

Η γαμετογένεση, η γονιμοποίηση και η πρώτη εβδομάδα της ανάπτυξης

Περίληψη

Η περιγραφή της εμβρυολογίας του ανθρώπου θα μπορούσε να αρχίζει με οποιοδήποτε από τα αρκετά στάδια του αναπταραγωγικού κύκλου του ανθρώπου. Σε αυτό το βιβλίο, η περιγραφή της ανάπτυξης του ανθρωπίνου οργανισμού αρχίζει με τον σχηματισμό και τη διαφοροποίηση των αρρένων και θηλέων γεννητικών κυττάρων ή **γαμετών**, που συνεννούνται κατά τη γονιμοποίηση οδηγώντας στην έναρξη της εμβρυϊκής ανάπτυξης ενός νέου ανθρώπου. Η κυτταρική σειρά που οδηγεί στον σχηματισμό των γαμετών αποκαλείται **αρχέγονη γεννητική σειρά**. Η γεννητική σειρά καθίσταται για πρώτη φορά ευδιάκριτη κατά τη διάρκεια της τέταρτης εβδομάδας της εμβρυϊκής ανάπτυξης, οπότε στο τοίχωμα του λεκιθικού ασκού διαφοροποιούνται κύτταρα που ονομάζονται **αρχέγονα γεννητικά κύτταρα**. Τα κύτταρα αυτά μεταναστεύουν ενεργητικά στο οπίσθιο σωματικό τοίχωμα του εμβρύου, όπου εποικίζουν τις αναπτυσσόμενες γονάδες και διαφοροποιούνται σε πρόδρομα κύτταρα των γαμετών, τα οποία στο άρρεν αποκαλούνται **σπερματογόνια**, ενώ στο θήλυ αποκαλούνται **ωογόνια**. Όπως τα φυσιολογικά σωματικά κύτταρα, έτσι και τα σπερματογόνια και τα ωογόνια είναι **διπλοειδή**, δηλαδή περιέχουν 23 ζεύγη χρωμοσωμάτων (συνολικώς 46 χρωμοσώματα). Όταν αυτά τα κύτταρα παράγουν γαμέτες με τη διεργασία της **γαμετογένεσης** (η οποία στο άρρεν ονομάζεται **σπερματογένεση**, ενώ στο θήλυ **ωογένεση**) υποβάλλονται σε **μείωση**, δηλαδή σε δύο διαδοχικές εξειδικευμένες κυτταρικές διαιρέσεις που οδηγούν σε υποδιπλασιασμό του αριθμού των χρωμοσωμάτων των γαμετών. Οι γαμέτες περιέχουν επομένως 23 χρωμοσώματα (ένα χρωμόσωμα από κάθε ζεύγος) και χαρακτηρίζονται ως **απλοειδείς**. Οι αναπτυσσόμενοι γαμέτες υφίστανται κυτταροπλασματικές τροποποιήσεις, οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα την παραγωγή ωρίμων **σπερματοζωαρίων** στο άρρεν και **οριστικών ωοκυττάρων** στο θήλυ.

Στο άρρεν, ο σχηματισμός σπερματογονίων και η σπερματογένεση επιτελούνται στα σπερματικά σωληνάρια των όρχεων και δεν αρχίζουν πριν από την εφηβεία. Αντιθέτως, στο θήλυ όλα τα πρωτογενή ωοκύτταρα που θα διαθέτει το άτομο στη διάρκεια της ζωής του παράγονται κατά την εμβρυϊκή ζωή. Ανάμεσα στον τρίτο και στον πέμπτο μήνα της εμβρυϊκής ζωής, τα ωογόνια αρχίζουν την πρώτη μειωτική διάρεση τους. Ωστόσο, μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα από την έναρξη της μείωσης, τα κύτταρα αυτά περιπίπτουν σε κατάσταση αδρανείας και μειωτικής ανακοπής στην οποία παραμένουν μέχρι την εφηβεία. Μετά την

Προέλευση της γεννητικής σειράς

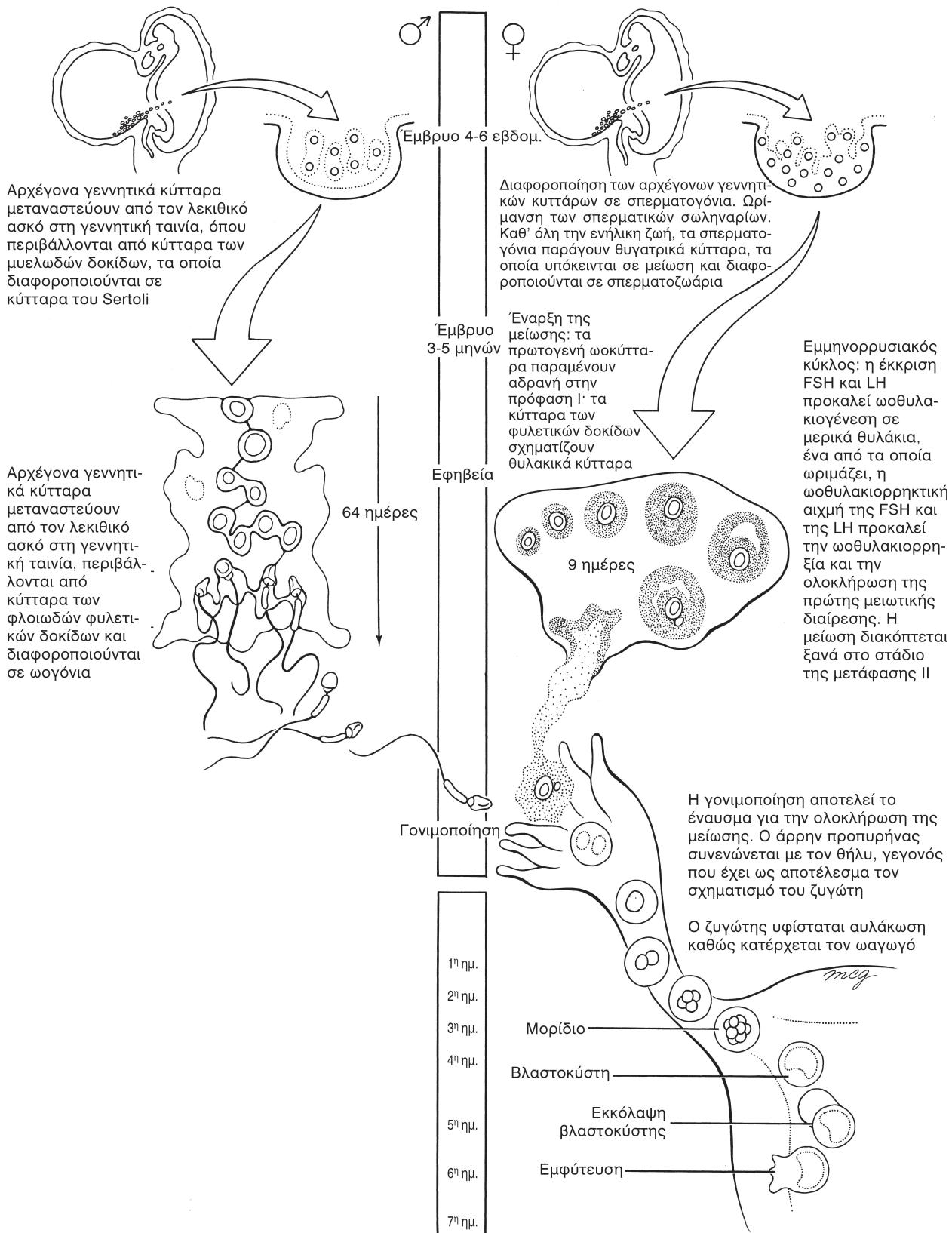
Μείωση

Γαμετογένεση στο άρρεν και στο θήλυ

Ο εμμηνορρυστακός κύκλος

Γονιμοποίηση

Αυλάκωση



Χρονοδιάγραμμα. Η γαμετογένεση και η πρώτη εβδομάδα της ανάπτυξης.

έναρξη της εφηβείας, κάθε μήνα, λίγα ωοκύτταρα καθώς και τα θυλάκια που τα περιβάλλουν επαναρχίζουν τη διεργασία της ανάπτυξης τους ανταποκρινόμενα στη μηνιαία παραγωγή των γοναδοτρόπων ορμονών της υπόφρωσης. Από αυτά τα θυλάκια ένα μόνο ωριμάζει πλήρως και υφίσταται **ωοθυλακιορρηξία** απελευθερώνοντας το περικλειόμενο ωοκύτταρο, το οποίο ολοκληρώνει τη μείωση (καθιστάμενο, έτσι, ώριμος γαμέτης) μόνον εφόσον γονιμοποιηθεί από κάποιο σπερματοζώαριο. Η γονιμοποίηση επιτελείται στον ωαγωγό. Μόλις το ωοκύτταρο ολοκληρώσει τη μείωση, οι πυρήνες του άρρενος και του θήλεος γαμέτη συνενώνονται με αποτέλεσμα τον σχηματισμό του **ζυγώτη**, ο οποίος περιέχει μονήρη διπλοειδή πυρήνα. Το σημείο αυτό θεωρείται αφετηρία της εμβρυϊκής ανάπτυξης.

Καθώς κατέρχεται τον ωαγωγό, κατευθυνόμενο προς τη μήτρα, το νεοσχηματισμένο έμβρυο υφίσταται έναν αριθμό κυτταρικών διαιρέσεων, οι οποίες χαρακτηρίζονται ως **αυλάκωση**. Οι αυλακωτικές διαιρέσεις υποδιαιρούν το ζυγώτη αρχικώς σε δύο κύτταρα εν συνεχείᾳ σε τεσσερά, οκτώ κ.ο.κ.. Κατά τα χρονικά διαστήματα που

παρεμβάλλονται μεταξύ των διαιρέσεων τα θυγατρικά κύτταρα δεν αυξάνονται σε μέγεθος, με αποτέλεσμα οι συνολικές διαστάσεις του εμβρύου να παραμένουν σταθερές. Από το στάδιο των 8-16 κυττάρων το έμβρυο αρχίζει να διαφοροποιείται σε δύο ομάδες κυττάρων, μια περιφερική **έξω κυτταρική μάζα** και μια κεντρική **έσω κυτταρική μάζα**. Από την έξω κυτταρική μάζα, η οποία αποκαλείται επίσης και **τροφοβλάστη**, αναπτύσσεται ο πλακούντας και οι συνδεόμενοι με αυτόν υμένες, ενώ από την έσω κυτταρική μάζα, η οποία αποκαλείται επίσης και **εμβρυοβλάστη**, αναπτύσσεται το καθαυτό έμβρυο και οι υμένες που συνάπτονται μαζί του. Στο στάδιο των 30 κυττάρων, το έμβρυο, το οποίο ονομάζεται πλέον **μορίδιο**, αρχίζει να σχηματίζει μια κεντρική κοιλότητα γεμάτη με υγρό, την **κοιλότητα της βλαστοκύστης**. Την πέμπτη προς έκτη ημέρα της ανάπτυξης, το έμβρυο αποτελείται από 100 περίπου κύτταρα και έχει τη μορφή κοιλής σφαίρας, που αποκαλείται **βλαστοκύστη**. Σε αυτό το σημείο εισέρχεται στην κοιλότητα της μήτρας και αρχίζει να εμφυτεύεται στο ενδομήτριο του τοιχώματός της.

ΤΑ ΑΡΧΕΓΟΝΑ ΓΕΝΝΗΤΙΚΑ ΚΥΤΤΑΡΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΕΞΩΜΕΒΡΥΓΙΚΗ ΘΕΣΗ

Τα αρχέγονα γεννητικά κύτταρα προέρχονται από το πρωτογενές εξώδερμα του εμβρύου και μεταναστεύουν στο λεκιθικό ασκό

Τόσο στα αρσενικά, όσο και στα θηλυκά θηλαστικά (συμπεριλαμβανομένου του ανθρώπου), τα κύτταρα που παράγουν τους **γαμέτες** εμφανίζονται στο πρωτογενές εξώδερμα του εμβρύου κατά την 2^η εβδομάδα της ανάπτυξης (βλέπε Κεφ. 3). Στην συνέχεια αυτά αποχωρίζονται από το πρωτογενές εξώδερμα και μεταναστεύουν με αμοιβαδοειδείς κινήσεις σε μια εξωεμβρυϊκή δομή, τον **λεκιθικό ασκό**. Αρχικώς τα κύτταρα αυτά διακρίνονται μέσα σε μια μάζα εξωεμβρυϊκού μεσοδέρματος στο ουραίο άκρο του εμβρύου και στην συνέχεια μέσα στο ενδόδερμα του τοιχώματος του λεκιθικού ασκού (Εικ. 1-1A). Τα κύτταρα αυτά αποκαλούνται **αρχέγονα γεννητικά κύτταρα** (primordial germ cells) και οι απόγονοί τους αποτελούν τη **γεννητική σειρά** (germ line). Τα αρχέγονα γεννητικά κύτταρα αναγνωρίζονται εύκολα κατά την περίοδο της μετανάστευσής των από το χαρακτηριστικό ελαφροχρωματικό κυτταρόπλασμα και το ωοειδές σχήμα των, καθώς και διότι χρώννυνται έντονα με αντιδραστήρια που εντοπίζουν το ένζυμο αλκαλική φωσφατάση.

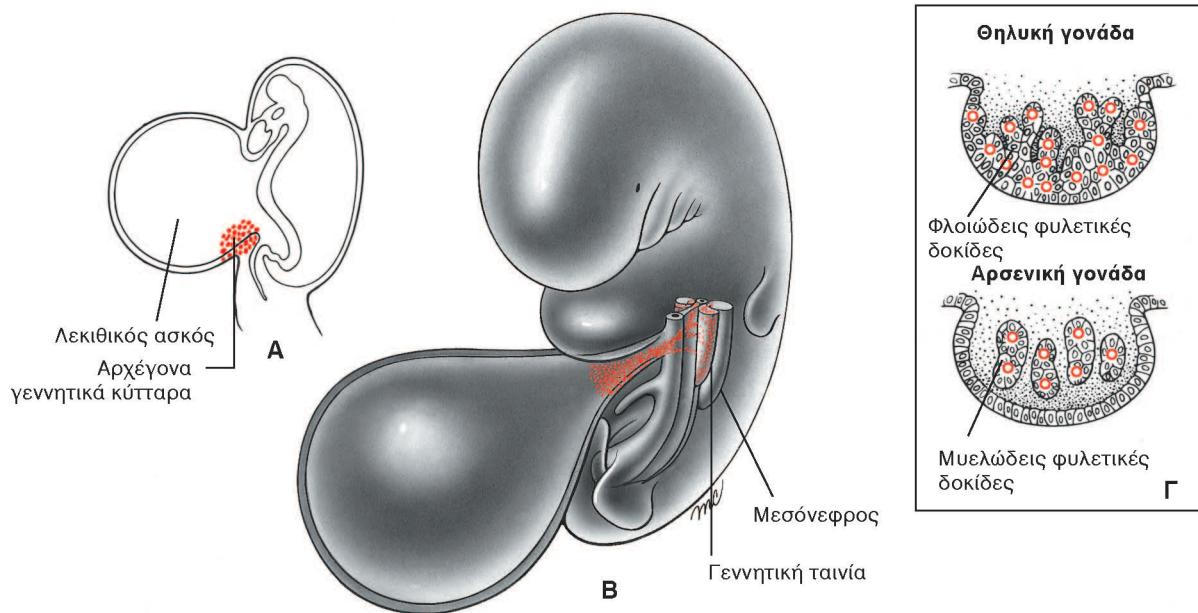
Κατά την 4^η εβδομάδα τα αρχέγονα γεννητικά κύτταρα μεταναστεύουν στο οπίσθιο σωματικό τοίχωμα

Μεταξύ της 4^{ης} και της 6^{ης} εβδομάδας της ανάπτυξης, τα αρχέγονα γεννητικά κύτταρα μετανα-

στεύουν με αμοιβαδοειδείς κινήσεις από τον λεκιθικό ασκό προς το τοίχωμα του εντερικού σωλήνα και από εκεί, μέσω του μεσεντερίου, προς το ραχιαίο σωματικό τοίχωμα (Εικ. 1-1B). Στο ραχιαίο σωματικό τοίχωμα τα κύτταρα αυτά εγκαθίστανται, εκατέρωθεν της μέσης γραμμής, στον χαλαρό μεσεγχυματικό ιστό που βρίσκεται αμέσως κάτω από το επιθήλιο της κοιλωματικής κοιλότητας (coelomic cavity). Τα περισσότερα από τα αρχέγονα γεννητικά κύτταρα εγκαθίστανται στην περιοχή του σωματικού τοιχώματος που βρίσκεται εκατέρωθεν του 10^{ου} θωρακικού σπονδύλου από την οποία θα σχηματιστούν οι γονάδες (βλέπε Κεφ. 10). Κατά τη διάρκεια της μετανάστευσής τους, τα αρχέγονα γεννητικά κύτταρα συνεχίζουν να πολλαπλασιάζονται με μίτωση. Καθώς μεταναστεύουν από τον λεκιθικό ασκό προς το ραχιαίο σωματικό τοίχωμα, ορισμένα κύτταρα είναι δυνατόν να καταλήξουν σε έκτοπες θέσεις του ραχιαίου σωματικού τοιχώματος. Σε σπάνιες περιπτώσεις, από έκτοπα γεννητικά κύτταρα αυτού του είδους αναπτύσσεται ένας τύπος νεοπλάσματος που ονομάζεται **τεράτωμα** (teratoma).

Τα αρχέγονα γεννητικά κύτταρα επάγουν τον σχηματισμό των γονάδων στο ραχιαίο σωματικό τοίχωμα

Η διαφοροποίηση των γονάδων περιγράφεται λεπτομερώς στο Κεφ. 10. Μόλις φτάσουν στην προδιαγεγραμμένη ως περιοχή των γονάδων (presumptive gonadal region), τα αρχέγονα γεννητικά κύτταρα προάγουν τον πολλαπλασιασμό κυττάρων του παρακειμένου επιθηλίου του κοιλωματος και του μεσονέφρου (εμβρυϊκού νεφρού) με αποτέλεσμα



Εικόνα 1-1. Α, Τα αρχέγονα γεννητικά κύτταρα διαφοροποιούνται στην ενδοδερματική στιβάδα του λεκιθικού ασκού από την 4^η έως την 6^η εβδομάδα της ανάπτυξης και μεταναστεύουν στο ραχιαίο σωματικό τοίχωμα. Β, Μεταξύ της 6^{ης} και της 12^{ης} εβδομάδας, τα αρχέγονα γεννητικά κύτταρα επάγουν τον σχηματισμό των γεννητικών ταινιών. Γ, Τα κύτταρα των φυλετικών δοκίδων διαφοροποιούνται και περιβάλλουν τα αρχέγονα γεννητικά κύτταρα. Στο θήλυ, οι φυλετικές δοκίδες της φλοιώδους μοίρας διατηρούνται και καθίστανται θυλακικά κύτταρα των ωθυλακίων. Στο άρρεν διατηρούνται οι μυελώδεις φυλετικές δοκίδες και καθίστανται κύτταρα Sertoli των σπερματικών σωληναρίων.

τον σχηματισμό συμπαγών ιστικών ταινιών που αποκαλούνται **πρωτογενείς φυλετικές δοκίδες** (primitive sex cords) (Εικ. 1-1Γ επίσης Εικ. 10-14). Οι αναπτυσσόμενες φυλετικές δοκίδες δημιουργούν ένα ζεύγος διογκώσεων, οι οποίες εντοπίζονται εκατέρωθεν της σπονδυλικής στήλης σε αμέσως μέση θέση ως προς τους μεσονέφρους. Οι διογκώσεις αυτές, που αποκαλούνται **γεννητικές ταινίες** (genital ridges), αντιπροσωπεύουν τις αρχέγονες γονάδες. Οι φυλετικές δοκίδες περιβάλλουν τα αρχέγονα γεννητικά κύτταρα και δημιουργούν τους ιστούς, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για τη θρέψη και τη ρύθμιση της ανάπτυξης των ωριμαζόντων γεννητικών κυττάρων, δηλαδή τα θυλακικά κύτταρα των **ωθυλακίων** στο θήλυ και των **κυττάρων του Sertoli** του **σπερματικού επιθηλίου** των **σπερματικών σωληναρίων** στο άρρεν (Εικ. 1-1Γ). Οι φυλετικές δοκίδες είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη των γεννητικών κυττάρων. Γεννητικά κύτταρα, τα οποία δεν περιβάλλονται από κύτταρα των φυλετικών δοκίδων, είτε εκφυλίζονται είτε αρχίζουν πρόωρα τη διεργασία της μείωσης και στη συνέχεια εκφυλίζονται. Από την άλλη πλευρά, εάν τα αρχέγονα γεννητικά κύτταρα δεν αφιχθούν στην περιοχή την προδιαγεγραμμένη ως περιοχή των γονάδων, δεν θα αναπτυχθούν ούτε φυλετικές δοκίδες ούτε γονάδες.

ΓΑΜΕΤΟΓΕΝΕΣΗ ΕΙΝΑΙ Η ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΚΥΤΤΑΡΙΚΗΣ ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗΣ, Η ΟΠΟΙΑ ΜΕΤΑΤΡΕΠΕΙ ΤΑ ΓΕΝΝΗΤΙΚΑ ΚΥΤΤΑΡΑ ΣΕ ΩΡΙΜΟΥΣ ΑΡΡΕΝΕΣ ΚΑΙ ΘΗΛΕΙΣ ΓΑΜΕΤΕΣ

Το χρονοδιάγραμμα της γαμετογένεσης στο άρρεν διαφέρει από το αντίστοιχο του στο θήλυ

Τόσο στο άρρεν όσο και στο θήλυ, τα αρχέγονα γεννητικά κύτταρα υπόκεινται σε περαιτέρω μιτωτικές διαιρέσεις μέσα στις γονάδες και κατόπιν αρχίζουν τη **γαμετογένεση**, δηλαδή τη διεργασία, η οποία τα μετατρέπει σε ώριμους άρρενες και θηλείς γαμέτες (**σπερματοζωάρια** και **οριστικά ωκύτταρα**, αντιστοίχως). Ωστόσο, το χρονοδιάγραμμα των διεργασιών αυτών είναι διαφορετικό στα δύο φύλα (βλέπε Χρονοδιάγραμμα και Εικ. 1-3). Στο άρρεν, τα αρχέγονα γεννητικά κύτταρα παραμένουν σε αδρανή κατάσταση από την έκτη εβδομάδα της εμβρυϊκής ανάπτυξης μέχρι την εφηβεία. Κατά την εφηβεία, τα σπερματικά σωληνάρια ωριμάζουν και τα αρχέγονα γεννητικά κύτταρα διαφοροποιούνται σε σπερματογόνια. Διαδοχικοί πληθυσμοί σπερματογονίων υπόκεινται σε μείωση (δηλ. στη διεργασία μέσω της οποίας ο αριθμός των χρωμοσωμάτων των φυλετικών κυττάρων υποδιπλασιάζεται) και ωριμάζουν σε σπερματοζωάρια.

Σπερματοζωάρια παράγονται συνεχώς από την εφηβεία μέχρι τον θάνατο.

Αντιθέτως, στο θήλυ, τα αρχέγονα γεννητικά κύτταρα, υφίστανται λίγες επιπλέον κυτταρικές διαιρέσεις μετά την επένδυση τους από τα κύτταρα των φυλετικών δοκίδων, διαφοροποιούνται σε ωογόνια και εν συνεχείᾳ, κατά τον πέμπτο μήνα της εμβρυϊκής ανάπτυξης, αρχίζουν όλα τη διεργασία της μείωσης. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια μιας πρώιμης φάσης της μείωσης, όλα τα γεννητικά κύτταρα περιπτίπτουν σε κατάσταση αδρανείας και παραμένουν σε μειωτική διακοπή μέχρι την εφηβεία. Με την έναρξη της εφηβείας η καταρίνια αιχμή της έκκρισης των γοναδοτρόπων ορμονών της υπόφυσης ωθεί κάθε μήνα λίγα γεννητικά κύτταρα να επαναρχίσουν τη γαμετογένεση. Συνήθως ένα μόνο πρωτογενές ωοκύτταρο ωριμάζει κάθε μήνα σε δευτερογενές ωοκύτταρο και απελευθερώνεται από το θυλάκιό του. Το ωοκύτταρο αυτό εισέρχεται σε μια δεύτερη φάση μειωτικής διακοπής και στην πραγματικότητα δεν ολοκληρώνει τη μειωτική διαίρεση του αν δεν γονιμοποιηθεί. Οι καταρίνιοι αυτοί κύκλοι συνεχίζονται μέχρι την εμμηνόπαυση, που συμβαίνει περί το 50^o έτος της ηλικίας.

Οι διεργασίες της γαμετογένεσης στο άρρεν και στο θήλυ (αποκαλούμενες αντιστοίχως **σπερματογένεση** και **ωογένεση**) περιγράφονται λεπτομερέστερα σε επόμενα τμήματα αυτού του κεφαλαίου.

Η μείωση υποδιπλασιάζει τον αριθμό των χρωμοσωμάτων και των αλυσίδων DNA των γεννητικών κυττάρων

Παρά το γεγονός ότι η χρονική εξέλιξη της μείωσης είναι πολύ διαφορετική στα δύο φύλα, τα βασικά χρωμοσωματικά γεγονότα της είναι τα ίδια και στα δύο φύλα (Εικ. 1-2). Όπως όλα τα φυσιολογικά σωματικά (μη γεννητικά) κύτταρα, έτοι και τα αρχέγονα γεννητικά κύτταρα περιέχουν 23 ζεύγη χρωμοσωμάτων, δηλ. συνολικώς 46 χρωμοσώματα. Τα χρωμοσώματα αυτά περιέχουν το **δεοξιριβονυκλεϊκό οξύ** (deoxyribonucleic acid, DNA), το οποίο κωδικοποιεί πρακτικώς όλες τις πληροφορίες που απαιτούνται για την ανάπτυξη και τη λειτουργία του οργανισμού. Από το σύνολο των 46 χρωμοσωμάτων, τα 44 κατανέμονται σε 22 ζεύγη ομολόγων χρωμοσωμάτων, που αποκαλούνται **αυτοσώματα** (autosomes). Τα υπόλοιπα δύο χρωμοσώματα αποκαλούνται **φυλετικά** (sex chromosomes), επειδή καθορίζουν το φύλο του ατόμου. Υπάρχουν δύο είδη φυλετικών χρωμοσωμάτων, το X και το Y. Οργανισμοί που φέρουν δύο χρωμοσώματα X (XX) είναι γενετικώς θήλεις. Εντούτοις, σε κάθε κύτταρο του θήλεος οργανισμού ένα από τα δύο χρωμοσώματα X (όχι πάντοτε το ίδιο) αδρανοποιείται, με αποτέλεσμα να υφίσταται μόνον ένα ενεργό X χρωμόσωμα (βλέπε Κεφ. 2). Οργανισμοί

που φέρουν ένα X και ένα Y χρωμόσωμα (XY) είναι γενετικώς άρρενες. Οι μηχανισμοί καθορισμού του φύλου περιγράφονται λεπτομερώς στο Κεφ. 10.

Δύο όροι που συχνά συγχέονται μεταξύ τους είναι η **πλοειδία** (ploidy) ενός κυττάρου και ο **αριθμός N** (N number) του κυττάρου αυτού. Ο όρος πλοειδία αναφέρεται στον αριθμό των αντιγράφων κάθε χρωμοσώματος που υπάρχουν στον πυρήνα ενός κυττάρου, ενώ ο όρος αριθμός N αναφέρεται στον αριθμό των αντιγράφων κάθε επιμέρους μορίου DNA με δύο αλυσίδες μέσα στον πυρήνα. Σε διαφορετικά στάδια του κυτταρικού κύκλου (είτε αυτός είναι μιτωτικός είτε μειωτικός) κάθε χρωμόσωμα ενδέχεται να περιέχει ένα ή δύο μόρια DNA και ως εκ τούτου, η πλοειδία και ο αριθμός N ενός κυττάρου δεν συμπίπτουν πάντοτε. Τα σωματικά κύτταρα και τα αρχέγονα γεννητικά κύτταρα διαθέτουν δύο αντίγραφα κάθε είδους χρωμοσώματος και γι' αυτό το λόγο αποκαλούνται **διπλοειδή** (diploid). Αντιθέτως, οι ώριμοι γαμέτες διαθέτουν ένα μόνον αντίγραφο κάθε είδους χρωμοσώματος και αποκαλούνται **απλοειδείς** (haploid). Οι απλοειδείς γαμέτες που περιέχουν μια αλυσίδα DNA ανά χρωμόσωμα χαρακτηρίζονται ως **1N**. Σε ορισμένα στάδια του κυτταρικού κύκλου, τα διπλοειδή κύτταρα διαθέτουν επίσης ένα μόριο DNA ανά χρωμόσωμα, γι' αυτό και χαρακτηρίζονται ως **2N**. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια των πρωιμοτέρων φάσεων της μείωσης ή της μίτωσης, κάθε χρωμόσωμα διπλοειδούς κυττάρου περιέχει δύο μόρια DNA, οπότε το κύτταρο είναι **4N**.

Μείωση (meiosis) είναι μια εξειδικευμένη διεργασία κυτταρικής διαίρεσης, η οποία απαντά αποκλειστικά στη γεννητική σειρά. Στην Εικ. 1-2 συγκρίνονται οι διεργασίες της μίτωσης και της μείωσης. Κατά τη **μίτωση** (mitosis), (τη φυσιολογική κυτταρική διαίρεση), ένα διπλοειδές, 2N κύτταρο πραγματοποιεί μία μόνο διαίρεση και παράγει δύο διπλοειδή, 2N θυγατρικά κύτταρα. Κατά τη μείωση, ένα διπλοειδές γεννητικό κύτταρο πραγματοποιεί δύο διαδοχικές, ποιοτικώς διαφορετικές μεταξύ των πυρηνικές και κυτταρικές διαιρέσεις και παράγει τέσσερις απλοειδείς, 1N, απογόνους. Στο άρρεν, οι κυτταρικές διαιρέσεις της μείωσης είναι ίσες και παράγουν τέσσερα όμοια σπερματοζωάρια, Αντιθέτως, στο θήλυ, οι μειωτικές κυτταρικές διαιρέσεις είναι εξαιρετικά άνισες και παράγουν ένα ογκώδες, απλοειδές οριστικό ωοκύτταρο και τρία μικροσκοπικά, μη λειτουργικά, απλοειδή **πολικά σωμάτια** (polar bodies).

Σε σπάνιες περιπτώσεις λόγω λάθους κατά τη διάρκεια της μείωσης, παράγεται γαμέτης με ανώμαλο αριθμό σωματικών ή φυλετικών χρωμοσωμάτων. Ορισμένες από αυτές τις χρωμοσωματικές ανωμαλίες καθώς και οι επιπτώσεις τους στην ανάπτυξη του εμβρύου περιγράφονται στο τμήμα των Κλινικών Εφαρμογών, με το οποίο ολοκληρώνεται το παρόν κεφάλαιο.