



DNA και Χρωμοσώματα

Δρ. Γκατζίδου Ελισάβετ
Μέλος Ε.ΔΙ.Π.
Εργαστήριο Βιολογίας
Τμήμα Ιατρικής Δ.Π.Θ.

Πειραματικές αποδείξεις ότι το DNA είναι το γενετικό υλικό

- Το γενετικό υλικό προκαλεί μετασχηματισμό των βακτηρίων - **πείραμα Griffith 1928**
<https://www.youtube.com/watch?v=k2gZC1jVnHA&t=94s>
- Κλασματοποίηση κυτταρικού εκχυλίσματος - **πείραμα Avery 1942**
<https://www.youtube.com/watch?v=2re1nuO77UI>
- Το DNA ιών μπορεί να προγραμματίσει τα κύτταρα – **πείραμα Hershey-Chase 1952**
<https://www.youtube.com/watch?v=hubXqPrsIR4>

Ιστορικά Στοιχεία



- 1940: Το DNA θεωρείται ένα μακρύ πολυμερές, αποτελούμενο από 4 μόνο είδη υπομονάδων.
- 1950: Το DNA υποβλήθηκε 1^η φορά σε ανάλυση περίθλασης ακτίνων Χ. Αποτελείται από 2 κλώνους που περιελίσσονται σε μία έλικα.
- 1953: Περιγραφή ενός ορθού μοντέλου για τη δομή του DNA – μοντέλο Watson και Crick.
- 1962: Nobel Prize Francis Crick, James Watson, Maurice Wilkins
- 1958: Πέθανε η Rosalind Franklin

Ένα μόριο DNA

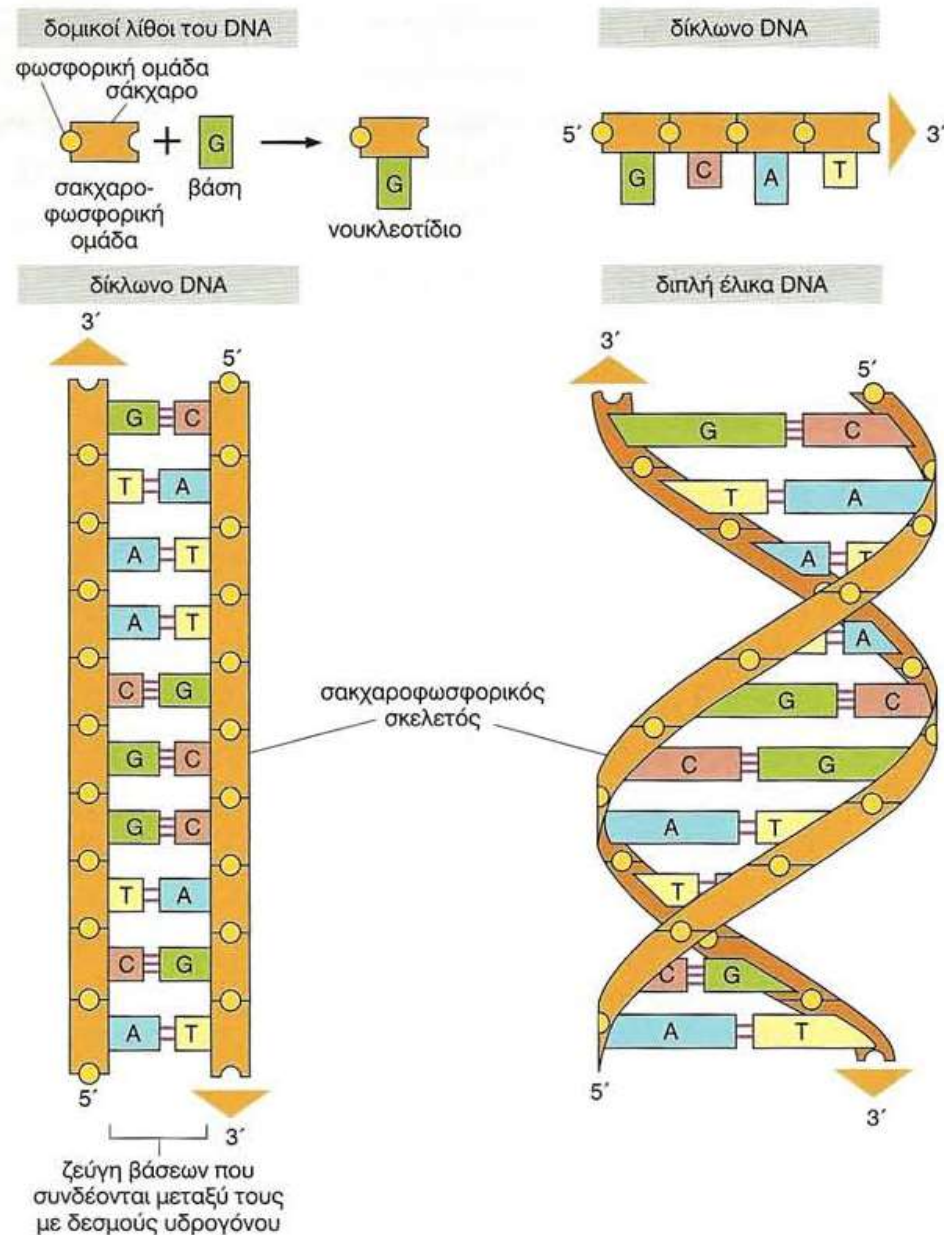
- Συνιστάται από 2 πολυνουκλεοτιδικές αλυσίδες, οι οποίες αποτελούνται από 4 είδη νουκλεοτιδίων.
- Οι δύο αλυσίδες συγκρατούνται με δεσμούς υδρογόνου μεταξύ των βάσεων των νουκλεοτιδίων των διαφορετικών κλώνων.
- Τα νουκλεοτίδια αποτελούνται από μία πεντόζη, με την οποία συνδέονται μία ή περισσότερες φωσφορικές ομάδες, και μία αζωτούχο βάση.
- Τα νουκλεοτίδια συνδέονται ομοιοπολικά μεταξύ τους σε μία αλυσίδα μέσω των σακχάρων και των φωσφορικών ομάδων τους.

Ένα μόριο DNA

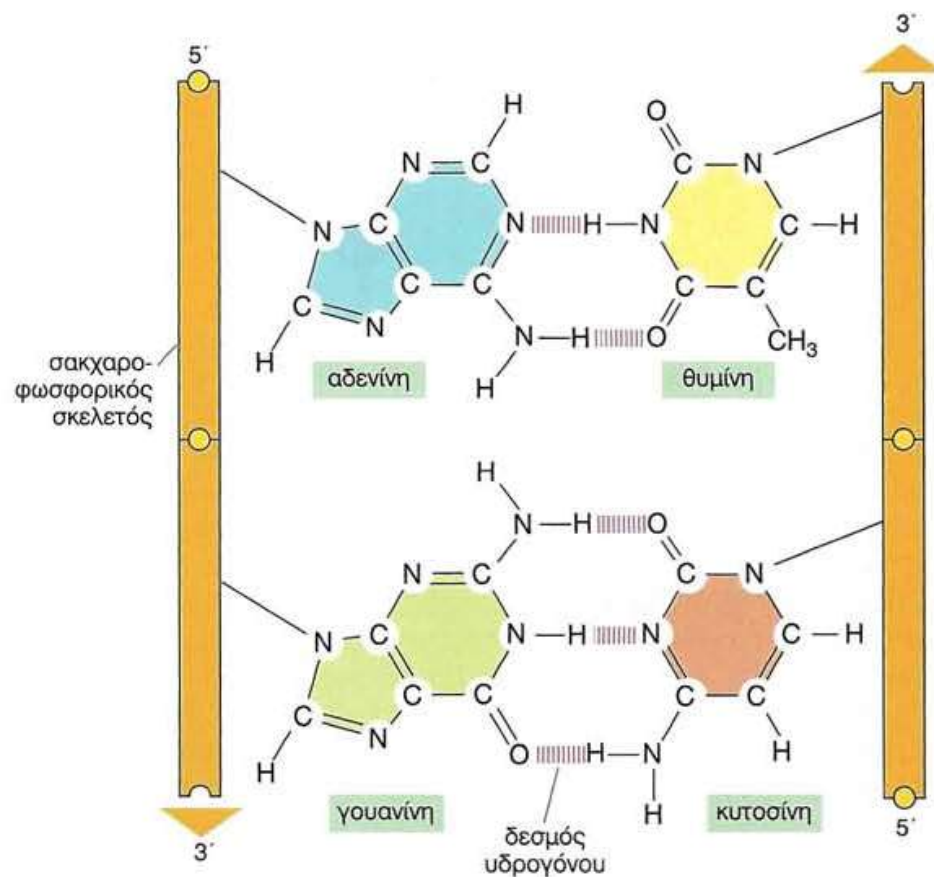
- Ο τρόπος με τον οποίο συνδέονται τα νουκλεοτίδια προσδίδει σε ένα κλώνο DNA χημική πολικότητα.
- Η πολικότητα μιας αλυσίδας DNA υποδεικνύεται ορίζοντας το ένα άκρο ως 3' και το άλλο ως 5'.
- Όλες οι βάσεις βρίσκονται στο εσωτερικό της διπλής έλικας, ενώ ο σακχαρο-φωσφορικός σκελετός στο εξωτερικό της.
- Οι βάσεις δε ζευγαρώνουν στη τύχη.

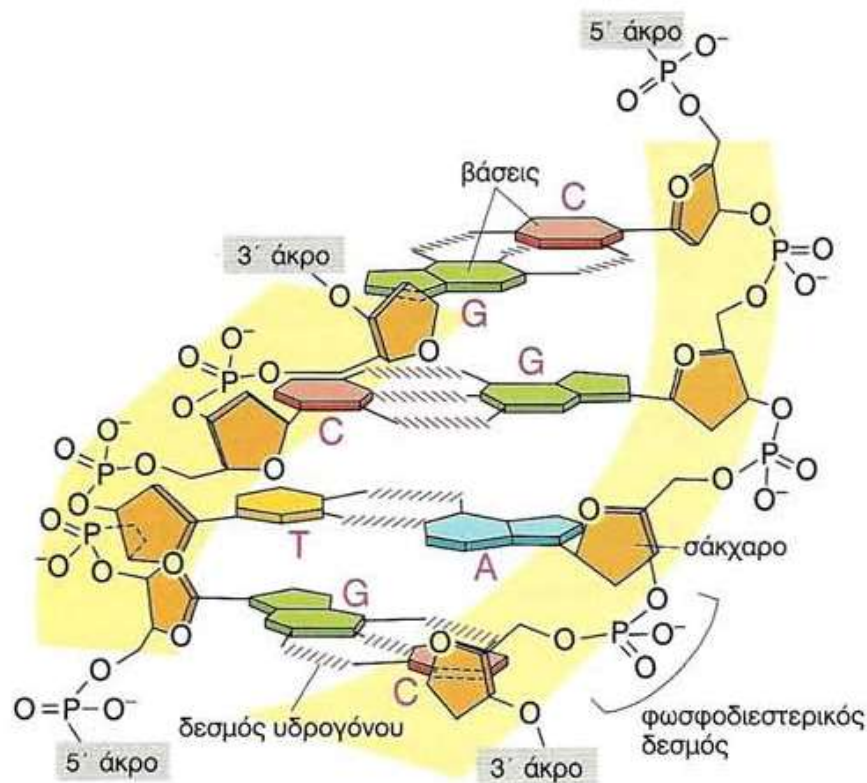
Εικόνα 5-2. Το DNA και οι δομικοί λίθοι του.

Το DNA συντίθεται από τέσσερα είδη νουκλεοτιδίων, τα οποία συνδέονται ομοιοπολικά μεταξύ τους και σχηματίζουν πολυνουκλεοτιδικές αλυσίδες μ' ένα σακχαροφωσφορικό σκελετό από τον οποίο προβάλλουν οι βάσεις (A, C, G και T). Ένα μόριο DNA αποτελείται από δύο πολυνουκλεοτιδικές αλυσίδες (κλώνοι DNA) που συγκρατούνται με δεσμούς υδρογόνου μεταξύ των ζευγαρωμένων βάσεων. Τα τρίγωνα στα άκρα των κλώνων του DNA υποδηλώνουν την πολικότητά τους. Οι δύο κλώνοι διατάσσονται αντιπαράλληλα. Στο σχήμα κάτω αριστερά, το DNA φαίνεται ευθυγραμμισμένο. Στην πραγματικότητα, όπως φαίνεται κάτω δεξιά, στρεβλώνεται και σχηματίζει μια διπλή έλικα.



Εικόνα 5-6. Τα ζεύγη των συμπληρωματικών βάσεων στη διπλή έλικα του DNA. Το σχήμα και η χημική δομή των βάσεων επιτρέπουν να σχηματίζονται δεσμοί υδρογόνου μόνο μεταξύ των βάσεων A και T και μεταξύ των βάσεων G και C. Σε αυτά τα ζεύγη βάσεων, τα άτομα τα οποία μπορούν να σχηματίζουν δεσμούς υδρογόνου (βλ. Παράρτημα 2-1) πλησιάζουν χωρίς να διαταράσσεται η διπλή έλικα. Ανάμεσα στις βάσεις A και T σχηματίζονται δύο δεσμοί υδρογόνου, ενώ ανάμεσα στις G και C τρεις. Οι βάσεις ζευγαρώνουν με αυτόν τον τρόπο μόνο όταν οι πολυνουκλεοτιδικές αλυσίδες είναι αντιπαράλληλες.





Εικόνα 5-7. Οι δύο κλώνοι της δίκλωνης έλικας του DNA συγκρατούνται μεταξύ τους σχηματίζοντας ζεύγη βάσεων. Ένα βραχύ τμήμα της διπλής έλικας όπως φαίνεται από τα πλάγια. Παρουσιάζονται τέσσερα ζεύγη βάσεων. Τα νουκλεοτίδια συνδέονται ομοιοπολικά μεταξύ τους με φωσφοδιεστερικούς δεσμούς ανάμεσα στην 3'-υδροξυλομάδα (-OH) του ενός σακχάρου και την 5'-φωσφορική ομάδα (P) του επόμενου. Επομένως, κάθε πολυνουκλεοτιδικός κλώνος εμφανίζει μια χημική πολικότητα: αυτό σημαίνει ότι τα δύο άκρα του διαφέρουν από χημική άποψη. Το 3' άκρο φέρει μια ελεύθερη υδροξυλομάδα (-OH) που βρίσκεται στην 3' θέση του δακτυλίου του σακχάρου, ενώ το 5' άκρο φέρει μια ελεύθερη φωσφορική ομάδα που συνδέεται στην 5' θέση του δακτυλίου του σακχάρου.

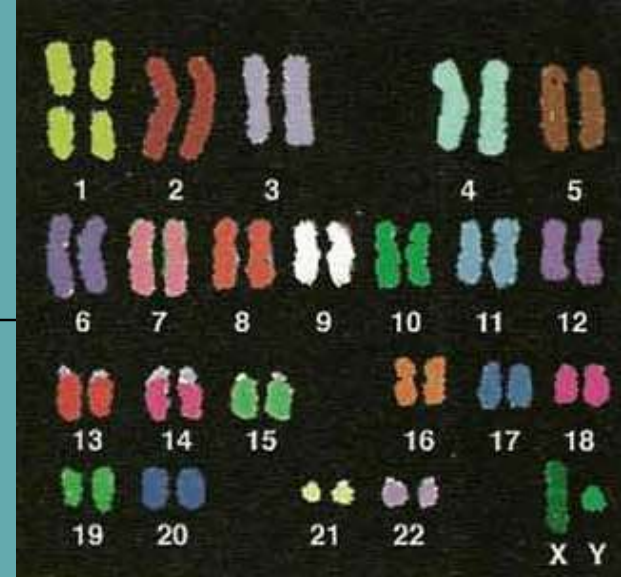
Η δομή του DNA «κρύβει» ένα μηχανισμό για την κληρονομικότητα

- Το DNA κωδικοποιεί πληροφορίες με τη σειρά ή την αλληλουχία των νουκλεοτιδίων κατά μήκος ενός κλώνου.
- Γονίδια περιέχουν οδηγίες για την παραγωγή πρωτεϊνών.
- Η έκφραση των γονιδίων είναι μία διαδικασία όπου το κύτταρο μεταγράφει την αλληλουχία των νουκλεοτιδίων ενός γονιδίου σε αλληλουχία RNA κι έπειτα μεταφράζει αυτή την πληροφορία σε αλληλουχία αμινοξέων μιας πρωτεΐνης.
- Το σύνολο των πληροφοριών στο DNA ενός οργανισμού καλείται **γονιδίωμα (genome)** του οργανισμού.
- Η συνολική ποσότητα αυτών των πληροφοριών είναι εντυπωσιακή.

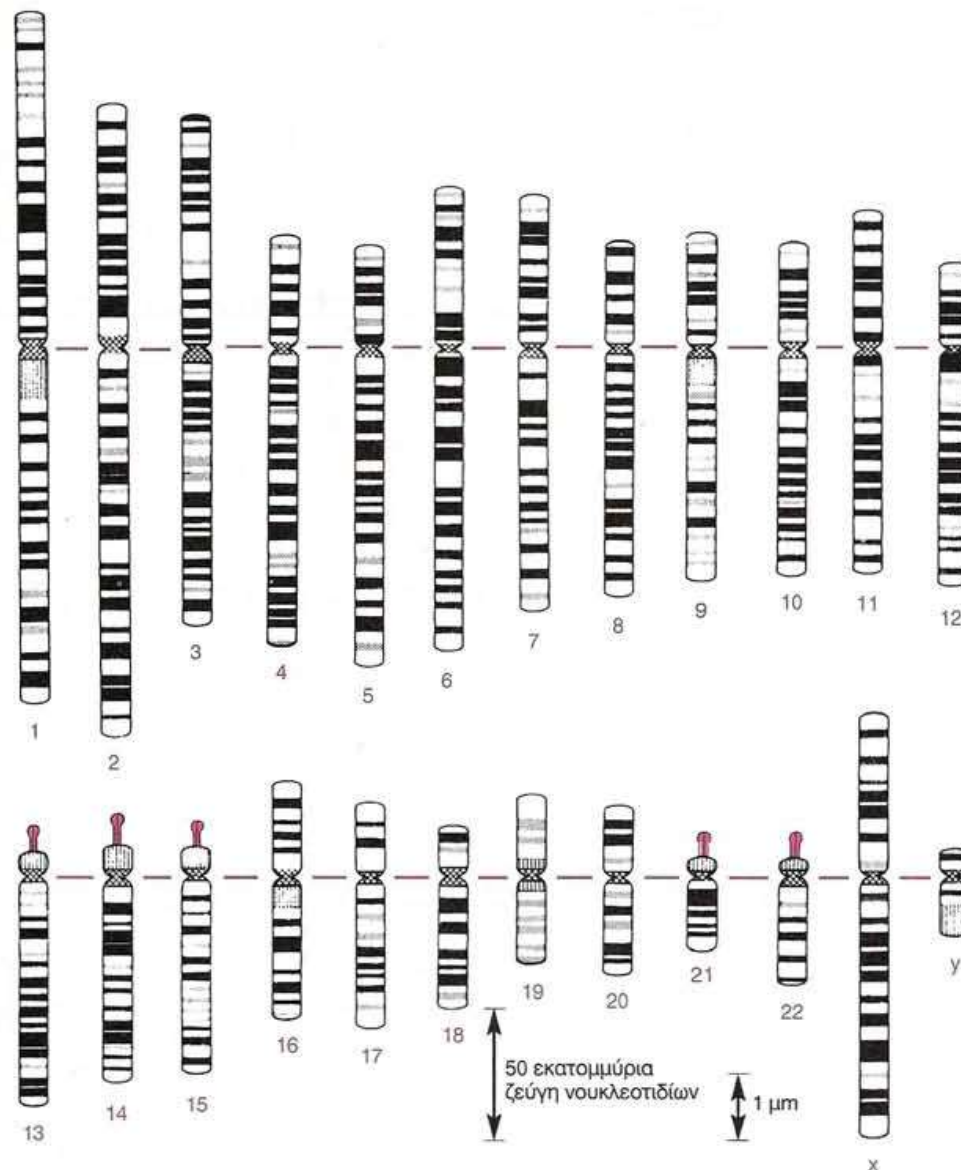
Η δομή των ευκαρυωτικών χρωμοσωμάτων

- Στους ευκαρυώτες, το DNA κατανέμεται σε μία ομάδα διαφορετικών χρωμοσωμάτων.
- Κάθε χρωμόσωμα αποτελείται από ένα μοναδικό, μακρύ, γραμμικό μόριο DNA που αλληλεπιδρά με πρωτεΐνες οι οποίες διπλώνουν και συσκευάζουν τη λεπτή ίνα του DNA σε μία πιο συμπαγή δομή.
- Το σύμπλοκο πυρηνικού DNA και πρωτεϊνών καλείται **χρωματίνη**.

Η δομή των ευκαρυωτικών χρωμοσωμάτων



- Όλα τα κύτταρα του ανθρώπου περιέχουν 2 αντίγραφα του κάθε χρωμοσώματος, ένα μητρικής και ένα πατρικής προέλευσης.
- Τα δύο χρωμοσώματα κάθε ζευγαριού καλούνται **ομόλογα**.
- Το μόνο ζεύγος μη ομόλογων χρωμοσωμάτων είναι το ζεύγος των φυλετικών χρωμοσωμάτων στους άνδρες, οι οποίοι κληρονομούν ένα χρωμόσωμα **Y** από τον πατέρα και ένα χρωμόσωμα **X** από τη μητέρα τους.
- Η παρουσίαση του συνόλου των **46 χρωμοσωμάτων** του ανθρώπου καλείται **καρυότυπος** του ανθρώπου.

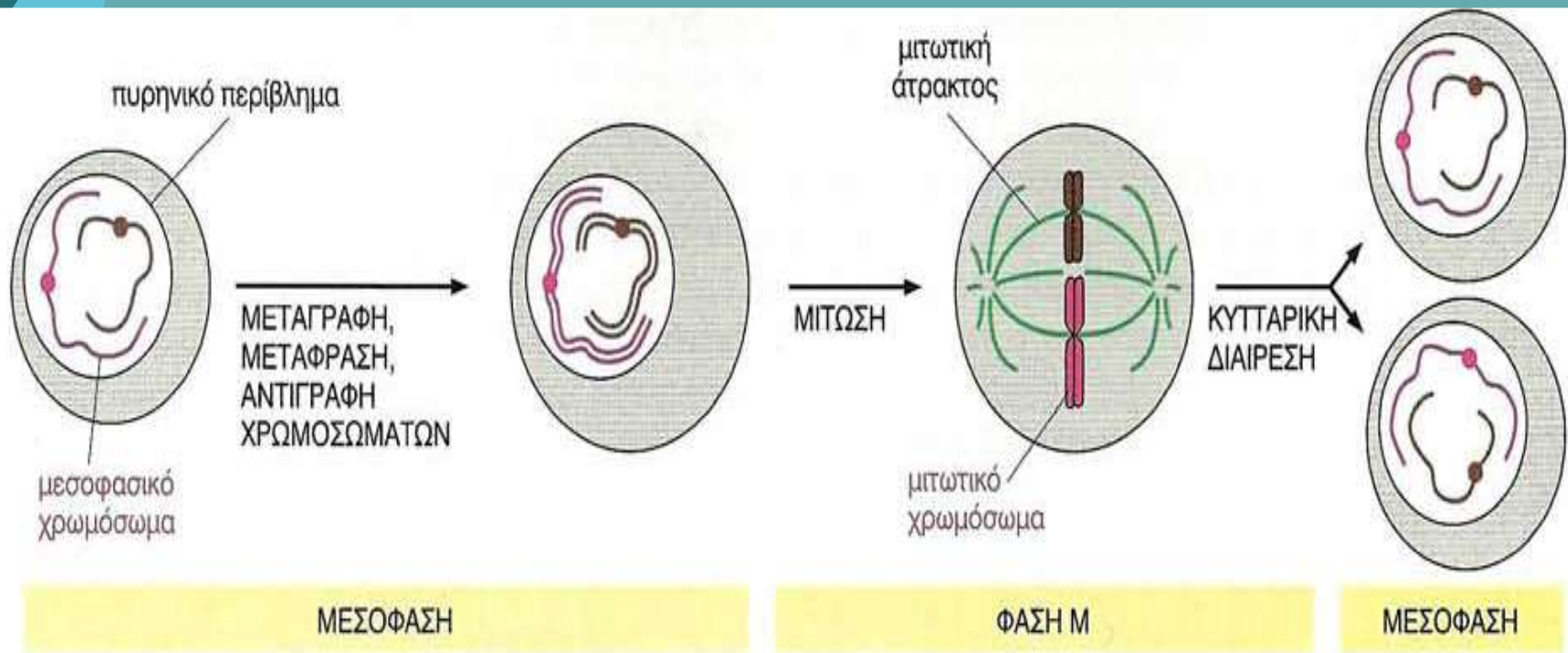


Εικόνα 5-13. Τα πρότυπα της ζώνωσης των χρωμοσωμάτων του ανθρώπου. Τα χρωμοσώματα αριθμούνται από το 1 έως το 22 περίπου κατά σειρά μεγέθους. Ένα τυπικό σωματικό (μη γαμετικό) ανθρώπινο κύτταρο περιέχει δύο αντίγραφα του κάθε χρωμοσώματος όπως επίσης και δύο φυλετικά χρωμοσώματα, τα οποία είναι δύο χρωμοσώματα Χ στις γυναίκες και από ένα χρωμόσωμα Χ και χρωμόσωμα Υ στους άνδρες. Τα χρωμοσώματα που χρησιμοποιήθηκαν για τον σχεδιασμό αυτών των χαρτών χρώστηκαν σ' ένα πρώιμο στάδιο της μίτωσης, ενώ ήταν πολύ συμπαγή. Η οριζόντια γραμμή αναπαριστά την εντόπιση του κεντρομεριδίου, το οποίο φαίνεται σαν μια περίσφιξη πάνω στα μιτωτικά χρωμοσώματα. Τα επάρματα πάνω στα χρωμοσώματα 13, 14, 15, 21 και 22 υποδηλώνουν την εντόπιση των γονιδίων που κωδικοποιούν τα μεγάλα ριβοσωματικά μόρια RNA. Τα πρότυπα αυτά προκύπτουν μετά από χρώση των χρωμοσωμάτων με τη χρωστική Giemsa, η οποία παράγει σκούρες ζώνες σε περιοχές πλούσιες σε ζεύγη νουκλεοτιδίων A-T. (Προσαρμοσμένο από: U. Franke, *Cytogenet. Cell Genet.* 31:24-32, 1981).

Γονίδιο

- Η σημαντικότερη λειτουργία των χρωμοσωμάτων είναι να μεταφέρουν τα γονίδια.
- Γονίδιο: το τμήμα του DNA που περιέχει τις πληροφορίες για την παρασκευή μιας ορισμένης πρωτεΐνης.

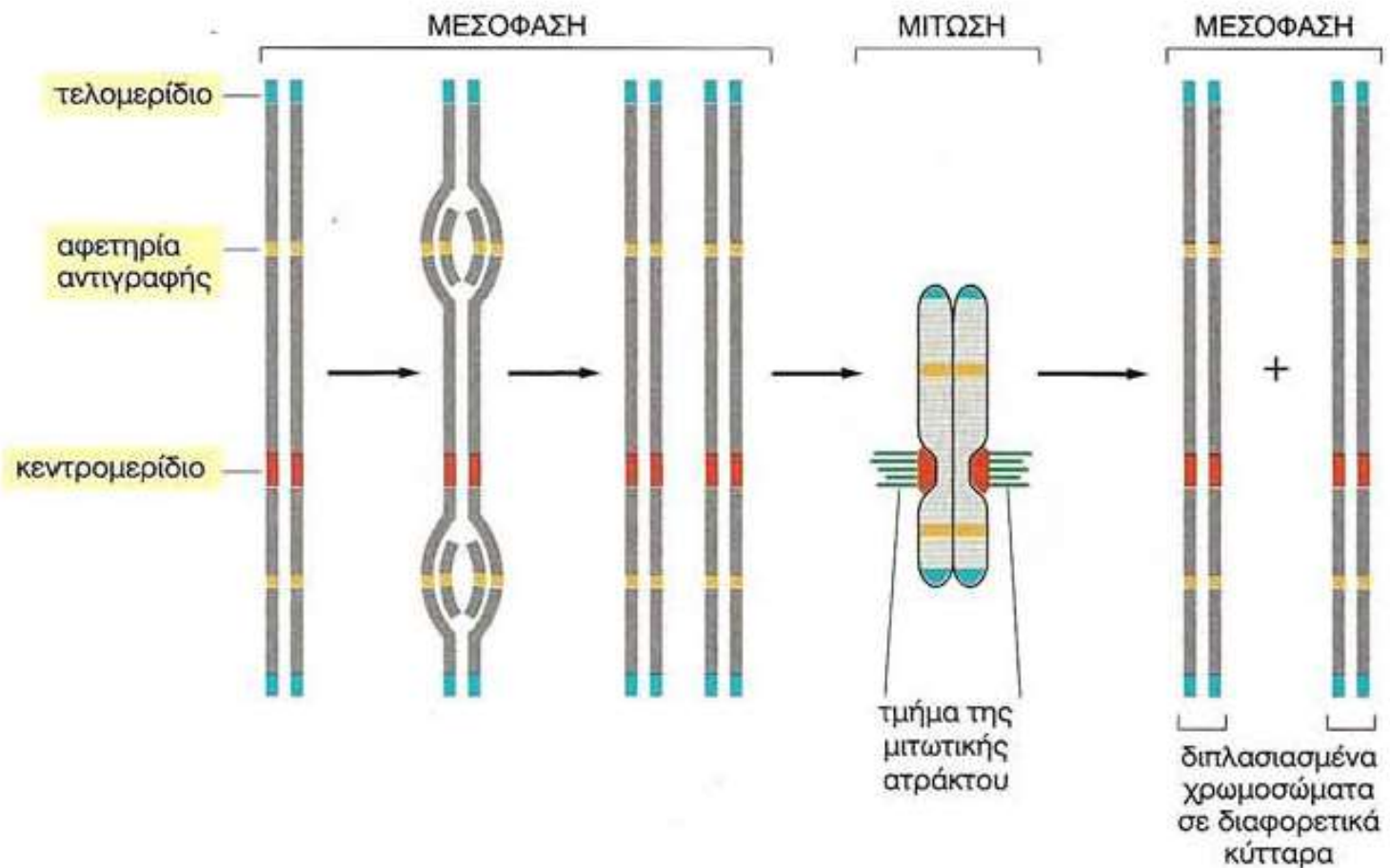
Τα χρωμοσώματα βρίσκονται σε διαφορετικές καταστάσεις κατά τη διάρκεια ζωής του κυττάρου.



Τα χρωμοσώματα βρίσκονται σε διαφορετικές καταστάσεις κατά τη διάρκεια ζωής του κυττάρου.

1. Δρα ως αφετηρία αντιγραφής του DNA (DNA replication origin) κι εκεί αρχίζει ο διπλασιασμός του DNA.
2. Τελομερίδιο (telomere): βρίσκεται σε καθένα από τα δύο άκρα ενός χρωμοσώματος.
3. Κεντρομερίδιο (centromere): επιτρέπει σε κάθε αντίγραφο κάθε διπλασιασμένου χρωμοσώματος να μετακινηθεί σε ένα από τα δύο θυγατρικά κύτταρα κατά τη διαίρεση του κυττάρου.

Τα χρωμοσώματα βρίσκονται σε διαφορετικές καταστάσεις κατά τη διάρκεια ζωής του κυττάρου.



Μεσοφασικά Χρωμοσώματα

- Τα μεσοφασικά χρωμοσώματα είναι μακρύτερα και λεπτότερα από τα μιτωτικά.
- Οργανώνονται μέσα στον πυρήνα:
 1. Κάθε χρωμόσωμα τείνει να καταλαμβάνει συγκεκριμένη θέση του πυρήνα και, συνεπώς, διαφορετικά χρωμοσώματα δεν εμπλέκονται μεταξύ τους σε σημαντικό βαθμό.
 2. Συγκεκριμένες περιοχές χρωμοσωμάτων εφάπτονται σε σημεία της πυρηνικής μεμβράνης ή του πυρηνικού υμένα.

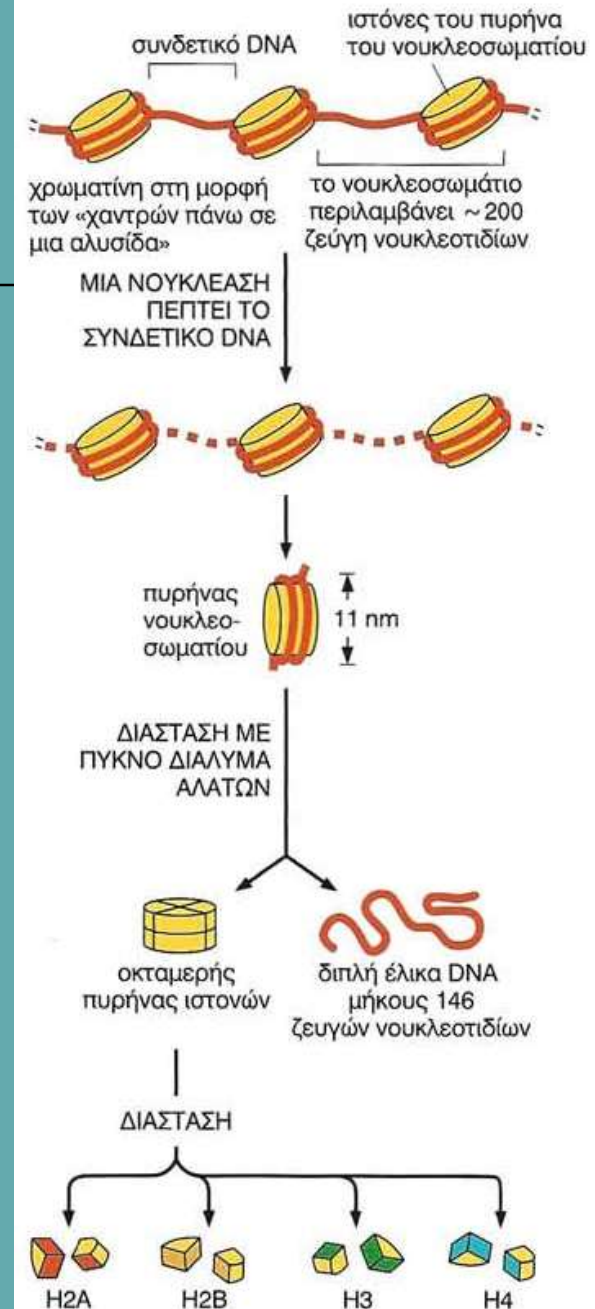
-
- Οι πρωτεΐνες που προσδένονται στο DNA για να δημιουργήσουν τα ευκαρυωτικά χρωμοσώματα:

1. Ιστόνες

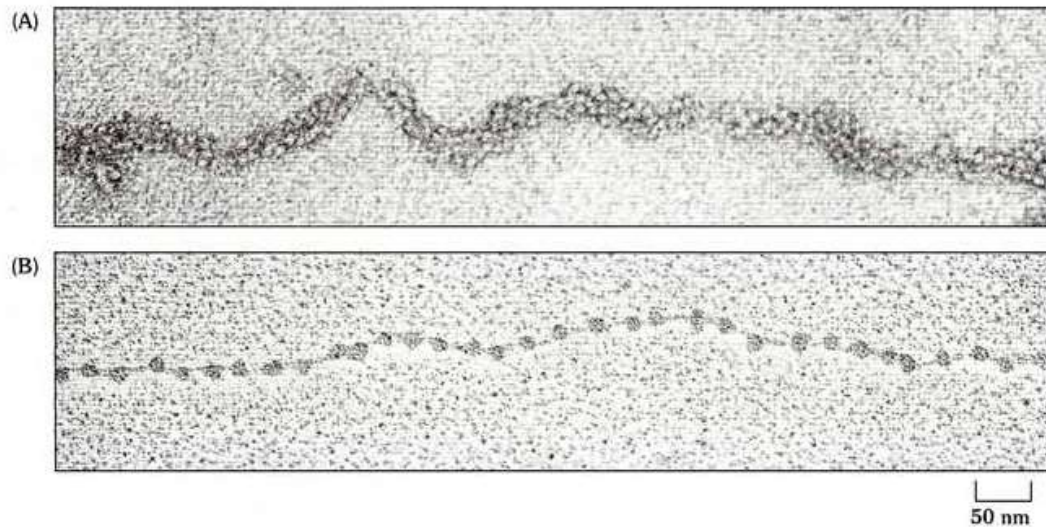
2. Υπόλοιπες χρωμοσωμικές πρωτεΐνες - Μη ιστόνες

Νουκλεοσωμάτιο

Εικόνα 5-22. Η σύσταση του νουκλεοσωματίου. Ένα νουκλεοσωμάτιο περιέχει έναν πρωτεϊνικό πυρήνα αποτελούμενο από οκτώ μόρια ιστονών. Όπως φαίνεται στην εικόνα, ο πυρήνας του νουκλεοσωματίου απελευθερώνεται από τη χρωματίνη μετά από πέψη του συνδετικού DNA με μια νουκλεάση, ένα ένζυμο που διασπά το DNA. (Η νουκλεάση αποδομεί το εκτεθειμένο DNA, αδυνατεί όμως να αποδομήσει το περιελιγμένο DNA γύρω από το νουκλεοσωμάτιο). Μετά τη διάσπαση του απομονωμένου νουκλεοσωματίου στον πρωτεϊνικό πυρήνα και το DNA, μπορεί να καθοριστεί το μήκος του τμήματος του DNA που είχε περιελιχθεί γύρω από τον πυρήνα. Το τμήμα αυτό έχει μήκος 146 ζευγών νουκλεοτιδίων και περιελίσσεται γύρω από τον πυρήνα των ιστονών σχεδόν δύο φορές.



Νουκλεοσωμάτιο



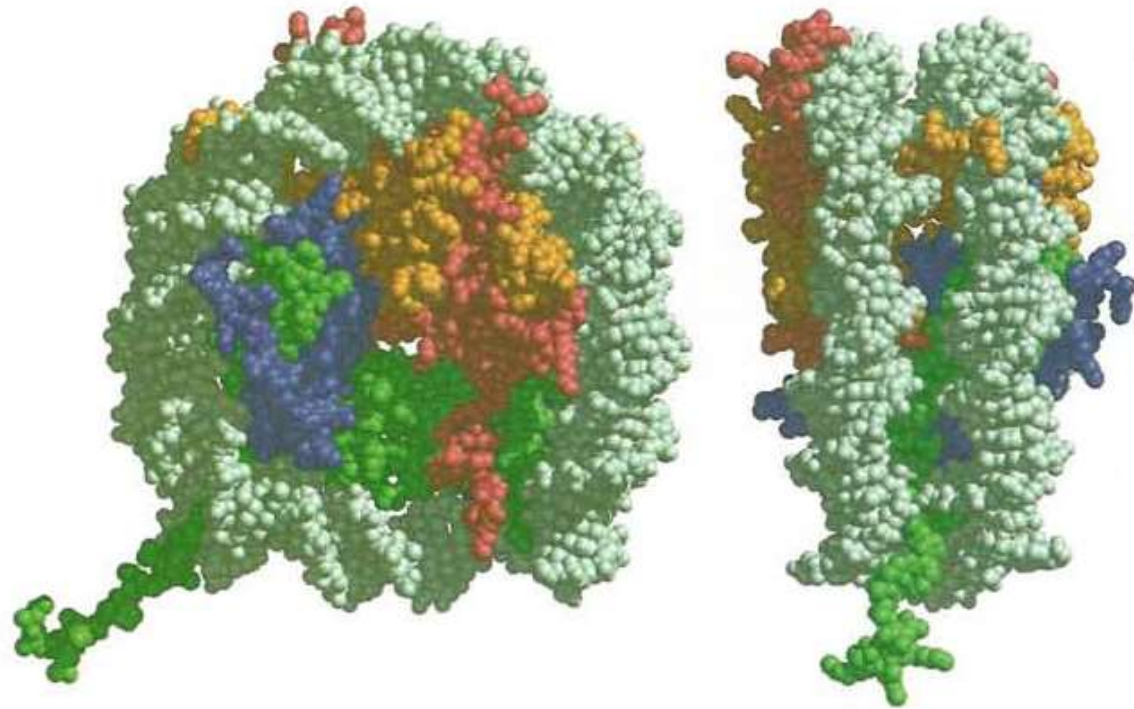
Εικόνα 5-21. Τα νουκλεοσωμάτια όπως φαίνονται με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. (Α) Η χρωματίνη που απομονώνεται άμεσα από έναν μεσοφασικό πυρήνα φαίνεται στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σαν ίνα πάχους 30 nm. (Με την άδεια της Barbara Hamkalo). (Β) Στην ηλεκτρονιομικρογραφία φαίνεται ένα τμήμα χρωματίνης το οποίο έχει αποσυσκευαστεί (ή αλλιώς «αποσυμπυκνωθεί») πειραματικά έτσι ώστε ν' αποκαλυφθούν τα νουκλεοσωμάτια. (Με την άδεια της Victoria Foe).

Νουκλεοσωμάτιο

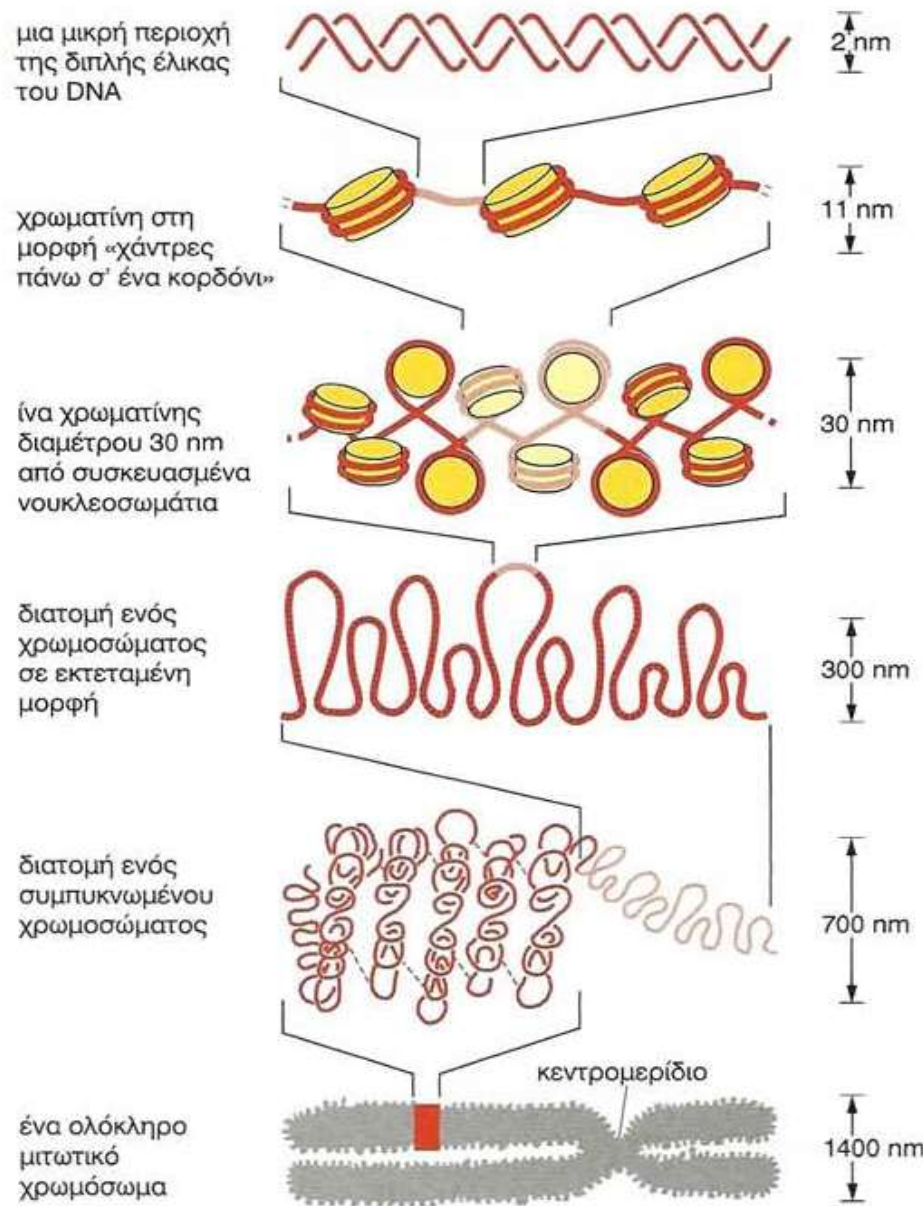
- Ο πυρήνας ενός νουκλεοσωματίου αποτελείται από ένα σύμπλοκο 8 πρωτεϊνικών μορίων ιστονών (ανά 2 μόρια των ιστονών H_2A , H_2B , H_3 και H_4) κι ενός τμήματος DNA, μήκους ~ 147 ζευγών νουκλεοτιδίων.
- Το οκταμερές των ιστονών σχηματίζει ένα πρωτεϊνικό «πυρήνα» γύρω από τον οποίο περιελίσσεται η δίκλωνη έλικα του DNA.
- Το συνδετικό DNA ανάμεσα σε δύο πυρήνες νουκλεοσωματίου ποικίλει από μερικά ζεύγη νουκλεοτιδίων μέχρι 80.
- Ο σχηματισμός των νουκλεοσωματίων μετατρέπει ένα μόριο DNA σε μία ίνα χρωματίνης με μήκος $\sim 1/3$ του αρχικού και προσφέρει το πρώτο επίπεδο συσκευασίας του DNA.

Η δομή του «πυρήνα» του νουκλεοσωματίου

Εικόνα 5-23. Η δομή του «πυρήνα» του νουκλεοσωματίου, όπως καθορίζεται με την τεχνική της περίθλασης των ακτίνων Χ, αποκαλύπτει πώς το DNA συνδέεται σφιχτά γύρω από τον δισκοειδή πυρήνα των ιστονών. Κάθε ιστόνη αποδίδεται χρωματικά όπως στην Εικόνα 5-22. Η έλικα του DNA αποδίδεται με γκρι χρώμα. Ένα τμήμα της ουράς της ιστόνης H3 προεξέχει από το νουκλεοσωμάτιο (οι ουρές των άλλων ιστονών δεν παρουσιάζονται στην εικόνα). (Αναδημοσιεύεται από: K. Luger et al., *Nature* 389:251-260, 1997. © Macmillan Magazines Ltd.).

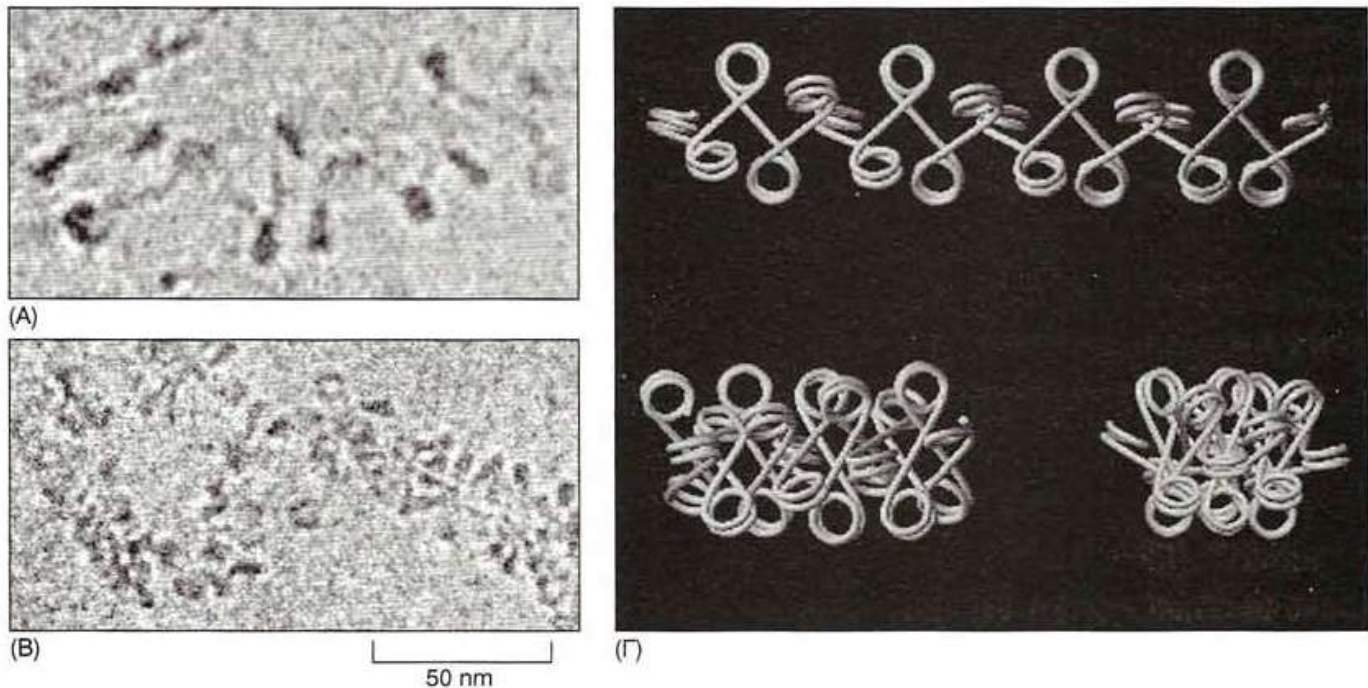


Εικόνα 5-24. Επίπεδα συσκευασίας της χρωματίνης. Ορισμένα από τα επίπεδα συσκευασίας της χρωματίνης τα οποία φαίνεται ότι οδηγούν στη δημιουργία του πολύ συμπυκνωμένου μιτωτικού χρωμοσώματος. Το δίκλωμα ενός μορίου DNA σε νουκλεοσώματα είναι το πιο κατανοητό επίπεδο συσκευασίας. Οι δομές που αντιστοιχούν στα περαιτέρω επίπεδα συσκευασίας της χρωματίνης είναι πιο υποθετικές.



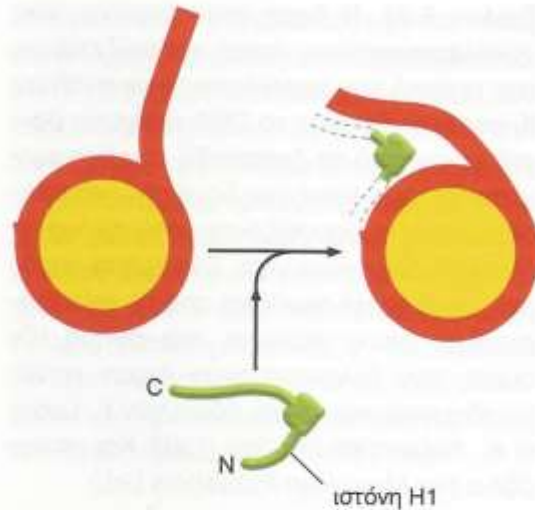
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ: ΚΑΘΕ ΜΟΡΙΟ DNA ΕΧΕΙ ΣΥΣΚΕΥΑΣΤΕΙ ΣΕ ΕΝΑ ΜΙΤΩΤΙΚΟ ΧΡΩΜΟΣΩΜΑ ΤΟ ΟΠΟΙΟ ΕΙΝΑΙ 10,000 ΦΟΡΕΣ ΒΡΑΧΥΤΕΡΟ ΑΠΟ ΤΟ ΜΟΡΙΟ ΤΟΥ DNA

Επίπεδα συσκευασίας της χρωματίνης



Εικόνα 5-25. Οι ίνες της χρωματίνης πιθανόν συσκευάζονται σύμφωνα μ' ένα μοντέλο ζιγκ-ζαγκ. (Α και Β) Ηλεκτρονιομικρογραφίες που παρέχουν ενδείξεις για τα μοντέλα στο (Γ) (πάνω και κάτω αριστερά). Η δομή της ίνας χρωματίνης των 30 nm ίσως είναι συνδυασμός αυτών των παραλλαγών ζιγκ-ζαγκ. Η αλληλομετατροπή των παραλλαγών πιθανόν συμβαίνει με επέκταση και συσπίρωση της ίνας (σαν ένα ακορντεόν). Στα διαγράμματα του (Γ) δεν παρουσιάζονται οι πυρήνες των ιστονών. (Από: J. Bednar et al., *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 95: 14173-14178, 1998. © National Academy of Sciences).

Επίπεδα συσκευασίας του DNA



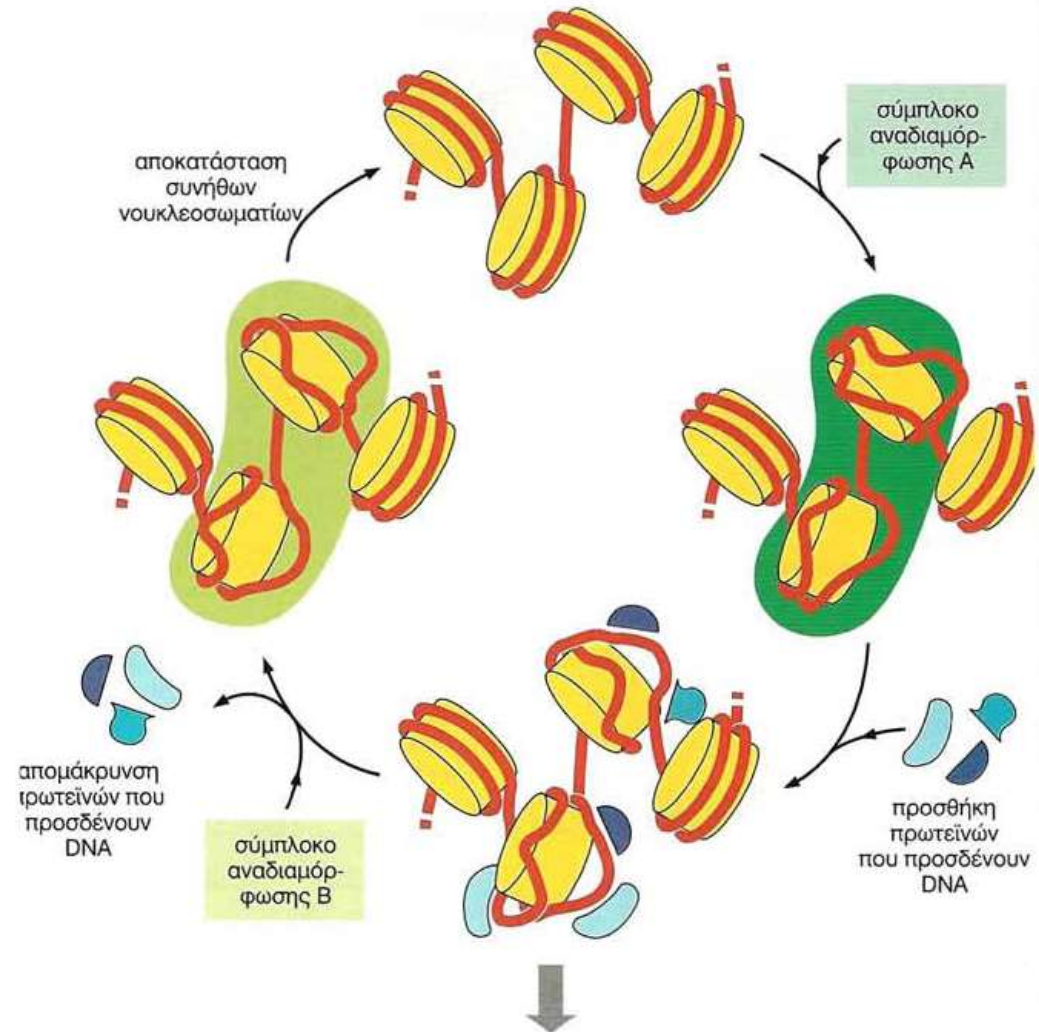
Εικόνα 5-24. Μια συνδετική ιστόνη βοηθά δύο νουκλεοτίδια να συμπλησιάσουν και σχηματίζει μια ίνα μήκους 30-nm. Η ιστόνη H1 αποτελείται από μια σφαιρική περιοχή κι ένα ζεύγος μακριών ουρών στο C-τελικό και το N-τελικό της άκρο. Η σφαιρική περιοχή περιέχει επιπλέον 20 ζεύγη βάσεων του DNA που προβάλλει από τον «πυρήνα» του νουκλεοσωματίου, ιδιότητα που θεωρείται σημαντική για το σχηματισμό της ίνας μήκους 30-nm. Η μακριά C-τελική ουρά είναι απαραίτητη για την πρόσδεση στη χρωματίνη, αλλά η θέση της όπως και η θέση της N-τελικής ουράς, δεν είναι γνωστή.

Αλλαγές στη δομή των νουκλεοσωματίων επιτρέπουν πρόσβαση στο DNA

- Τα ευκαρυωτικά κύτταρα διαθέτουν αρκετούς τρόπους για να αναδιαμορφώνουν γρήγορα την τοπική δομή της χρωματίνης.
- 1. Σύμπλοκα Αναδιαμόρφωσης της Χρωματίνης (Chromatin Remodeling Complexes)
- 2. Αντιστρεπτή χημική τροποποίηση των ιστονών.

Σύμπλοκα Αναδιαμόρφωσης Χρωματίνης

Εικόνα 5-29. Τα σύμπλοκα αναδιαμόρφωσης της χρωματίνης τροποποιούν τη δομή των νουκλεοσωματίων. Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο, διαφορετικά σύμπλοκα αναδιαμόρφωσης της χρωματίνης αποδομούν και αναδομούν τα νουκλεοσωμάτια. Ωστόσο, θεωρητικά, το ίδιο σύμπλοκο θα μπορούσε να καταλύει και τις δύο αντιδράσεις. Οι πρωτεΐνες που προσδένονται στο DNA μπορεί να εμπλέκονται στην έκφραση γονιδίων, στην αντιγραφή ή στην επιδιόρθωση του DNA.



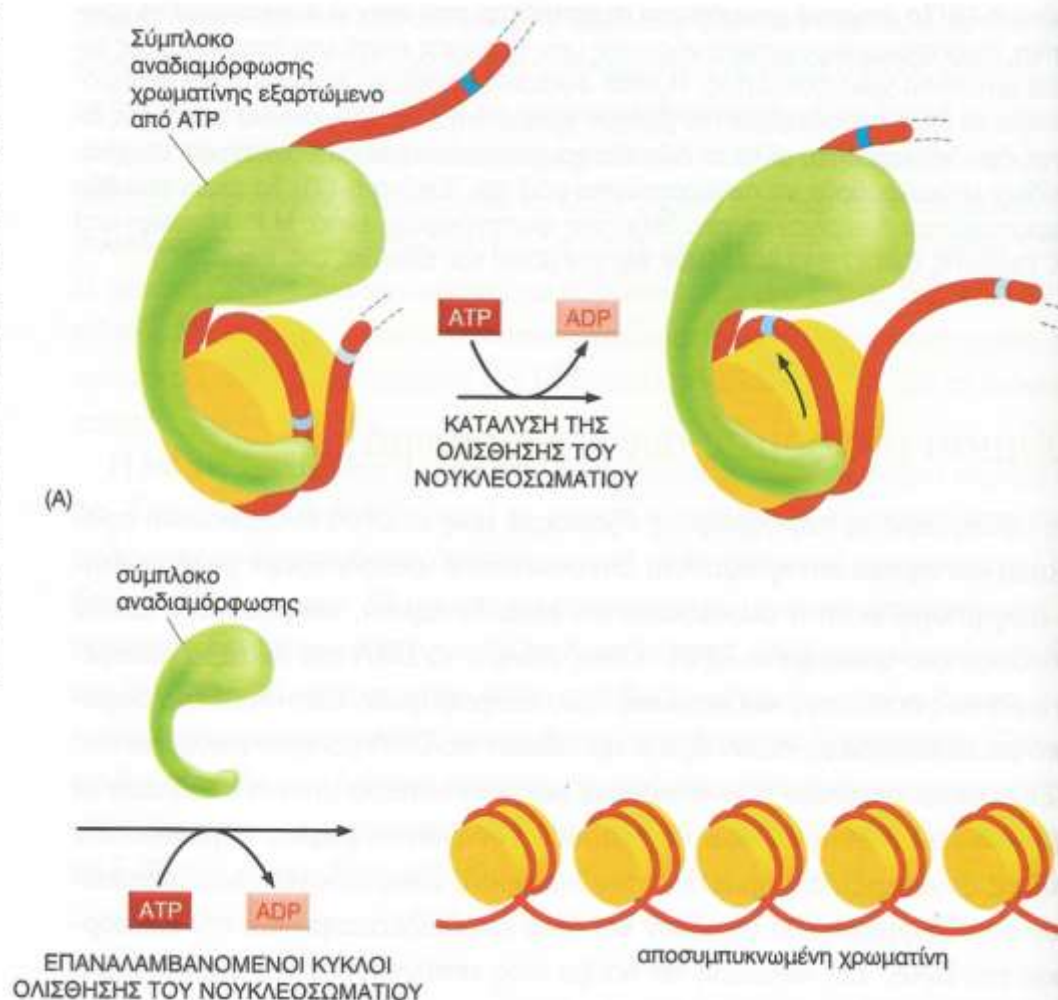
Η ΕΚΦΡΑΣΗ ΤΩΝ ΓΟΝΙΔΙΩΝ, Η ΑΝΤΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ DNA ΚΑΙ ΆΛΛΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΟΥ ΠΡΟΫΠΟΘΕΤΟΥΝ ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΣΕ DNA ΣΥΣΚΕΥΑΣΜΕΝΟ ΣΕ ΝΟΥΚΛΕΟΣΩΜΑΤΙΑ

Σύμπλοκα Αναδιαμόρφωσης Χρωματίνης

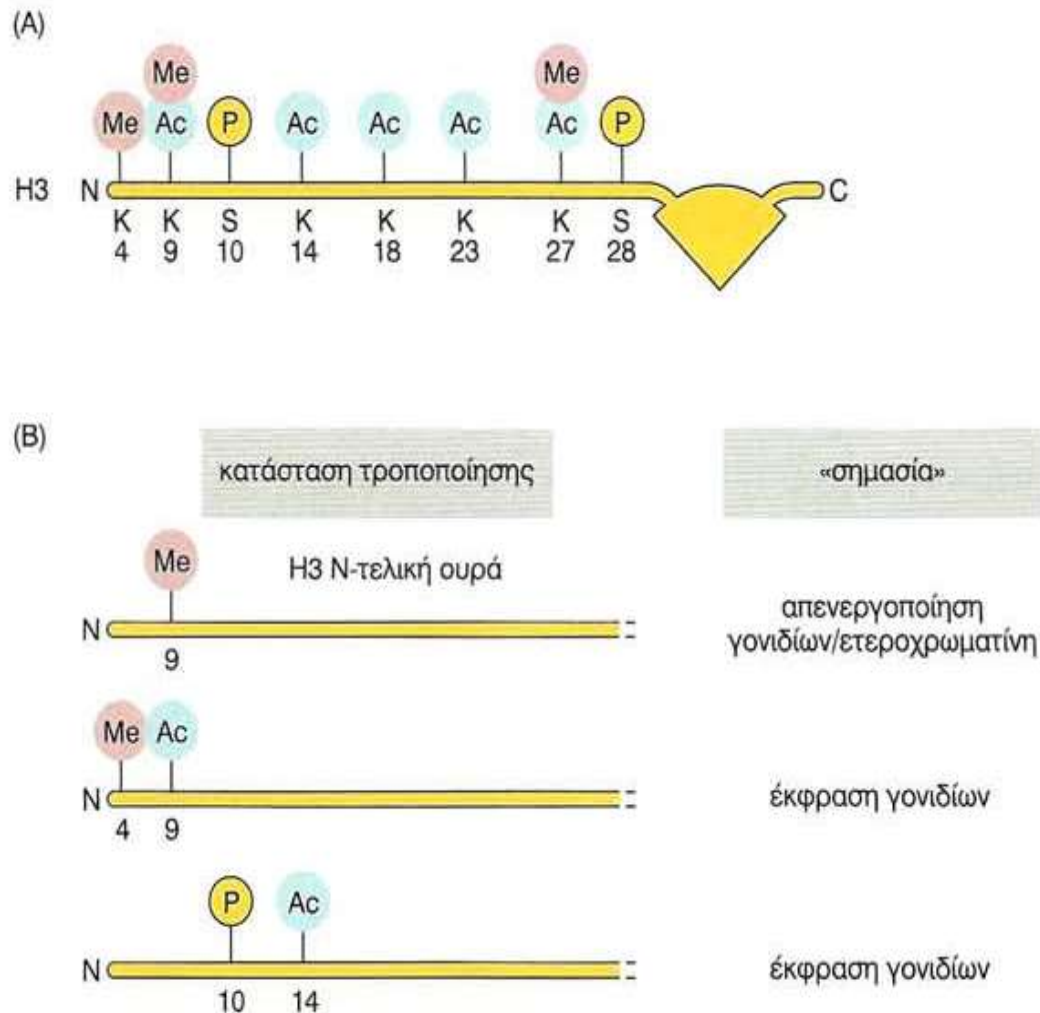
Εικόνα 5-27. Συμπλέγματα αναδιαμόρφωσης χρωματίνης επανατοποθετούν και τυλίγουν το DNA γύρω από το νουκλεοσωμάτιο (A) Επαναλαμβανόμενοι κύκλοι υδρόλυσης του ATP επιτρέπουν στο σύμπλοκο αναδιαμόρφωσης χρωματίνης να χαλαρώσει το DNA του νουκλεοσωματίου και να ολισθήσει γύρω από τον πυρήνα των ιστονών. Αυτό επανατοποθετεί (ολισθαίνει) το νουκλεοσωμάτιο, εκθέτοντας το DNA σε διαφορετικές πρωτεΐνες που συνδέονται με το DNA. Για να πραγματοποιηθεί αυτή η μετατόπιση απαιτούνται πολλαπλοί κύκλοι υδρόλυσης του ATP. **(B)** Πολλαπλοί κύκλοι ολίσθησης του νουκλεοσωματίου μπορεί να προ καλέσουν αποσυμπύκνωση της χρωματίνης, εκθέτοντας το υποκείμενο DNA σε άλλες πρωτεΐνες του κυττάρου. Αντίστροφα, άλλου τύπου ολισθήσεις μπορεί να συμπυκνώσουν τη χρωματίνη μιας συγκεκριμένης χρωμοσωμικής περιοχής.



(B) συμπυκνωμένη χρωματίνη



Αντιστρεπτή χημική τροποποίηση της ουράς των ιστονών



Εικόνα 5-30. Το πρότυπο τροποποίησης της ουράς των ιστονών πιθανόν υπαγορεύει πώς θα «χειριστεί» το κύτταρο μια περιοχή της χρωματίνης. (A) Κάθε ιστόνη μπορεί να τροποποιηθεί με ομοιοπολική προσθήκη αρκετών διαφορετικών μορίων. Για παράδειγμα, η ιστόνη H3 μπορεί ν' αποδεχθεί μια ακετυλομάδα (Ac), μια μεθυλομάδα (Me) ή μια φωσφορική ομάδα (P). Μερικές θέσεις (π.χ. Lys 9 και Lys 27) τροποποιούνται με δύο ή περισσότερους τρόπους. (B) Οι διαφορετικοί συνδυασμοί τροποποιήσεων της ουράς των ιστονών ίσως αποτελούν ένα είδος «κώδικα των ιστονών». Σύμφωνα με την υπόθεση του κώδικα των ιστονών, κάθε τροποποίηση προσδίδει ένα ειδικό μήνυμα στο τμήμα της χρωματίνης στο οποίο συμβαίνει. Μόνο λίγα από αυτά τα μηνύματα είναι γνωστά.

Μεσοφασικά Χρωμοσώματα

- Η χρωματίνη των μεσοφασικών χρωμοσωμάτων δεν έχει ομοιογενή συσκευασία.
- Οι περιοχές του χρωμοσώματος οι οποίες περιέχουν γονίδια που εκφράζονται είναι πιο εκτεταμένες, ενώ οι περιοχές που περιέχουν γονίδια σε «ηρεμία» είναι πιο συμπαγείς.
- Η λεπτομερής δομή ενός μεσοφασικού χρωμοσώματος διαφέρει από το ένα είδος κυττάρου στο άλλο, ανάλογα με τα γονίδια που εκφράζονται.

Μεσοφασικά Χρωμοσώματα

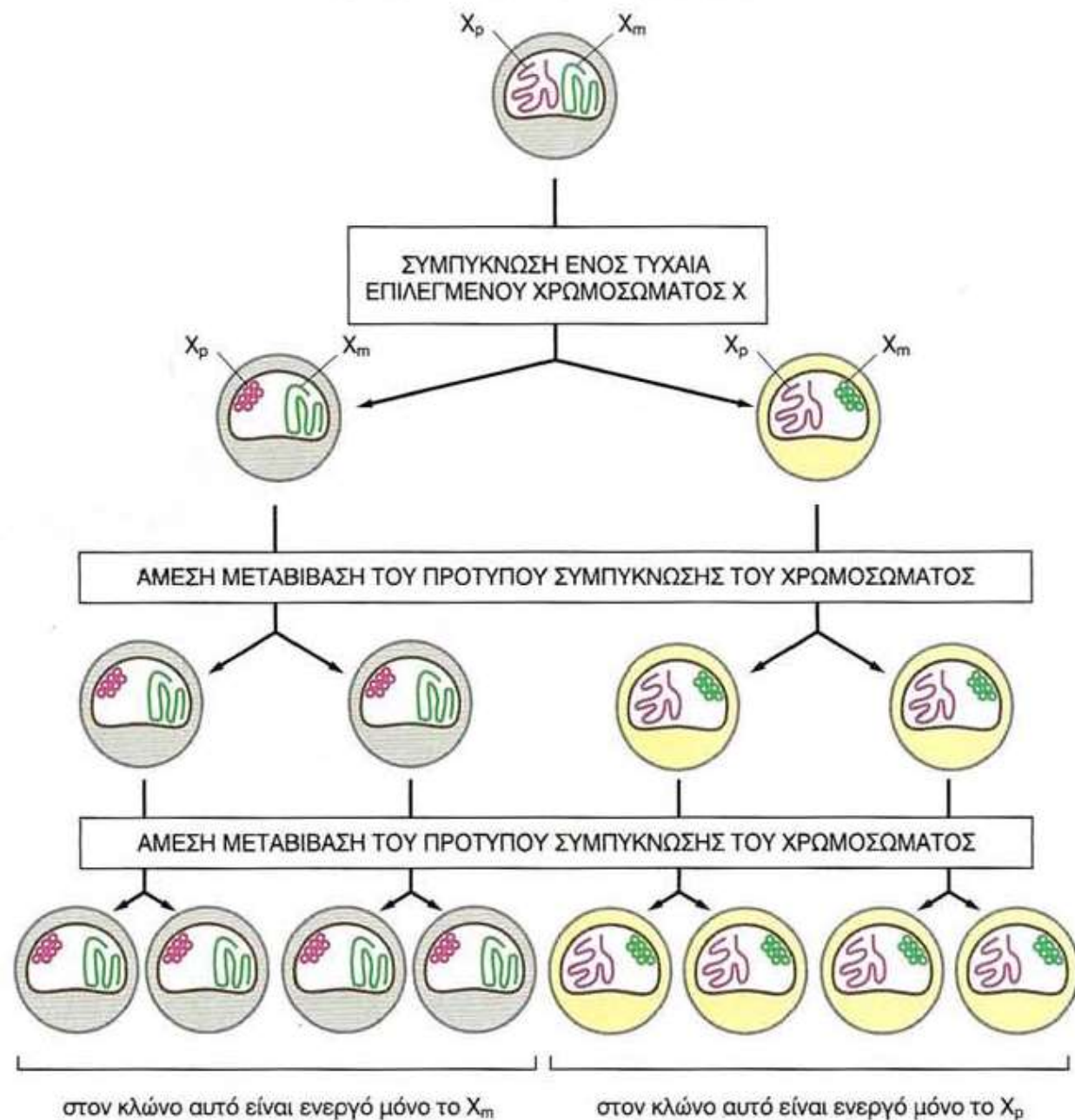
- **Ετεροχρωματίνη – Heterochromatin**

- Η πιο συμπαγής μορφή της μεσοφασικής χρωματίνης
- Γονίδια **ΔΕΝ** εκφράζονται

- **Ευχρωματίνη**

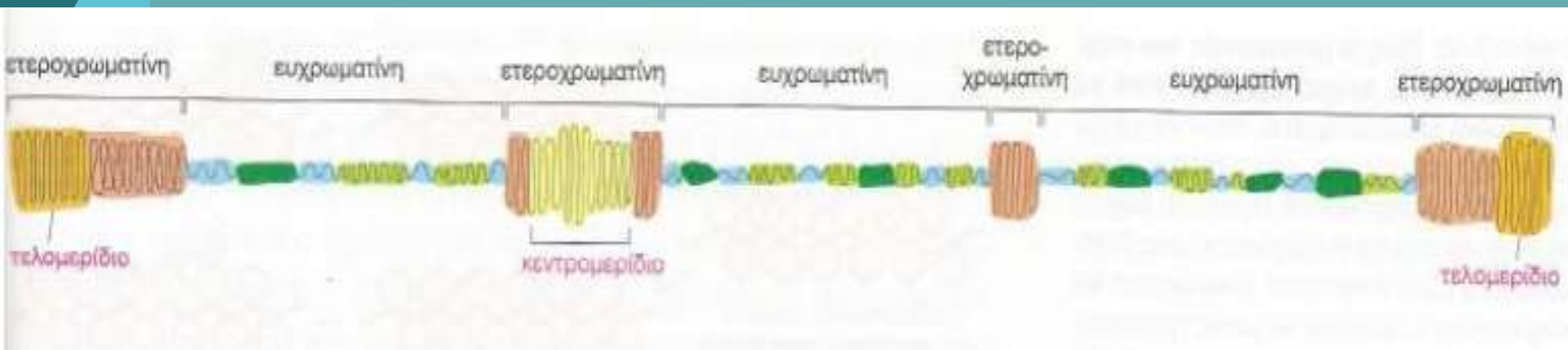
- Πιο εκτεταμένη μορφή χρωματίνης
- Γονίδια εκφράζονται

κύτταρα ενός πρώιμου θηλυκού εμβρύου



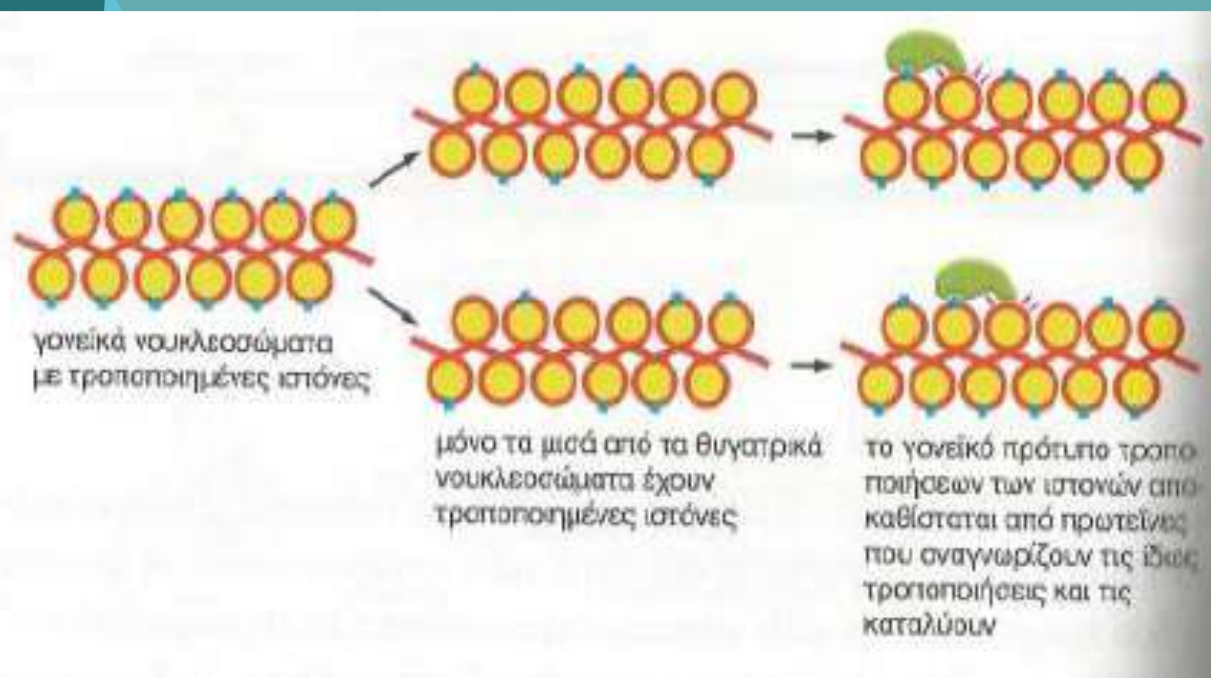
Εικόνα 5-28. Η αδρανοποίηση του χρωμοσώματος X. Τα κύτταρα ενός πρώιμου θηλυκού εμβρύου ενός θηλαστικού περιέχουν δύο χρωμοσώματα X, ένα προερχόμενο από τη μητέρα (X_m) και ένα από τον πατέρα (X_p). Σ' ένα πρώιμο αναπτυξιακό στάδιο, το ένα από αυτά τα δύο χρωμοσώματα κάθε κυττάρου συμπυκνώνεται σε ετεροχρωματίνη, προφανώς κατά τύχη. Σε κάθε κυτταρική διαίρεση, μετά το στάδιο αυτό σε όλους τους απογόνους του συγκεκριμένου κυττάρου συμπυκνώνεται το ίδιο χρωμόσωμα. Στον ποντικό, η αδρανοποίηση του χρωμοσώματος X συμβαίνει ανάμεσα στην τρίτη και την έκτη ημέρα της ανάπτυξης. Στον άνθρωπο, η αδρανοποίηση του X επίσης συμβαίνει σ' ένα πολύ πρώιμο στάδιο της ανάπτυξης, προτού τα κύτταρα δεσμευτούν σε κάποια συγκεκριμένη αναπτυξιακή οδό. Έτσι, τα θηλυκά θηλαστικά καταλήγουν να είναι ένα μωσαϊκό κυττάρων που περιέχουν αδρανοποιημένα χρωμοσώματα X μητρικής ή πατρικής προέλευσης. Στους περισσότερους ιστούς και όργανα, τα μισά περίπου κύτταρα θ' ανήκουν στο ένα είδος και τα υπόλοιπα στο άλλο.

Η δομή της χρωματίνης ενός μεσοφασικού χρωμοσώματος



Εικόνα 5-31. Η δομή της χρωματίνης διαφέρει κατά μήκος ενός χρωμοσώματος της μεσόφασης. Όπως απεικονίζεται σχηματικά με τα διάφορα χρώματα, η ετεροχρωματίνη και η φυσιολογική χρωματίνη ή αλλιώς ευχρωματίνη αντιπροσωπεύουν διαφορετικές δομές χρωματίνης με διαφορετική έκταση και συμπύκνωση. Γενικά η ετεροχρωματίνη είναι πιο συμπυκνωμένη από την ευχρωματίνη.

Μεταβολές της δομής της χρωματίνης μπορούν να κληρονομηθούν



Εικόνα 5-32. Πώς οι μετατροπές των ιστονών μπορεί να κληρονομηθούν από τα θυγατρικά χρωμοσώματα. Όταν ένα χρωμόσωμα αντιγράφεται, οι ιστόνες που περιλαμβάνει κατανέμονται λίγο πολύ τυχαία σε καθένα από τις θυγατρικές έλικες DNA. Συνεπώς, κάθε θυγατρικό χρωμόσωμα θα κληρονομήσει περίπου τις μισές τροποποιημένες ιστόνες του γονεϊκού κυττάρου. Τα υπόλοιπα τμήματα του DNA λαμβάνουν καινούργιες ιστόνες που έχουν μόλις συντεθεί και δεν έχουν υποστεί τροποποιήσεις. Σε αυτά τα σημεία πρωτεΐνες που αναγνωρίζουν μια ειδική τροποποίηση μπορεί να συνδεθούν στην χρωματίνη και να προκαλέσουν την εισαγωγή της ίδιας τροποποίησης στις γειτονικές νέες ιστόνες. Αυτό μπορεί να αποκαταστήσει τις γονεϊκές τροποποιήσεις και τελικά να επιτρέψει την κληρονομική μεταβίβαση της δομής της γονεϊκής χρωματίνης. Αυτός ο μηχανισμός φαίνεται ότι έχει εφαρμογή για κάποιες, αλλά σίγουρα όχι για όλες τις τροποποιήσεις των ιστονών.

Βιβλιογραφία

- Cooper GM και Hausman RE. 2011. **Το κύτταρο: Μία Μοριακή Προσέγγιση.** Ακαδημαϊκές Εκδόσεις Ι.Μπάσδρα και ΣΙΑ Ο.Ε.
- Alberts et.al. 2015. **Βασικές Αρχές Κυτταρικής Βιολογίας.** Εκδόσεις Π.Χ. Πασχαλίδης

Βιβλιογραφία

- Watson James. 1968. Η διπλή έλικά. Ειδική έκδοση της εφημερίδας το ΒΗΜΑ.
- Crick Francis. 1988. Τι τρελό κυνηγητό: Η διπλή έλικά και εγώ. Εκδόσεις Κάτοπτρο