



ΤΑΞΗ: Γ΄ ΓΕΝΙΚΟΥ ΛΥΚΕΙΟΥ
ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ: ΘΕΤΙΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΜΑΘΗΜΑ: ΒΙΟΛΟΓΙΑ

Ημερομηνία: Πέμπτη 7 Ιανουαρίου 2021
Διάρκεια Εξέτασης: 3 ώρες

ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ

ΘΕΜΑ Α

- A1. δ
- A2. γ
- A3. δ
- A4. δ
- A5. γ

ΘΕΜΑ Β

- B1. α.** Πρόφαση II
β. Μετάφαση I
γ. Ανάφαση II
δ. Μετάφαση II
ε. Πρόφαση I
ζ. Ανάφαση I
η. Τελόφαση II
θ. Τελόφαση I

- B2.** 1.γ, 2.ε, 3.α, 4.β, 5.στ



Β3.α. Η μελέτη των χρωμοσωμάτων είναι δυνατή μόνο σε κύτταρα τα οποία διαιρούνται. Τα κύτταρα αυτά μπορεί να προέρχονται είτε από ιστούς που διαιρούνται φυσιολογικά είτε από κυτταροκαλλιέργειες, όπου γίνεται *in vitro* επαγωγή της διαίρεσης με ουσίες που έχουν μιτογόνο δράση. Μία τέτοια ουσία είναι η ΡΗΑ η οποία εμποδίζοντας την πρωτεΐνη Α, η οποία αναστέλλει τον κυτταρικό κύκλο, οδηγεί το κύτταρο σε κυτταρική διαίρεση. Στη συνέχεια τα χρωμοσώματα μελετώνται στο στάδιο της μετάφασης, όπου εμφανίζουν το μεγαλύτερο βαθμό συσπείρωσης και είναι ευδιάκριτα. Επειδή σε ένα πληθυσμό διαιρούμενων κυττάρων το ποσοστό αυτών που βρίσκονται στη μετάφαση είναι μικρό, χρησιμοποιούνται ουσίες οι οποίες σταματούν την κυτταρική διαίρεση στη φάση αυτή. Τέτοια ουσία είναι η κολχικίνη η οποία θα αναστέλλει τη δημιουργία των μικροσωληνίσκων άρα η μίτωση δε θα είναι δυνατόν να ολοκληρωθεί. Στη συνέχεια τα κύτταρα επώάζονται σε υποτονικό διάλυμα, ώστε να σπάσει η κυτταρική τους μεμβράνη, και τα χρωμοσώματά τους απλώνονται σε αντικειμενοφόρο πλάκα. Δηλαδή είναι απαραίτητη η χρήση διαλύματος που προκαλεί την είσοδο νερού στο κύτταρο με σκοπό τη διόγκωση και τη ρήξη της πλασματικής μεμβράνης. Τέλος, χρωματίζονται με ειδικές χρωστικές ουσίες και παρατηρούνται στο μικροσκόπιο. Στη συγκεκριμένη περίπτωση θα χρησιμοποιηθεί η χρωστική Hoechst που φθορίζει μετά την πρόσδεση της στα χρωμοσώματα.

β. Η ουσία Hoechst φθορίζει έντονα όταν προσδεθεί σε περιοχές του DNA με υψηλό ποσοστό αδενίνης και θυμίνης. Επομένως, όσο μεγαλύτερα τα επίπεδα φθορισμού τόσο περισσότερες αδενίνες και θυμίνες υπάρχουν. Οι δύο αλυσίδες του DNA ενώνονται μεταξύ με δεσμούς υδρογόνου οι οποίοι σταθεροποιούν τη δευτεροταγή δομή του μορίου. Η αδενίνη ενώνεται με τη θυμίνη με 2 δεσμούς υδρογόνου ενώ η κυτοσίνη με τη γουανίνη με 3 δεσμούς υδρογόνου.

Κατά την αποδιάταξη των μορίων DNA επιδρούμε στο DNA που απομονώθηκε με κατάλληλες χημικές ουσίες ή αυξάνουμε τη θερμοκρασία οπότε σπάζουν οι δεσμοί υδρογόνου μεταξύ των δύο συμπληρωματικών αλυσίδων και οι δύο αλυσίδες αποχωρίζονται η μία από την άλλη. Όσο περισσότεροι οι δεσμοί υδρογόνου τόσο δυσκολότερα αποδιατάσσονται οι δύο αλυσίδες, δηλαδή όσο περισσότεροι οι δεσμοί υδρογόνου τόσο μεγαλύτερη θερμοκρασία απαιτείται για την αποδιάταξη τους.

Σε μόρια είναι ίδιου μεγέθους περισσότερους δεσμούς έχει αυτό που έχει τα περισσότερα ζεύγη γουανίνης-κυτοσίνης και τα λιγότερα ζεύγη αδενίνης-θυμίνης. Από τα τρία μόρια μεγαλύτερα επίπεδα φθορισμού παρατηρούνται κατά σειρά στο μόριο 1, στο μόριο 3 και στο μόριο 2. Άρα η σειρά κατά αυξανόμενο αριθμό ζευγών γουανίνης-κυτοσίνης, άρα και δεσμών υδρογόνου θα είναι:

Μόριο 2 < Μόριο 3 < Μόριο 1

Επομένως, η μικρότερη θερμοκρασία αποδιάταξης απαιτείται στο μόριο 2 και η μεγαλύτερη στο μόριο 1.

ΘΕΜΑ Γ

Γ1.

Γνωρίζουμε ότι:

Μήκος βακτηριακού γονιδιώματος = 1mm.

Μέγεθος γονιδιώματος *E. coli* = 4×10^6 ζεύγη βάσεων.

Μέγεθος μέσου γονιδίου (βακτηρίου) = 1000 ζεύγη βάσεων.

Μέγεθος μέσου γονιδίου (ανθρώπου) = 10×1000 ζεύγη βάσεων.

Πλήθος γονιδίων βακτηρίου *E. coli* = 4000 (περίπου).

Πλήθος γονιδίων ανθρώπου 40000 (περίπου) με μήκος 10×1000 ζεύγη βάσεων (ανθρώπινα γονίδια διαθέτουν ασυνεχή γονίδια).

Μέγεθος ανθρωπίνου γονιδιώματος σωματικού κυττάρου 6×10^9 ζεύγη βάσεων.

Μήκος ανθρωπίνου γονιδιώματος σωματικού κυττάρου 2m.

Μέγεθος ανθρωπίνου γονιδιώματος 3×10^9 .

Σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα, μπορούμε να υπολογίσουμε:

(Μέσο μέγεθος γονιδίου βακτηρίου) x (πλήθος γονιδίων βακτηρίου *E. coli*) = ζεύγη βάσεων του συνόλου των γονιδίων του βακτηρίου.

$$1000 \times 4000 = 4 \times 10^6 \text{ ζεύγη βάσεων}$$

(Μέσο μέγεθος ανθρωπίνου γονιδίου) x (πλήθος ανθρωπίνων γονιδίων) = ζεύγη βάσεων γονιδίων ανθρώπων.

$$10.000 \times 40.000 = 4 \times 10^8$$

4×10^6 ζεύγη βάσεων έχει μήκος 1mm (βακτήρια).

3×10^9 ζεύγη βάσεων έχει μήκος 10^3 mm (ανθρώπου)

4×10^8 ζεύγη βάσεων έχει μήκος z;

$$4 \times 10^{11} / 3 \times 10^9 = 4/3 \times 10^2 \text{ mm} = 1,33 \times 10^2 \text{ mm} = 133 \text{ mm}$$

Άρα έχουμε:

$$\frac{\text{γονιδια } E.coli \text{ } 1mm}{\text{γονιδιωμα } E.coli \text{ } 1mm} > \frac{\text{γονιδια ανθρωπου } 133 \text{ mm}}{\text{γονιδιωμα ανθρωπου } 1000 \text{ mm}} \Rightarrow 1 > 133 \times 10^{-3}$$



Σημείωση: Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκαν αποκλειστικά οι τιμές που δίνονται από το σχολικό βιβλίο. Η μόνη παραδοχή που έγινε, είναι πως τα ευκαρυωτικά γονίδια είναι 10 φορές μεγαλύτερα από τα βακτηριακά, δεδομένης της ύπαρξης των εσωνίων. Επίσης έγινε η παραδοχή ότι η αναφερόμενη τιμή για το μέσο μήκος ενός γονιδίου που δηλώνεται στο σχολικό βιβλίο, αφορά βακτήρια και ειδικότερα της *E. coli*, το οποίο μάλιστα δεν απέχει από το επιστημονικώς επιβεβαιωμένο. Τέλος, οπού δίνονταν τιμή και αναφερόταν κατά το περισσότερο ή κατά το λιγότερο, θεωρήθηκε η δοσμένη ακέραια τιμή (π.χ. στο σχολικό βιβλίο στο κεφάλαιο 8 αναφέρεται ότι το πλήθος των γονιδίων του ανθρώπου είναι λιγότερα από 40.000).

Γ2.α. Σύμφωνα με τον γενετικό κώδικα και λαμβάνοντας υπόψη ότι είναι κώδικας τριπλέτας (3 βάσεις κωδικοποιούν 1 αμινοξύ), συνεχής (δεν παραλείπεται κανένα νουκλεοτίδιο κατά τη μετάφραση) και μη επικαλυπτόμενος (κανένα νουκλεοτίδιο δεν μπορεί να ανήκει σε δύο κωδικόνια), οι αλληλουχίες-σήματα κωδικοποιούνται από τις εξής πιθανές αλληλουχίες:

Αλληλουχία για το Σήμα πυρηνικού εντοπισμού:

H₂N-.....Pro-Pro-Lys-Lys-Lys-Arg-.....-COOH

5' . . . CCA-CCA-AAA-AAA-AAA-CGG . . . 3'
AAG AAG AAG CGA
AGA

Αλληλουχία για το Σήμα μιτοχονδριακού εντοπισμού:

H₂N-Met-Leu-Ser-Leu-Arg-Gln-.....COOH

5' AUG-CUU-UCA-CUU-CGG-CAA . . . 3'
CUG CUG CGA
AGA

Το mRNA έχει συμπληρωματική και αντιπαράλληλη αλληλουχία της μη κωδικής αλυσίδας η οποία είναι, επίσης, συμπληρωματική και αντιπαράλληλη της κωδικής αλυσίδας. Άρα τα κωδικόνια στην κωδική αλυσίδα εμφανίζουν τον ίδιο προσανατολισμό και την ίδια αλληλουχία με τα κωδικόνια του mRNA με τη διαφορά ότι στη θέση της ουρακίλης θα υπάρχει θυμίνη.

Από την εκφώνηση γνωρίζουμε ότι και οι δύο πρωτεΐνες είναι πιθανό να εντοπιστούν στον πυρήνα. Επομένως, η αλληλουχία-σήμα για τον πυρηνικό εντοπισμό θα εντοπίζεται και στα δύο γονίδια.

**ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ 2021**
Α' ΦΑΣΗ**E_3.Βλ3Θ(α)**

Επίσης, η αλληλουχία-σήμα για τον εντοπισμό στο μιτοχόνδριο θα εντοπίζεται μόνο στο ένα γονίδιο (Τα κωδικόνια που αντιστοιχούν στη κάθε αλληλουχία-σήμα σημειώνονται στην αλυσίδα με τον χρωματισμό που φαίνεται παραπάνω. Με μαύρο υπογραμμίζονται τα κωδικόνια που δεν αντιστοιχούν σε αλληλουχία-σήμα).

Ειδικότερα, οι αλληλουχίες-σήματα και οι κωδικές του κάθε γονιδίου είναι οι εξής:

Αλληλουχία I- Κωδική αλυσίδα η κάτω

```
3' - TTGTTACGAAAGTGACGTA CTACGATCCGTTTCA...150 βάσεις...GGTGGTTTTTTTTTCTACCATCCTTGTA-5'  
5' - AACAA TGCTTCTACTGCATGAGTGCTAGGCAAAGT...150 βάσεις...CCACCAAAAAAAAAAAGATGGTAGGAACAT-3  
ΚΛ
```

εσώνιο

Αλληλουχία II- Κωδική αλυσίδα η κάτω

```
3' - TTGTTACAAAAGCGTGTCCGTTTCA...180 βάσεις...GGTGGTGTCTACTCTATTTTTCTTTGCTGAGGCCATTAGACACC-5'  
5' - AACAA TGTTTTCGCACAGGCAAAGT...180 βάσεις...CCACCACAGCATGAGATAAAAAGAAACGACTCCGGTAATCTGTGG-3'  
ΚΛ
```

εσώνιο

Έτσι, στην Αλληλουχία I εντοπίζονται και οι δυο αλληλουχίες-σήματα, επομένως, κωδικοποιεί την πρωτεΐνη Β η οποία εντοπίζεται τόσο στον πυρήνα όσο και στα μιτοχόνδρια.

Καθώς ένα κωδικόνιο κωδικοποιεί ένα αμινοξύ η πρωτεΐνη Β η οποία κωδικοποιείται από την Αλληλουχία I αποτελείται από 64 αμινοξέα και η πρωτεΐνη Α η οποία κωδικοποιείται από την Αλληλουχία II από 75 αμινοξέα.

β. Η πρωτεΐνη Β είναι δυνατόν να εντοπιστεί τόσο στον πυρήνα όσο και στα μιτοχόνδρια. Επομένως, πρόκειται για πρωτεΐνη που μπορεί να σχετίζεται με κυτταρικές διεργασίες που επιτελούνται και στις περιοχές του κυττάρου. Τέτοιες πρωτεΐνες είναι:

1. Τα ένζυμα της αντιγραφής (DNA πολυμεράση, DNA δεσμάση, DNA ελικάσες, πρωτεΐνες του πριμοσώματος, Επιδιορθωτικά ένζυμα)
2. Η RNA πολυμεράση
3. Δομικές πρωτεΐνες των ριβοσωμάτων

(Ο μαθητής βαθμολογείται με άριστα αν αναφέρει μόνο 2 από τα παραπάνω)



γ. Η ρύθμιση της έκφρασης των γονιδίων στα ευκαρυωτικά κύτταρα γίνεται με ιδιαίτερα πολύπλοκους μηχανισμούς. Συγκεκριμένα γίνεται σε 4 επίπεδα:

- Το επίπεδο της μεταγραφής
- Το επίπεδο μετά τη μεταγραφή
- Το επίπεδο της μετάφρασης, και,
- Το επίπεδο μετά τη μετάφραση

Η πορεία της πρωτεΐνης Β ελέγχεται στο επίπεδο μετά τη μετάφραση όπου η αποκοπή είτε της αλληλουχίας-σήμα πυρηνικού εντοπισμού είτε της αλληλουχίας-σήμα του μιτοχονδριακού εντοπισμού έχει ως αποτέλεσμα η πρωτεΐνη κατευθύνεται στο αντίστοιχο σημείο του κυττάρου από την αλληλουχία που δεν έχει αποκοπεί.

ΘΕΜΑ Δ

α. Από την παρατήρηση των δοθέντων καρυοτύπων προκύπτει:

Παιδί 1: είναι κορίτσι.

Παιδί 2: είναι αγόρι.

Παιδί 3: είναι κορίτσι.

Παιδί 4: είναι αγόρι.

Αιτιολόγηση: Γνωρίζουμε ότι ο καρυότυπος είναι η απεικόνιση κατά ελλατούμενο μέγεθος των μεταφασικών χρωμοσωμάτων ενός διαιρούμενου ευκαρυωτικού κυττάρου.

Επίσης γνωρίζουμε ότι τα χρωμοσώματα του ανθρώπου διακρίνονται σε αυτοσωμικά και φυλετικά. Σε κάθε φυσιολογικό άνθρωπο υπάρχουν 46 μεταφασικά χρωμοσώματα στον καρυότυπο του ομαδοποιημένα σε 23 ζεύγη ομολόγων χρωμοσωμάτων από αυτά τα 44 (22 ζεύγη ομολόγων) είναι αυτοσωμικά και τα δυο (1 ζεύγος) είναι φυλετικά. Τα κορίτσια έχουν ένα ζεύγος πλήρως ομολόγων φυλετικών χρωμοσωμάτων XX και τα αγόρια έχουν ένα ζεύγος φυλετικών χρωμοσωμάτων XY, που εμφανίζουν μερική ομολογία.

Παρατηρώντας τους δοθέντες καρυότυπους διαπιστώνουμε την ύπαρξη 46 χρωμοσωμάτων, ανά δυο ομολόγων και στους τέσσερις καρυότυπους και για τους καρυότυπους των παιδιών 1 και 3 διαπιστώνουμε την ύπαρξη ζεύγους φυλετικών χρωμοσωμάτων XX ενώ για τα παιδιά 2 και 4 διαπιστώνουμε την ύπαρξη φυλετικών χρωμοσωμάτων XY.

Συνεπώς τα παιδιά 1 και 3 είναι το ένα από τα ζευγάρια των διδύμων και τα παιδιά 2 και 4 είναι το άλλο ζευγάρι των διδύμων.



β.

- i. Μονοζυγωτικά δίδυμα: Το ζευγάρι διδύμων 1 και 3
ετεροζυγωτικά δίδυμα : Το ζευγάρι διδύμων 2 και 4

Αιτιολόγηση:

Εφόσον τα μονοζυγωτικά δίδυμα προέρχονται από το ίδιο ζυγωτό διαθέτουν και το ίδιο ακριβώς γονιδίωμα. Τα ετεροζυγωτικά δίδυμα αφού προέρχονται από διαφορετικά ζυγωτά δεν αναμένεται να διαθέτουν πανομοιότυπα γονιδιώματα.

Εδώ τα παιδιά 1 και 3 εμφανίζουν ακριβώς την ίδια εικόνα θραυσμάτων στην δοκιμασία πέψης με *EcoRI* των ομολόγων χρωμοσωμάτων τους, του δέκατου ζεύγους ομολόγων αυτοσωμικών χρωμοσωμάτων 10 και 10'. Από την άλλη πλευρά αυτό δεν εμφανίζεται στην ίδια δοκιμασία πέψης για το άλλο ζεύγος παιδιών 2 και 4, αρά τα παιδιά 2 και 4 είναι ετεροζυγωτικά δίδυμα ενώ τα παιδιά 1 και 3 είναι τα μονοζυγωτικά δίδυμα.

- ii. Τα ετεροζυγωτικά δίδυμα είναι πολύ πιθανό να διαθέτουν ένα όμοιο εκ καταγωγής χρωμόσωμα 10 μεταξύ τους καθώς και τα δυο παιδιά εμφανίζουν στο πρώτο σχήμα 11 θραύσματα κατά την δοκιμασία πέψης με *EcoRI*, από τα οποία τα 5 είναι όμοια και στα δυο παιδιά 2 και 4. Επομένως, αυτά τα 5 όμοια τμήματα είναι πολύ πιθανό να ανήκουν στο ίδιο όμοιο εκ καταγωγής χρωμόσωμα, που διαθέτουν αμφότερα τα ετεροζυγωτικά δίδυμα και το έχουν κληρονομήσει από τον ίδιο γονέα τους.

- iii. Το χρωμόσωμα 10 από το ζεύγος ομολόγων 10 και 10' των μονοζυγωτικών διδύμων τους το κληροδότησε ο πατέρας τους, γεγονός που διαπιστώνεται από την εμφανή ομοιότητα του χρωμοσώματος της δεύτερης στήλης με το αντίστοιχο της 3^{ης} στήλης του δεύτερου σχήματος που μας δίνεται. Έτσι προκύπτει ευλόγως, ότι το χρωμόσωμα 10' τα μοναζυγωτικά δίδυμα το κληρονομήσαν από την μητέρα τους γεγονός που επιβεβαιώνεται και από την σύγκριση της 4^{ης} στήλης του δεύτερου σχήματος με την 1^η και την δεύτερη του ίδιου σχήματος.

Τα δυο τελευταία θραύσματα στο χρωμόσωμα 10 του πατέρα όπως εμφανίζεται στην τρίτη στήλη του δεύτερου σχήματος, μπορεί να ερμηνευθεί με την υπόθεση του επιχισμού που συνέβη μεταξύ των χρωμοσωμάτων 10 και 10' του πατέρα, για το δεδομένο χρωμόσωμα 10 που χρησιμοποιήθηκε στην δοκιμασία πέψης με *EcoRI* που μας εμφανίζεται στο δεύτερο αυτό σχήμα.

**ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ 2021**
Α΄ ΦΑΣΗ**E_3.Βλ3Θ(α)**

- iv. Το πλήθος των τμημάτων που εμφανίζονται ανά χρωμόσωμα δεν μπορεί να αποτελεί κριτήριο του μεγέθους του μορίου του DNA που πέπτεται από την περιοριστική ενδονουκλεάση.

Αιτιολόγηση: Γνωρίζουμε ότι οι περιοριστικές ενδονουκλεάσες αναγνωρίζουν ειδικές αλληλουχίες 4-8 νουκλεοτιδίων στο δίκλωνο DNA. Μία από τις περιοριστικές ενδονουκλεάσες που χρησιμοποιείται ευρέως είναι η *EcoRI* που απομονώθηκε από το βακτήριο *Escherichia coli*. Το ένζυμο αυτό όποτε συναντά την αλληλουχία:

$$5'-G A A T T C-3'$$
$$3'-C T T A A G-5'$$

στο γονιδίωμα, κόβει κάθε αλυσίδα μεταξύ του G και του A (με κατεύθυνση 5'→3') αφήνοντας μονόκλινα άκρα από αζευγάρωτες βάσεις στα κομμένα άκρα. Τα άκρα αυτά μπορούν να σχηματίσουν δεσμούς υδρογόνου με τις συμπληρωματικές βάσεις άλλων κομματιών DNA που έχουν κοπεί με το ίδιο ένζυμο.

Η αλληλουχία GAATTC υπάρχει διάσπαρτη στα γονιδιώματα των οργανισμών. Έτσι το γονιδίωμα ενός ανώτερου ευκαρυωτικού οργανισμού μπορεί να κοπεί σε χιλιάδες κομμάτια με την περιοριστική αυτή ενδονουκλεάση.

Το πλήθος των θέσεων περιορισμού ενός χρωμοσώματος ή γενικότερα ενός τμήματος DNA για ένα περιοριστικό ένζυμο είναι τυχαίο καθώς καθορίζεται από την αλληλουχία του δεδομένου τμήματος DNA, η οποία είναι προϊόν εξέλιξης (μόρια DNA οργανισμών ή ιών). Ωστόσο, όσο αυξάνεται το πλήθος των ζευγών βάσεων που αναγνωρίζει μια περιοριστική ενδονουκλεάση, αναμένεται να μειώνεται η πιθανότητα εμφάνισης μια συγκεκριμένης δίκλωνης αλληλουχίας, σε σχέση με την πιθανότητα εμφάνισης μιας άλλης θέσης αναγνώρισης μιας διαφορετικής περιοριστικής ενδονουκλεάσης, που αναγνωρίζει θέση με λιγότερα ζεύγη βάσεων.

- v. Για τα μονοζυγωτικά δίδυμα το χρωμόσωμα 10 (γραμμικό δίκλωνο μόριο DNA) από το ζεύγος των ομολόγων κατά την δοκιμασία πέψης με *EcoRI* κόπηκε έξι φορές, εφόσον παρατηρούνται επτά θραύσματα. Το ομόλογο χρωμόσωμα 10 κόπηκε πέντε φορές αφού προκύπτουν από αυτό έξι θραύσματα.



- vi. Από τις δυο γιαγιάδες των διδύμων μόνο η κα. Ζαμπέτα είναι αυτή που με πιθανότητα 100% έχει μεταβιβάσει γονίδια της και στα τέσσερα εγγόνια της. Εν αντίθεση, η κα. Ρένα ενδέχεται (με μικρή ωστόσο πιθανότητα*) να μην έχει κληροδοτήσει ακόμη και κανένα γονίδιο της σε ένα τουλάχιστον από τα εγγόνια της.

Η γιαγιά Ζαμπέτα, είναι η μητέρα της Ελπίδας και της Ασπασίας που είναι οι μητέρες των διδύμων, συνεπώς όλα τα δίδυμα φέρουν τουλάχιστον κατά αποκλειστικότητα το σύνολο του μιτοχονδριακού γονιδιώματος της γιαγιάς Ζαμπέτας, αφού η μεταβίβαση των μιτοχονδρίων είναι αποκλειστικά μητρική.

Σημείωση (δεν απαιτείται στην απάντηση): Για κάθε ανεξάρτητο γεγονός γονιμοποίησης για την δημιουργία των εγγονιών τους, η κάθε μια από τις δυο γιαγιάδες - θεωρώντας ότι δεν συμβαίνουν επιχιασμοί κατά την μείωση που λαμβάνει χώρα για την δημιουργία των γαμετών των παιδιών τους, που έδωσαν τα εγγόνια τους (γεγονός σχεδόν απίθανο) - έχει πιθανότητα: $\frac{1}{2}^{23} \times \frac{1}{2}^{23} = \frac{1}{2}^{46}$ να μην μεταβιβάσουν κανένα χρωμόσωμά τους στο δημιουργούμενο ζυγωτό. Μείωση συμβαίνει μόνο στα χρωμοσώματα, τα οποία βρίσκονται στον πυρήνα.*