα χρωμοσώματα είναι καλά σχηματισμένα και ορατά με σαφήνεια με το οπτικό μικροσκόπιο. Επειδή διαρκεί πολύ λίγο η μετάφαση, π.χ. 2-6 min στον άνθρωπο είναι δυνατό να εμποδίσουμε να προχωρήσει η διαίρεση στην επόμενη φάση, χρησιμοποιώντας μια ουσία την κολχικίνη. Σ' αυτό το στάδιο γίνονται οι απαραίτητες εργασίες φωτογράφισης των χρωμοσωμάτων.</i></p>	<p>Μετάφαση Ι:</p> <p>Τα χρωμοσώματα διατάσσονται στο ισημερινό επίπεδο κατά ζεύγη ομολόγων. Δηλαδή κάθε χρωμόσωμα είναι τοποθετημένο απέναντι από το ομόλογό του. Το φαινόμενο αυτό καλείται σύναψη των ομολόγων χρωμοσωμάτων. Δεν διαιρούνται τα κεντρομερίδια.</p>

<p>Ανάφαση:</p> <p>Η ανάφαση είναι το κατεξοχήν κινητικό στάδιο της μίτωσης, κατά το οποίο ολοκληρώνεται η μετακίνηση των χρωματίδων στην περιοχή των πόλων.</p>	<p>Ανάφαση I:</p> <p>Ολοκληρώνεται ο διαχωρισμός του ζευγαριού των ομολόγων χρωμοσωμάτων. Ένα χρωμόσωμα από όλα τα ζεύγη των ομολόγων κατευθύνεται προς τους αντίθετους πόλους της ατράκτου. Τα κεντρομερίδια εδώ δε διαιρούνται. <u>Αν δε γίνει σωστά ο διαχωρισμός των ομολόγων χρωμοσωμάτων προκύπτουν ανώμαλοι γαμέτες.</u></p>
<p>Τελόφαση:</p> <p>Στη φάση αυτή συμβαίνουν τα αντίστροφα γεγονότα από αυτά της πρόφασης.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Αποσυσπειρώνονται τα χρωμοσώματα και αυξάνουν σε μήκος. 2. Διαλύεται η άτρακτος και εμφανίζεται η πυρηνική μεμβράνη και ο πυρηνίσκος. <p><u>Ο αριθμός των χρωμοσωμάτων παρέμεινε σταθερός.</u></p>	<p>Τελόφαση I:</p> <p>Καμία διαφορά.</p> <p><u>Ο αριθμός των χρωμοσωμάτων μειώθηκε στο μισό (1 σειρά ομολόγων).</u></p>
<p>Κυτταροπλασματική διαίρεση (Κυτοκίνηση):</p> <p>Ζωικά κύτταρα: Περισιφίγγεται το κυτταρόπλσμα στο ισημερινό επίπεδο. Τα θυγατρικά κύτταρα αποχωρίζονται.</p> <p>Φυτικά κύτταρα: Τα θυγατρικά δεν αποχωρίζονται γιατί στη θέση του ισημερινού επιπέδου σχηματίζεται ένα πήκτινο – κυτταρινικό χώρισμα, ο φραγμοπλάστης.</p>	<p>Κυτταροπλασματική διαίρεση (Κυτοκίνηση):</p> <p>Καμία διαφορά.</p> <p>Στη συνέχεια η δεύτερη μειωτική διαίρεση δε διαφέρει σε τίποτα από μία τυπική μίτωση.</p>



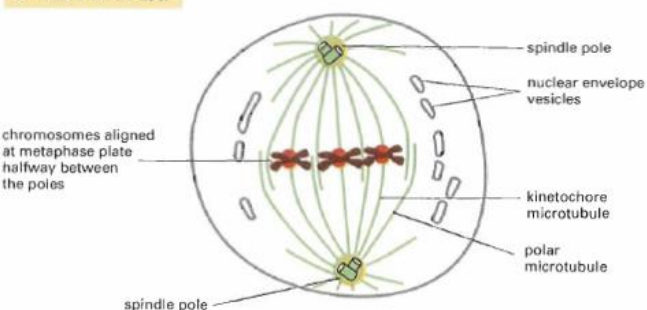
NUCLEAR ENVELOPE BREAKS DOWN

2 PROMETAPHASE



CHROMOSOMES MOVE TO METAPHASE PLATE

3 METAPHASE



SUDDEN SEPARATION OF SISTER KINETOCHORES BEGINS ANAPHASE

1 PROPHASE

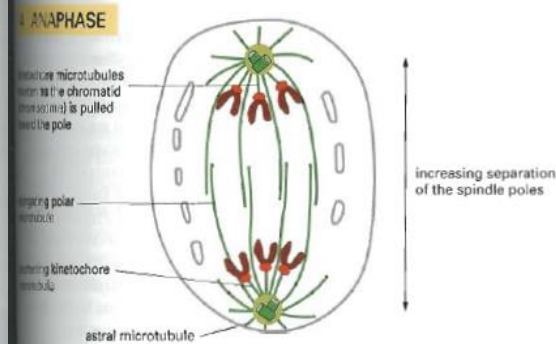
As viewed in the microscope, the transition from the G₂ phase to the M phase of the cell cycle is not a sharply defined event. The chromatin, which is diffuse in interphase, slowly condenses into well-defined chromosomes. Each chromosome has duplicated during the preceding S phase and consists of two sister *chromatids*; each of these contains a specific DNA sequence known as a *centromere*, which is required for proper segregation. Toward the end of prophase, the cytoplasmic microtubules that are part of the interphase cytoskeleton disassemble and the main component of the mitotic apparatus, the *mitotic spindle*, begins to form. This is a bipolar structure composed of microtubules and associated proteins. The spindle initially assembles outside the nucleus between separating centrosomes.

2 PROMETAPHASE

Prometaphase starts abruptly with disruption of the nuclear envelope, which breaks into membrane vesicles that are indistinguishable from bits of endoplasmic reticulum. These vesicles remain visible around the spindle during mitosis. The spindle microtubules, which have been lying outside the nucleus, can now enter the nuclear region. Specialized protein complexes called *kinetochores* mature on each centromere and attach to some of the spindle microtubules, which are then called *kinetochore microtubules*. The remaining microtubules in the spindle are called *polar microtubules*, while those outside the spindle are called *astral microtubules*. The kinetochore microtubules exert tension on the chromosomes, which are thereby thrown into agitated motion.

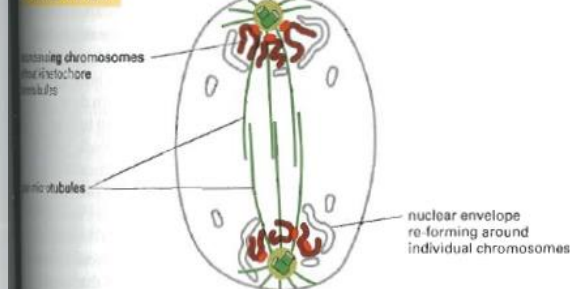
3 METAPHASE

The kinetochore microtubules eventually align the chromosomes in one plane halfway between the spindle poles. Each chromosome is held in tension at this *metaphase plate* by the paired kinetochores and their associated microtubules, which are attached to opposite poles of the spindle.



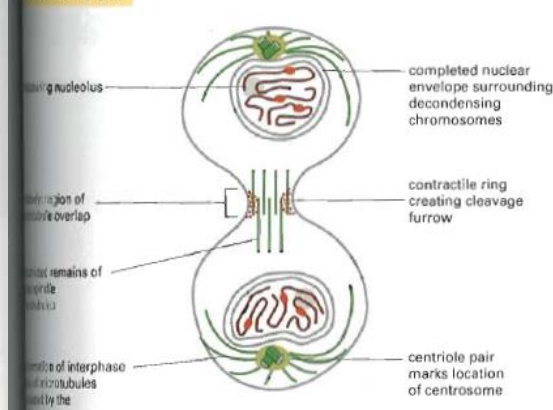
NUCLEAR ENVELOPE RE-FORMS

5 TELOPHASE



CLEAVAGE FURROW SPLITS CELL IN TWO

6 CYTOKINESIS



4 ANAPHASE

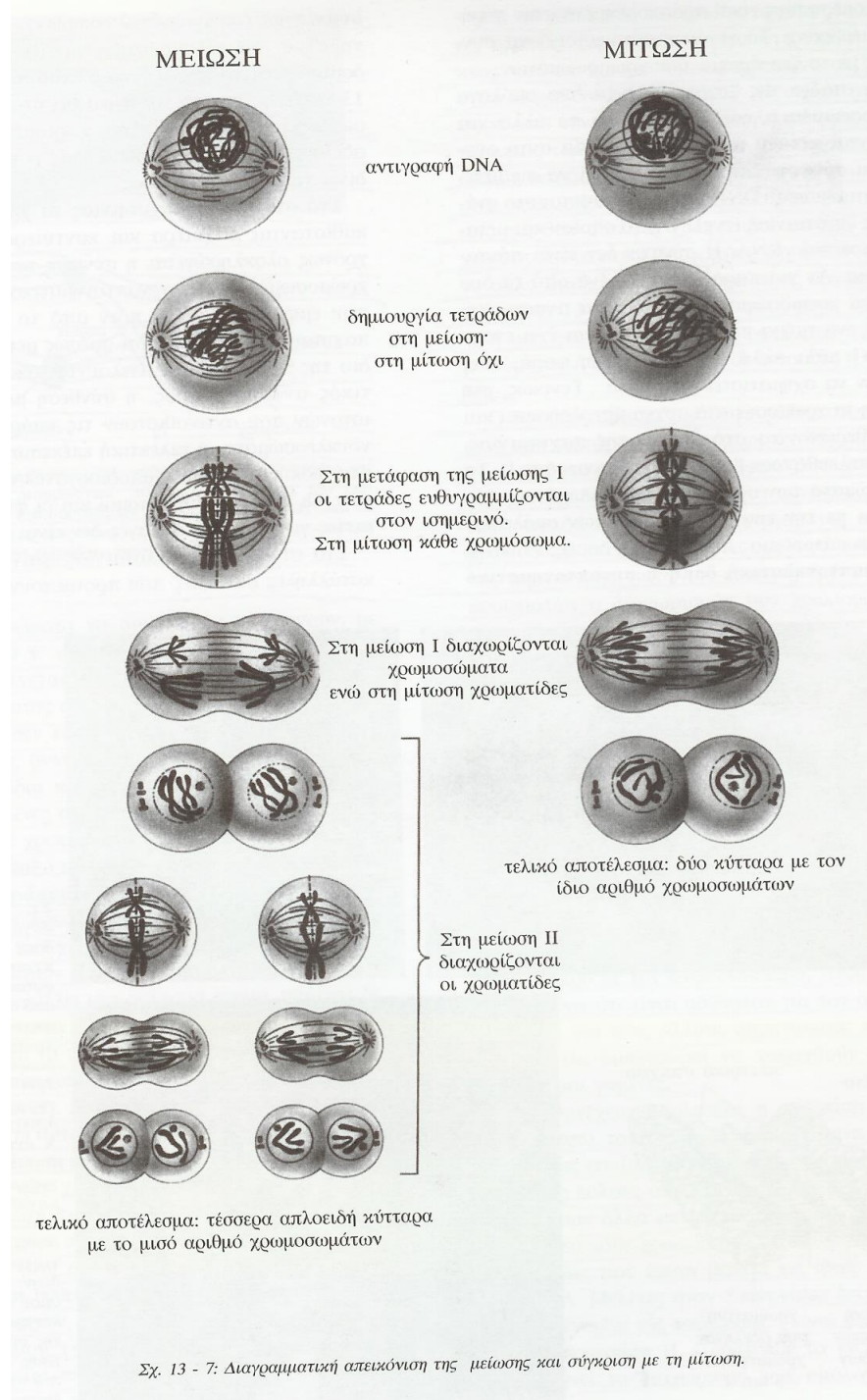
Triggered by a specific signal, anaphase begins abruptly as the paired kinetochores on each chromosome separate, allowing each chromatid (now called a chromosome) to be pulled slowly toward the spindle pole it faces. All of the newly separated chromosomes move at the same speed, typically about 1 μm per minute. Two categories of movement can be distinguished. During *anaphase A*, kinetochore microtubules shorten as the chromosomes approach the poles. During *anaphase B*, the polar microtubules elongate and the two poles of the spindle move farther apart. Anaphase typically lasts only a few minutes.

5 TELOPHASE

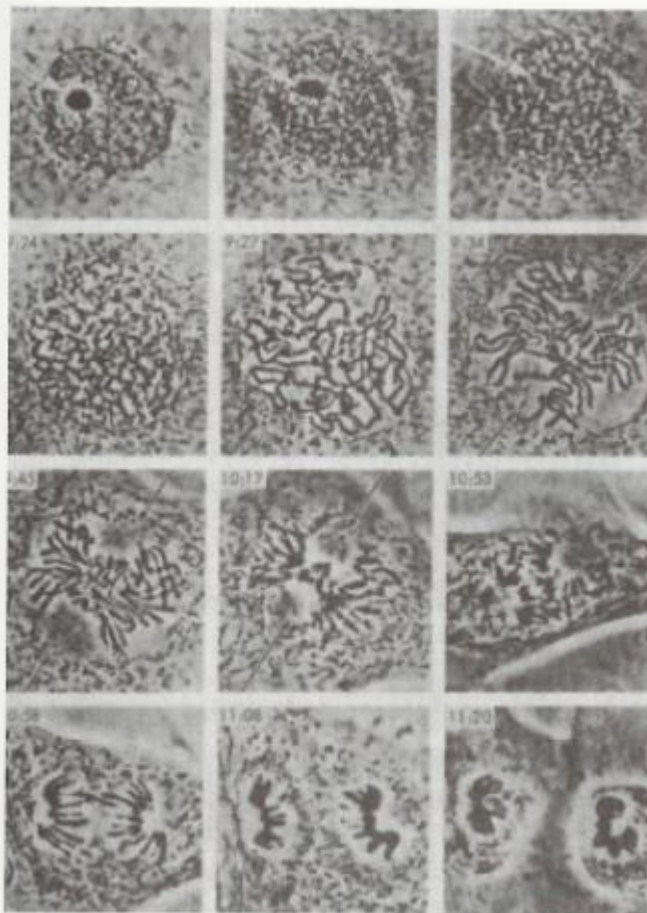
In telophase (*telos*, end) the separated daughter chromosomes arrive at the poles and the kinetochore microtubules disappear. The polar microtubules elongate still more, and a new nuclear envelope re-forms around each group of daughter chromosomes. The condensed chromatin expands once more, the nucleoli—which had disappeared at prophase—begin to reappear, and mitosis is at an end.

6 CYTOKINESIS

The cytoplasm divides by a process known as *cleavage*, which usually starts sometime during anaphase. The process is illustrated here as it occurs in animal cells. The membrane around the middle of the cell, perpendicular to the spindle axis and between the daughter nuclei, is drawn inward to form a *cleavage furrow*, which gradually deepens until it encounters the narrow remains of the mitotic spindle between the two nuclei. This thin bridge, or *midbody*, may persist for some time before it narrows and finally breaks at each end, leaving two separate daughter cells.



ΜΙΤΩΣΗ ΚΑΙ ΜΕΙΩΣΗ ΣΕ ΑΝΤΙΠΑΡΑΘΕΣΗ



Σχ. 12 - 23: Φωτογραφία από φωτονικό μικροσκόπιο των διαφόρων σταδίων της μίτωσης σ' ένα ζωικό κύτταρο. Τα βέλη δείχνουν τα κεντροσώματα. Η μεγέθυνση είναι 800X.



Σχ. 12 - 22: Διαγραμματική απεικόνιση των διάφορων σταδίων της μίτωσης α: μεσόφαση, β: πρόφαση, γ: προμετάφαση, δ: μετάφαση, ε: ανάφαση Α, ζ: ανάφαση Β, η: τελόφαση, θ: τελόφαση, ι: δημιουργία δυο νέων κυττάρων.

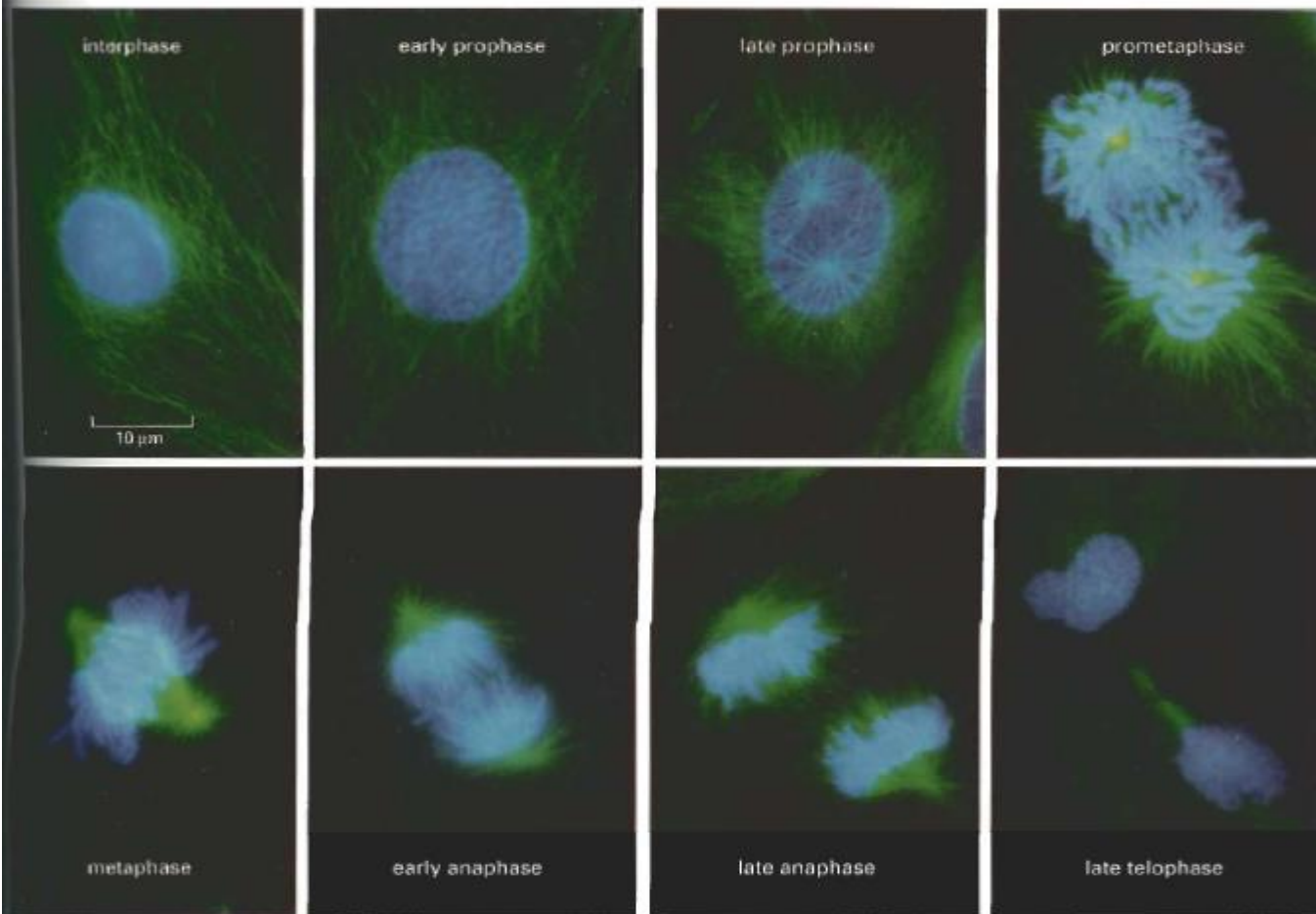
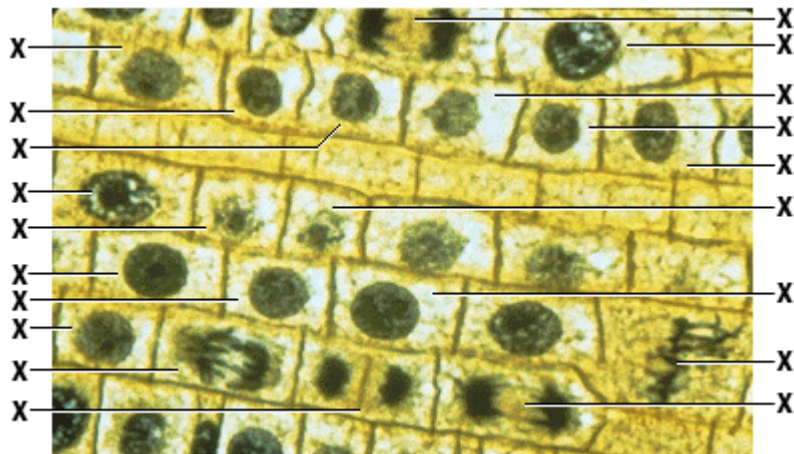
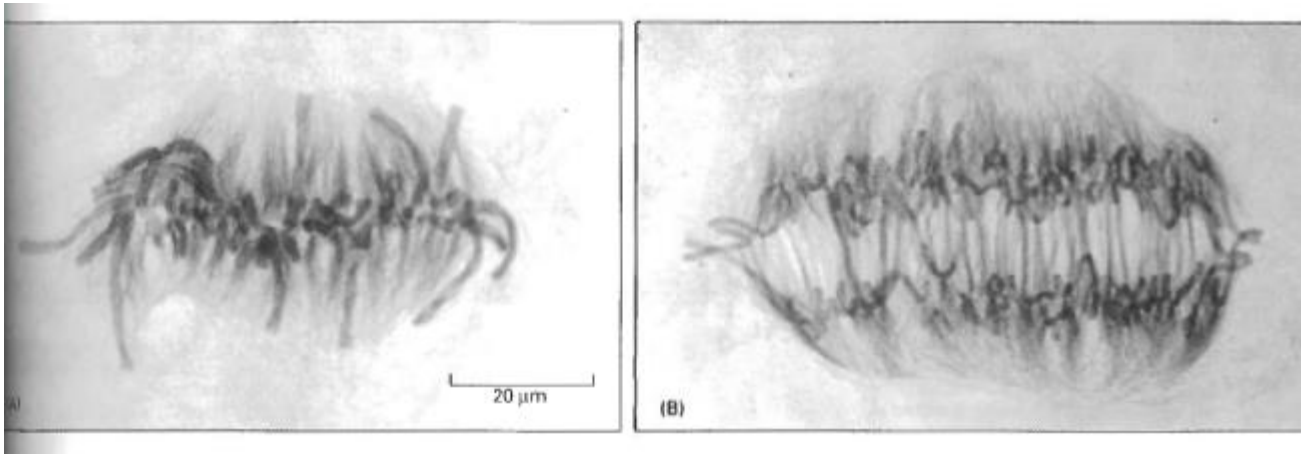
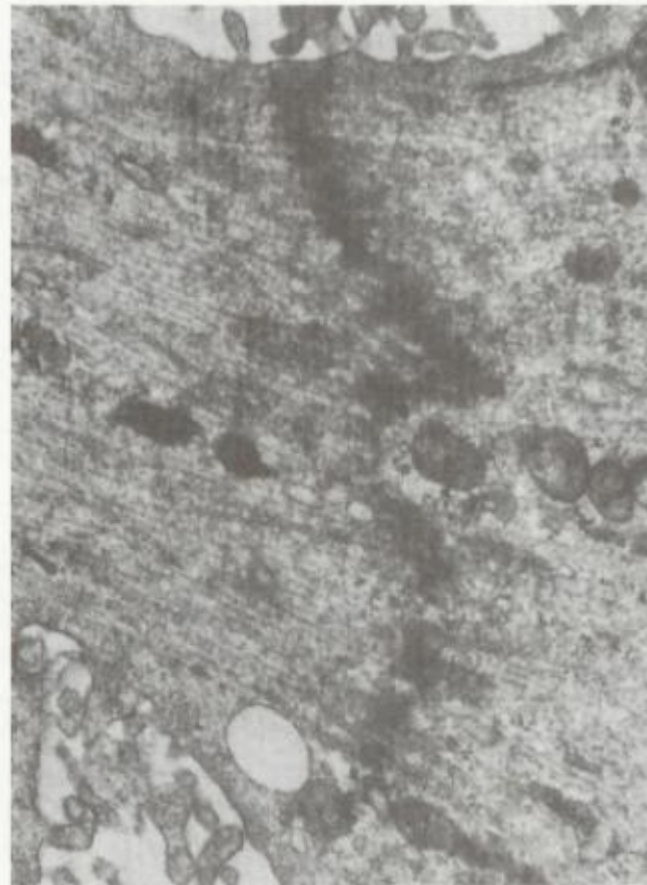


Figure 18-8 The course of mitosis in a typical animal cell. In these micrographs of cultured newt lung cells, the microtubules have been visualized by indirect immunofluorescence, while chromatin is stained with a blue fluorescent dye. During *interphase* the centrosome, consisting of matrix associated with a centriole pair, forms the focus for the interphase microtubule array. By *early prophase* the single centrosome contains two centriole pairs (not visible); at *late prophase* the centrosome divides and the resulting two asters move apart. The nuclear envelope breaks down at *prometaphase*, allowing the spindle microtubules to interact with the chromosomes. At *metaphase* the bipolar spindle structure is clear and all the chromosomes are aligned across the middle of the spindle. The paired daughter chromosomes, called *chromatids*, all separate synchronously at *early anaphase* and, under the influence of the microtubules, begin to move toward the poles. By *late anaphase* the spindle poles have moved farther apart, increasing the separation of the two groups of chromosomes. At *telophase* the daughter nuclei re-form, and by *late telophase* cytokinesis is almost complete, with the midbody persisting between the daughter cells. (Photographs courtesy of C.L. Rieder, J.C. Waters, and R.W. Cole.)

Μετάφαση – Ανάφαση

Τα πιο εντυπωσιακά στάδια της μίτωσης





Σχ. 12 - 40: Ηλεκτρονιογραφία ενδιάμεσου σώματος κατά το τέλος της τελόφασης σε κέτταρο ανθρώπου X 26.000. (A. Krishan και R. G. Buck).

Τελόφαση με περίσφιξη σε
ζωικό κύτταρο.

Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

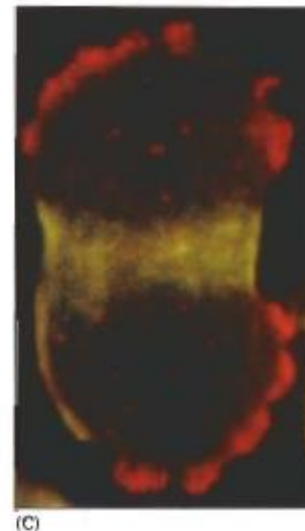
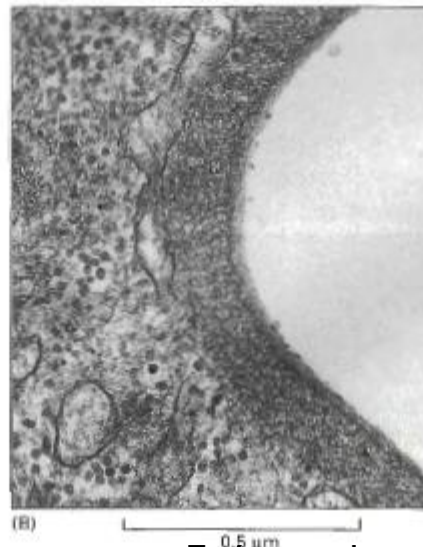
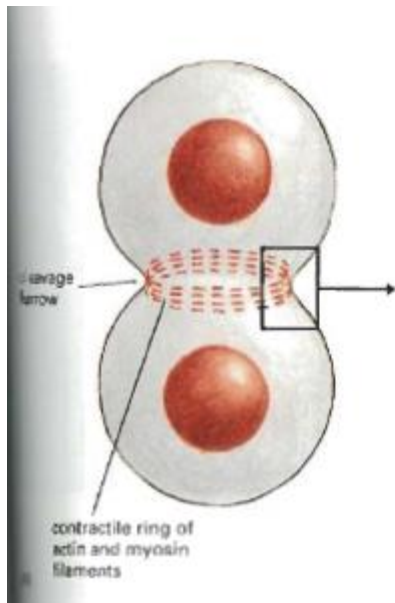
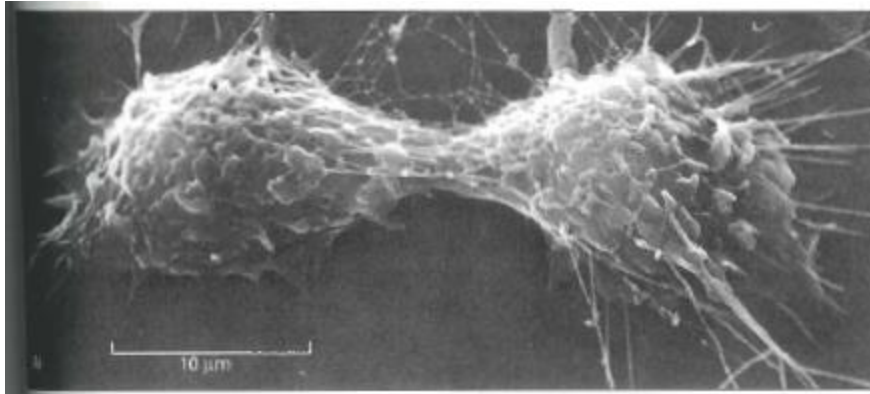
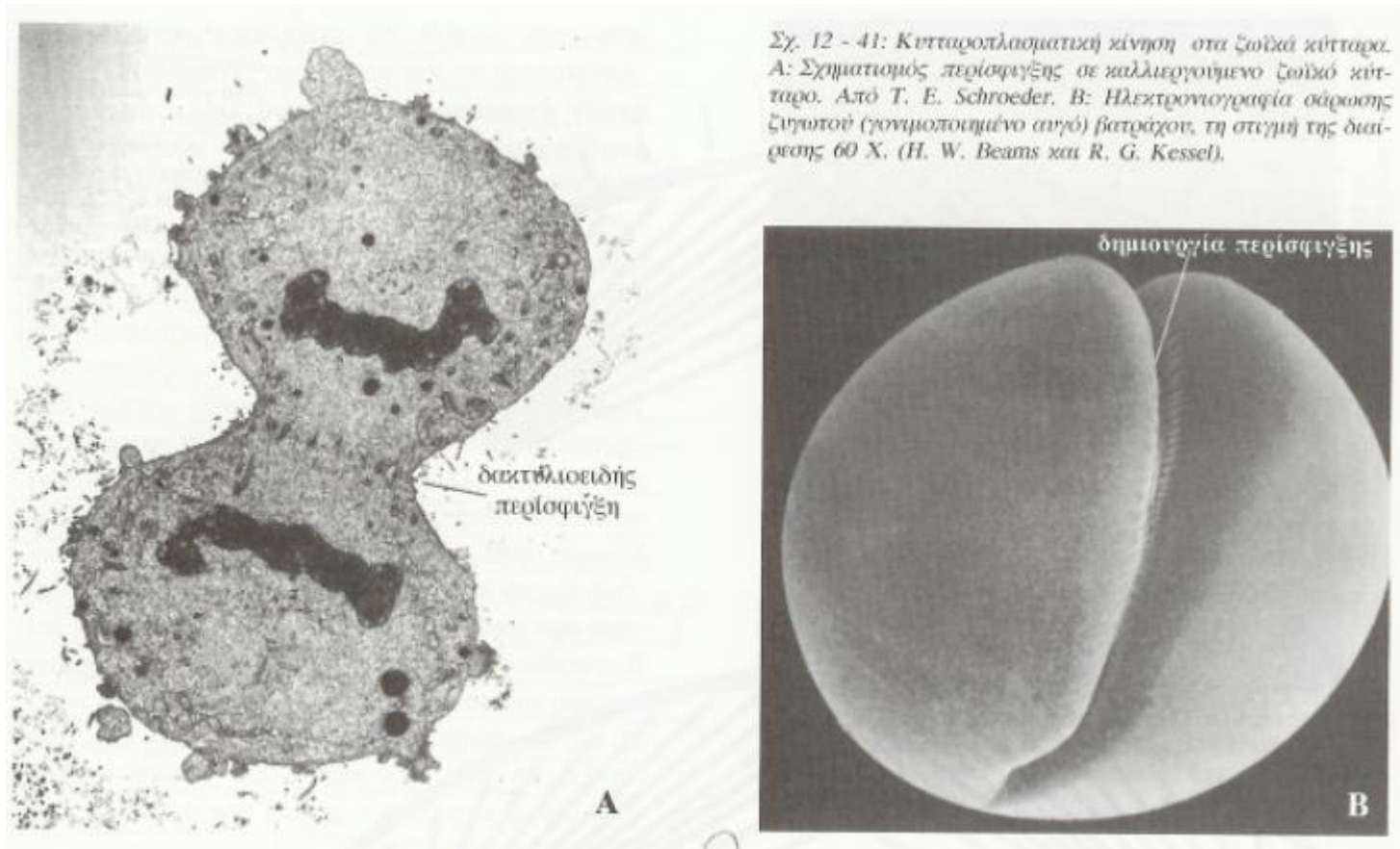
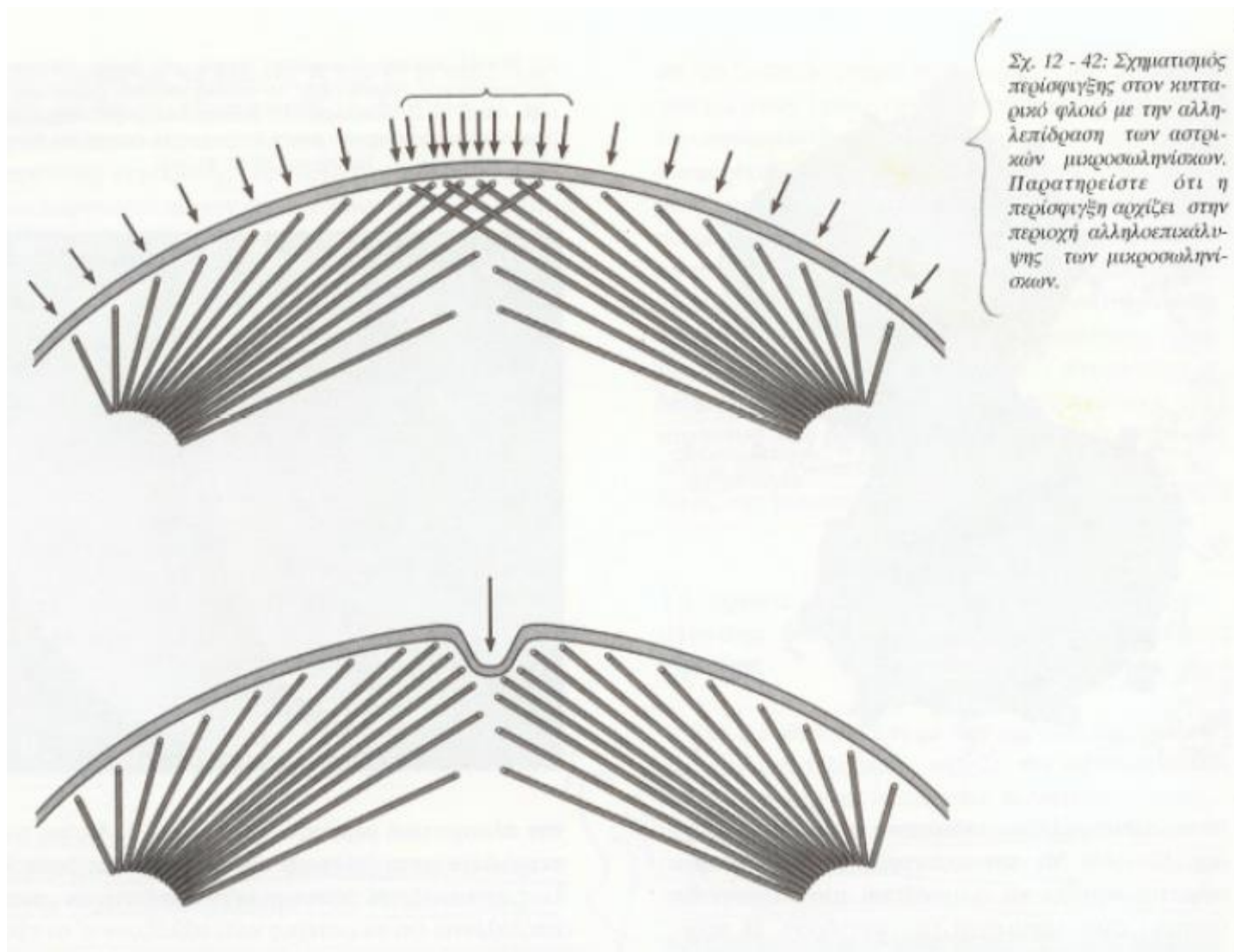
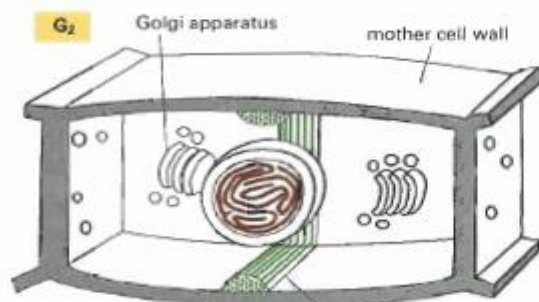


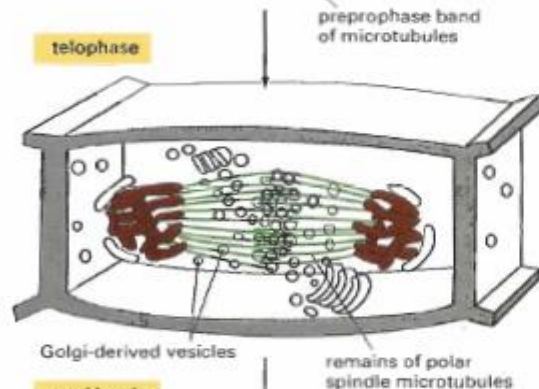
Figure 18-34 The contractile ring. (A) A schematic drawing of a cleavage furrow in a dividing cell. (B) Electron micrograph of the ingrowing edge of the cleavage furrow of a dividing animal cell. (C) A dividing slime mold amoeba stained for actin (red) and myosin-II (green). The myosin staining in the contractile ring somewhat masks the actin that is also present there. (B, from H.W. Beams and R.G. Kessel, *Am. Sci.* 64:279-290, 1976, reprinted by permission of *American Scientist*, journal of Sigma Xi; C, courtesy of Yoshio Fukui.)



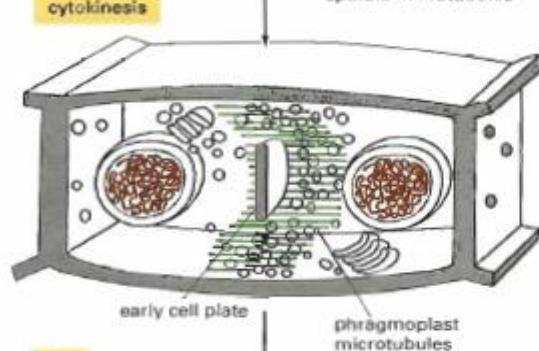




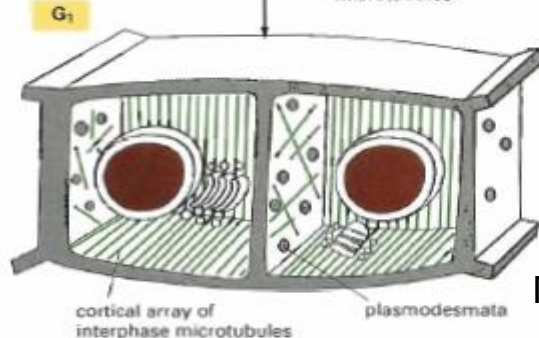
At some point in G₂ the cortical microtubules rearrange to form a band that encircles the cell, just below the plasma membrane. This preprophase band of microtubules gradually narrows and exactly predicts where the new cell wall will join the mother cell wall when the cell divides.



Phragmoplast is formed by two sets of polar spindle microtubules at telophase. Golgi-derived vesicles carrying cell wall precursors associate with microtubules, accumulate in the equatorial region, and fuse to form the early cell plate.

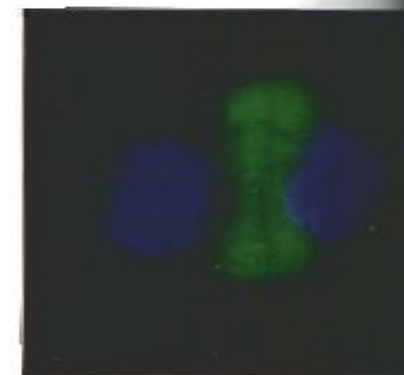
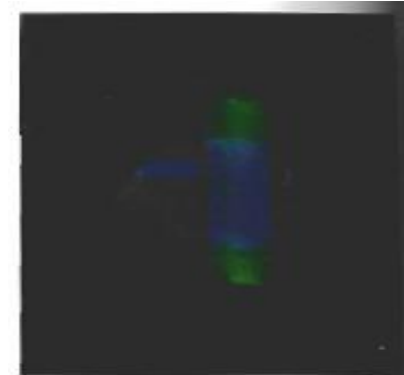


Phragmoplast microtubules re-form at the periphery of the early cell plate. New Golgi-derived vesicles are recruited into this region, fuse with edge of the cell plate, and extend it outward.

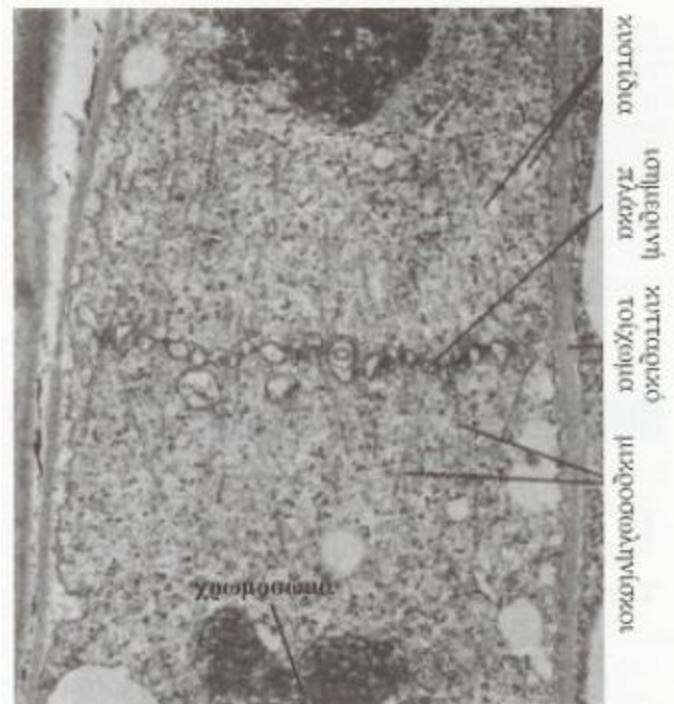


The membrane of the extending cell plate fuses with the plasma membrane of the mother cell, completing the new cell wall. The cortical array of interphase microtubules is reestablished in each of the two daughter cells.

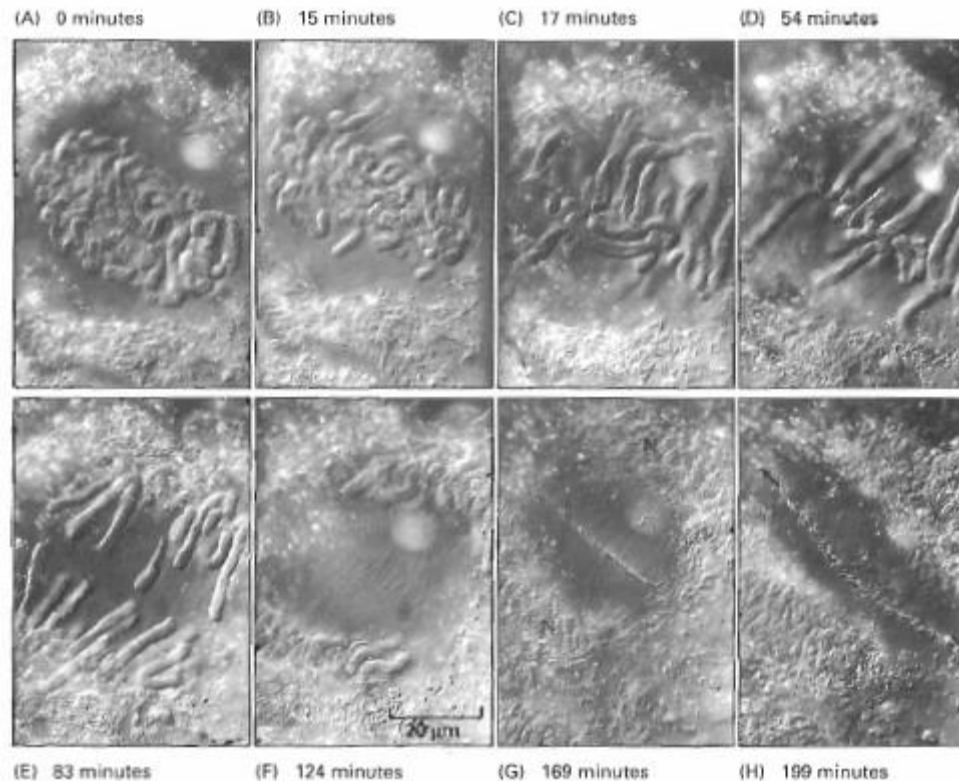
Η μίτωση στο φυτικό κύτταρο



(B)

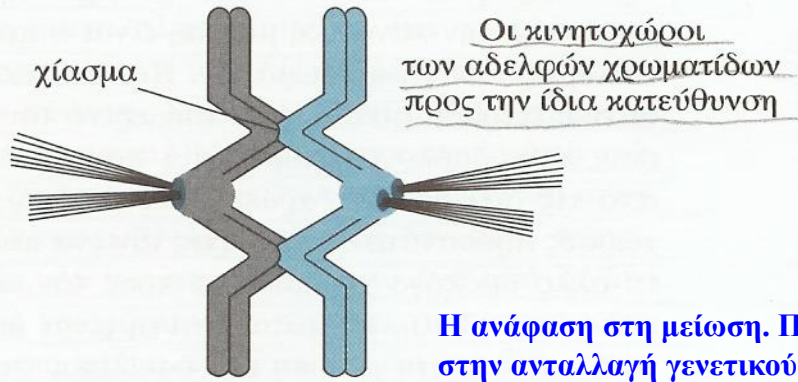


Σχ. 12 - 43; Κυτταροπλασματική κίνηση και δημιουργία της ισημερινής πλάκας στα φυτικά κύτταρα. Ηλεκτρονιογραφία φυτικού κυττάρου στο τέλος της τελόφασης (750 X). (B. A. Palevitz και E. H. Newcorn).



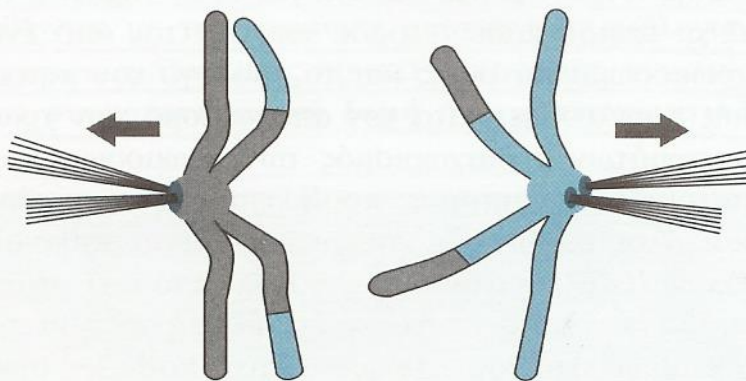
prophase, *prometaphase*, *metaphase*, *anaphase*, and *telophase*—occur in strict sequential order, while cytokinesis begins during anaphase and continues through the end of M phase (Figure 18–7). Light micrographs of cell division in a typical animal and a typical plant cell are shown in Figures 18–8 and 18–9, respectively. Innumerable variations in all of the stages of cell division shown schematically in Panel 18–1 occur in the animal and plant kingdoms. We shall mention some of these after we have looked more closely at the general mechanisms of cell division.

Μειωτική μετάφαση I

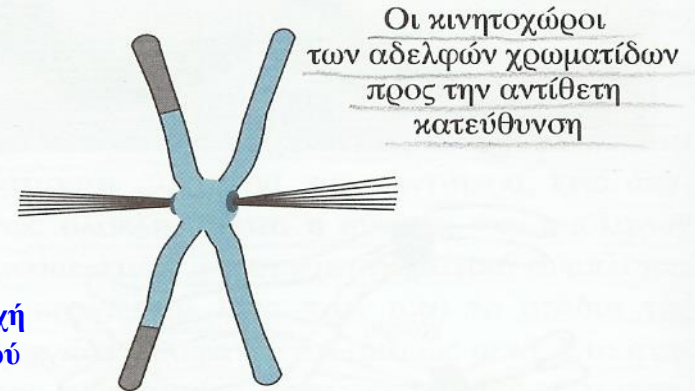


Η ανάφαση στη μείωση. Προσοχή στην ανταλλαγή γενετικού υλικού μεταξύ ομολόγων χρωματίδων (επιχiasμός). Στη μειωτική μετάφαση II συμβαίνει ότι και στη μίτωση οπότε μπορεί να γίνει η σχετική σύγκριση.

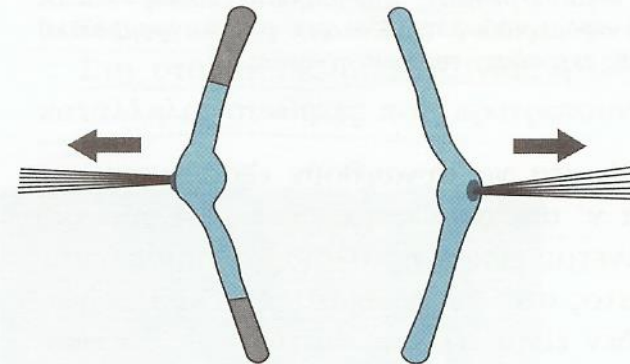
Μειωτική ανάφαση I



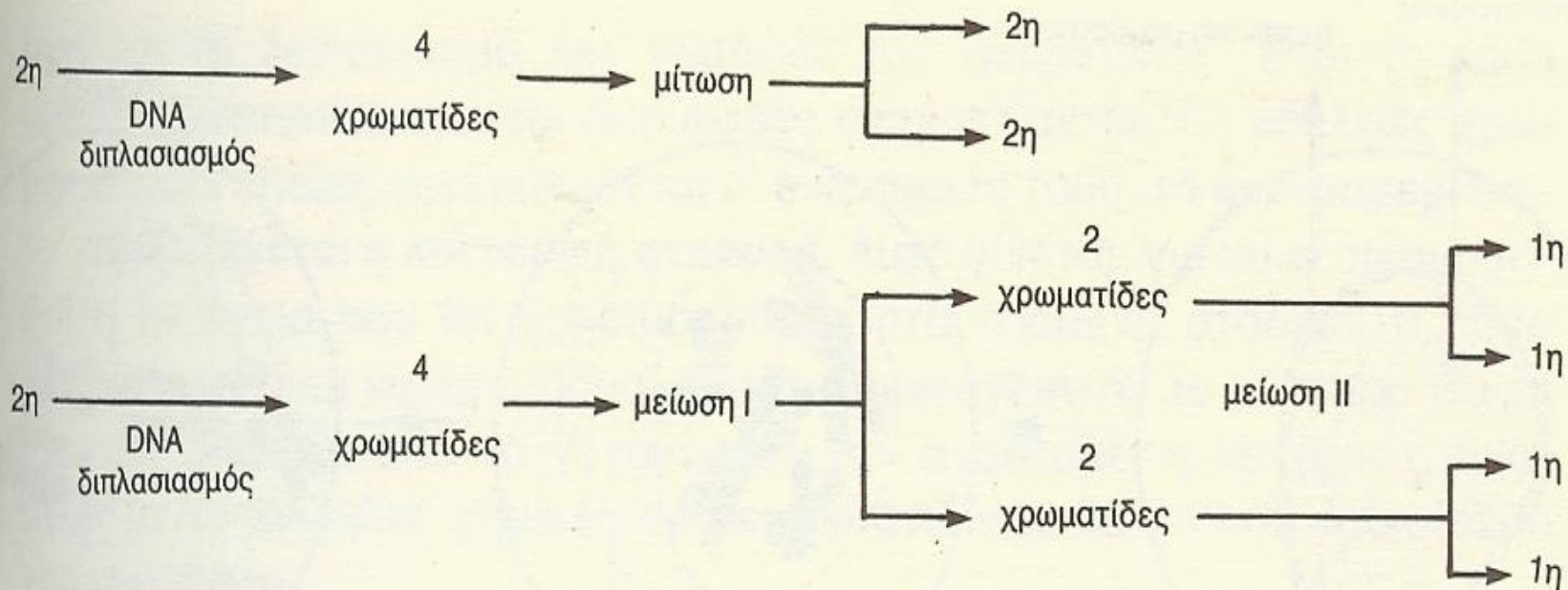
Μειωτική μετάφαση II



Μειωτική ανάφαση II

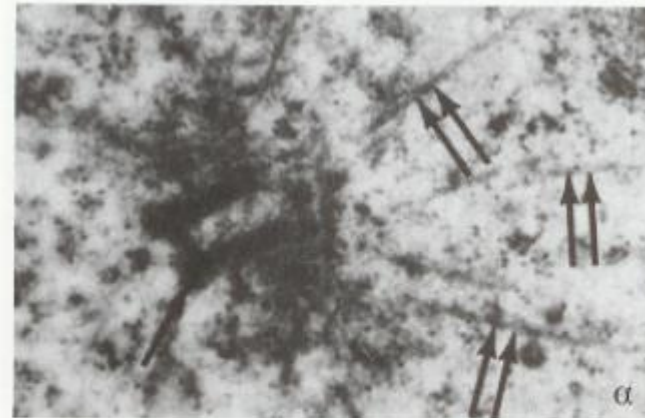
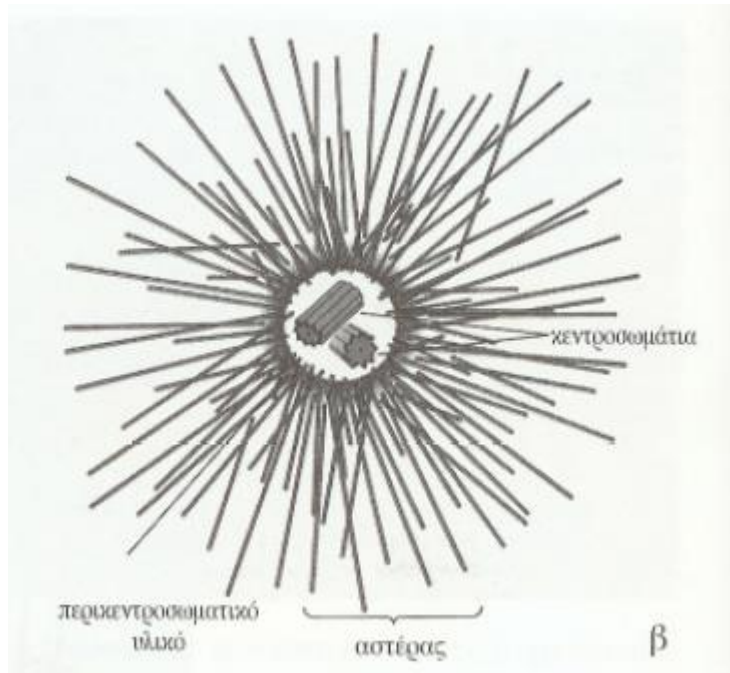


Σχ. 13 - 10: Σύγκριση του προσανατολισμού των αδελφών χρωματίδων στην πρώτη και στη δεύτερη μειωτική διαίρεση. Η μίτωση αντιστοιχεί με την μειωτική διαίρεση II.

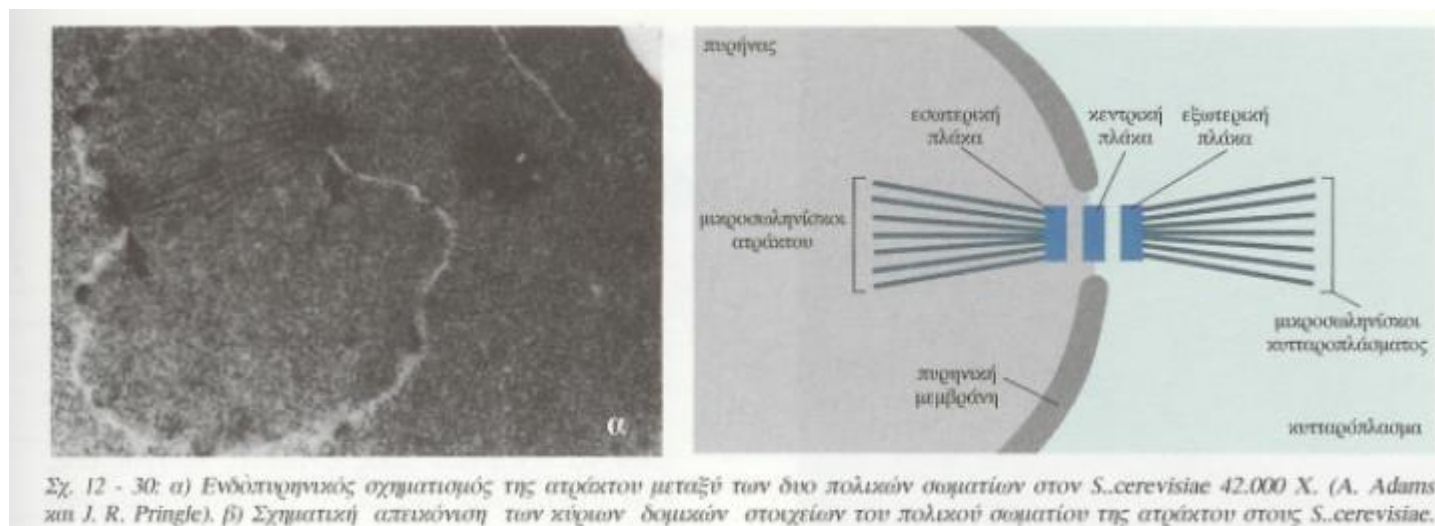
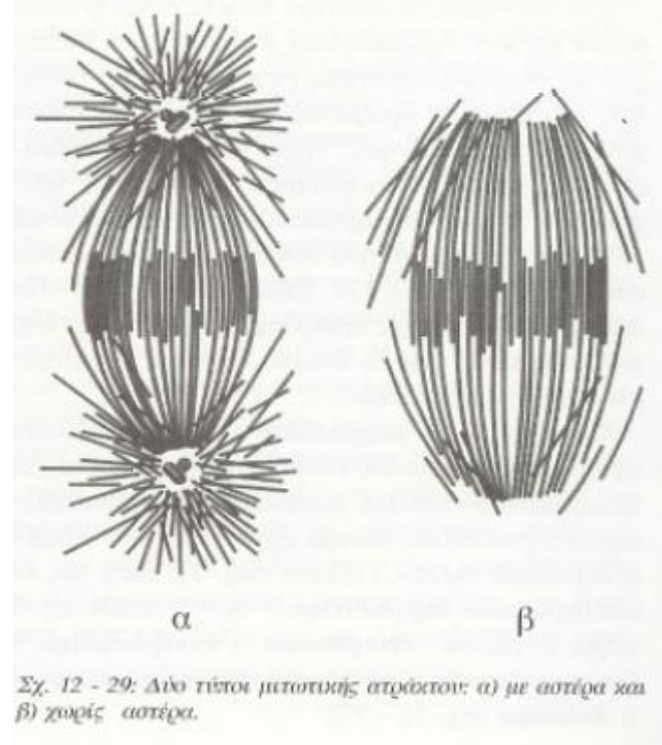


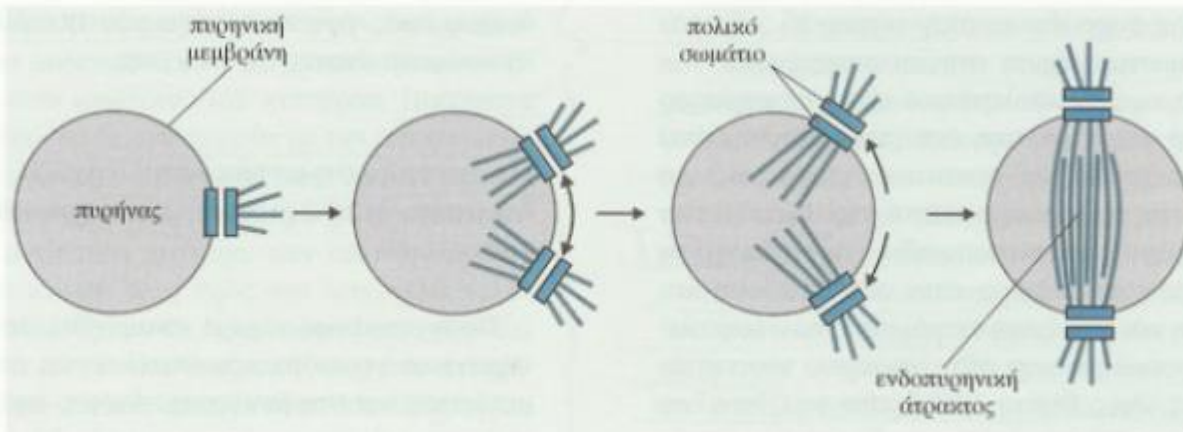
Εικ. 2-4. Η μίτωση διατηρεί το διπλοειδή αριθμό των χρωμοσωμάτων ($2n$), ενώ η μείωση τον μετατρέπει σε απλοειδή ($1n$).

Η ΑΤΡΑΚΤΟΣ

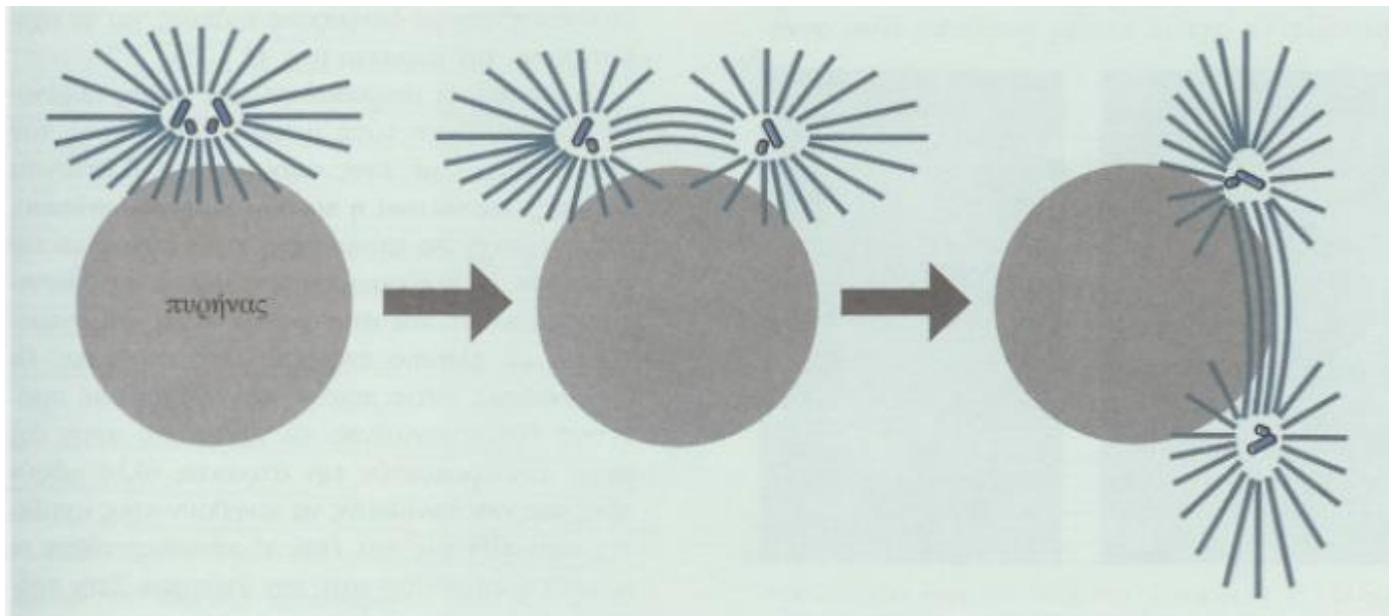


Σχ. 12 - 28: α) Κεντροσωμάτια (μονό βέλος) και αστέρες (διπλό βέλος). Οι μικροσωληνίσκοι των αστέρων ξεκινούν από το περικεντροσωματικό υλικό (PM) κοντά στο κεντροσωμάτιο 41.000 X. (J. André). β) Σχηματική απεικόνιση της διάταξης των μικροσωληνίσκων, κεντροσωματίων και περικεντροσωματικού υλικού σ' έναν αστέρα.

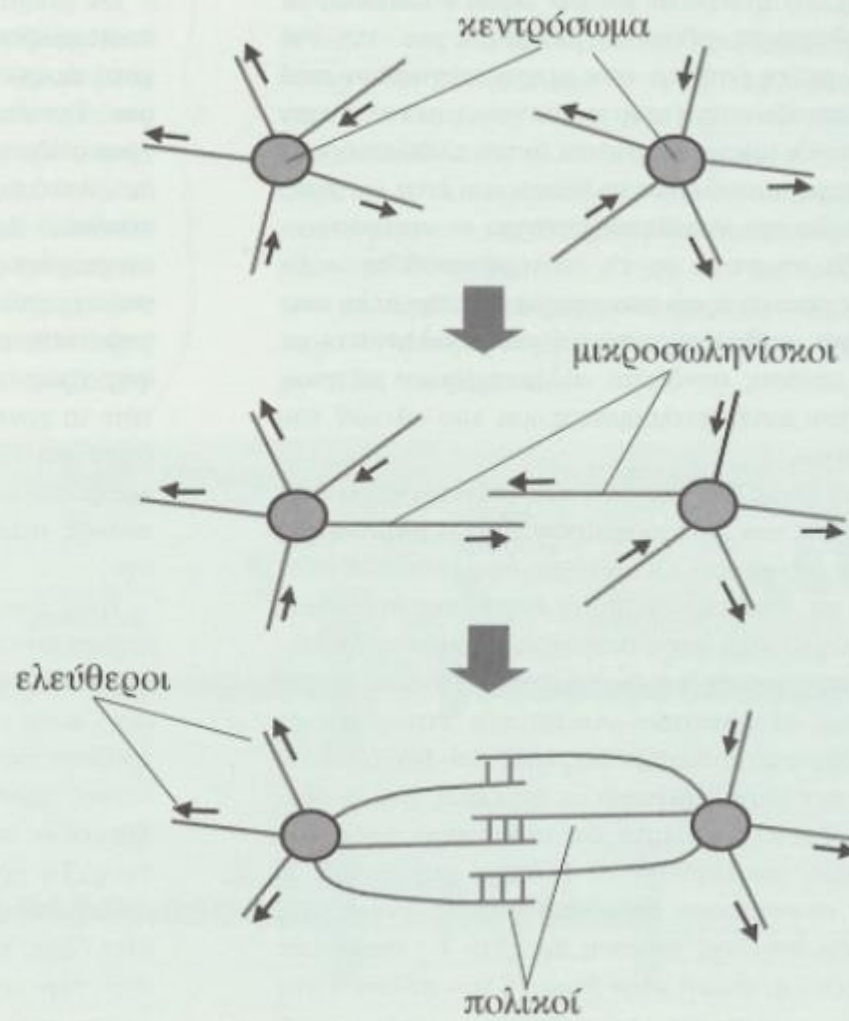




Σχ. 12 - 34: Σχηματική απεικόνιση των κινήσεων των πολικών σωματίων και του σχηματισμού της ενδοπυρήνικης ατρακτού στον *S.cerevisiae*.

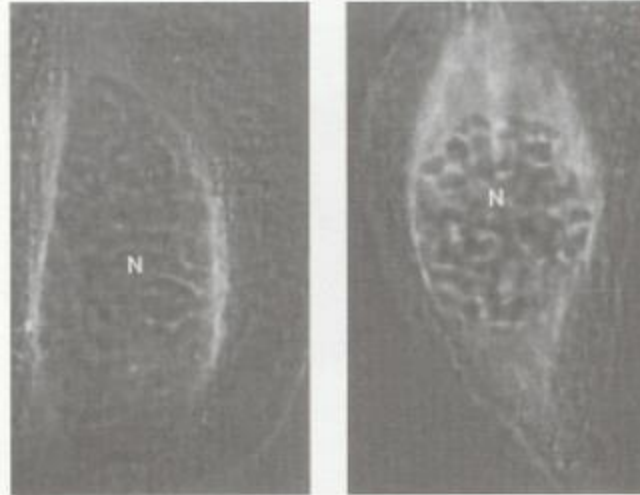


Σχ. 12 - 31: Διάγραμμα που δείχνει, τις κινήσεις των κεντροσωματίων και των αστέρων κατά τη διάρκεια της πρόφασης της μίτωσης.



Σχ. 12 - 35: Μοντέλο σχηματισμού της μιτωτικής ατράκτου με σταθεροποίηση των αλληλεπιδρώντων μικροσωληνίσκων.

3) Στην τρίτη περίπτωση η άτρακτος σχηματίζεται από τα λεγόμενα **πολικά σωμάτια**, τα οποία λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο με τους αστέρες των ανώτερων οργανισμών. Τα πολικά σωμάτια αποτελούνται από στοιβάδες οπτικά πυκνές, που διαχωρίζονται από λιγότερο οπτικώς πυκνές περιοχές. Οι οπτικά πυκνές στοιβάδες είναι συνή-

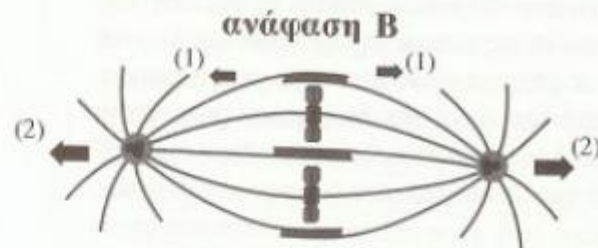
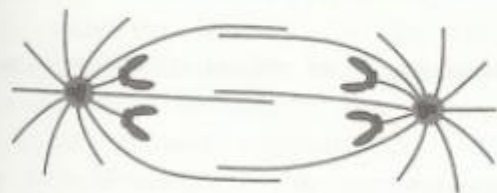


Σχ. 12 - 33: Σχηματισμός άναστρης άτρακτου σε φυτικό κύτταρο σε πολωτικό μικροσκόπιο. Η αναπτυσσόμενη άτρακτος φαίνεται φωτεινή λόγω της παράλληλης διάταξης των μικροσωληνίσκων. (S. Inoue και A. Bajer).

Σχ. 12 - 32: Ηλεκτρονιογραφία μιτωτικής άτρακτου σε κύτταρο θηλαστικού. Παρατηρείστε τους μικροσωληνίσκους που συνδέονται με τα χρωμοσώματα στην περιοχή των κινητοχώρων 14.000 X. (C.L. Rieder).



βράχυνση μικροσωληνίσκων
κινητοχώρου.
κίνηση χρωματίδων στους
πόλους

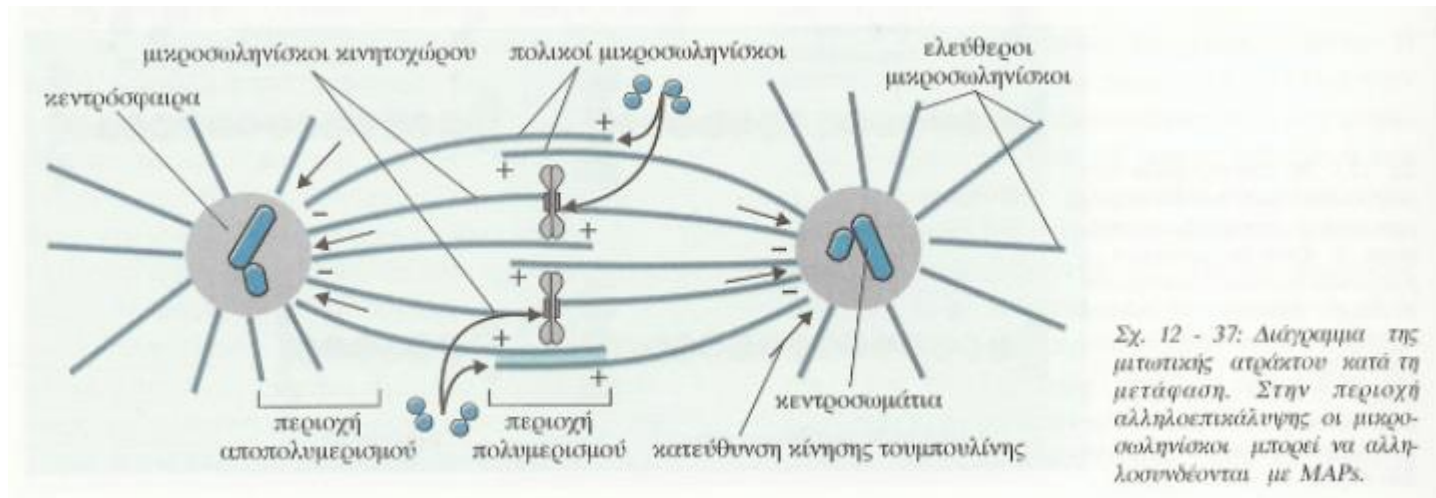


ολίσθηση πολικών μικροσω-
ληνίσκων μεταξύ τους (1)
και έλξη των πόλων προς το
φλοιό (2) με συνέπεια απο-
μάκρυνση των πόλων

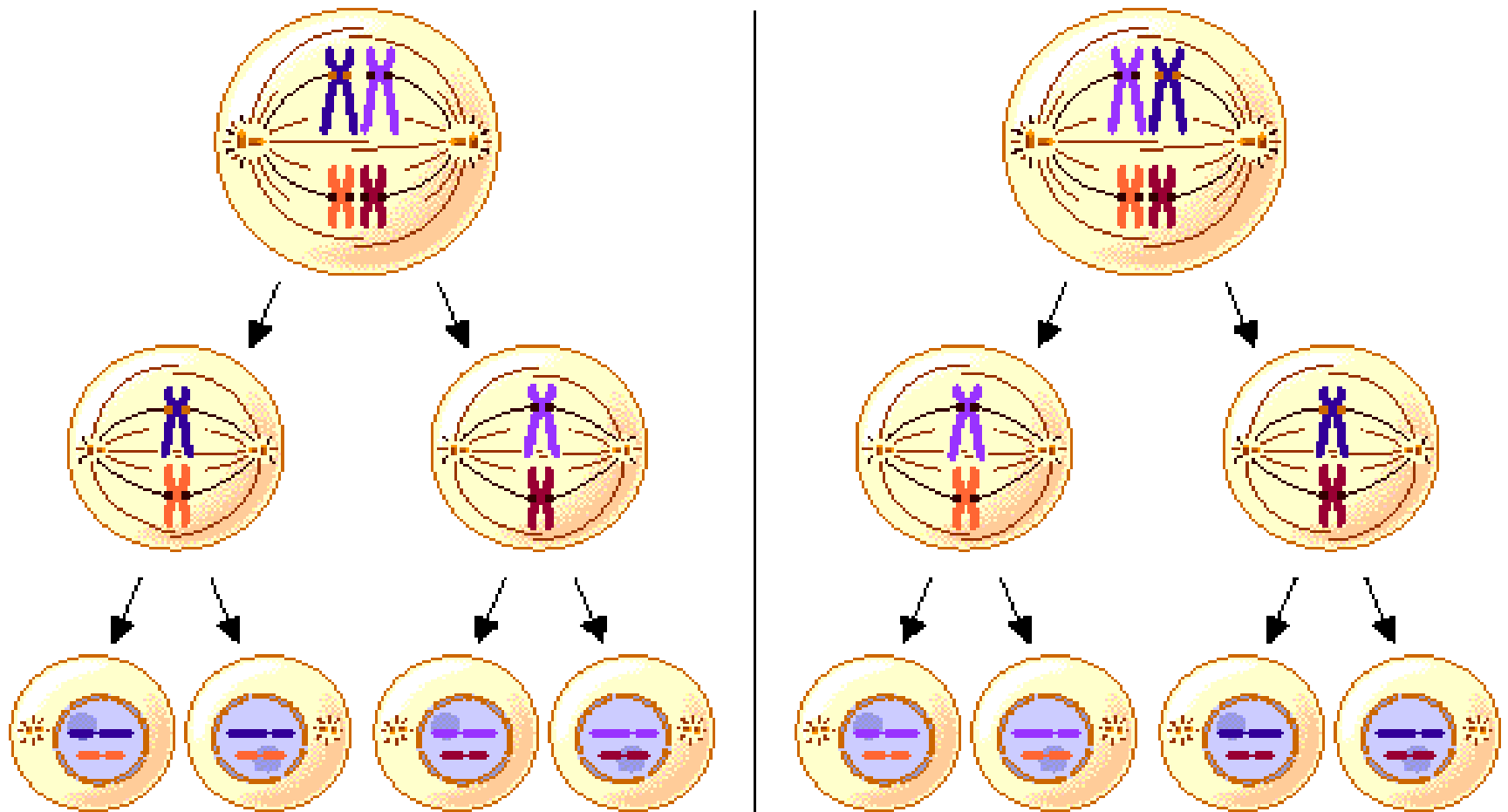


επιμήκυνση πολικών
μικροσωληνίσκων
στο (+) άωρο

Σχ. 12 - 38: Οι δυο διαδικασίες που χωρίζουν τις αδελφές χρωματίδες κατά την ανάφαση. Αριστερά δείχνεται ότι η βράχυνση των μικροσωληνίσκων των κινητοχώρων είναι η αιτία της ανάφασης Α. Δεξιά δείχνεται ότι η επιμήκυνση των πολικών μικροσωληνίσκων καθώς και η αντιπαράλληλη ολίσθηση τους (1) και η απομάκρυνση των πόλων λόγω της έλξης τους προς την κυτταρική επιφάνεια (2) συμβάλλουν στην ανίεραση Β.



Γενετική ποικιλότητα λόγω ελεύθερου ανασυνδυασμού των χρωμοσωμάτων κατά τη μείωση.

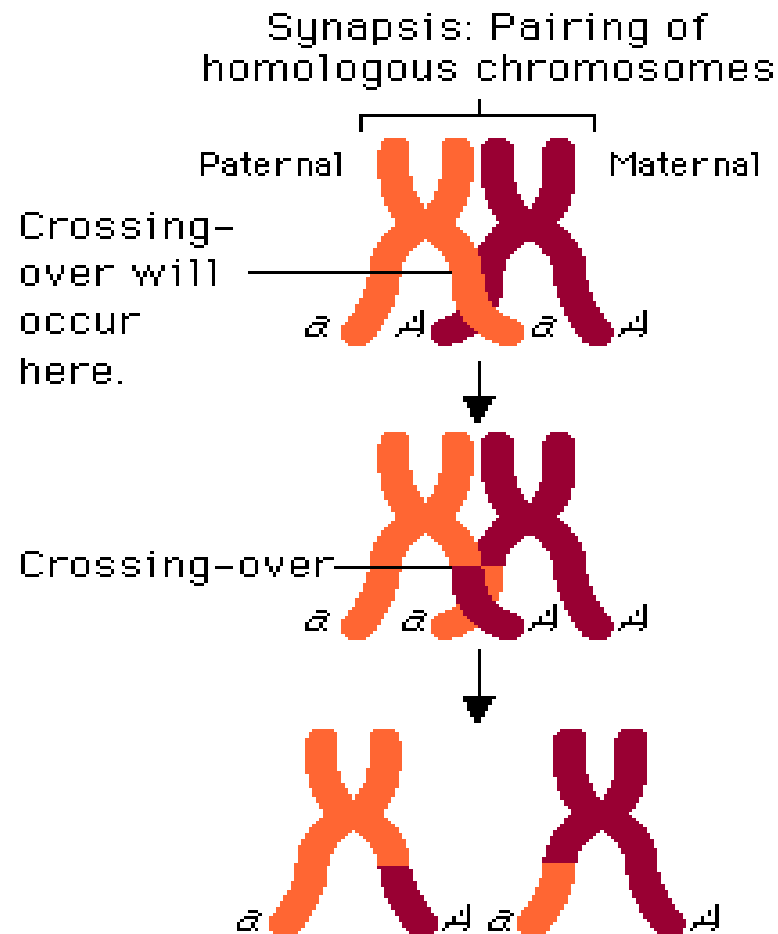


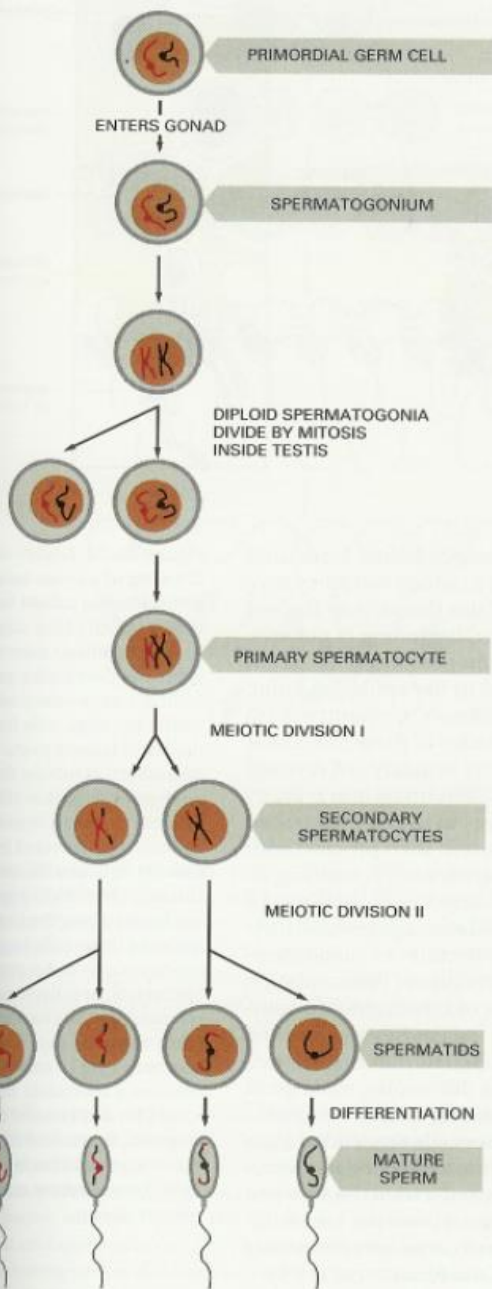
Και λίγα... μαθηματικά:

Ποια η πιθανότητα να προκύψει ένα παιδί;

- Για να προκύψει ένας γαμέτης (ωάριο, ή σπερματοζωάριο) θα πρέπει να επιλεγθεί ένα χρωμόσωμα από κάθε ζευγάρι ομολόγων χρωμοσωμάτων.
- Στον άνθρωπο υπάρχουν 23 ζεύγη ομολόγων, άρα για να προκύψει ένας μόνο γαμέτης η πιθανότητα είναι $(1/2)^{23}$. Και για τους δύο γαμέτες που χρειάζονται για να προκύψει ένα ζυγωτό, έχουμε πιθανότητα $(1/2)^{46}$.
- Καταλαβαίνουμε λοιπόν γιατί 2 αδέρφια δεν πρόκειται να είναι όμοια ποτέ, παρόλο που προέρχονται από τους ίδιους γονείς.
- Επίσης παραβλέπουμε το φαινόμενο του χρωμοσωμικού επιχιασμού, αλλά και το ότι χρησιμοποιήθηκε 1 σπερματοζωάριο μεταξύ πολλών τρισεκατομμυρίων που παράγει ένας άντρας κατά τη διάρκεια της ζωής του, όπως και το ότι 1 μόνο ωάριο βρέθηκε την κατάλληλη στιγμή να γονιμοποιηθεί, ενώ η γυναίκα διαθέτει συνολικά εκατοντάδες χιλιάδες ωάρια...
- ... ενώ ταυτόχρονα πρέπει να ελπίζουμε σε αποφυγή μεταλλάξεων, χρωμοσωμικών ανωμαλιών, ατυχημάτων, ή μιας αποτυχημένης κύησης.
- Πόσο πιθανό ήταν λοιπόν να γεννηθείτε;

Γενετική ποικιλότητα λόγω επιχιασμού κατά τη Μείωση.



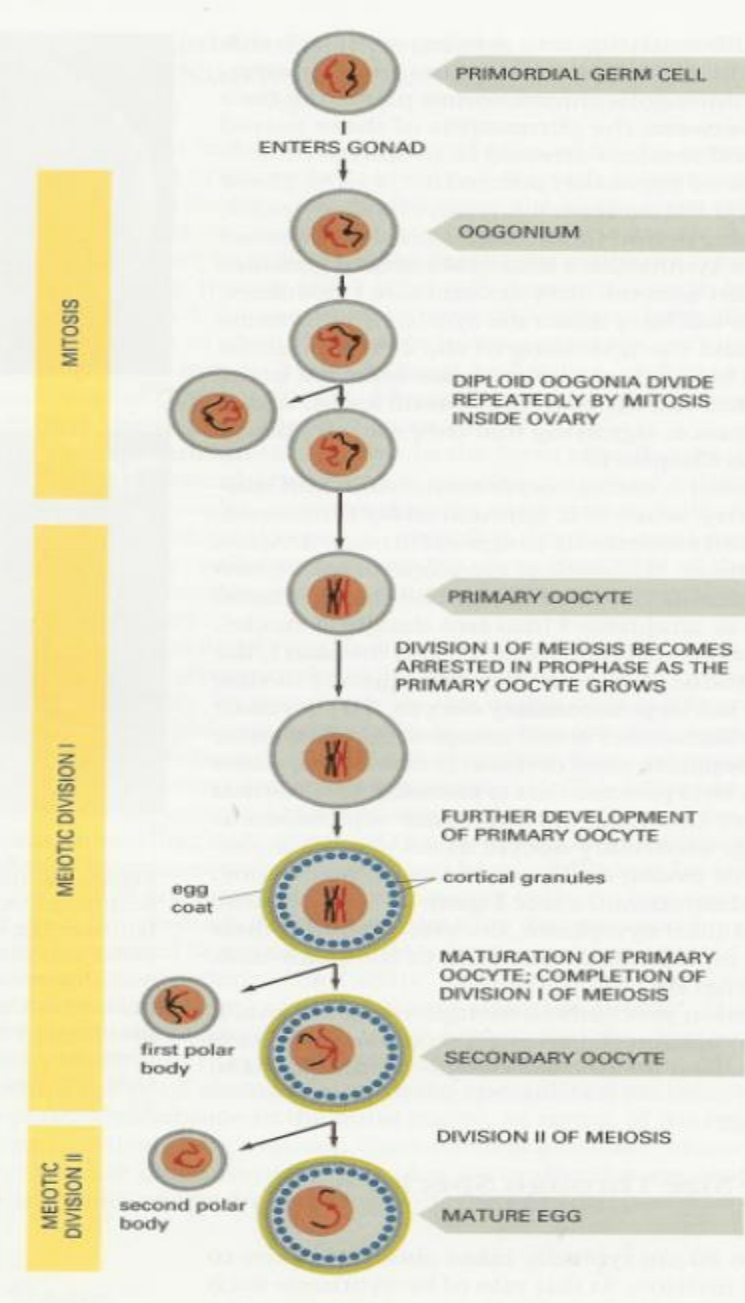


Ρόλος της μείωσης
στους ανώτερους
οργανισμούς είναι η
παραγωγή γαμετών.

Μίτωση

Μείωση I

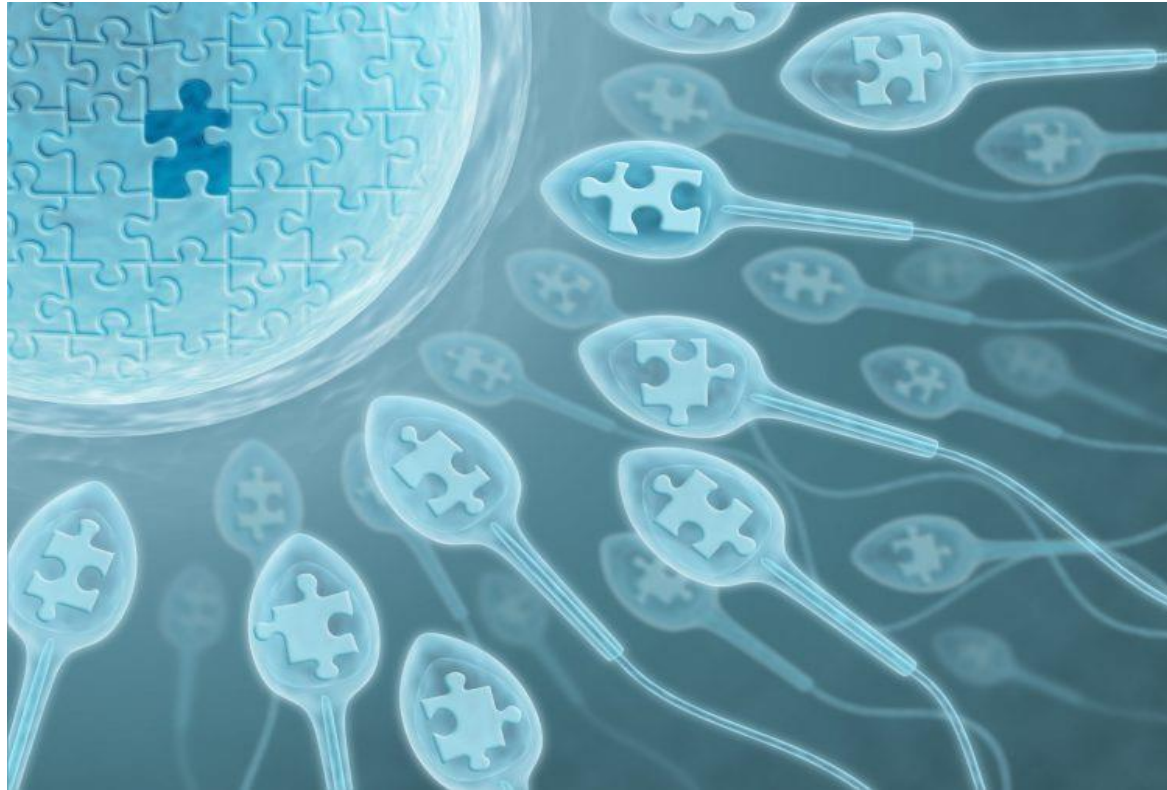
Μείωση II



ΤΙ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΘΥΜΟΜΑΣΤΕ;

- ΟΙ ΚΥΤΤΑΡΟΔΙΑΙΡΕΣΕΙΣ ΜΑΣ ΚΑΝΟΥΝ ΝΑ ΜΟΙΑΖΟΥΜΕ ΜΕ ΤΟΥΣ ΓΟΝΕΙΣ ΜΑΣ
- ΟΙ ΚΥΤΤΑΡΟΔΙΑΙΡΕΣΕΙΣ ΜΑΣ ΚΑΝΟΥΝ ΝΑ ΔΙΑΦΕΡΟΥΜΕ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΓΟΝΕΙΣ ΜΑΣ
- ΧΩΡΙΣ ΤΙΣ ΚΥΤΤΑΡΟΔΙΑΙΡΕΣΕΙΣ ΔΕΝ ΘΑ ΥΠΗΡΧΑΜΕ,
- ... ΑΛΛΑ ΕΙΜΑΣΤΕ ΠΟΛΥ ΤΥΧΕΡΟΙ ΠΟΥ ΥΠΑΡΧΟΥΜΕ

ΤΕΛΟΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ



Εικόνα: www.bovary.gr

Σας ευχαριστώ για την προσοχή σας!

Γεώργιος Ιατρόπουλος Βιολόγος