

Βιολογία

Τμήμα Ωκεανογραφίας και Θαλάσσιων Βιοεπιστημών

Διδάσκουσα: Μεζίτη Αλεξάνδρα

Διάλεξη 7: Κυτταρικός κύκλος

19/11/2025

Κυτταρική διαίρεση → γενετικά πανομοιότυπα κύτταρα

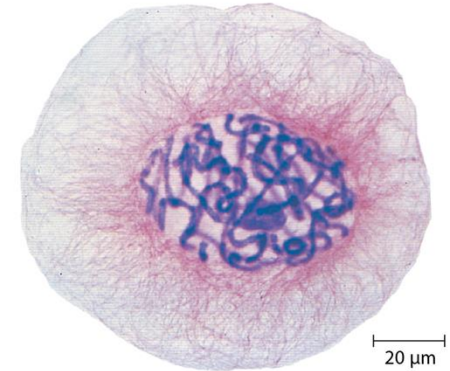
Κομβικές λειτουργίες κυτταρικής διαίρεσης

- Προκαρυωτικοί οργανισμοί=αναπαραγωγή vs ευκαρυωτικοί οργανισμοί= μέσο ανάπτυξης/ ανανέωσης/επιδιόρθωσης
- Κατανομή πανομοιότυπου γενετικού υλικού στα νέα κύτταρα→ διαχωρισμός κυττάρων

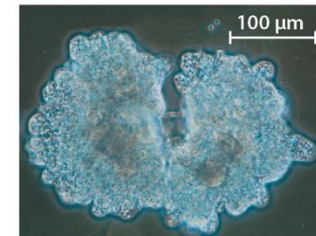
Κυτταρική οργάνωση του γενετικού υλικού

- Γονιδίωμα: το DNA του κυττάρου (γενετική πληροφορία)
- προκαρυώτες: ένα μόριο DNA vs Ευκαρυώτες: περισσότερα μόρια DNA (*H.sapiens* → ~ 2m)
- Χρωμοσώματα: δομές συσκευασίας των μορίων DNA
- DNA + πρωτεΐνες (σταθερότητα)→ χρωματίνη
- Ο πυρήνας των σωματικών κυττάρων των ευκαρυωτών έχει συγκεκριμένο αριθμό για κάθε είδος (άνθρωπος 46, λάχανο 18, ελέφαντας 56 κ.α.)

▼ **Εικόνα 12.3** Ευκαρυωτικά χρωμοσώματα. Σε αυτή την εικόνα ΟΜ φαίνεται το κύτταρο ενός αφρικανικού ανθόφυτου από την οικογένεια των αμαρυλλιδών, το οποίο ετοιμάζεται να διαιρεθεί. Οι δομές με το σκούρο μοβ χρώμα στο εσωτερικό του πυρήνα του κυττάρου είναι τα χρωμοσώματα, ενώ τα λεπτά κόκκινα νήματα στο κυτταρόπλασμα είναι ο κυτταροσκελετός.

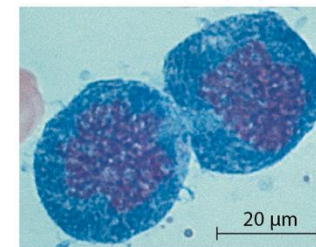
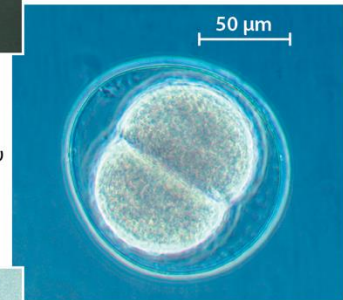


▼ **Εικόνα 12.2** Οι λειτουργίες της κυτταρικής διαίρεσης.



◀ (α) Αφυλετική αναπαραγωγή. Από τη διαίρεση της αμοιβάδας, που είναι ένας μονοκύτταρος ευκαρυώτης, προκύπτουν δύο κύτταρα. Κάθε νέο κύτταρο θα αποτελέσει έναν ανεξάρτητο οργανισμό (φωτογραφία ΟΜ).

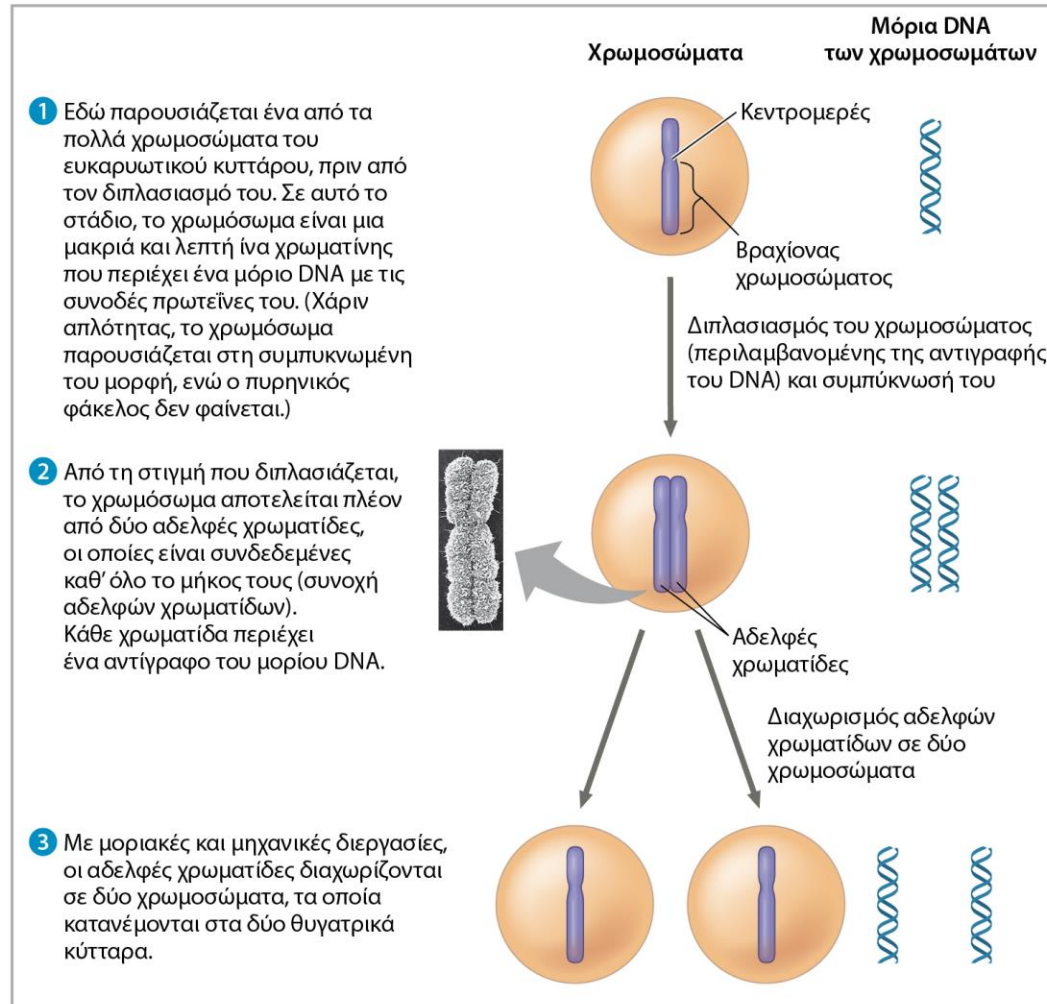
▶ (β) Αύξηση και ανάπτυξη. Η μικροφωτογραφία δείχνει το έμβρυο ενός αστερία αμέσως μετά τη διαίρεση του γονιμοποιημένου ωαρίου, όταν δηλαδή ο οργανισμός βρίσκεται στο στάδιο των δύο κυττάρων (ΟΜ).



◀ (γ) Ανανέωση ιστού. Από αυτά τα διαιρούμενα κύτταρα του μυελού των οστών θα προκύψουν νέα κύτταρα του αίματος (ΟΜ).

Κατανομή των χρωμοσωμάτων κατά την ευκαρυωτική κυτταρική διαίρεση

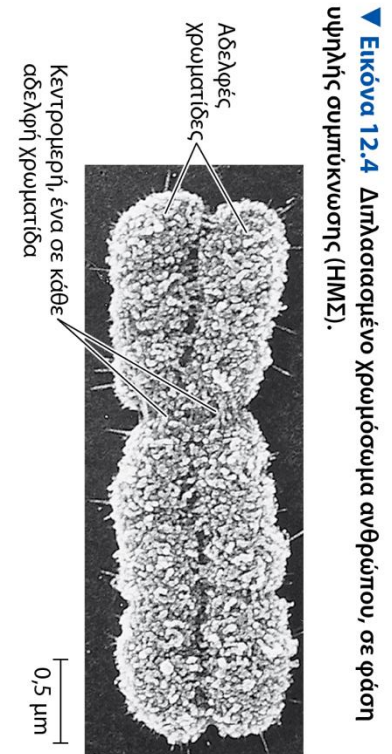
▼ **Εικόνα 12.5** Διπλασιασμός και κατανομή των χρωμοσωμάτων κατά την κυτταρική διαίρεση.



❗ Πόσους βραχίονες έχει συνολικά το χρωμόσωμα στο στάδιο **2**;
Υποδείξτε το σημείο της εικόνας, στο οποίο το ένα χρωμόσωμα γίνεται δύο.

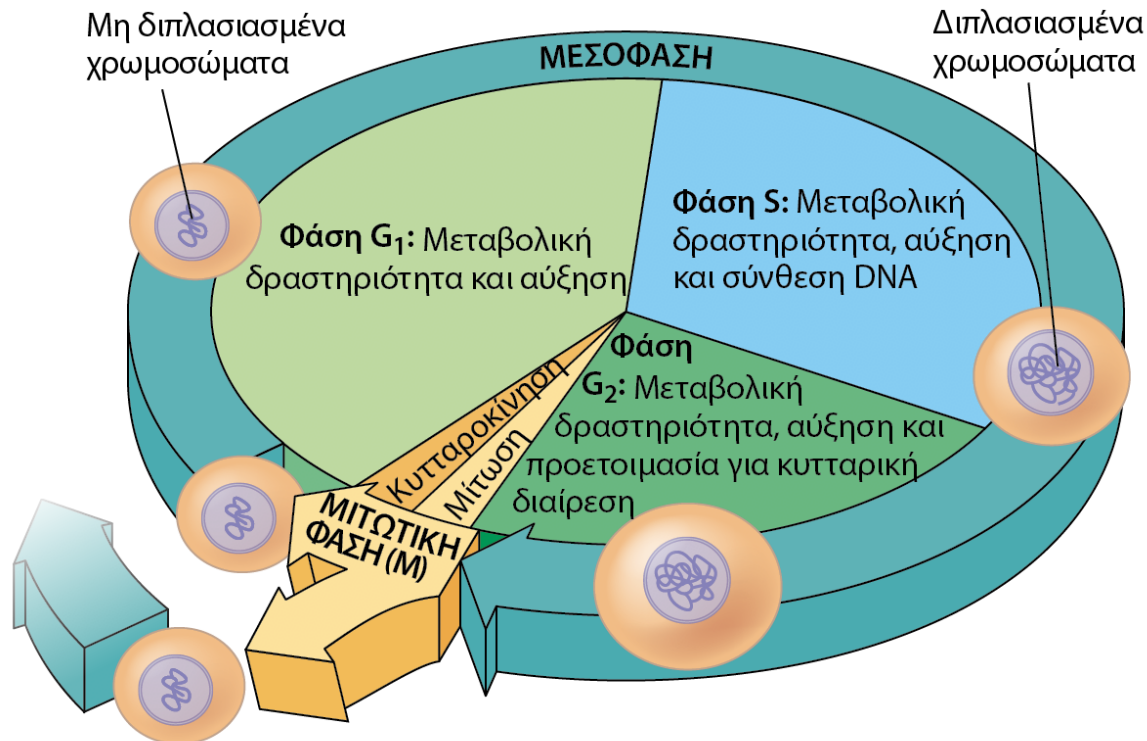
Μίτωση: διαδικασία διαίρεσης του πυρήνα, ακολουθείται από την κυτταροκίνηση (διαίρεση κυτταροπλάσματος)

ΣΧΕΔΙΑΣΤΕ Βάλτε σε κύκλο μία αδελφή χρωματίδα του χρωμοσώματος της εικόνας.



Ο κυτταρικός κύκλος περιλαμβάνει διαδοχικές εναλλαγές μεσόφασης και μίτωσης

▼ **Εικόνα 12.6** Ο κυτταρικός κύκλος. Σε ένα διαιρούμενο κύτταρο, η μιτωτική φάση (M) εναλλάσσεται με τη μεσόφαση, δηλαδή τη φάση της αύξησης.

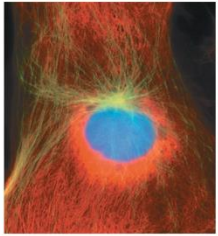


ΜΙΤΩΤΙΚΗ ΦΑΣΗ (M):

Μίτωση: Κατανομή χρωμοσωμάτων σε δύο θυγατρικούς πυρήνες

Κυτταροκίνηση: Διαίρεση κυτταροπλάσματος, με την οποία παράγονται δύο νέα κύτταρα. Τα θυγατρικά κύτταρα μπορούν να ξεκινήσουν έναν νέο κυτταρικό κύκλο.

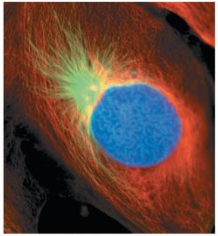
▼ Εικόνα 12.7 Εξερευνώντας τη μίτωση στα ζωικά κύτταρα



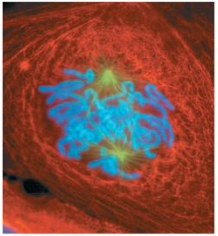
Η φάση G₂ της μεσόφασης

Κεντροσώματα (με ζεύγη κεντριολίων)

Χρωμοσώματα (διπλασιασμένα, μη συμπυκνωμένα)



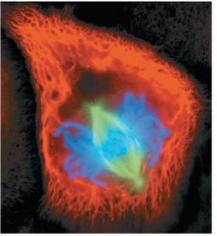
Η φάση G₂ της με



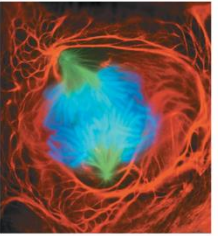
Προμετάφαση

- Ο πυρηνικός φάκελος διαρρηγνύεται.
- Πλέον, οι μικροσωληνίσκοι των κεντροσωμάτων μπορούν να εισβάλουν στην περιοχή του πυρήνα.
- Τα χρωμοσώματα συμπυκνώνονται ακόμα περισσότερο.
- Στο κεντρομερές κάθε χρωματίδας σχηματίζεται μια εξειδικευμένη πρωτεϊνική δομή, που ονομάζεται κινητοχώρος. Κατά συνέπεια, κάθε χρωμόσωμα έχει δύο κινητοχώρους.
- Μερικοί από τους μικροσωληνίσκους προσδένονται στους κινητοχώρους και μετατρέπονται σε «μικροσωληνίσκους κινητοχώρων». Μέσω αυτών των μικροσωληνίσκων επιτελείται η μετακίνηση των χρωμοσωμάτων.
- Όσοι μικροσωληνίσκοι δεν ανήκουν στους κινητοχώρους αλληλεπιδρούν με μικροσωληνίσκους από τον αντίθετο πόλο της ατράκτου, προκαλώντας επιμήκυνση του κυττάρου.

μόνον 6 χρωμοσώματα.

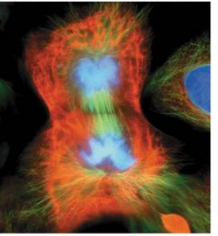


Πρόφασ



Ανάφαση

- Οι πυρηνικοί επανεμφανίζονται.
- Τα χρωμοσώματα γίνονται σταδιακά λιγότερο συμπαγή.
- Αποπολυμερίζονται και οι τελευταίοι εναπομείναντες μικροσωληνίσκοι της ατράκτου.
- Η μίτωση –η διαίρεση ενός πυρήνα σε δύο γενετικά ισοδύναμους πυρήνες– έχει πλέον ολοκληρωθεί.



Τελόφαση και κυτταροκίνηση

της ατράκτου

φαση

ατα βρίσκονται στους δύο κυττάρου.

α έχουν φτάσει στην οητό επίπεδο που απέχει πόλους της ατράκτου. α βρίσκονται και όλα ρωμοσωμάτων.

ιδελφών χρωματίδων άτων προσδένονται ς που προέρχονται υς.

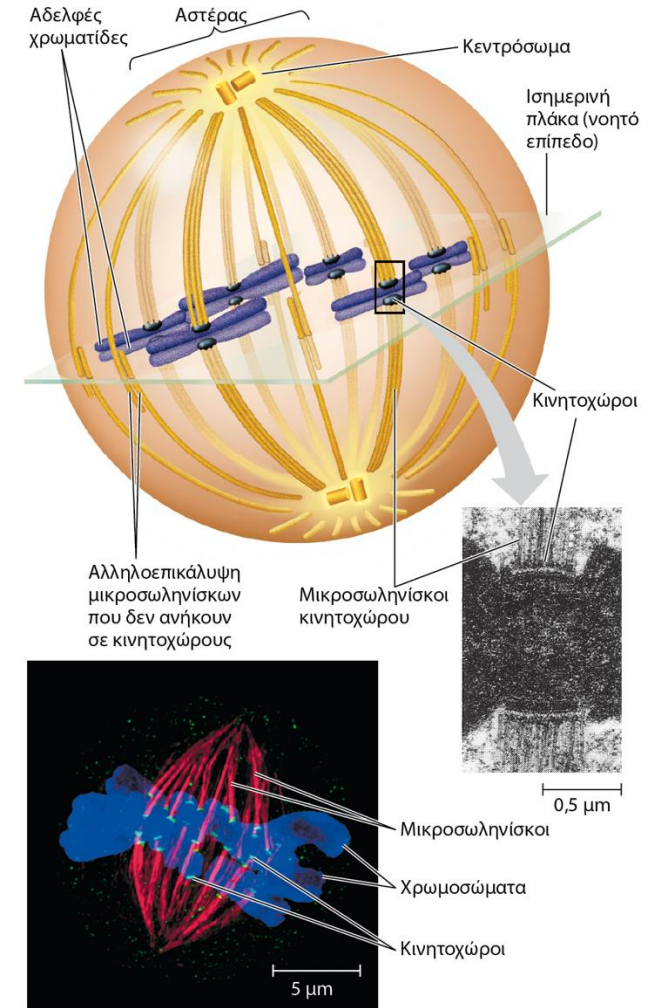
Κυτταροκίνηση

- Η διαίρεση του κυτταροπλάσματος ξεκινά, συνήθως, ήδη από τα τελικά στάδια της τελόφασης: επομένως, τα δύο θυγατρικά κύτταρα αρχίζουν να σχηματίζονται σύντομα μετά το πέρας της μίτωσης.
- Στα ζωικά κύτταρα, η κυτταροκίνηση περιλαμβάνει τον σχηματισμό μιας αύλακας διαίρεσης, με την οποία το γονεϊκό κύτταρο χωρίζεται σε δύο νέα κύτταρα.

Μιτωτική άτρακτος/

- Αρχίζει να σχηματίζεται στο κυτ/σμα από την πρόφαση
- Σύνολο ινών από μικροσωληνίσκους κ πρωτεΐνες
- Όσο συναρμολογείται η ατρακτος αποσυναρμολογείται ο κυτταρικός σκελετός
- Η συναρμολόγηση ξεκινά από το κεντρόσωμα (ζ. Κύτταρα) → 2σμος στη μεσόφαση → απομάκρυνση στην πρόφαση κ την προμετάφαση
- Απο κάθε κεντρόσωμα εκτείνονται σε ακτινωτή διάταξη βραχείς μικροσωληνίσκοι → αστέρας
- Κινητοχώρος: εξειδικευμένη περιοχή των 2μενων χρωμοσωμάτων με πρωτεΐνες για σύνδεση στο κεντρομερες.

▼ **Εικόνα 12.8** Η μιτωτική άτρακτος κατά τη μετάφαση. Σε κάθε χρωμόσωμα, οι κινητοχώροι των δύο αδελφών χρωματίδων έχουν αντίθετο προσανατολισμό. Κάθε κινητοχώρος προσδένεται σε ένα σύμπλεγμα μικροσωληνίσκων κινητοχώρου που προέρχονται από το πλησιέστερο κεντρόσωμα (βλ. φωτογραφία ΗΜΔ). Τα άκρα των μικροσωληνίσκων που δεν συνδέονται με κινητοχώρους αλληλεπικαλύπτονται στο επίπεδο της ισημερινής πλάκας. Η φθορίζουσα μικροφωτογραφία είναι από ένα κύτταρο αρουραίου καγκουρό σε μετάφαση.



ΣΧΕΔΙΑΣΤΕ Στη μικροφωτογραφία που βρίσκεται στο κάτω μέρος της εικόνας σχεδιάστε μια γραμμή που να αναπαριστά την ισημερινή πλάκα. Σχεδιάστε με βέλη την κατεύθυνση κίνησης των χρωμοσωμάτων κατά την έναρξη της ανάφασης.

Κυτταροκίνηση

Ζωικά κύτταρα

Ξεκινάει με την αυλάκωση → εμφάνιση αύλακας διαίρεσης στο σημείο που υπήρχε η ισημερινή πλάκα

Στην κυτταροπλασματική μεριά → συσταλτός δακτύλιος ακτίνης που αλληλεπιδρά με μυοσίνη

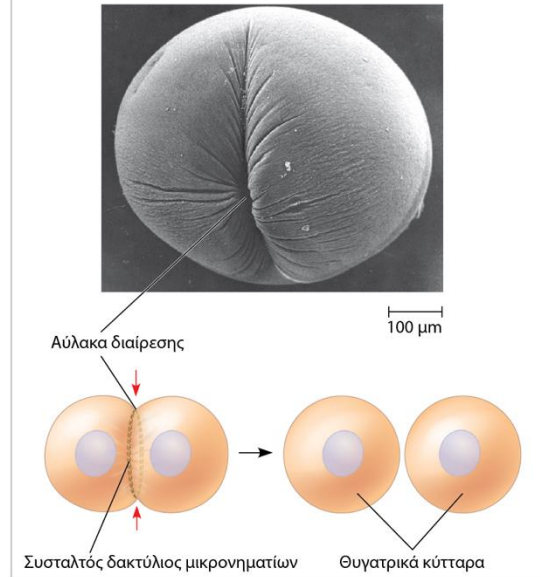
Συστολή σαν σφίξιμο θηλειάς

Φυτικά κύτταρα

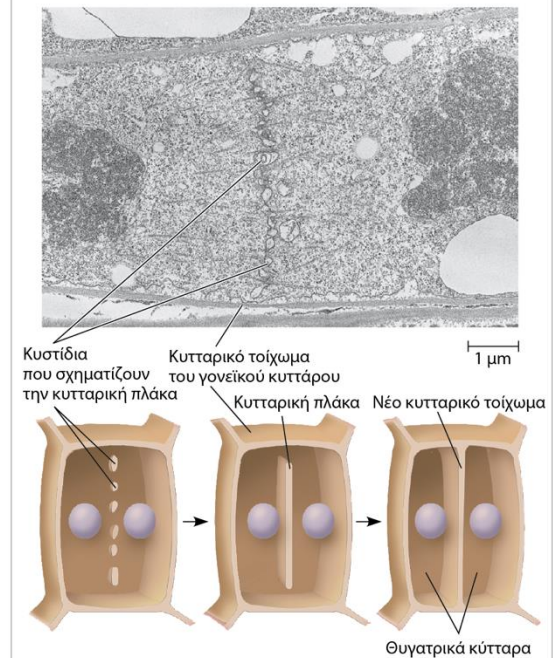
Στο τέλος της τελόφασης κυστίδια από το Golgi συγκεντρώνονται στη μέση του κυττάρου με τη βοήθεια μικροσωληνίσκων → σχηματισμός κυτταρικής πλάκας

Τα κυστίδια συνεχίζουν να μεταφέρονται στο εσωτερικό της πλάκας → σχηματισμός καινούριας μεμβράνης

(α) Η αυλάκωση σε ένα ζωικό κύτταρο (ΗΜΣ)

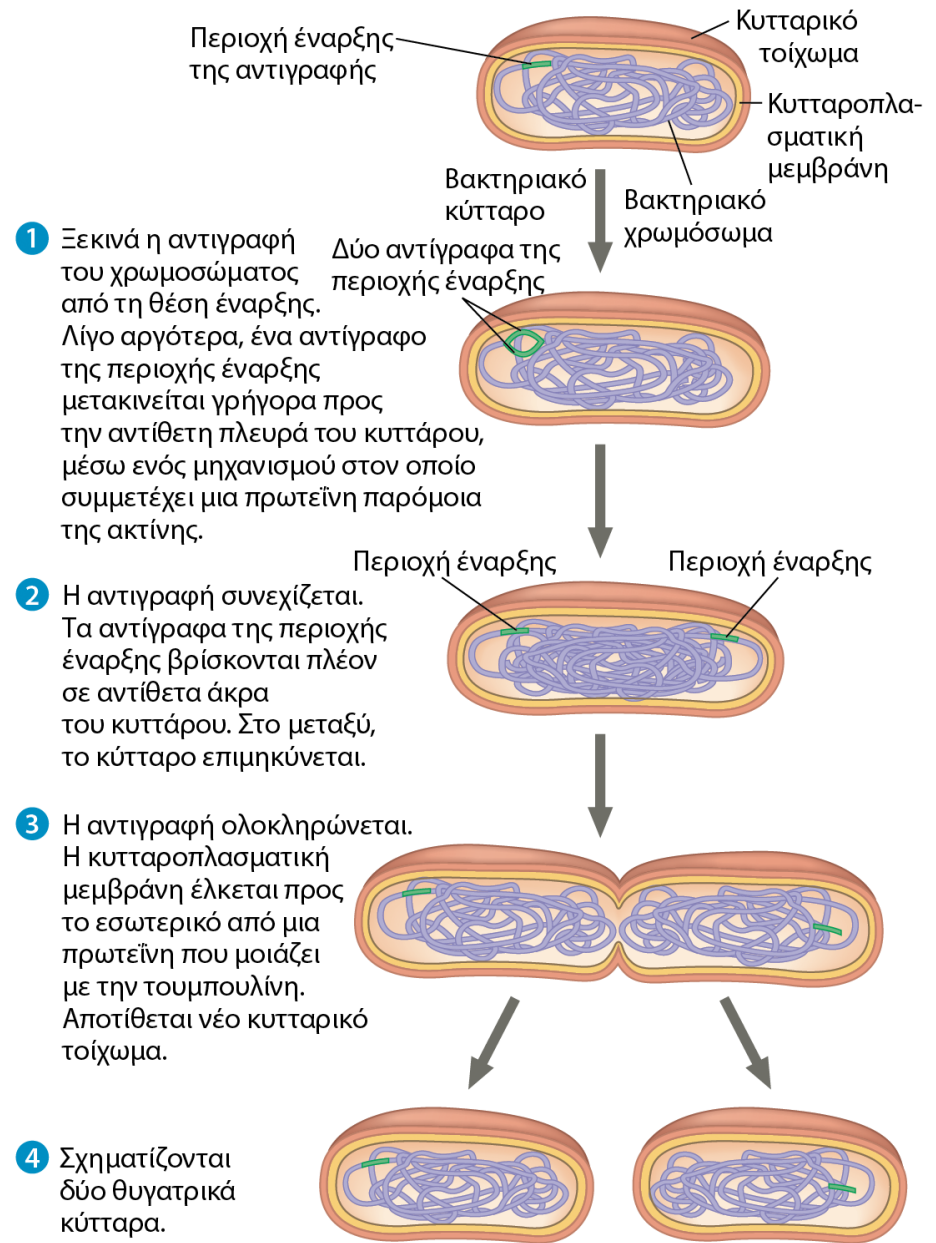


(β) Σχηματισμός της κυτταρικής πλάκας σε ένα φυτικό κύτταρο (ΗΜΔ)



Βακτηριακή διχοτόμηση

- Αύξηση κυτταρικού μεγέθους
- Διχοτόμηση
- Το χρωμόσωμα πολλές φορές είναι πολλαπλάσιο του μήκους του κυττάρου
- Περιοχή έναρξης της αντιγραφής κ μετακίνηση προς την αντίθετη πλευρά του κυττάρου
- Όσο αντιγράφεται το DNA το κύτταρο επιμηκύνεται
- Περίσφιξη κυττάρου μετά την ολοκλήρωση της αντιγραφής κ τελικά διχοτόμηση

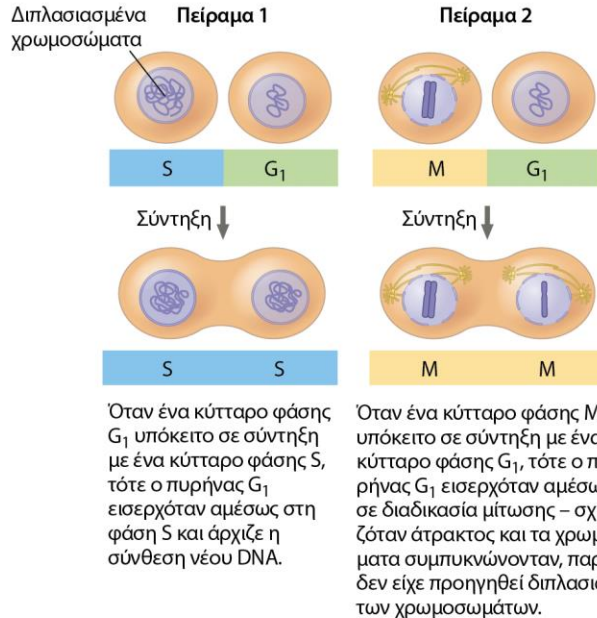


▲ **Εικόνα 12.12** Βακτηριακή κυτταρική διαίρεση με διχοτόμηση. Το βακτήριο *E. coli*, που παρουσιάζεται εδώ σχηματικά, διαθέτει ένα κυκλικό χρωμόσωμα.

Ρυθμίζεται ο κυτταρικός κύκλος από μοριακά σήματα κυτταροπλασματικής προέλευσης;

Πείραμα Ερευνητές του Πανεπιστημίου του Colorado θέλησαν να εξετάσουν αν η μετάβαση ενός κυττάρου από το ένα στάδιο του κυτταρικού κύκλου στο επόμενο ελέγχεται από μόρια του κυτταροπλάσματος. Για να διερευνήσουν το εν λόγω ερώτημα, καλλιέργησαν κύτταρα θηλαστικών και στη συνέχεια προκάλεσαν σύντηξη ανάμεσα σε κύτταρα τα οποία βρίσκονταν σε διαφορετικές φάσεις του κύκλου τους. Εδώ παρουσιάζονται δύο τέτοια πειράματα.

Αποτελέσματα



Συμπέρασμα Τα αποτελέσματα της σύντηξης κυττάρων φάσης G₁ με κύτταρα φάσης S ή M υποδηλώνουν ότι μόρια στο κυτταροπλάσμα των κυττάρων σε φάση S ή M ελέγχουν τη μετάβαση στις φάσεις αυτές.

Δεδομένα από R. T. Johnson and P. N. Rao, Mammalian cell fusion: Induction of premature chromosome condensation in interphase nuclei, *Nature* 226:717–722 (1970).

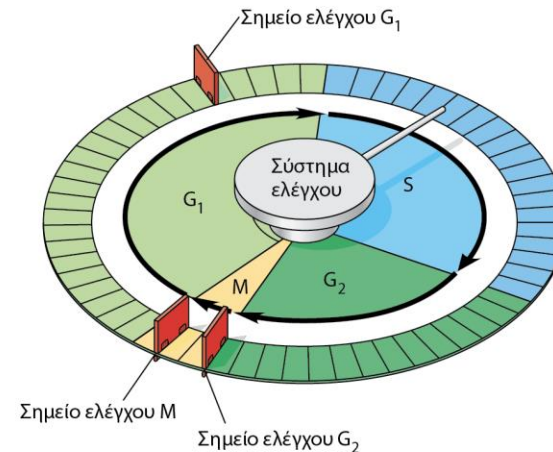
ΤΙ ΘΑ ΓΙΝΟΤΑΝ ΑΝ...; Αν η μετάβαση από μια φάση του κυτταρικού κύκλου στην επόμενη δεν οφειλόταν σε μόρια του κυτταροπλάσματος, και κάθε φάση ξεκινούσε μόνο μετά την ολοκλήρωση της προηγούμενης, σε τι θα διέφεραν τα αποτελέσματα του πειράματος;

Ο ευκαρυωτικός κύκλος ρυθμίζεται από ένα μοριακό σύστημα ελέγχου

Σύστημα ελέγχου

- 1970→ καθοδήγηση από σήματα κυτ/κης προέλευσης

▼ Εικόνα 12.15 Ένα μηχανικό ανάλογο του συστήματος ελέγχου του κυτταρικού κύκλου. Σε αυτό το διάγραμμα του κυτταρικού κύκλου, τα «βήματα» στην περίμετρο αναπαριστούν μια σειρά από διαδοχικά γεγονότα. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι το σύστημα ελέγχου του κυτταρικού κύκλου μοιάζει με το σύστημα ελέγχου ενός αυτόματου πλυντηρίου, όπου οι φάσεις διαδέχονται αυτόματα η μία την άλλη, καθοδηγούμενες από ένα εσωτερικό χρονόμετρο. Ο κυτταρικός κύκλος, ωστόσο, διαθέτει ορισμένα «σημεία ελέγχου» στα οποία η όλη διαδικασία μπορεί να υποστεί ρυθμίσεις από διάφορους ενδοκυττάριους και εξωκυττάριους παράγοντες. Στην εικόνα παρουσιάζονται (με κόκκινο) τρία τέτοια σημεία ελέγχου.

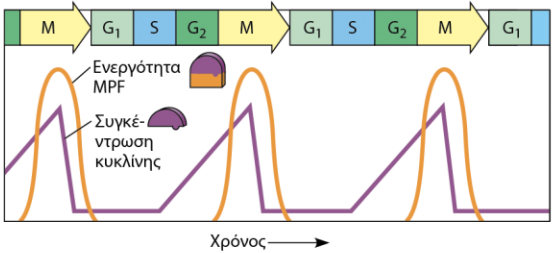


Σημεία ελέγχου

- Χρονικά σημεία στα οποία δρουν σήματα διακοπής ή ελεύθερης συνέχειας (G₁, G₂, M)

Μεζίτη Αλεξάνδρα

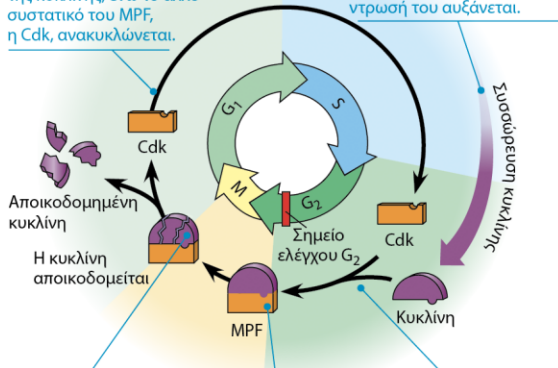
▼ **Εικόνα 12.16** Μοριακός έλεγχος του κυτταρικού κύκλου στο σημείο ελέγχου G₂. Τα επιμέρους στάδια του κυτταρικού κύκλου ρυθμίζονται από τις διακυμάνσεις στην ενεργότητα ορισμένων κυκλινοεξαρτώμενων κινασών (Cdk). Εδώ θα εξετάσουμε ένα σύμπλοκο κυκλίνης-Cdk των ζωικών κυττάρων, το MPF, που δρα στο σημείο ελέγχου G₂ ως σήμα «ελεύθερης διέλευσης», επιτρέποντας την έναρξη των διεργασιών της μίτωσης.



(α) Περιοδικές διακυμάνσεις της ενεργότητας του MPF και της συγκέντρωσης της κυκλίνης κατά τη διάρκεια του κυτταρικού κύκλου

1 Η σύνθεση της κυκλίνης ξεκινά στα τέλη της φάσης S και συνεχίζει καθ' όλη τη διάρκεια της φάσης G₂. Επειδή κατά τη διάρκεια αυτών των σταδίων το μόριο της κυκλίνης παραμένει προστατευμένο και δεν αποικοδομείται, η συγκέντρωσή του αυξάνεται.

5 Κατά τη διάρκεια της φάσης G₁ συνεχίζεται η αποικοδόμηση της κυκλίνης, ενώ το άλλο συστατικό του MPF, η Cdk, ανακυκλώνεται.



2 Η κυκλίνη συνδυάζεται με τη Cdk και σχηματίζει τον MPF. Όταν συσσωρευτούν αρκετά μόρια MPF, το κύτταρο περνά το σημείο ελέγχου G₂ και εισέρχεται στα στάδια της μίτωσης.

3 Ο MPF προάγει τη μίτωση φωσφορυλιώνοντας διάφορες πρωτεΐνες. Η δράση του κορυφώνεται κατά τη μετάφαση.

4 Κατά τη διάρκεια της ανάφασης, αποικοδομείται η κυκλίνη, δηλαδή ένα από τα συστατικά του MPF. Αυτό συνεπάγεται τον τερματισμό της φάσης M και την είσοδο του κυττάρου στη φάση G₁.

(β) Μοριακοί μηχανισμοί που συμβάλλουν στη ρύθμιση του κυτταρικού κύκλου

ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ Εξηγήστε πώς τα γεγονότα του διαγράμματος στο (β) σχετίζονται με τον άξονα του χρόνου του γραφήματος στο (α), ξεκινώντας από αριστερά.

Το ρολόι του κυτταρικού κύκλου, κυκλίνες κ κυκλινοεξαρτώμενες κινάσες

κινάσες: ενώσεις που φωσφορυλιώνουν άλλες πρωτεΐνες επάγοντας την ενεργοποίηση ή την απενεργοποίησή τους

Οι κινάσες του κυτταρικού κύκλου συνήθως είναι σε ανενεργό μορφή.

Κυκλίνη* → ενεργοποίηση κινασών **

* Πήρε το ονομά της από την κυκλική διακυμανσή της

** κυκλινοεξαρτώμενες (cyclin dependent Kinases; Cdk)

Παράγοντας προαγωγής της ωρίμανσης (Maturation promoting factor, MPF) είναι ένα σύμπλοκο κυκλίνης-Cdk που παρουσιάζει ενεργότητα ανάλογη με τη συγκέντρωση της κυκλίνης

- Παράγοντας προαγωγής της φάσης M
- Σημείο ελέγχου G₂
- Φωσφορυλίωση πρωτεϊνών που επάγουν την έναρξη της μίτωσης
- Στην ανάφαση αυτοαπενεργοποιείται πυροδοτώντας την καταστροφή των κυκλινών

Μεζίτη Αλεξάνδρα

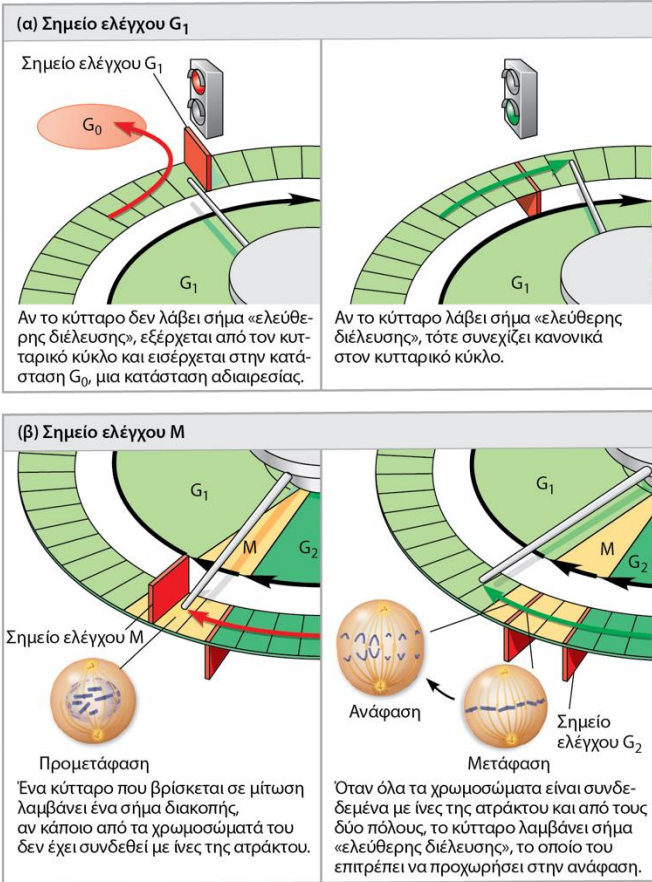
Σήματα «διακοπής» κ «ελευθερης διέλευσης»

Τα σήματα ελέγχουν αν έχουν περατωθεί σωστά ορισμένες διαδικασίες ώστε να ολοκληρωθεί η κυτταρική διαίρεση

- G1 → πολυ σημαντικό σημείο ελέγχου
- Pos → ολοκληρώνονται τα S, G2 και M.
- Neg → παραμονή σε κατάσταση αδιαίρεσίας (Go)
- Τα περισσότερα κύτταρα βρίσκονται σε Go
- Ανάκληση από Go μέσω εξωτερικών σημάτων (π.χ. αυξητικοί παράγοντες μετά από τραυματισμό)

- M → έλεγχος για την εκκίνηση της ανάφασης
- Ξεκινάει μόνο αν όλα τα χρωμοσώματα (κινητοχώρος) έχουν συνδεθεί σωστά στην άτρακτο, στην ισημερινή πλάκα
- Ενεργοποίηση πρωτεϊνών → ενεργοποίηση σεπαράσης → διάσπαση συνεκτινών και διαχωρισμός χρωματίδων

▼ **Εικόνα 12.17** Δύο σημαντικά σημεία ελέγχου. Σε συγκεκριμένα σημεία ελέγχου (κόκκινες πύλες) του κυτταρικού κύκλου, τα κύτταρα ενεργούν διαφορετικά, ανάλογα με τα σήματα που λαμβάνουν. Στην εικόνα παρουσιάζονται αυτές οι διαφορές για τα σημεία (α) G₁ και (β) M. Στο (β), το κύτταρο έχει ήδη περάσει από το σημείο ελέγχου G₂.



ΤΙ ΘΑ ΓΙΝΟΤΑΝ ΑΝ...; Ποιο μπορεί να είναι το αποτέλεσμα, αν ένα κύτταρο αγνοήσει τα σημεία ελέγχου και συνεχίσει την πορεία του στον κυτταρικό κύκλο;

Παρατηρώντας ένα κύτταρο στο μικροσκόπιο βλέπετε να σχηματίζεται στο μέσον του μια κυτταρική πλάκα και δύο νέοι πυρήνες εκατέρωθεν. Το κύτταρο αυτό είναι πιθανότατα

1. Ζωικό κύτταρο σε διαδικασία κυτταροκίνησης
2. Φυτικό κύτταρο σε διαδικασία κυτταροκίνησης
3. Διαιρούμενο βακτηριακό κύτταρο
4. Φυτικό κύτταρο στη μετάφαση

Η μείωση της ενεργότητας του MPF στο τέλος της μίτωσης οφείλεται

1. Στην καταστροφή της πρωτεϊνικής κινάσης Cdk
2. Στη μειωμένη σύνθεση της πρωτεϊνικής κινάσης Cdk
3. Στην αποικοδόμηση της κυκλίνης
4. Στη συσσώρευση της κυκλίνης

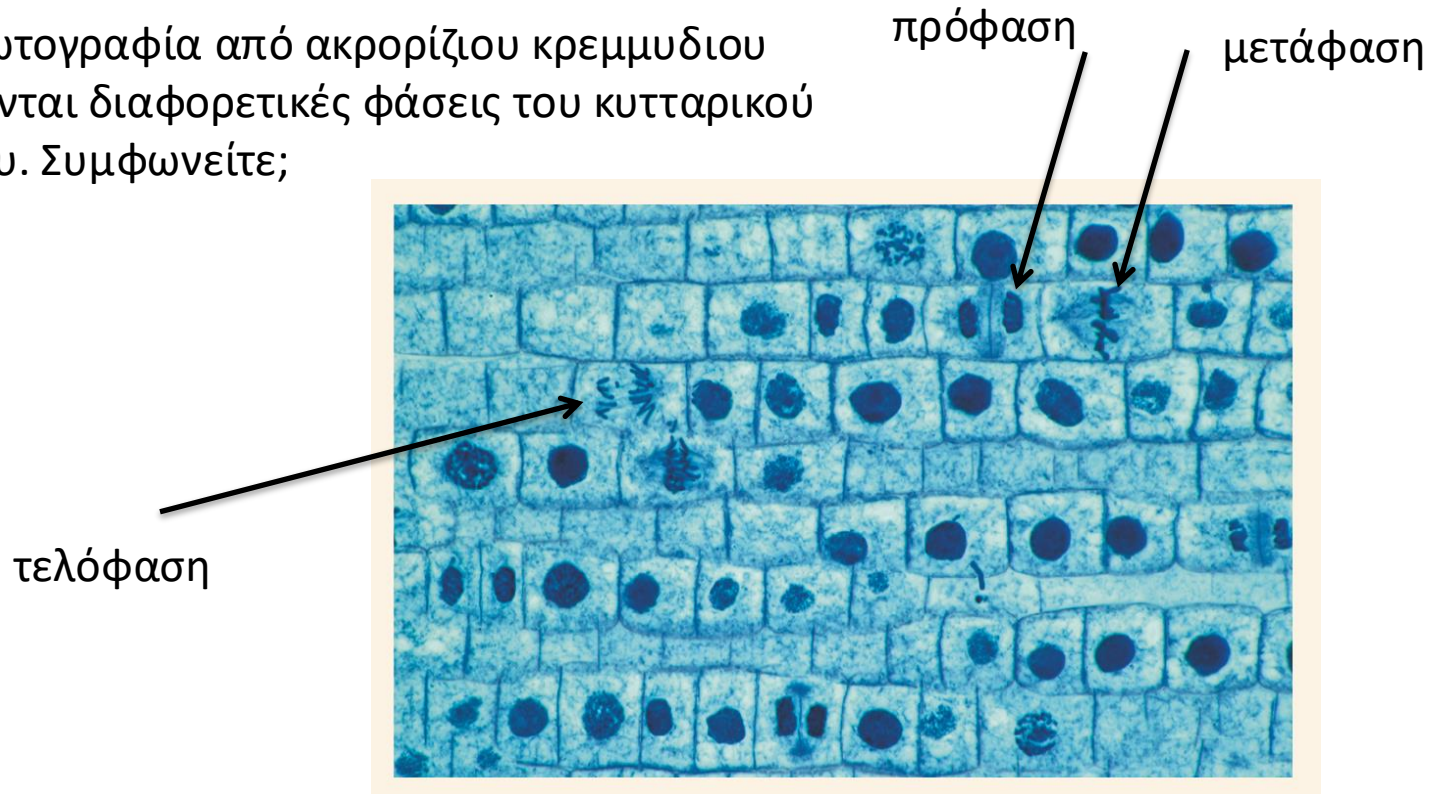
Ποιο απο τα παρακάτω συμβαίνει στη φάση S

1. Η συμπύκνωση των χρωμοσωμάτων
2. Η αντιγραφή του DNA
3. Ο διαχωρισμός των αδελφών χρωματίδων
4. Ο σχηματισμός της ατράκτου

Το φάρμακο κυτοχάλασίνη Β εμποδίζει τη λειτουργία της ακτίνης. Ποιες από τις ακόλουθες διεργασίες επηρεάζονται περισσότερο;

1. Ο σχηματισμός της ατράκτου
2. Η πρόσδεση της ατράκτου στους κινητοχώρους
3. Η επιμήκυνση του κυττάρου κατά την ανάφαση
4. Ο σχηματισμός της αύλακας διαίρεσης κ η κυτταροκίνηση

Στη φωτογραφία από ακρορίζιου κρεμμυδιού φαίνονται διαφορετικές φάσεις του κυτταρικού κύκλου. Συμφωνείτε;



Φυλετική κ Αφυλετική αναπαραγωγή

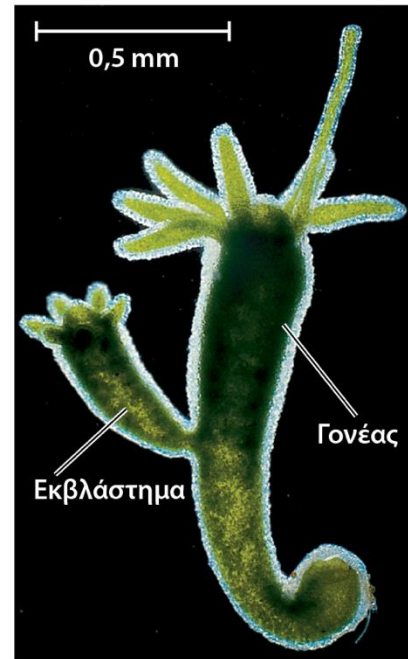
Στην αφυλετική αναπαραγωγή υπάρχει μόνο ένας γονέας

- Συνήθως μονοκύτταροι οργανισμοί αλλά κ κάποιοι πολυκύτταροι (Υδρόζωα, φυτά, μύκητες)
- Το άτομο που προκύπτει είναι κλώνος του γονέα.
- Όποιες διαφορές οφείλονται σε μεταλλάξεις

Στη φυλετική αναπαραγωγή υπάρχουν δύο γονείς

- Μοναδικός συνδυασμός γονιδίων στους απογόνους
- Μοναδικότητα που καθορίζεται κ από τη συμπεριφορά των χρωμοσωμάτων

▼ **Εικόνα 13.2** Αφυλετική αναπαραγωγή σε δύο πολυκύτταρους οργανισμούς. (α) Η ύδρα είναι ένα σχετικά απλό ζώο που αναπαράγεται με εκβλάστηση. Το εκβλάστημα, μια εντοπισμένη μάζα μιτωτικά διαιρούμενων κυττάρων, αναπτύσσεται σε μια μικρή ύδρα, η οποία αποκολλάται από τον γονέα (μικροφωτογραφία από οπτικό μικροσκόπιο). (β) Και οι τρεις αυτές κυκλικά διατεταγμένες σεκόγιες έχουν προκύψει μέσω αφυλετικής αναπαραγωγής από έναν μοναδικό γονέα, ο κορμός του οποίου καταλαμβάνει το κέντρο του κύκλου.



(α) Ύδρα



(β) Σεκόγιες

Σειρές χρωμοσωματων στον άνθρωπο

Συνολικά 46 χρωμοσώματα

Ταξινόμηση σε 23 τυπους

Κατάταξη σε ζευγη ανάλογα με το μέγεθος

→ Καρυότυπος

→ 23 ζεύγη ομόλογων χρωμοσωμάτων

→ Τα γονίδια που ελέγχουν ίδια χαρακτηριστικά βρίσκονται στον ίδιο γενετικό τόπο στα ομόλογα χρωμοσώματα

Τα Χ και Υ αποτελούν εξαίρεση

→ Εμφανίζουν ομολογία αλλά μόνο σε περιορισμένες περιοχές

→ Θηλυκα 2Χ/ Αρσενικα ΧΥ

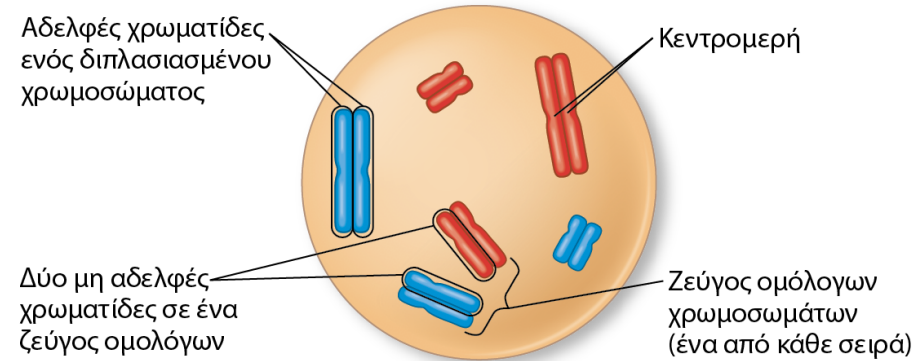
→ Φυλετικά χρωμοσώματα vs Αυτοσωματικών χρωμοσωμάτων

Σωματικά κύτταρα → διπλοειδή

Φυλετικά κύτταρα → απλοειδή

▼ **Εικόνα 13.4 Περιγραφή των χρωμοσωμάτων.** Το κύτταρο που βλέπουμε εδώ έχει διπλοειδή αριθμό χρωμοσωμάτων 6 ($2n = 6$) και βρίσκεται στο στάδιο που έπεται του διπλασιασμού και της συμπύκνωσης των χρωμοσωμάτων. Μετά τον διπλασιασμό, καθένα από τα έξι χρωμοσώματα αποτελείται από δύο αδελφές χρωματίδες, στενά συνδεδεμένες σε όλο το μήκος τους. Κάθε ομόλογο ζεύγος αποτελείται από ένα χρωμόσωμα από τη μητρική σειρά (κόκκινο) και ένα από την πατρική (μπλε). Εδώ, κάθε σειρά ομόλογων χρωμοσωμάτων αποτελείται από τρία χρωμοσώματα (ένα επίμηκες, ένα μέσου μήκους και ένα βραχύ). Μια πατρικής και μια μητρικής προέλευσης χρωματίδα σε ένα ζεύγος ομόλογων χρωμοσωμάτων αποκαλούνται *μη αδελφές*.

Κλειδιά ■ Μητρική σειρά χρωμοσωμάτων ($n = 3$) ■ Πατρική σειρά χρωμοσωμάτων ($n = 3$) $\left. \vphantom{\begin{array}{l} \text{■} \\ \text{■} \end{array}} \right\} 2n = 6$



ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ Πόσες σειρές χρωμοσωμάτων απεικονίζονται στο διάγραμμα της εικόνας; Πόσα ζεύγη ομόλογων χρωμοσωμάτων υπάρχουν; Εάν επανασχεδιάζονταν οι φάσεις της μίτωσης στην Εικόνα 12.7 με βάση τον χρωματικό κώδικα που παρουσιάζεται εδώ, πώς θα χρωματίζονταν τα έξι χρωμοσώματα; Εξηγήστε.

Μείωση/ ποικιλία αναπαραγωγικών κύκλων

Μείωση → παραγωγή γαμετών (ωάριο/ σπερματοζωάριο)

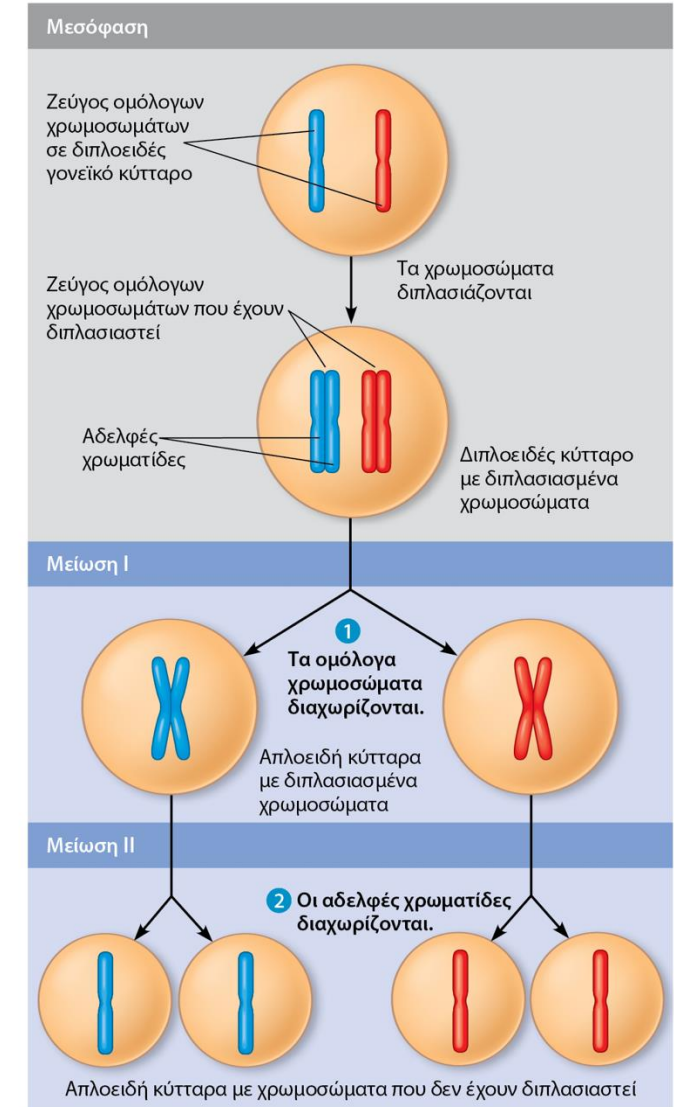
→ μείωση χρωμοσωμάτων στο μισό

Εναλλαγή γενεών

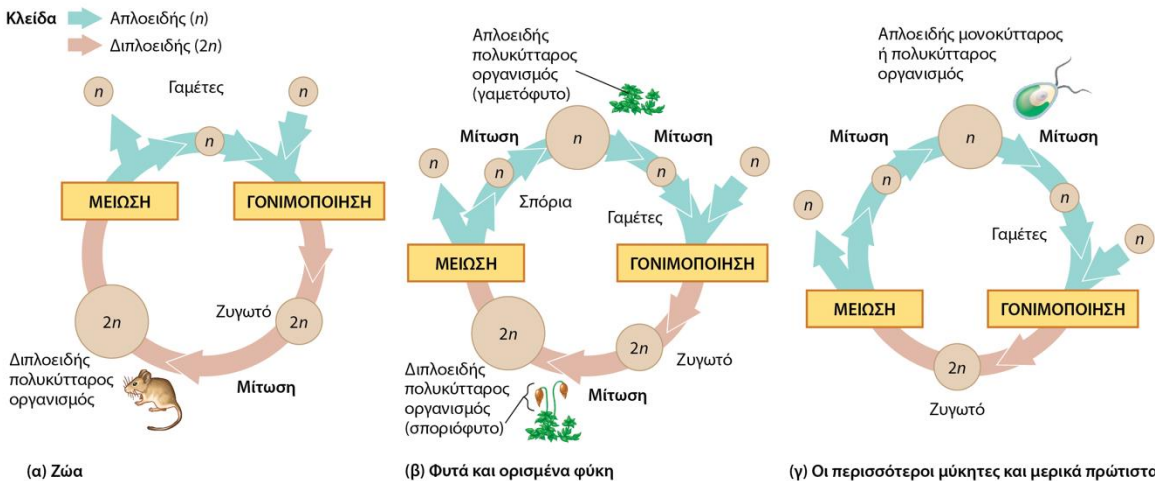
→ Διαδοχική διέλευση από απλοειδές (γαμετόφυτο → παραγωγή γαμετών μέσω μίτωσης) σε διπλοειδές (σποριόφυτο) πολυκύτταρο στάδιο

→ Δημιουργία ζυγωτού κ μείωση χωρίς ανάπτυξη → μιτωση απλοειδής πολυκύτταρος οργανισμός

▼ **Εικόνα 13.7** Επισκόπηση της μείωσης: Πώς ελαττώνεται ο αριθμός των χρωμοσωμάτων κατά τη μείωση. Μετά τον διπλασιασμό των χρωμοσωμάτων κατά τη μεσόφαση, το διπλοειδές κύτταρο διαιρείται δύο φορές, παράγοντας τέσσερα απλοειδή θυγατρικά κύτταρα. Εδώ, βλέπουμε ένα μόνο ζεύγος ομόλογων χρωμοσωμάτων που, για λόγους απλούστευσης, έχουν σχεδιαστεί στη συμπυκνωμένη τους μορφή σε όλες τις φάσεις. (Φυσιολογικά, δεν βρίσκονται σε συμπυκνωμένη μορφή κατά τη μεσόφαση.)



▼ **Εικόνα 13.6** Τρεις τύποι φυλετικού βιολογικού κύκλου. Κοινό γνώρισμα και των τριών κύκλων είναι η εναλλαγή μείωσης και γονιμοποίησης, των δύο βασικών διεργασιών που συμβάλλουν στη γενετική ποικιλομορφία των απογόνων. Ο χρονισμός των διεργασιών αυτών διαφέρει από κύκλο σε κύκλο. (Στην εικόνα τα κύτταρα απεικονίζονται με μικρό κύκλο, ενώ οι οργανισμοί με μεγάλο κύκλο.)



ΣΧΕΔΙΑΣΤΕ Ξανασχεδιάστε τα κύτταρα της εικόνας, αναπαριστώντας κάθε μόριο DNA ως μια διπλή έλικα.

ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ Για κάθε τύπο βιολογικού κύκλου, εξηγήστε αν τα απλοειδή

Πρόφαση I

Τελόφαση I και κυτταροκίνηση

- Στην αρχή της τελόφασης I, κάθε ήμισυ του κυττάρου έχει μια πλήρη σειρά ομόλογων διπλασιασμένων χρωμοσώματων. Κάθε χρωμόσωμα αποτελείται από δύο αδελφές χρωματίδες. Η μία χρωματίδα (ή και οι δύο) περιλαμβάνει περιοχές DNA από την αντίστοιχη μη αδελφή.
- Η κυτταροκίνηση (διαίρεση του κυτταροπλάσματος) γίνεται συνήθως παράλληλα με την τελόφαση I, σχηματίζοντας δύο απλοειδή θυγατρικά κύτταρα.
- Στα ζωικά κύτταρα σχηματίζεται η **αύλακα διαίρεσης**. (Στα φυτικά κύτταρα σχηματίζεται η **κυτταρική πλάκα**.)
- Σε ορισμένα είδη, τα χρωμοσώματα αποσυμπυκνώνονται και αρχίζει εκ νέου η δημιουργία πυρηνικού φακέλου.
- Μεταξύ μείωσης I και μείωσης II δεν πραγματοποιείται διπλασιασμός των χρωμοσώματων.

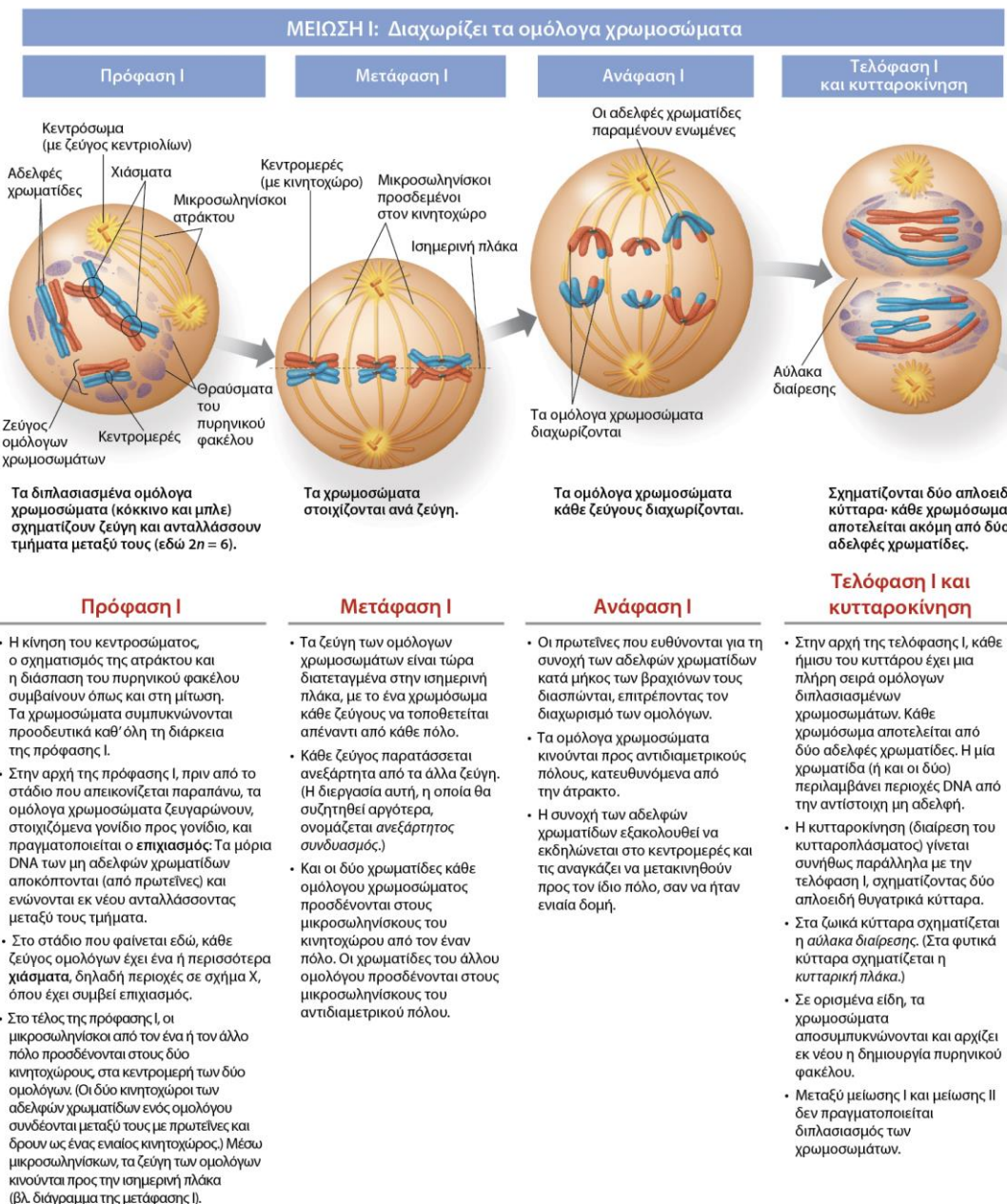
ται για τη
ματίδων
ν τους
τον

Ι.

λ
ρικούς
τό

να
ερέες και
λούν

ήταν



ΣΥΣΧΕΤΙΣΤΕ Μελετήστε την Εικόνα 12.7 και φανταστείτε ότι τα δύο θυγατρικά κύτταρα υφίστανται ακόμα έναν κύκλο μίτωσης, παράγοντας τέσσερα κύτταρα. Συγκρίνετε τον αριθμό των χρωμοσώματων σε καθένα από αυτά τα τέσσερα κύτταρα, μετά τη μίτωση, με τον αριθμό των χρωμοσώματων σε κάθε κύτταρο της Εικόνας 13.8, μετά τη μείωση. Εξηγήστε πώς η διεργασία της μείωσης οδηγεί σε αυτή τη διαφορά, παρά το γεγονός ότι και αυτή περιλαμβάνει δύο κύκλους κυτταρικής διαίρεσης.

Τελόφαση II και κυτταροκίνηση

- Σχηματίζονται πυρήνες, τα χρωμοσώματα αρχίζουν να αποσυμπυκνώνονται και πραγματοποιείται η κυτταροκίνηση.
- Από τη μειωτική διαίρεση ενός γονεϊκού κυττάρου προκύπτουν τέσσερα θυγατρικά κύτταρα, καθένα με μια απλοειδή σειρά ομόλογων (μη διπλασιασμένων) χρωμοσωμάτων.
- Καθένα από τα τέσσερα θυγατρικά κύτταρα διαφέρει γενετικά από τα τρία άλλα, όσο και από το γονεϊκό κύτταρο.

ΜΕΙΩΣΗ II: Διαχωρίζει τις αδελφές χρωματίδες

Πρόφαση II

Μετάφαση II

Ανάφαση II

Τελόφαση II και κυτταροκίνηση

Ο τελικός διαχωρισμός των δύο αδελφών χρωματίδων γίνεται στον δεύτερο κύκλο κυτταρικής διαίρεσης: τα τέσσερα απλοειδή θυγατρικά κύτταρα που προκύπτουν περιέχουν μη διπλασιασμένα χρωμοσώματα.

Οι αδελφές χρωματίδες διαχωρίζονται

Σχηματισμός απλοειδών θυγατρικών κυττάρων

II

Μετάφαση II

Ανάφαση II

Τελόφαση II και κυτταροκίνηση

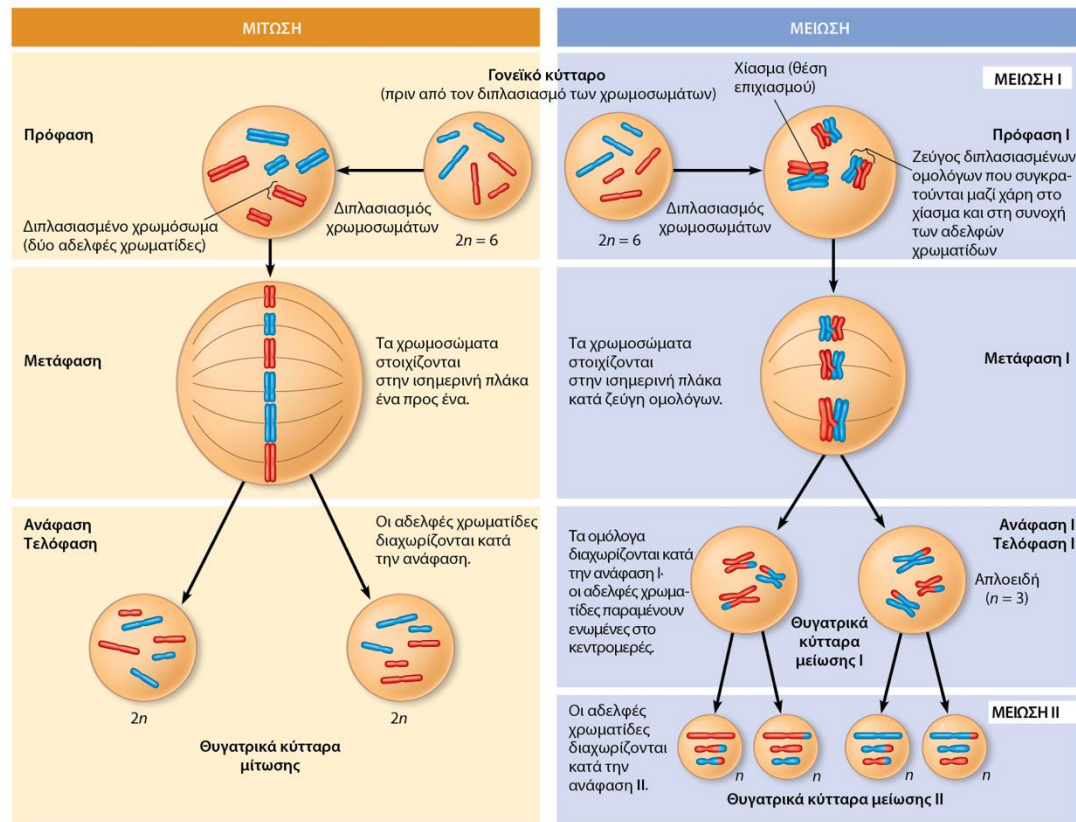
τος.
σης II (δεν
μοσώματα
στελούνται
ενωμένες
μέσω των
τακινούνται
λάκα της

- Τα χρωμοσώματα παίρνουν θέση στην ισημερινή πλάκα, όπως και κατά τη μίτωση.
- Λόγω του επιχiasμού κατά τη μείωση I, οι δύο αδελφές χρωματίδες κάθε χρωμοσώματος δεν είναι πλέον γενετικά πανομοιότυπες.
- Οι κινητοχώροι των αδελφών χρωματίδων προσδένονται σε μικροσωληνίσκους που εκτείνονται από αντιδιαμετρικούς πόλους.

- Οι πρωτεΐνες που βρίσκονται στο κεντρομερές και συγκρατούν ενωμένες τις αδελφές χρωματίδες διασπώνται, επιτρέποντας τον διαχωρισμό τους. Οι χρωματίδες κινούνται προς τους αντιδιαμετρικούς πόλους ως ανεξάρτητα χρωμοσώματα.

- Σχηματίζονται πυρήνες, τα χρωμοσώματα αρχίζουν να αποσυμπυκνώνονται και πραγματοποιείται η κυτταροκίνηση.
- Από τη μειωτική διαίρεση ενός γονεϊκού κυττάρου προκύπτουν τέσσερα θυγατρικά κύτταρα, καθένα με μια απλοειδή σειρά ομόλογων (μη διπλασιασμένων) χρωμοσωμάτων.
- Καθένα από τα τέσσερα θυγατρικά κύτταρα διαφέρει γενετικά από τα τρία άλλα, όσο και από το γονεϊκό κύτταρο.

▼ Εικόνα 13.10 Σύγκριση μίτωσης και μείωσης.



ΣΥΝΟΨΗ		
Ιδιότητα	Μίτωση (συμβαίνει και στα διπλοειδή και στα απλοειδή κύτταρα)	Μείωση (συμβαίνει μόνο στα διπλοειδή κύτταρα)
Αντιγραφή του DNA	Γίνεται στη μεσόφαση, πριν αρχίσει η μίτωση	Γίνεται στη μεσόφαση, πριν από τη μείωση I, αλλά όχι πριν από τη μείωση II
Αριθμός διαιρέσεων	Μία διαίρεση, η οποία περιλαμβάνει πρόφαση, προμετάφαση, μετάφαση, ανάφαση και τελόφαση	Δύο διαιρέσεις, καθεμία εκ των οποίων περιλαμβάνει πρόφαση, μετάφαση, ανάφαση και τελόφαση
Σύναψη ομολόγων χρωμοσωμάτων	Δεν συμβαίνει	Συμβαίνει κατά την πρόφαση I, μαζί με τον επιχiasμό μεταξύ μη αδελφών χρωματίδων - τα προκύπτοντα χιάσματα συγκρατούν τα ζεύγη ενωμένα λόγω της συνοχής των αδελφών χρωματίδων
Αριθμός θυγατρικών κυττάρων και γενετική σύσταση	Δύο κύτταρα, γενετικά πανομοιότυπα με το γονεϊκό, και με τον ίδιο αριθμό χρωμοσωμάτων	Τέσσερα απλοειδή κύτταρα (n), γενετικά διαφορετικά μεταξύ τους όσο και με το γονεϊκό κύτταρο
Ρόλος στα ζώα, στους μύκητες και στα φυτά	Επιτρέπει την ανάπτυξη ενός πολυκύτταρου ζώου, μύκητα ή φυτού (γαμετόφυτου ή σποριόφυτου) από ένα μεμονωμένο κύτταρο· παράγει κύτταρα για την αύξηση, την επιδιόρθωση και, σε ορισμένα είδη, για την αφυλετική αναπαραγωγή· παράγει γαμέτες στα φυτικά γαμετόφυτα	Παράγει γαμέτες (στα ζώα) ή σπόρια (στους μύκητες και στα σποριόφυτα)· υποδιπλασιάζει τον αριθμό των χρωμοσωμάτων και διαμορφώνει γενετική ποικιλομορφία μεταξύ των γαμετών ή των σπορίων

ΣΧΕΔΙΑΣΤΕ Θα μπορούσαν από τα κύτταρα που παρουσιάζονται στην τελόφαση I να προκύψουν άλλοι συνδυασμοί χρωμοσωμάτων κατά τη μείωση II; Εξηγήστε. (Υπόδειξη: Σχεδιάστε τα κύτταρα όπως θα εμφανίζονταν στη μετάφαση II.)

Συνάψεις κ επιχιασμοί κατά την πρόφαση Ι

Εντατικές διεργασίες κατά την προφαση Ι

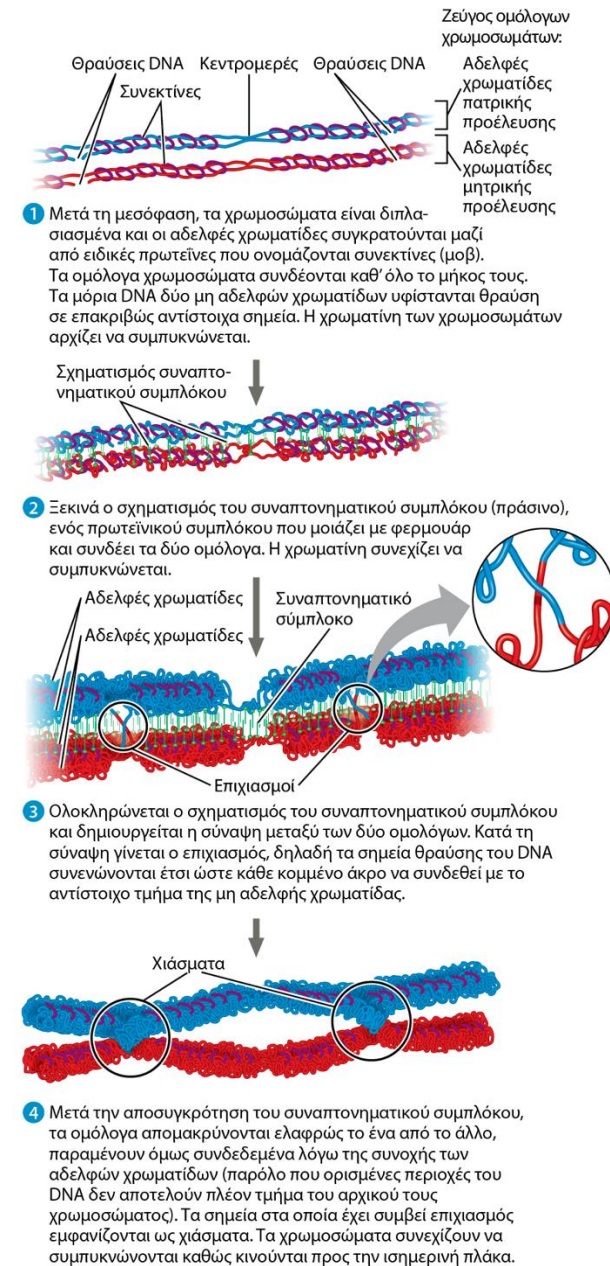
Αρχή πρόφασης Ι → χαλαρή σύνδεση χρωμοσωμάτων/
Ευθυγράμμιση γονιδίων

Σχηματισμός συναπτονηματικού συμπλοκου →
πρωτεϊνική δομή σαν φερμουάρ, που συγκρατεί
ενωμένα τα δύο ομόλογα → σύναψη

Τα θραύσματα του DNA ενώνονται με περιοχές της μη
αδελφής χρωματίδας

Μετά την αποσυγκρότηση του συμπλόκου τα ομόλογα
χρωμοσώματα απωθούνται ελάχιστα και γίνονται
ορατά τα χιάσματα

▼ **Εικόνα 13.9** Μια λεπτομερέστερη παρουσίαση της σύναψης και του επιχιασμού που συμβαίνουν κατά την πρόφαση Ι.



Η γενετική ποικιλομορφία που προκύπτει από τους κύκλους της φυλετικής αναπαραγωγή συμβάλλει στην εξέλιξη των ειδών

- Ανεξάρτητος συνδυασμός των χρωμοσωμάτων
 - τυχαία τοποθέτηση στην ισημερινή πλάκα **στη μετάφαση της Μειώσης I**
 - Για κάθε ζεύγος υπάρχουν δύο πιθανές τοποθετήσεις
 - Για 23 ζεύγη οι πιθανοί συνδυασμοί μητρικών κ πατρικών χρωμοσωμάτων $\Rightarrow 2^{23}$
- Επιχiasμοί
 - Υπόθεση → κάθε χρωμόσωμα ενός γαμέτη είναι μητρικής ή πατρικής προέλευσης
 - Πραγματικότητα → 1-3 ανασυνδυασμοί/ ζευγος χρωμοσωμάτων κατά τη Μείωση → νέοι συνδυασμοί μητρικών κ πατρικών αλληλόμορφων
 - Προσανατολισμός με δύο διαφορετικούς τρόπους στην μετάφαση II (οι αδελφές χρωματίδες δεν είναι πλέον πανομοιότυπες)
- Τυχαία γονιμοποίηση
 - $2^{23} \times 2^{23} \rightarrow 70$ τρις πιθανά ζυγωτά

Εξελικτική σημασία της γενετικής ποικιλομορφίας

Δαρβίνος: ένας πληθυσμός εξελίσσεται μέσω της διαφορικής αναπαραγωγικής επιτυχίας των ποικιλόμορφων μελών του.

Τα άτομα που είναι καλύτερα προσαρμοσμένα σε ένα περιβάλλον αφήνουν περισσότερους απογόνους κ μεταβιβάζουν τα γονίδια τους.

Συσσώρευση γενετικών παραλλαγών που ευνοούνται από το περιβάλλον.

Σε μεταβαλλόμενο περιβάλλον;;;

→ Κάποια μέλη θα πρέπει να είναι σε θέση να δώσουν απογόνους → ποικιλία αλληλομόρφων.

Σε ένα σταθερό περιβάλλον η φυλετική αναπαραγωγή φαίνεται να είναι λιγότερο ωφέλιμη από την αφυλετική, σίγουρα πάντως είναι πιο δαπανηρή.

Γιατί έχει επικρατήσει;

Τα ομόλογα χρωμοσώματα κινούνται προς τους αντιδιαμετρικούς πόλους ενός διαρούμενου κυττάρου κατά τη

1. Μίτωση
2. Μείωση I
3. Μείωση II
4. Γονιμοποίηση

Η μείωση II μοιάζει με τη μίτωση ως προς το ότι

1. Οι αδελφές χρωματίδες διαχωρίζονται κατά την ανάφαση
2. Το DNA διπλασιάζεται πριν τη διαίρεση
3. Τα θυγατρικά κύτταρα είναι διπλοειδή
4. Τα ομόλογα χρωμοσώματα έρχονται σε σύναψη

Πολλά είδη μπορούν να αναπαρχθουν είτε φυλετικά ή αφυλετικά. Ποια μπορεί να είναι η εξελικτική σημασία της μετάβασης από την αφυλετική στη φυλετική αναπαραγωγή που πραγματοποιούν ορισμένοι οργανισμοί όταν το περιβάλλον γίνεται δυσμενές;