

ΜΙΤΩΣΗ

Η διαίρεση του κυττάρου δεν είναι μια απλή διαδικασία, όπως για παράδειγμα μια φυσαλίδα που καθώς μεγαλώνει χωρίζεται στα δύο. Η κυτταρική διαίρεση περιλαμβάνει τον ακριβοδίκαιο διαμορισμό του γενετικού υλικού στα δύο θυγατρικά κύτταρα. Η συνολική κληρονομική «προιόκα» του κυττάρου ονομάζεται **γονιδίωμα** το οποίο αποτελείται από μόρια DNA. Κατά μήκος του μορίου του DNA είναι διατεταγμένα χιλιάδες γονίδια, οι κληρονομικές μονάδες που καθορίζουν τους χαρακτήρες του οργανισμού. Στους ευκαρυωτικούς οργανισμούς τα μόρια του DNA σχηματίζουν χρωματοσώματα που είναι ορατά με οπτικό μικροσκόπιο μόνο κατά την περίοδο της κυτταρικής διαίρεσης. Καθώς το κύτταρο ετοιμάζεται να διαιρεθεί, αντιγράφεται το γενετικό του υλικό (DNA). Ακολουθεί η διαίρεση στα δύο.

Τα γονίδια βρίσκονται, όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, στα χρωματοσώματα. Κάθε είδος ευκαρυωτικού οργανισμού έχει το δικό του σταθερό αριθμό χρωματοσωμάτων. Τα ανθρώπινα **σωματικά** κύτταρα έχουν 46 χρωματοσώματα σε αντίθεση με τα αναπαραγωγικά κύτταρα, τους **γαμέτες**, που φέρουν μόνο 23 χρωματοσώματα. Κάθε χρωματόσωμα αποτελείται από ένα μακρύ και γραμμικό μόριο DNA το οποίο συνοδεύεται από διάφορες πρωτεΐνες που βοηθούν στη δράση των γονιδίων ή ακόμη προσφέρουν στήριξη στο DNA όπως για παράδειγμα οι πρωτεΐνες **ιστόνες**. Το σύμπλεγμα DNA-πρωτεΐνης ονομάζεται **νημάτιο χρωματίνης** και δημιουργεί ένα συμπαγές σώμα που αποτελείται από μακρά και λεπτή ίνα αναδιπλωμένη πολυάριθμες φορές, σχηματίζοντας τελικά το αυτοδιπλασιασμένο χρωματόσωμα μετά τον αυτοδιπλασιασμό της χρωματίνης καθώς το κύτταρο ετοιμάζεται να μπει στη διαδικασία της κυτταρικής διαίρεσης. Το 1879, ο Γερμανός ανατόμος Fleming παρατήρησε ότι στον πυρήνα υπάρχει χαρακτηριστικό νηματοειδές υλικό. Παρατήρησε πως τα νημάτια που συνιστούν το υλικό αυτό κόβονται για να διανεμηθούν στα θυγατρικά κύτταρα. Ο Fleming ονόμασε την ακολουθία των φαινομένων **μίτωση**, από τη λέξη μίτος που σημαίνει νήμα. **Στόχος της μίτωσης** είναι ο πολλαπλασιασμός των κυττάρων, η διατήρηση σταθερού αριθμού χρωματοσωμάτων, η αύξηση του σώματος στους πολυκύτταρους οργανισμούς, η αναπλήρωση των κυττάρων που πεθαίνουν, η επούλωση πληγών και η αναπαραγωγή μονοκύτταρων οργανισμών.

Όταν το κύτταρο δε διαιρείται, λέγεται ότι βρίσκεται στο στάδιο της **μεσόφασης**. Στη φάση αυτή το κύτταρο αναπτύσσεται με τη σύνθεση πρωτεϊνών και την παραγωγή κυτταροπλασματικών οργανιδίων ενώ γίνεται και ο αυτοδιπλασιασμός των χρωματοσωμάτων.

Η διαδικασία της κυτταρικής διαίρεσης περιλαμβάνει αντιγραφή του γονιδιώματος και αυτό επιτυγχάνεται με τον αυτοδιπλασιασμό των χρωματοσωμάτων. Μετά τον αυτοδιπλασιασμό, κάθε χρωματόσωμα αποτελείται από δύο **χρωματίδες**. Οι δύο χρωματίδες συγκρατούνται από το **κεντρομερίδιο**. Κατά τη μίτωση, οι δύο χρωματίδες αποχωρίζονται και μεταφέρονται σε δύο διαφορετικά κύτταρα ως πλήρη χρωματοσώματα. Ο όρος μίτωση αναφέρεται στη διαίρεση του πυρήνα και όχι του κυτταροπλάσματος. Για τη διαίρεση του κυτταροπλάσματος που ακολουθεί τη μίτωση, χρησιμοποιείται ο όρος **κυτταροπλασματική διαίρεση**. Έχει όμως επικρατήσει ο όρος μίτωση να περιλαμβάνει την πυρηνική και την κυτταρική διαίρεση.

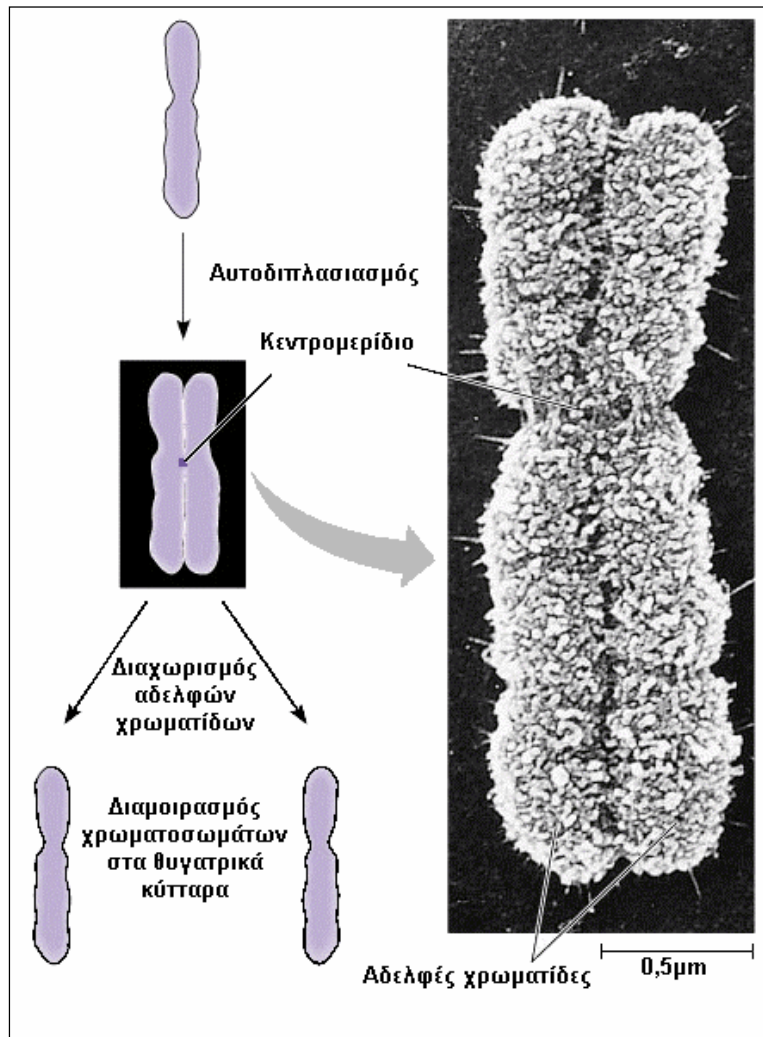
Αυτοδιπλασιασμός-Διαμορισμός χρωματοσωμάτων στα θυγατρικά κύτταρα.

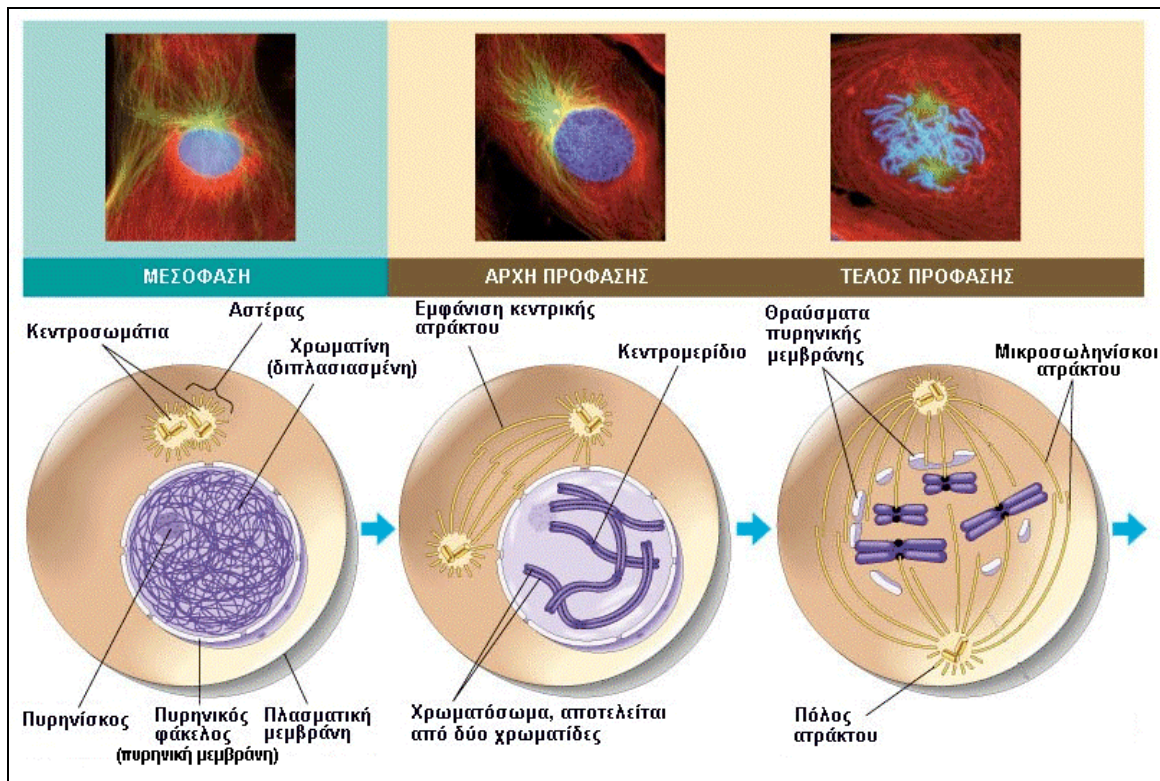
Το σχεδιάγραμμα πιο κάτω παριστάνει τον αυτοδιπλασιασμό και το διαμορισμό των χρωματοσωμάτων στα θυγατρικά κύτταρα.

Εικ.13.1 Αυτοδιπλασιασμός των χρωματοσωμάτων και ο διαμοιρασμός τους στα θυγατρικά κύτταρα κατά τη μίτωση

Καθώς το κύτταρο ετοιμάζεται να μπει στη διαδικασία της διαίρεσης, διπλασιάζει τα χρωματοσώματά του. Κάθε ένα αυτοδιπλασιασμένο χρωματοσώμα αποτελείται από δύο αδελφές χρωματίδες συνδεδεμένες στο κεντρομερίδιο. Το μικρογράφημα δείχνει ανθρώπινο χρωματοσώμα που έχει αυτοδιπλασιαστεί. Το χρωματοσώμα παρουσιάζει αυτή την «τριχωτή» εμφάνιση επειδή κάθε χρωματίδα αποτελείται από ένα εξαιρετικά μακρύ νημάτιο χρωματίνης που είναι διπλωμένη σε μια πολύ συμπαγή μάζα. Το νημάτιο της χρωματίνης είναι ένα μόνο μόριο DNA που είναι συνδεδεμένο με μόρια πρωτεΐνης. Τα μόρια DNA των αδελφών χρωματίδων είναι πανομοιότυπα

Η μίτωση είναι μια δυναμική διαδικασία αλλά για σκοπούς περιγραφής και μόνο, τη χωρίζουμε σε στάδια: **πρόφαση**, **μετάφαση**, **ανάφαση** και **τελόφαση**. Οι εικόνες 13.2 και 13.3 περιγράφουν το μηχανισμό της μίτωσης με περισσότερη λεπτομέρεια.



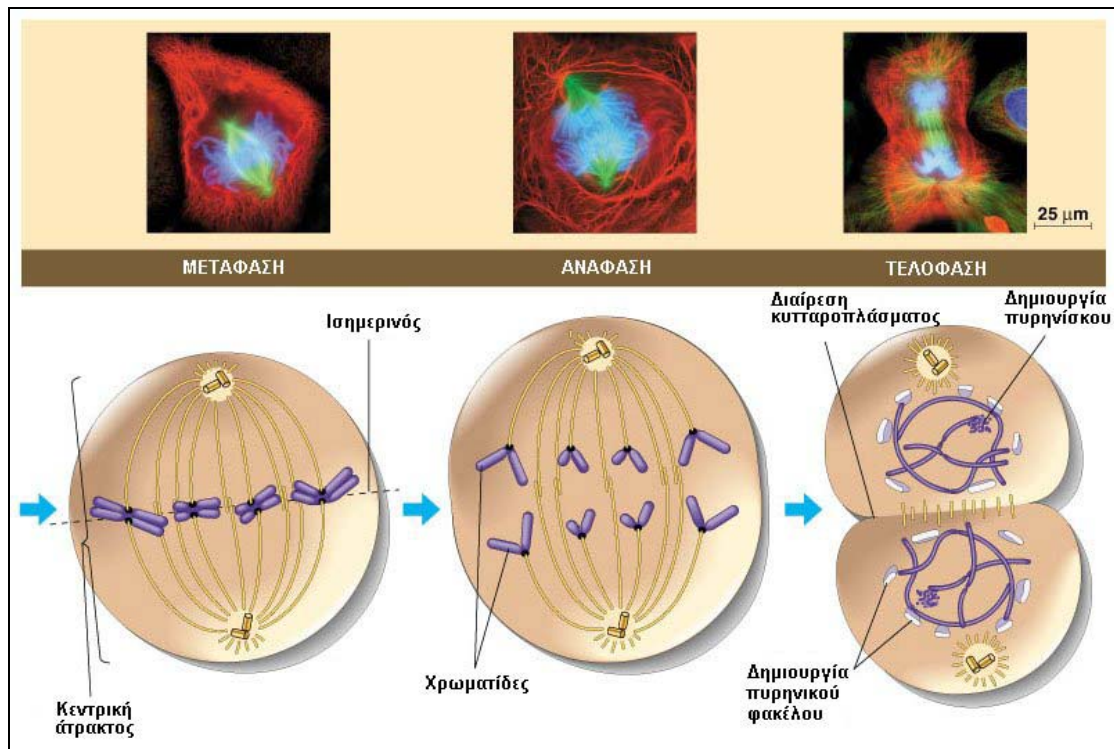


Εικ.13.2 Τα στάδια της μίτωσης σε ζωικό κύτταρο

Προς το τέλος της **μεσόφασης** ο πυρήνας είναι ορατός και περιβάλλεται από τον πυρηνικό φάκελο. Ορατός είναι ακόμη και ο πυρηνίσκος. Φαίνονται ακόμη και τα δύο κεντροσωμάτια τα οποία δημιουργήθηκαν στις αρχές της μεσόφασης από το διπλασιασμό του ενός. Το καθένα περιέχει δύο κεντρίλια. Οι μικροσωληνίσκοι που φαίνονται να προβάλλουν από τα κεντροσωμάτια δημιουργούν την αστρόσφαιρα. Τα κεντρίλια δε φαίνεται να συμμετέχουν σ' αυτή τη διαδικασία. Σε αυτή τη φάση τα χρωματοσώματα δε διακρίνονται ακόμη γιατί συνεχίζουν να είναι σε μορφή νηματίων χρωματίνης αλλά έχουν ήδη αυτοδιπλασιαστεί.

Κατά την **πρόφαση** παρατηρούνται αλλαγές και στον πυρήνα και στο κυτταρόπλασμα. Ο πυρηνίσκος εξαφανίζεται και τα νημάτια της χρωματίνης συμπυκνώνονται σε χρωματοσώματα που φαίνονται ευκρινώς με οπτικό μικροσκόπιο. Κάθε χρωματοσώμα τώρα αποτελείται από δύο χρωματίδες που είναι συνδεδεμένες στο κεντρομερίδιο. Η κεντρική άτρακτος έχει αρχίσει να δημιουργείται. Αποτελείται από μικροσωληνίσκους (ινίδια). Τα δύο κεντροσωμάτια κινούνται προς τους πόλους του κυττάρου, ωθούμενα από τους επιμηκυνόμενους μικροσωληνίσκους.

Θρυμματίζεται ο πυρηνικός φάκελος και οι μικροσωληνίσκοι (ινίδια) εισβάλλουν στην περιοχή του πυρήνα. Μερικοί από τους μικροσωληνίσκους προσδένονται στο κεντρομερίδιο των χρωματοσωμάτων.



Εικ.13.3 Τα στάδια της μίτωσης σε ζωικό κύτταρο

<p>Στη μετάφαση τα κεντροσωμάτια έχουν ήδη τοποθετηθεί στους πόλους του κυττάρου. Τα χρωματοσώματα διατάσσονται στο ισημερινό επίπεδο του κυττάρου. Η κεντρική άτρακτος είναι πλήρως αναπτυγμένη.</p>	<p>Η ανάφαση αρχίζει με τη διαίρεση του κεντρομεριδίου και το διαχωρισμό των αδελφών χρωματίδων. Από αυτή τη στιγμή η κάθε χρωματίδα είναι πλέον ένα χρωματοσώμα. Τα χρωματοσώματα κινούνται προς τους πόλους με το κεντρομερίδιο να τα οδηγεί. Την ίδια στιγμή, οι πόλοι απομακρύνονται περισσότερο. Στο τέλος της ανάφασης, ο κάθε πόλος διαθέτει μια πλήρη σειρά χρωματοσωμάτων.</p>	<p>Στην τελόφαση, αρχίζουν να δημιουργούνται οι πυρήνες στους δύο πόλους. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η αντίστροφη εκείνης της πρόφασης και ο πυρηνίσκος επανεμφανίζεται, ενώ το νημάτιο χρωματίνης του κάθε χρωματοσώματος αρχίζει να αποσυσπειρώνεται. Η μίτωση έχει ολοκληρωθεί και ήδη έχει αρχίσει η κυτταροπλασματική διαίρεση που θα δώσει τα δύο θυγατρικά κύτταρα, που θα έχουν τον ίδιο αριθμό χρωματοσωμάτων με το μητρικό κύτταρο. Στα ζωικά κύτταρα δημιουργείται περιφερικός δακτύλιος που προκαλεί αποκοπή των δύο κυττάρων με περίσφιξη.</p>
--	--	---

Να σημειωθεί ότι παρατηρούνται ορισμένες διαφορές αναφορικά με το μηχανισμό της μίτωσης μεταξύ ζωικών και φυτικών κυττάρων με πιο σημαντική τον τρόπο δημιουργίας της κεντρικής άτρακτος. Είναι φυσικό, εφόσον τα φυτικά κύτταρα δε διαθέτουν κεντροσωμάτια με κεντρίλια, σε αυτά η κεντρική άτρακτος να δημιουργείται με άλλο τρόπο.

Η διαδικασία της κυτταροπλασματικής διαίρεσης διαφέρει στα φυτικά κύτταρα. Εδώ, δε δημιουργείται ο περιφερικός δακτύλιος αλλά μικροσωληνίσκοι, που μεταφέρονται από κυστίδια του συμπλέγματος Golgi, τοποθετούνται στο ισημερινό επίπεδο και έτσι δημιουργείται ένα πλέγμα που ονομάζεται **φραγμοπλάστης** (βλ. σελ. 78). Από το φραγμοπλάστη θα προκύψουν τα κυτταρικά τοιχώματα των δύο θυγατρικών κυττάρων.

13.2 ΜΕΙΩΣΗ

Τα παιδιά, κληρονομούν χιλιάδες γονίδια από τους γονείς τους και είναι γι αυτό το λόγο που μοιάζουν με αυτούς. Τα γονίδια αποτελούν τις κωδικοποιημένες πληροφορίες με τις οποίες οι γονείς «προικίζουν» τα παιδιά τους και αποτελούν το γονιδίωμά τους. Τα γονίδια καθορίζουν την

εμφάνιση συγκεκριμένων χαρακτήρων καθώς το άτομο αναπτύσσεται από το γονιμοποιημένο ωάριο σε ενήλικα.

Τα **γονίδια** αποτελούν τμήματα του DNA και οι χαρακτήρες μεταβιβάζονται από άτομο σε άτομο σε μορφή κωδικοποιημένου μηνύματος, που βρίσκεται στη συγκεκριμένη σειρά ή αλληλουχία των νουκλεοτιδίων από τα οποία είναι δομημένο το DNA. Τα περισσότερα γονίδια προγραμματίζουν τα κύτταρα για να παράγουν ένζυμα ή άλλες πρωτεΐνες.

Η κληρονομικότητα εξαρτάται απόλυτα από τον αυτοδιπλασιασμό του DNA, μια διαδικασία μοναδική η οποία δημιουργεί πιστά αντίγραφα των γονιδίων που θα μεταβιβαστούν από τους γονείς στα παιδιά. Οι φορείς αυτών των γονιδίων είναι τα σπερματοζωάρια και τα ωάρια. Όταν γονιμοποιηθεί ένα ωάριο από ένα σπερματοζωάριο έχει στον πυρήνα του γονίδια και από τους δύο γονείς.

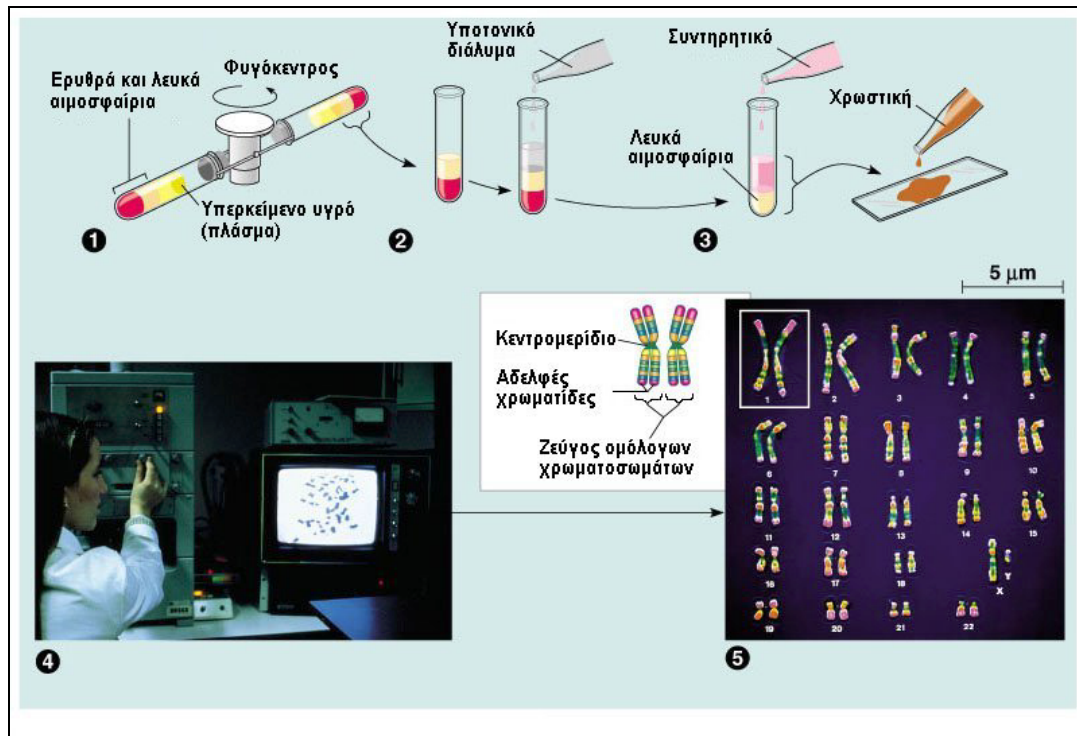
Το σύνολο σχεδόν του DNA βρίσκεται στα χρωματοσώματα που εδράζονται στον πυρήνα. Οι οργανισμοί του ίδιου είδους έχουν τον ίδιο αριθμό χρωματοσωμάτων, που διαφέρει από άλλα είδη. Οι άνθρωποι έχουν 46 χρωματοσώματα σε καθένα από τα κύτταρά τους με εξαίρεση τους γαμέτες. Κάθε χρωματόσωμα αποτελείται από ένα και μοναδικό μόριο DNA που είναι κατά πολύ μακρύτερο σε μήκος από το ίδιο το χρωματόσωμα. Το DNA είναι αναδιπλωμένο κατά πολύπλοκο τρόπο και παίρνει τη μορφή του χρωματοσώματος με τη βοήθεια ορισμένων πρωτεϊνών. Σε κάθε χρωματόσωμα υπάρχουν εκατοντάδες ή χιλιάδες γονίδια.

Στη **μονογονία**, ο ένας και μοναδικός γονέας αντιγράφει τα γονίδια του και τα μεταβιβάζει στους απογόνους του. Για παράδειγμα, η αμοιβάδα και όλοι οι μονοκύτταροι οργανισμοί, αναπαράγονται με μίτωση που περιλαμβάνει διπλασιασμό του γενετικού υλικού και ακριβοδίκαιο διαμοιρασμό του στα δύο θυγατρικά κύτταρα που προκύπτουν. Το γονιδίωμα κάθε θυγατρικού κυττάρου αποτελεί πιστό αντίγραφο του μητρικού γονιδιώματος. Ακόμη και πολυκύτταροι οργανισμοί έχουν τη δυνατότητα να πολλαπλασιάζονται με αυτό τον τρόπο, όπως για παράδειγμα η ύδρα και τα φυτά (π.χ. με μοσχεύματα). Είναι φυσικό, ο κάθε απόγονος να είναι γενετικά πανομοιότυπος με το γονέα. Οποιοσδήποτε διαφορές εμφανιστούν προκύπτουν από σπάνιες αλλαγές στο DNA, τις μεταλλάξεις, που συμβαίνουν αιφνίδια και τυχαία. Ένας οργανισμός που βασίζεται στη μονογονία για αναπαραγωγή, δημιουργεί ένα **κλώνο**, δηλαδή μια ομάδα γενετικά πανομοιότυπων ατόμων.

Η **αμφιγονία** δημιουργεί μεγάλη ποικιλομορφία γιατί το άτομο που προκύπτει από την ένωση των δύο γαμετών των γονέων, διαθέτει μοναδικούς συνδυασμούς γονιδίων τα οποία κληρονόμησε από τους δύο γονείς. Τα αδέρφια, διαφέρουν γενετικά μεταξύ τους όπως διαφέρουν και από τους γονείς τους. Τι προκαλεί αυτή τη γενετική ποικιλομορφία; Η απάντηση βρίσκεται στη συμπεριφορά των χρωματοσωμάτων κατά την παραγωγή των γαμετών.

Κάθε **σωματικό** ανθρώπινο κύτταρο έχει 46 χρωματοσώματα, εκτός από τα **γεννητικά** - τα σπερματοζωάρια και τα ωάρια - που έχουν 23 χρωματοσώματα. Οι διαφορές μεταξύ των χρωματοσωμάτων ενός κυττάρου μπορούν να διαφανούν ακόμη και με το κοινό οπτικό μικροσκόπιο. Τα χρωματοσώματα διαφέρουν σε ότι αφορά το μέγεθός τους και τη θέση του κεντρομεριδίου.

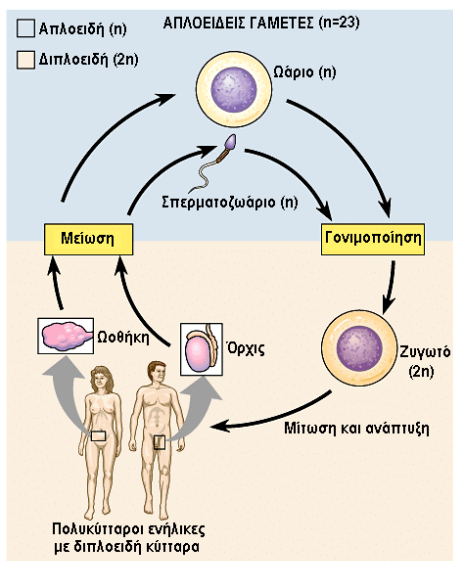
Μελετώντας προσεκτικά τα 46 χρωματοσώματα, γίνεται φανερό ότι υπάρχουν δύο από κάθε είδος. Συνεπώς, τα 46 χρωματοσώματα μπορούν να τοποθετηθούν σε ζεύγη και βέβαια υπάρχουν 23 ζεύγη. Κάθε ζεύγος αποτελείται από δύο χρωματοσώματα που έχουν το ίδιο μήκος, το κεντρομερίδιο τους στο ίδιο ακριβώς σημείο και ο χρωματισμός τους με ειδικές χρωστικές ουσίες φανερώνει ακριβώς το ίδιο χαρακτηριστικό σχήμα ζωνών. Τα δύο χρωματοσώματα του κάθε ζεύγους ονομάζονται **ομόλογα** χρωματοσώματα. **Καρυότυπος** ονομάζεται το σύνολο των χρωματοσωμάτων ενός σωματικού κυττάρου, τοποθετημένα ανάλογα με το μέγεθός τους και πάντοτε σε ζεύγη ομολόγων. Το ζεύγος με τα πιο μεγάλα σε μέγεθος χρωματοσώματα είναι το πρώτο του καρυότυπου. Τα δυο χρωματοσώματα του κάθε ζεύγους φέρουν γονίδια που ελέγχουν τους ίδιους κληρονομικούς χαρακτήρες. Για παράδειγμα, αν ένα γονίδιο που ελέγχει το χρώμα ματιού βρίσκεται σε ένα συγκεκριμένο σημείο του ενός χρωματοσώματος, στο αντίστοιχο σημείο του ομόλογου χρωματοσώματος θα υπάρχει ένα άλλο γονίδιο που θα είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο του ίδιου χαρακτήρα.



Εικ.13.4 Ο τρόπος παρασκευής του καρυότυπου

Ο κανόνας για τα ομόλογα χρωμοσώματα όπως τα περιγράψαμε πιο πάνω, έχει μια σημαντική εξαίρεση. Υπάρχουν δύο χρωμοσώματα που ονομάζονται X και Y. Τα θηλυκά άτομα διαθέτουν δύο ομόλογα X χρωμοσώματα (XX). Σε αντίθεση, τα αρσενικά άτομα διαθέτουν ένα X και ένα Y χρωμοσώματα (XY). Αυτά τα χρωμοσώματα είναι υπεύθυνα για το φύλο του ατόμου γι' αυτό και ονομάζονται **φυλετικά** χρωμοσώματα. Τα υπόλοιπα χρωμοσώματα ονομάζονται **αυτοσωματικά**.

Η παρουσία των ζευγών χρωμοσωμάτων στον καρυότυπό μας, φανερώνει την αμφιγονική προέλευσή μας. Από τον πατέρα μας κληρονομούμε το ένα χρωμοσώμα του ζεύγους και από τη μητέρα μας το άλλο. Σε τελική ανάλυση, παίρνουμε μια σειρά χρωμοσωμάτων από τη μητέρα μας και μια σειρά από τον πατέρα μας.

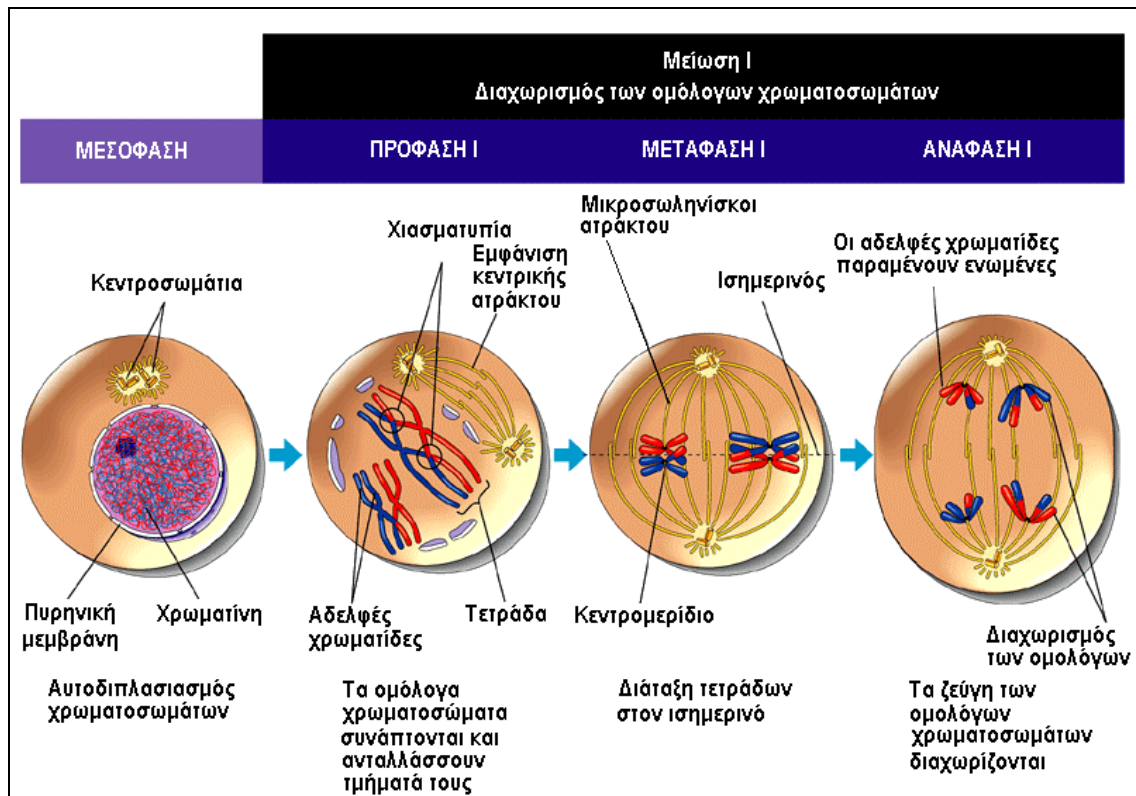


Εικ.13.5 Ο κύκλος ζωής του ανθρώπου

Τα σπερματοζωάρια και τα ωάρια - **γαμέτες** - διαφέρουν από τα σωματικά κύτταρα. Κάθε γαμέτης φέρει 22 αυτοσωματικά και ένα φυλετικό χρωμοσώμα, που μπορεί να είναι το X ή το Y. **Απλοειδές** κύτταρο είναι εκείνο που έχει μόνο 23 χρωμοσώματα ($n=23$). Με τη γονιμοποίηση, το απλοειδές σπερματοζωάριο ενώνεται με το απλοειδές ωάριο και δημιουργείται το ζυγώτο που είναι πλέον ένα **διπλοειδές** κύτταρο ($2n=46$). Καθώς αναπτύσσεται το ζυγώτο σε άτομο με τρισεκατομμύρια κύτταρα, τα γονίδια του μεταβιβάζονται με θαυμαστή ακρίβεια σε όλα τα κύτταρα, με τη διαδικασία της μίτωσης.

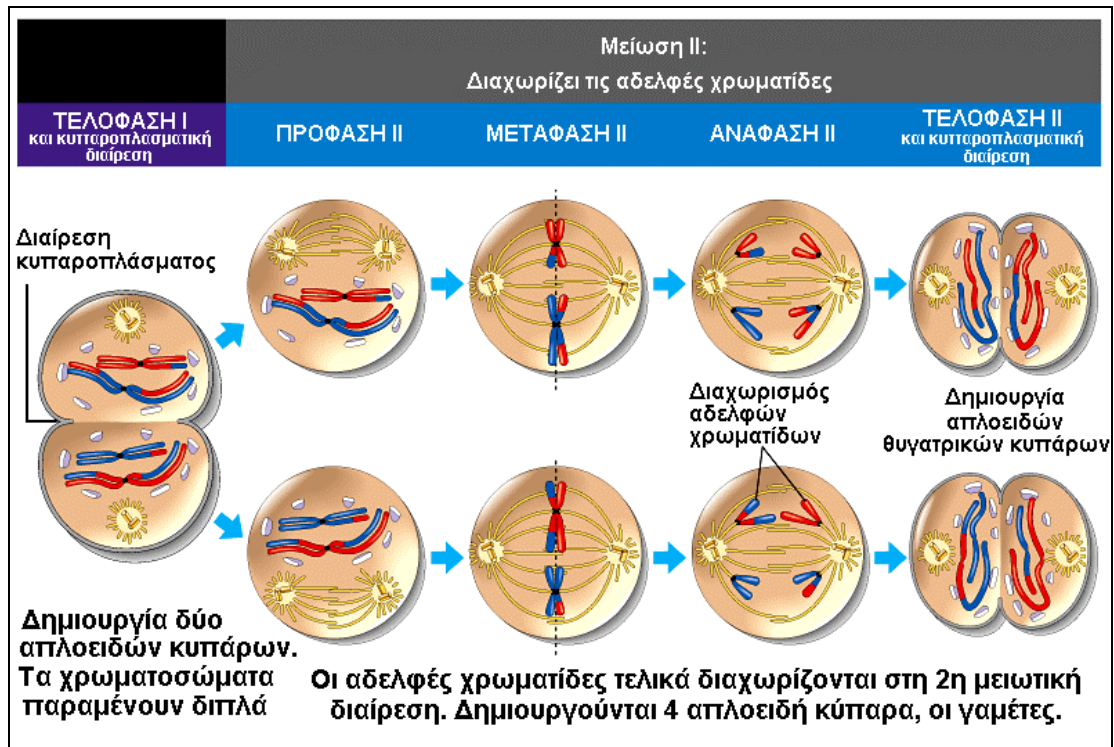
Τα σωματικά κύτταρα, όπως και το ζυγώτο, είναι διπλοειδή κύτταρα. Τα μοναδικά κύτταρα που δεν παράγονται με μίτωση είναι οι γαμέτες. Τα κύτταρα αυτά παράγονται στις γονάδες, στους όρχις και στις ωοθήκες και διαθέτουν από 23 χρωμοσώματα το

καθένα. Αυτό είναι πολύ σημαντικό γιατί η συνένωση δύο γαμέτων θα δημιουργήσει ζυγώτο με 46 χρωμοσώματα. Ο τρόπος με τον οποίο παράγονται οι γαμέτες ονομάζεται **μείωση**. Στις εικόνες 13.6 και 13.7 γίνεται περιγραφή της μείωσης. Η διαδικασία της μείωσης γίνεται στις γονάδες (όρχις και ωοθήκες)



Εικ.13.6 Τα στάδια της 1ης μειωτικής διαίρεσης σε ζωικό κύτταρο

<p>Στη μεσόφαση, όπως και στην αντίστοιχη φάση της μίτωσης, τα χρωματοσώματα δε διακρίνονται ακόμη γιατί βρίσκονται σε μορφή νηματίων χρωματίνης που έχουν ήδη αυτοδιπλασιαστεί. Γίνονται οι ίδιες διεργασίες όπως και στη μεσόφαση της μίτωσης.</p>	<p>Μοιάζει με την πρόφαση της μίτωσης. Τα χρωματοσώματα αρχίζουν να συσπειρώνονται, να βραχύνονται και να παχαίνουν. Τα θυγατρικά κεντροσωμάτια με τις αστροσφαιρες κινούνται προς τους πόλους και σταδιακά εξαφανίζεται ο πυρηνικός φάκελος και ο πυρηνίσκος. Τα ζεύγη των ομόλογων χρωματοσωμάτων έρχονται σε επαφή (σύναψη). Στη σύναψη παρατηρείται σχηματισμός τετράδων από χρωματίδες. Σε ορισμένες περιοχές κατά μήκος των χρωματίδων παρατηρούνται χιάσματα που οδηγούν σε χιασματυπία και ανταλλαγή γενετικού υλικού (DNA). Η πρόφαση διαρκεί μερικές ημέρες.</p>	<p>Τα χρωματοσώματα είναι διατεταγμένα κατά μήκος του ισημερινού κατά ζεύγη ομόλογων, σχηματίζοντας τετράδες χρωματίδων. Μικροσωληνίσκοι της κεντρικής ατράκτου που έχει ήδη σχηματιστεί πλήρως, συνδέονται με το χρωματοσώμα κάθε ζεύγους.</p>	<p>Όπως και στη μίτωση, η κεντρική άτρακτος κινεί τα χρωματοσώματα στους πόλους. Τα ομόλογα χρωματοσώματα κινούνται προς διαφορετικούς πόλους σε αντίθεση με την αντίστοιχη φάση της μίτωσης όπου διαχωρίστηκαν οι χρωματίδες. Στην περίπτωση αυτή διαχωρίζονται τα ομόλογα και αυτός είναι ο στόχος της 1^{ης} μειωτικής διαίρεσης.</p>
---	---	---	--



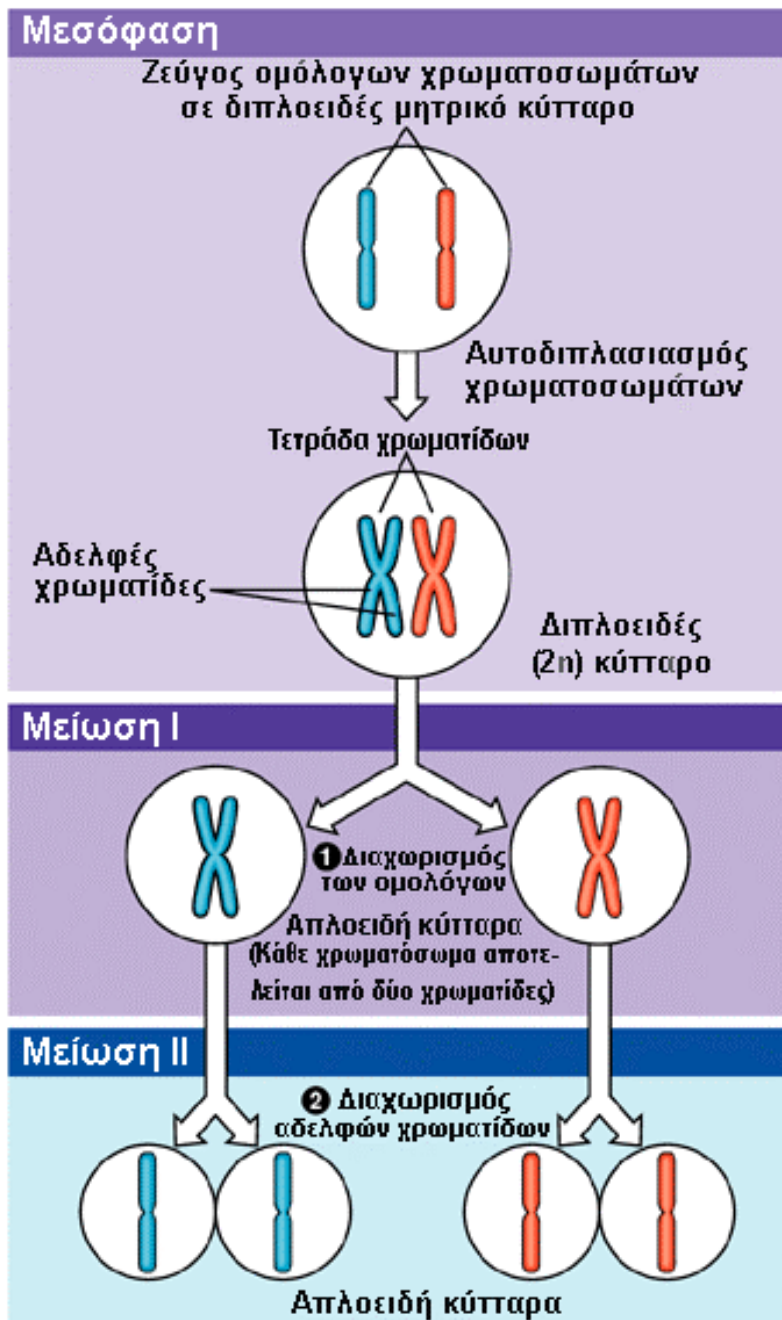
Εικ.13.7 Τα στάδια της 2ης μειωτικής διαίρεσης σε ζωικό κύτταρο

Το παράδειγμα που φαίνεται στο πιο πάνω σχεδιάγραμμα δείχνει κύτταρο με $2n=4$, δηλαδή το διπλοειδές κύτταρο έχει τέσσερα χρωματοσώματα και το απλοειδές κύτταρο έχει δύο χρωματοσώματα.

<p>Τα χρωματοσώματα φτάνουν στους πόλους όπου παράγονται δύο θυγατρικά κύτταρα το καθένα με το μισό αριθμό των χρωματοσωμάτων. Κάθε χρωματόσωμα αποτελείται από δύο χρωματίδες. Η κυτταροπλασματική διαίρεση θα δώσει τα δύο θυγατρικά κύτταρα. Στα ζωικά κύτταρα δημιουργείται περιφερικός δακτύλιος που προκαλεί αποκοπή των δύο κυττάρων με περίσφιξη.</p>	<p>Το κεντροσωμάτιο διπλασιάζεται και σχηματίζεται η κεντρική άτρακτος.</p>	<p>Τα χρωματοσώματα διατάσσονται στο ισημερινό επίπεδο. Η κεντρική άτρακτος είναι πλήρως σχηματισμένη.</p>	<p>Διαχωρίζονται οι αδελφές χρωματίδες και η καθεμία είναι τώρα ένα ξεχωριστό χρωματόσωμα. Η κάθε σειρά χρωματοσωμάτων κινείται προς τον αντίστοιχο πόλο.</p>	<p>Αρχίζει να δημιουργείται η πυρηνική μεμβράνη και οι πυρηνίσκοι και ακολουθεί η κυτταροπλασματική διαίρεση. Τελικά προκύπτουν τέσσερα απλοειδή θυγατρικά κύτταρα, το καθένα με το μισό αριθμό χρωματοσωμάτων από εκείνο του μητρικού κυττάρου.</p>
---	---	--	---	--

Μείωση: προκαλεί ελάττωση κατά το ήμισυ του αριθμού των χρωματοσωμάτων

Η πιο κάτω εικόνα (13.8) δείχνει τον τρόπο με τον οποίο η μείωση προκαλεί τη δημιουργία απλοειδών κυττάρων, δηλαδή, κύτταρα με το μισό αριθμό χρωματοσωμάτων.



Εικ.13.8

Ο τρόπος με τον οποίο μειώνεται ο αριθμός των χρωματοσωμάτων

Τα χρωματοσώματα διπλασιάζονται μόνο μια φορά αλλά το διπλοειδές μητρικό κύτταρο διαιρείται δύο φορές.

Η πρώτη μειωτική διαίρεση διαχωρίζει τα ομόλογα χρωματοσώματα (που είναι ήδη διπλασιασμένα από τη μεσόφαση), μεταφέροντάς τα σε διαφορετικά κύτταρα.

Η δεύτερη μειωτική διαίρεση διαχωρίζει τις αδελφές χρωματίδες.

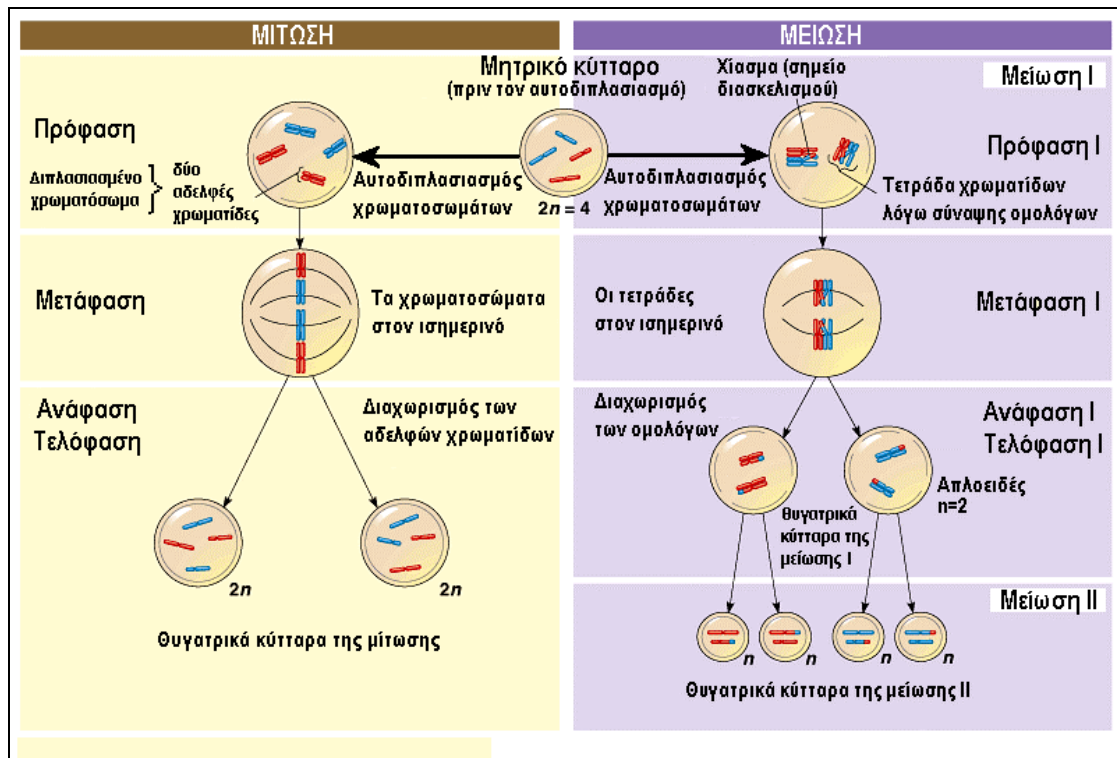
Δημιουργούνται έτσι τέσσερα συνολικά νέα κύτταρα, το καθένα από τα οποία έχει το μισό αριθμό χρωματοσωμάτων σε σύγκριση με το μητρικό.

Τα κύτταρα που προκύπτουν από τη μείωση είναι γαμέτες, ειδικά κύτταρα που χρησιμεύουν στην αναπαραγωγή.

Η συνένωση των δύο γαμετών δίνει διπλοειδές κύτταρο

(ζυγωτό) με τον κανονικό αριθμό χρωματοσωμάτων.

Η εικόνα 13.9 παρουσιάζει συγκριτικά τη μίτωση και τη μείωση



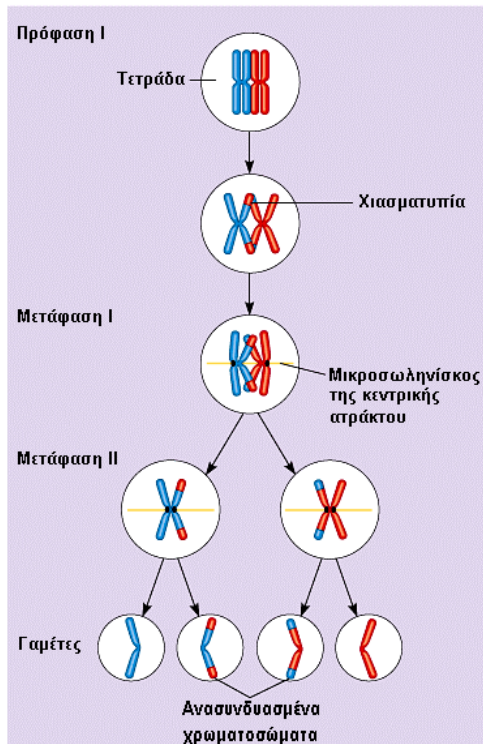
Εικ.13.9 Σύγκριση της μίτωσης και της μείωσης

Σημασία της μείωσης

1. Μείωση του αριθμού των χρωματοσωμάτων στο μισό στα θυγατρικά κύτταρα (γαμέτες)
2. Δημιουργία ποικιλομορφίας μεταξύ των οργανισμών του ίδιου είδους λόγω ανάμειξης του γενετικού υλικού (DNA) των γαμετών των γονιών.
3. Δημιουργία γενετικής ποικιλότητας λόγω της τυχαίας κατανομής των χρωματοσωμάτων κατά τη μετάφαση I. Αυτό οδηγεί στη δημιουργία νέων γενετικών συνδυασμών στους γαμέτες.
4. Δημιουργία γενετικής ποικιλότητας λόγω χιασματυπίας μεταξύ των ομολόγων χρωματοσωμάτων, που ανταλλάσσουν DNA. Η ποικιλομορφία που δημιουργεί η μείωση είναι πολύ σημαντική για την εξέλιξη των οργανισμών και τη δυνατότητα προσαρμογής και επιβίωσης τους στις μεταβαλλόμενες συνθήκες του περιβάλλοντος. Αυτή είναι η κύρια σημασία της μείωσης.

Πίνακας 13.1 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

	Μίτωση	Μείωση
Αυτοδιπλασιασμός χρωματοσωμάτων	Γίνεται κατά τη μεσόφαση πριν αρχίσει η διαίρεση του πυρήνα	Γίνεται κατά τη μεσόφαση πριν αρχίσει η διαίρεση του πυρήνα
Αριθμός διαιρέσεων	Μία, αποτελούμενη από την πρόφαση, μετάφαση, ανάφαση και τελόφαση	Δύο, η κάθε μια από τις οποίες αποτελείται από την πρόφαση, μετάφαση, ανάφαση και τελόφαση. Δε σημειώνεται διπλασιασμός του DNA μεταξύ των δύο διαιρέσεων. Παρατηρείται σύναψη ομολόγων στην 1 ^η μειωτική και δημιουργία τετράδων
Αριθμός θυγατρικών κυττάρων	Δύο, το καθένα είναι διπλοειδές (2n) και πανομοιότυπο με το μητρικό.	Τέσσερα, το καθένα είναι απλοειδές (n) και με διαφορές από το μητρικό ή και από τα άλλα τρία
Ρόλος	Ανάπτυξη του πολυκύτταρου ενήλικα οργανισμού από το ζυγωτό, αύξηση του οργανισμού και επιδιόρθωση ιστών. Πολλαπλασιασμός μονοκύτταρων οργανισμών.	Παραγωγή γαμετών και δημιουργία γενετικής ποικιλομορφίας στους γαμέτες.



Εικ. 13.10 Η χιασματυπία

13.3 Χιασματυπία

Από ότι έχει λεχθεί μέχρι τώρα γίνεται φανερό πως το κάθε ξεχωριστό χρωματόσωμα σε κάθε γαμέτη προέρχεται από τον ένα εκ των δύο γονέων. Δηλαδή, το DNA ενός χρωματοσώματος προέρχεται είτε από τη μητέρα είτε από τον πατέρα αλλά όχι και από τους δύο. Στην πραγματικότητα αυτό δε συμβαίνει λόγω της **χιασματυπίας**, μιας διαδικασίας η οποία παράγει χρωματοσώματα στα οποία υπάρχουν γονίδια και των δύο γονέων. Η χιασματυπία συμβαίνει στην πρόφαση της 1^{ης} μειωτικής διαίρεσης όταν γίνεται ανταλλαγή χρωματοσωμικού υλικού μεταξύ των μη αδελφών χρωματίδων. Στον άνθρωπο, είναι δυνατόν η χιασματυπία να συμβαίνει σε δύο ή τρεις περιοχές για κάθε ζεύγος χρωματοσωμάτων. Ο μηχανισμός της ανταλλαγής του χρωματοσωμικού υλικού θα εξηγηθεί σε άλλο κεφάλαιο.

Οι χιασματυπίες μαζί με την τυχαία κατανομή των χρωματοσωμάτων κατά τη μετάφαση της 1^{ης} μειωτικής διαίρεσης είναι υπεύθυνες για τη μεγάλη ποικιλομορφία που παρατηρείται στους οργανισμούς που αναπαράγονται με αμφιγονία.