

## Νουκλεϊκά οξέα – Μέρος Β

Δρ. Ιάσων Κωσταρόπουλος

### Τύποι κυτταρικής διαίρεσης

1. Μίτωση
2. Μείωση

### ΜΙΤΩΣΗ

Αποτελείται από τέσσερα υποστάδια:

1. Πρόφαση
2. Μετάφαση
3. Ανάφαση
4. Τελόφαση

Κατά τη μίτωση τα ινίδια χρωματίνης συμπυκνώνονται και σχηματίζουν τα **χρωμοσώματα**, δομές ευδιάκριτες στο οπτικό μικροσκόπιο. Επειδή στη μεσόφαση έχει προηγηθεί ο διπλασιασμός των μορίων DNA (δηλ. των ινιδίων χρωματίνης), κάθε χρωμόσωμα αποτελείται από **δύο** μόρια DNA που αποκαλούνται **αδελφές χρωματίδες**, οι οποίες είναι ενωμένες στο **κεντρομερίδιο** (Σχήμα 1). Τα χρωμοσώματα παρουσιάζουν το μέγιστο βαθμό συμπύκνωσης στη μετάφαση.

Κατά τη μετάφαση τα χρωμοσώματα διατάσσονται στη μέση του κυττάρου, στο **ισημερινό επίπεδο**. Τα χρωμοσώματα ενώνονται με τα νημάτια μιας δομής, γνωστής ως **μιτωτική άτρακτος**. Οι αδελφές χρωματίδες κάθε χρωμοσώματος απομακρύνονται μεταξύ τους και κατευθύνονται σε αντίθετους **πόλους**. Τελικά, το κύτταρο διαιρείται και σχηματίζονται δύο κύτταρα, γενετικά όμοια μεταξύ τους (Σχήμα 2).

### **Βιολογική σημασία της μίτωσης**

Με τη μίτωση παράγονται κύτταρα, γενετικά όμοια μεταξύ τους αλλά και με το μητρικό κύτταρο. Αυτό καθορίζει και τον βιολογικό ρόλο της μίτωσης:

1. Στους μονοκύτταρους οργανισμούς είναι ταυτόσημη με την αναπαραγωγή τους.
2. Στους πολυκύτταρους οργανισμούς, παράγει σωματικά κύτταρα τα οποία: α) συμμετέχουν στην ανάπτυξη του οργανισμού, β) αντικαθιστούν κατεστραμμένα ή νεκρά κύτταρα του οργανισμού

### ΜΕΙΩΣΗ

Αποτελείται από δύο συνεχόμενες κυτταρικές διαιρέσεις, τη **μείωση I** και τη **μείωση II**. Στους πολυκύτταρους οργανισμούς, τη διαδικασία της μείωσης υφίστανται συγκεκριμένα κύτταρα, τα **άωρα γεννητικά κύτταρα**. Η πιο χαρακτηριστική και σημαντική διαφορά της μείωσης από τη μίτωση είναι ότι, στη μείωση, τα ομόλογα χρωμοσώματα συνδέονται μεταξύ τους κατά την πρόφαση της μείωσης I. Το φαινόμενο αυτό λέγεται **σύναψη**. Κατά τη μείωση I τα ομόλογα χρωμοσώματα διαχωρίζονται. Στη μείωση II διαχωρίζονται οι αδελφές χρωματίδες κάθε χρωμοσώματος. Το τελικό αποτέλεσμα είναι ότι τα τέσσερα θυγατρικά κύτταρα που προκύπτουν, οι **γαμέτες**, έχουν τη **μισή ποσότητα γενετικού υλικού** από το μητρικό κύτταρο (Σχήμα 3).

#### Βιολογική σημασία της μείωσης

1. Είναι απαραίτητη στην αμφιγονική αναπαραγωγή των πολυκύτταρων οργανισμών. Για παράδειγμα, ο άνθρωπος έχει 46 χρωμοσώματα στα σωματικά του κύτταρα (διπλοειδή). Αντίθετως, οι γαμέτες του (ωάρια και σπερματοζωάρια) περιέχουν τα μισά χρωμοσώματα, δηλαδή 23 (απλοειδή κύτταρα). Έτσι, από την ένωση δύο γαμετών προκύπτει ένα φυσιολογικό άτομο με 46 χρωμοσώματα. Αν δεν συνέβαινε μείωση, οι γαμέτες θα είχαν από 46 χρωμοσώματα και το άτομο που θα προέκυπε από την ένωση των δύο γαμετών δεν θα είχε το σωστό αριθμό χρωμοσωμάτων.
2. Αύξηση της γενετικής ποικιλομορφίας. Αυτό επιτυγχάνεται με δύο τρόπους:  
α) με τον **ανεξάρτητο συνδυασμό των χρωμοσωμάτων**, και β) με τον **επιχiasμό**.

Ο ανεξάρτητος συνδυασμός των χρωμοσωμάτων έχει να κάνει με το πώς διατάσσονται τα ομόλογα χρωμοσώματα κατά τη μετάφαση της μείωσης I (Σχήμα 4). Το τελικό αποτέλεσμα είναι ότι προκύπτουν νέοι συνδυασμοί μη ομόλογων χρωμοσωμάτων.

Στον επιχiasμό, οι μη αδελφές χρωματίδες των ομόλογων χρωμοσωμάτων ανταλλάσσουν τμήματα και γονίδια (Σχήματα 5 και 6). Το τελικό αποτέλεσμα είναι ότι προκύπτουν νέοι συνδυασμοί γονιδίων.

## Νουκλεϊκά οξέα – Μέρος Β

Δρ. Ιάσων Κωσταρόπουλος

Μίτωση	Μείωση
Παράγονται δύο θυγατρικά κύτταρα	Παράγονται τέσσερα θυγατρικά κύτταρα
Τα θυγατρικά κύτταρα είναι σωματικά	Τα θυγατρικά κύτταρα είναι γαμέτες
Τα θυγατρικά κύτταρα έχουν την ίδια ποσότητα DNA με το μητρικό	Τα θυγατρικά κύτταρα έχουν τη μισή ποσότητα DNA από το μητρικό
Συμβαίνει σε όλα τα σωματικά κύτταρα	Συμβαίνει μόνο στα άωρα γεννητικά κύτταρα
Περιλαμβάνει μία κυτταρική διαίρεση	Περιλαμβάνει δύο συνεχόμενες κυτταρικές διαιρέσεις

Πίνακας . Οι κυριότερες διαφορές μίτωσης – μείωσης

### Μεταλλάξεις

Μετάλλαξη είναι οποιαδήποτε αλλαγή στην αλληλουχία των βάσεων του DNA.

Οι μεταλλάξεις μπορεί να συμβούν τόσο σε σωματικά κύτταρα όσο και σε γαμέτες, αλλά μόνο οι μεταλλάξεις στους γαμέτες κληρονομούνται στους απογόνους.

Οι μεταλλάξεις προκαλούνται από **μεταλλαξογόνους παράγοντες**. Αυτοί διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

1. **Ακτινοβολίες**, π.χ. X, γ, ραδιενέργεια, υπεριώδης, κοσμική
2. **Χημικές ουσίες**

Ανάλογα με την έκταση της αλλαγής, οι μεταλλάξεις διακρίνονται στις:

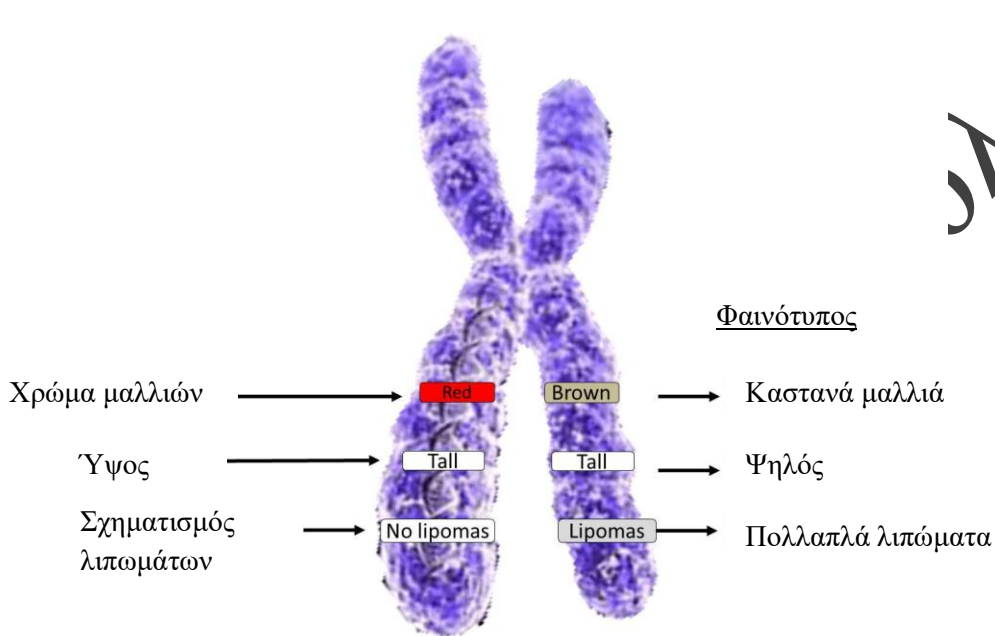
1. **Ποιδιακές**, που αφορούν αλλαγή σε μικρό αριθμό αζωτούχων βάσεων. Η αλλαγή αυτή μπορεί να είναι η αντικατάσταση, η έλλειψη ή η προσθήκη μιας αζωτούχου βάσεως.
2. **Χρωμοσωμικές**, που αφορούν αλλαγές σε μεγάλο τμήμα ενός χρωμοσώματος ή στον αριθμό των χρωμοσωμάτων. Αν η μετάλλαξη αφορά αλλαγή στη δομή ενός χρωμοσώματος λέγεται **δομική**, ενώ αν αφορά αλλαγή του συνολικού αριθμού των χρωμοσωμάτων λέγεται **αριθμητική**.

## Νουκλεϊκά οξέα – Μέρος Β

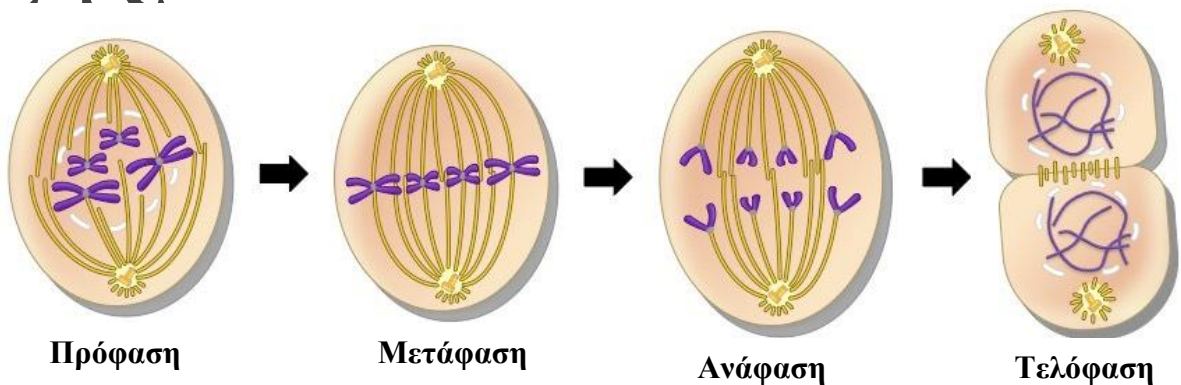
Δρ. Ιάσων Κωσταρόπουλος

Οι δομικές χρωμοσωμικές μεταλλάξεις είναι τεσσάρων τύπων: αναστροφή, έλλειψη, διπλασιασμός, μετατόπιση (Σχήμα 7).

Ασθένεια που οφείλεται σε αριθμητική χρωμοσωμική μετάλλαξη είναι το σύνδρομο Down. Τα άτομα αυτά έχουν συνολικά 47 χρωμοσώματα, καθώς το χρωμόσωμα 21 υπάρχει τρεις φορές (Σχήμα 8).



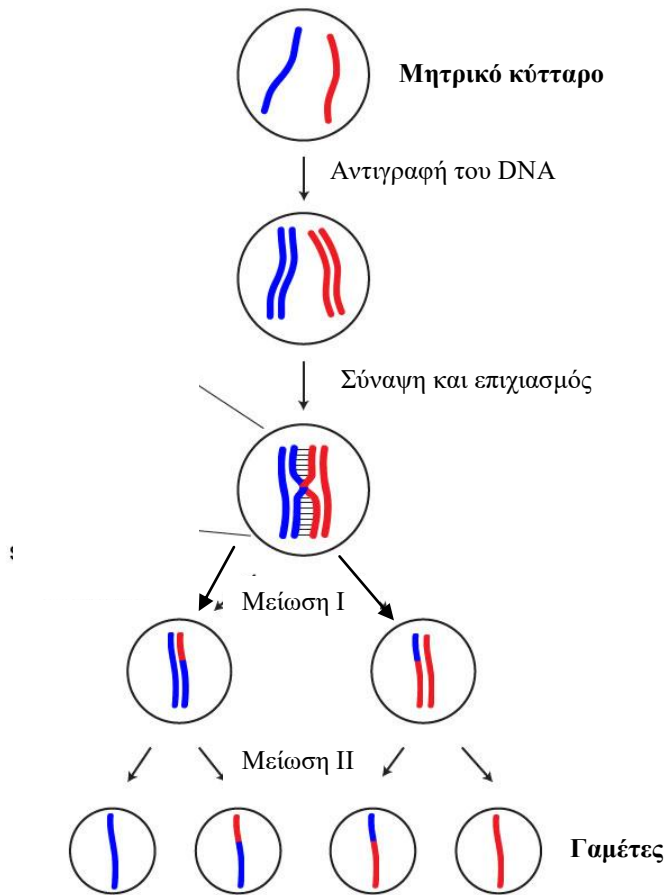
**Σχήμα 1:** Η μορφή ενός χρωμοσώματος στη μετάφαση. Διακρίνονται οι δύο αδελφές χρωματίδες ενωμένες στο κεντρομερίδιο. Επάνω στις αδελφές χρωματίδες σημειώνονται τρεις γονιδιακοί τόποι.



## Νουκλεϊκά οξέα – Μέρος Β

Δρ. Ιάσων Κωσταρόπουλος

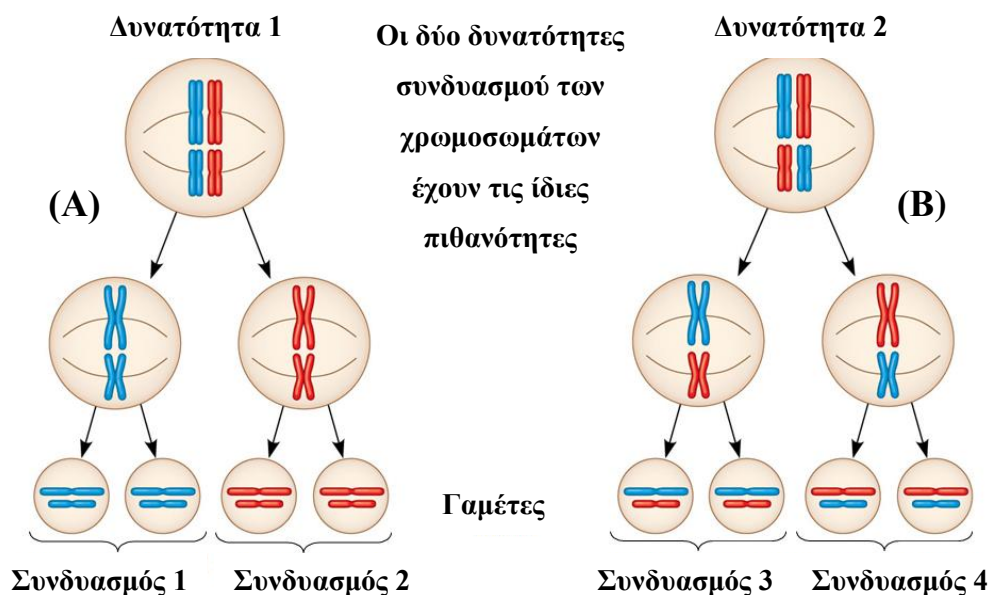
**Σχήμα 2:** Διαγραμματική απεικόνιση των σταδίων της μίτωσης. Προσέξτε ιδιαίτερα τα εξής: α) τα χρωμοσώματα διατάσσονται στο ισημερινό επίπεδο του κυττάρου κατά τη μετάφαση, και β) το σχηματισμό της μιτωτικής ατράκτου που είναι απαραίτητη για το διαχωρισμό των αδελφών χρωματίδων κατά την ανάφαση.



**Σχήμα 3:** Διαγραμματική απεικόνιση της μείωσης. Δώστε ιδιαίτερη βαρύτητα στα εξής: α) τα τελικά προϊόντα της μείωσης (οι γαμέτες) έχουν τη μισή ποσότητα DNA από το μητρικό κύτταρο, β) κατά τη μείωση I τα ομόλογα χρωμοσώματα συνάπτονται και ανταλλάσσουν γενετικό υλικό (επιχιασμός)

## Νουκλεϊκά οξέα – Μέρος Β

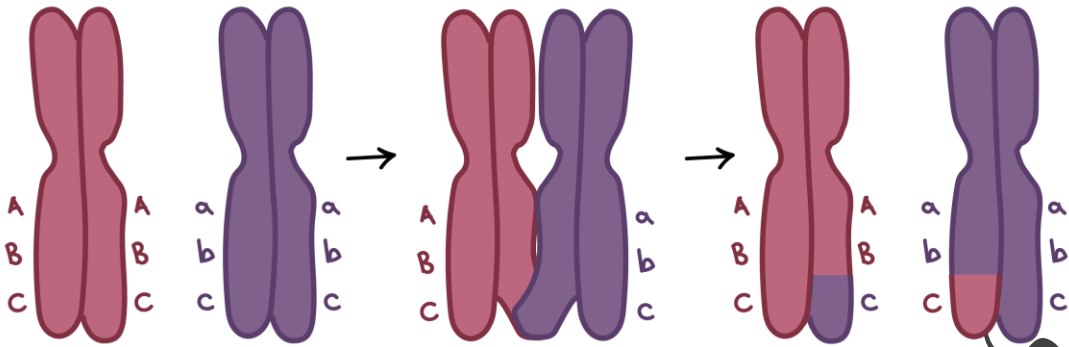
Δρ. Ιάσων Κωσταρόπουλος



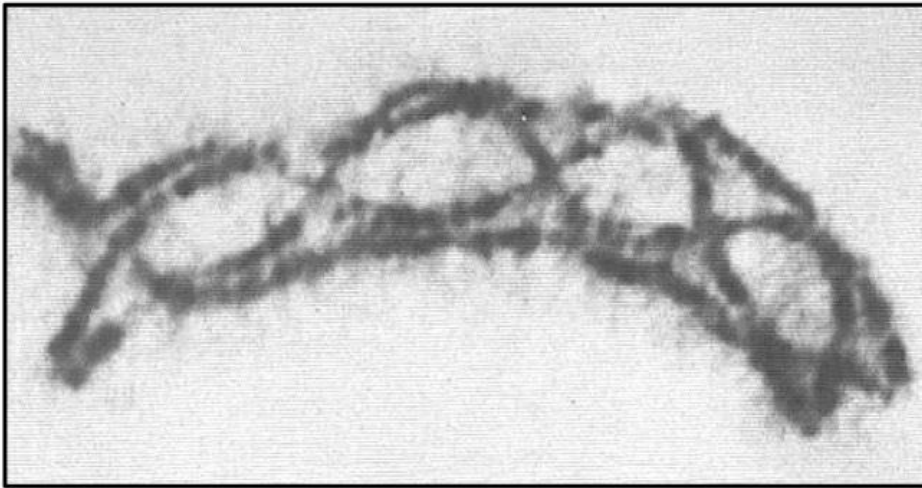
**Σχήμα 4:** Ανεξάρτητος συνδυασμός των μη-ομόλογων χρωμοσωμάτων. Η μία πιθανότητα (A) είναι, από κάθε ζεύγος χρωμοσωμάτων, τα γαλάζια να βρεθούν μαζί στον ίδιο γαμέτη, το ίδιο και τα κόκκινα. Η άλλη πιθανότητα (B) είναι τα χρωμοσώματα να διαταχθούν κατά τέτοιο τρόπο στο ισημερινό επίπεδο, ώστε το γαλάζιο χρωμόσωμα από το ένα ζεύγος και το κόκκινο από το άλλο να βρεθούν στον ίδιο γαμέτη. Ο άνθρωπος, που έχει 23 ζεύγη χρωμοσωμάτων, μπορεί να δημιουργήσει  $2^{23}$  διαφορετικά είδη γαμετών. Σκεφτείτε τώρα ότι μια γυναίκα δημιουργεί  $2^{23}$  διαφορετικά είδη ωαρίων και ο άντρας της δημιουργεί  $2^{23}$  διαφορετικά είδη σπερματοζωαρίων. Οι πιθανοί διαφορετικοί απόγονοι που μπορεί να προκύψουν είναι  $2^{23} \times 2^{23} = 2^{46}$ . Για το λόγο αυτό είναι απίθανο να αποκτήσουν δύο απογόνους που να είναι απολύτως όμοιοι μεταξύ τους (εκτός αν πρόκειται για μονοζυγωτικά δίδυμα)

## Νουκλεϊκά οξέα – Μέρος Β

Δρ. Ιάσων Κωσταρόπουλος



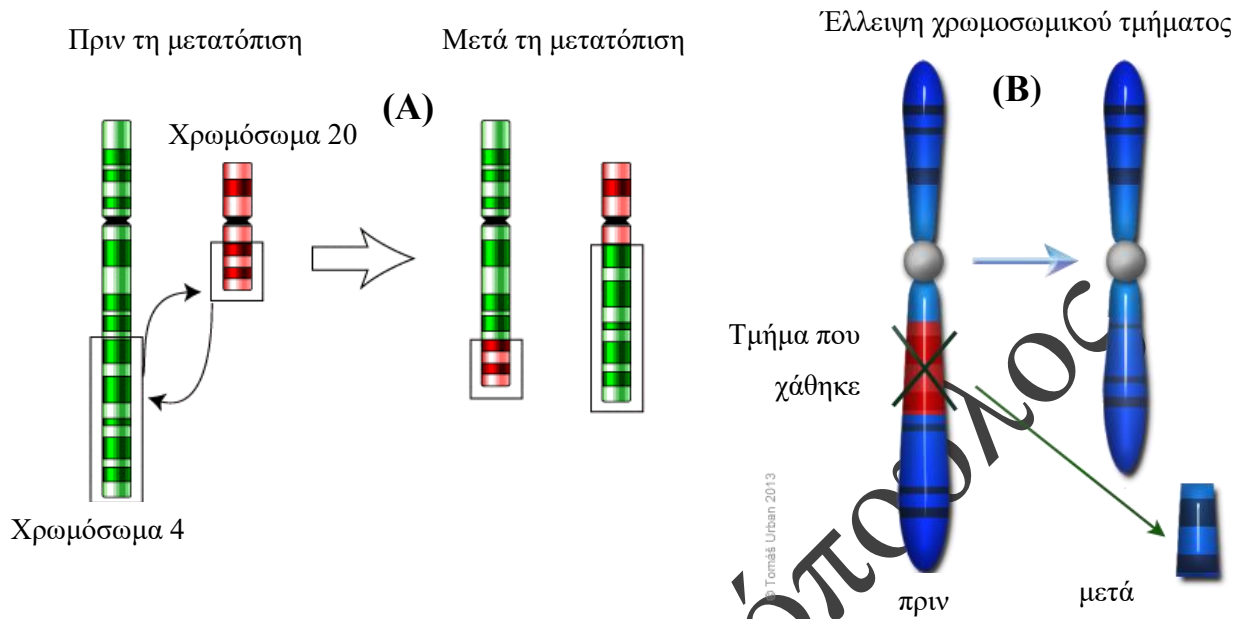
**Σχήμα 5:** Επιχiasμός. Προσέξτε την ανταλλαγή χρωμοσωμικών τμημάτων μεταξύ μη αδελφών χρωματίδων των ομόλογων χρωμοσωμάτων. Στα αρχικά χρωμοσώματα, οι συνδυασμοί γονιδίων που υπήρχαν ήταν ABC και abc. Μετά τον επιχiasμό, δημιουργήθηκαν δύο νέοι συνδυασμοί, ABc και abC. Άρα ο επιχiasμός δημιουργεί νέους συνδυασμούς γονιδίων και, κατ' επέκταση, αυξάνει τη γενετική ποικιλομορφία στους απογόνους.



**Σχήμα 6:** Η ορατή εμφάνιση του επιχiasμού σε φωτογραφία ηλεκτρονικού μικροσκοπίου. Όπου υπάρχει επιχiasμός εμφανίζεται το λεγόμενο **χιάσμα**. Πόσα χιάσματα υπάρχουν στη συγκεκριμένη εικόνα;

## Νουκλεϊκά οξέα – Μέρος Β

Δρ. Ιάσων Κωσταρόπουλος

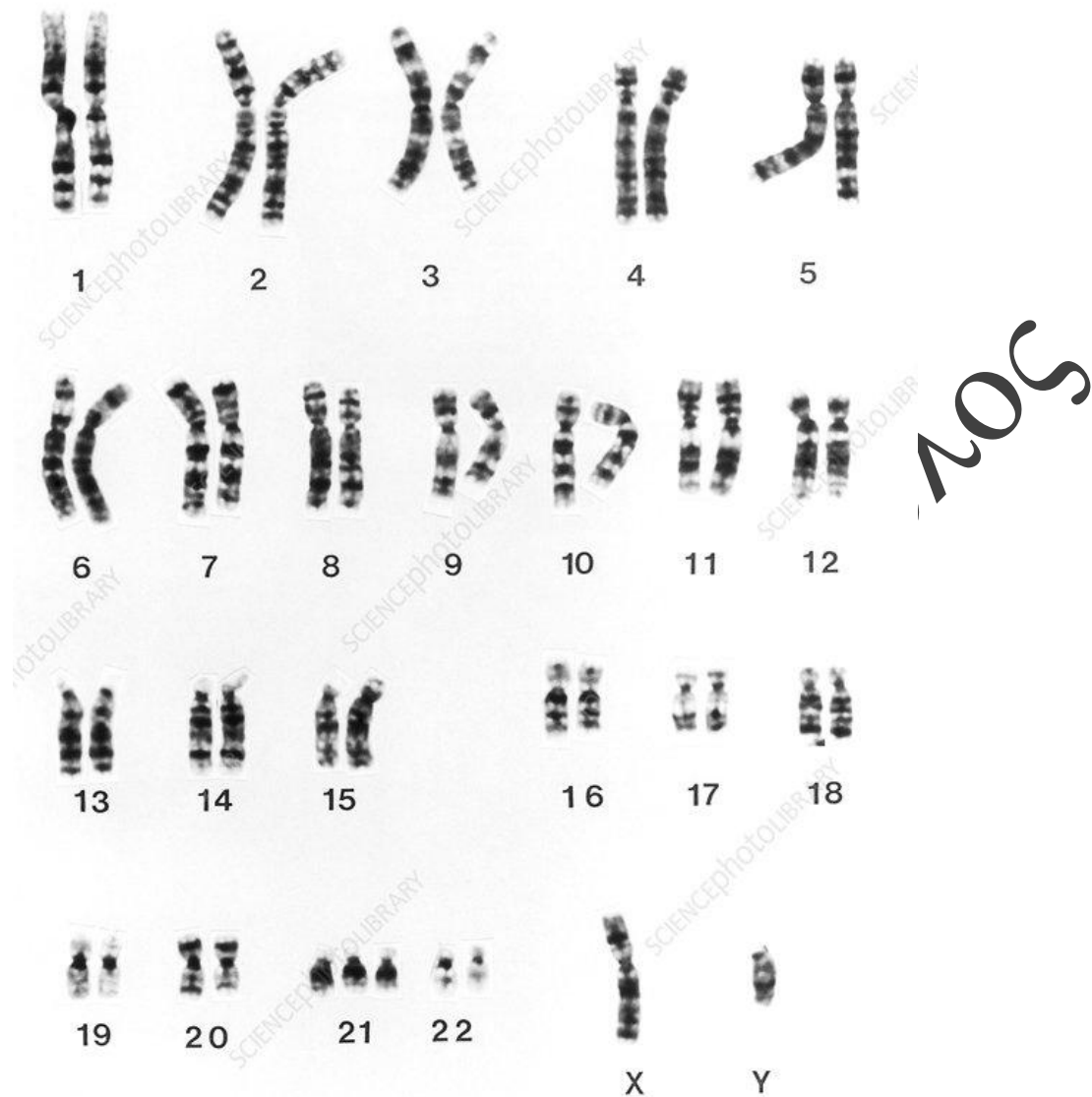


**Σχήμα 7:** Δύο κατηγορίες δομικών χρωμοσωμικών μεταλλάξεων. Στην περίπτωση (A) συνέβη **αμοιβαία μετατόπιση**, όπου δύο μη-ομόλογα χρωμοσώματα αντάλλαξαν τμήματα. Στην περίπτωση (B) συνέβη **έλλειψη**. Ένα τμήμα του χρωμοσώματος χάθηκε και το χρωμόσωμα απέκτησε μικρότερο μήκος.



## Νουκλεϊκά οξέα – Μέρος Β

Δρ. Ιάσων Κωσταρόπουλος



**Σχήμα 8:** Ο καρυότυπος ενός ατόμου με σύνδρομο Down. Το συγκεκριμένο σύνδρομο οφείλεται στο ότι το άτομο φέρει το χρωμόσωμα 21 τρεις φορές, αντί για δύο φορές.