



ΣΠΕΡΜΑΤΟΓΕΝΕΣΗ

Σοφία Χαβάκη

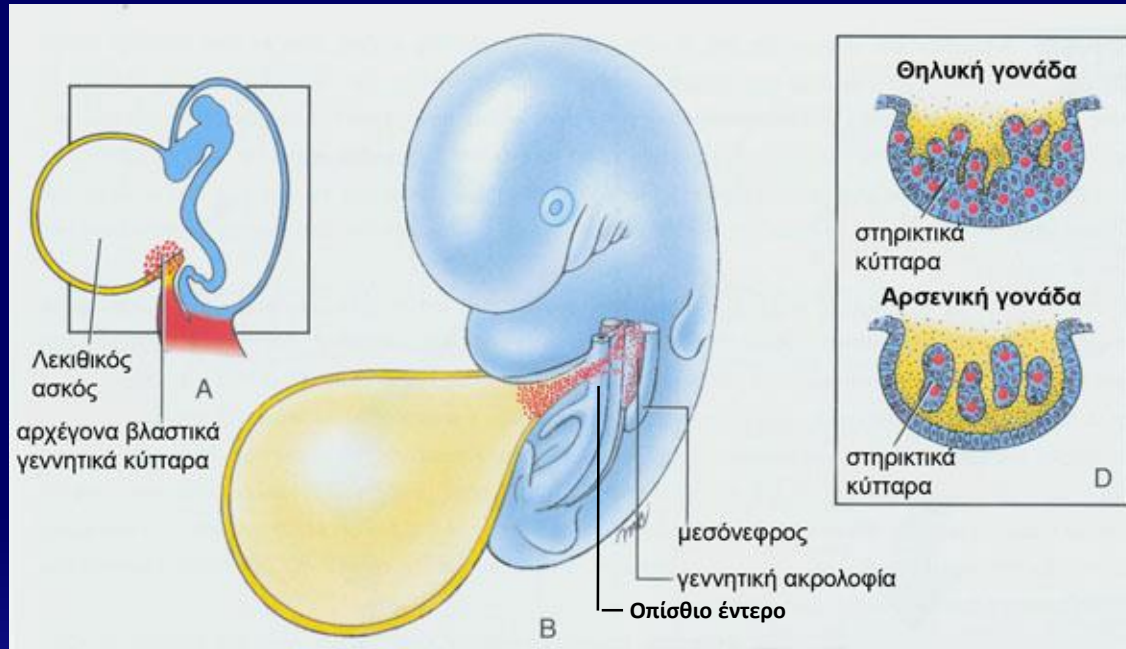
Επίκουρη Καθηγήτρια

Εργαστήριο Ιστολογίας – Εμβρυολογίας

ΕΚΠΑ

Αρχέγονα (βλαστικά) γεννητικά κύτταρα

Οι γαμέτες (♀, ♂) κατάγονται από τον ίδιο πρόγονο:
το αρχέγονο (βλαστικό) γεννητικό κύτταρο (*Primordial germ cell*).



Τα αρχέγονα βλαστικά γεννητικά κύτταρα εμφανίζονται στο ανθρώπινο έμβρυο στο **τοίχωμα του λεκιθικού ασκού** στο τέλος της **4^{ης} εβδομάδας** της ανάπτυξης. Από τη θέση αυτή 10-100 κύτταρα μεταναστεύουν προς τις αναπτυσσόμενες γονάδες –κατά μήκος του ραχιαίου μεσεντέριου του οπίσθιου εντέρου- όπου φθάνουν στο τέλος της 5^{ης} εβδομάδας και εισχωρούν σε αυτές στο τέλος της 6^{ης} εβδομάδας της ανάπτυξης (**αποικισμός**). Κατά την μετανάστευση αυξάνεται ο αριθμός των αρχέγονων γεννητικών κυττάρων μέσω μίτωσης.

Αρχέγονα βλαστικά γεννητικά κύτταρα

Στις αναπτυσσόμενες αρσενικές γονάδες:

τα αρχέγονα βλαστικά γεννητικά κύτταρα περιβάλλονται από τα επιθηλιακά κύτταρα των αρχέγονων φυλετικών χορδών

αλληλεπίδραση ↓↓

- *Επιθηλιακά κύτταρα των αρχέγονων φυλετικών χορδών*

πολλαπλασιασμός και διαφοροποίηση σε **στηρικτικά κύτταρα**

κύτταρα Sertoli

- *Αρχέγονα βλαστικά γεννητικά κύτταρα*

Πολλαπλασιασμός (μιτώσεις) →

αρχέγονα σπερματογόνια

ΣΠΕΡΜΑΤΟΓΕΝΕΣΗ

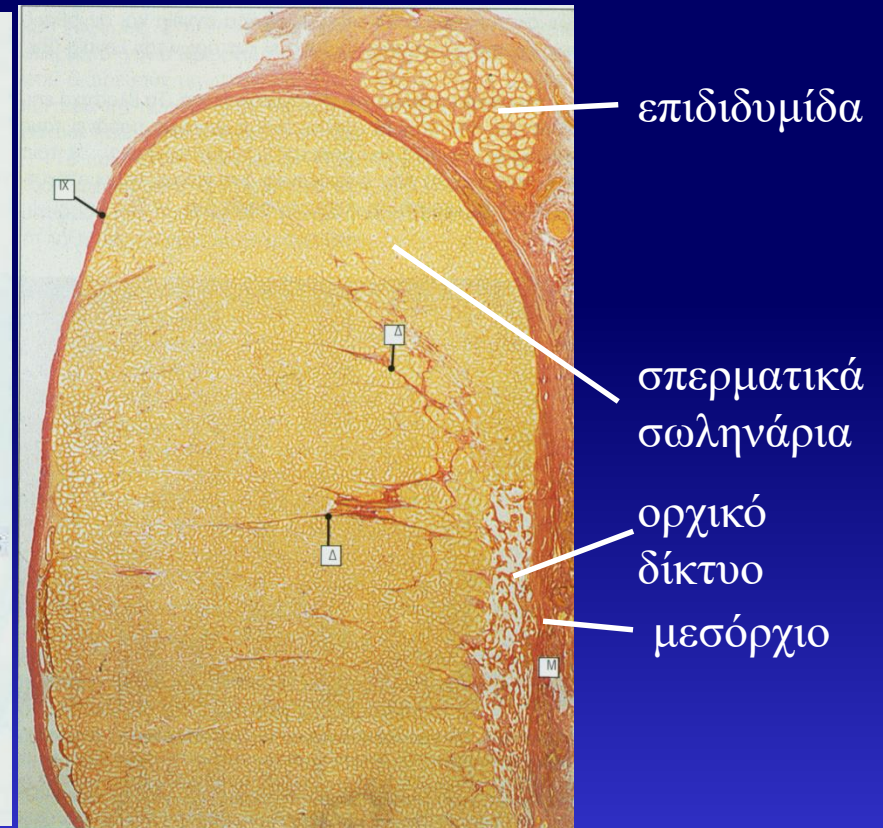
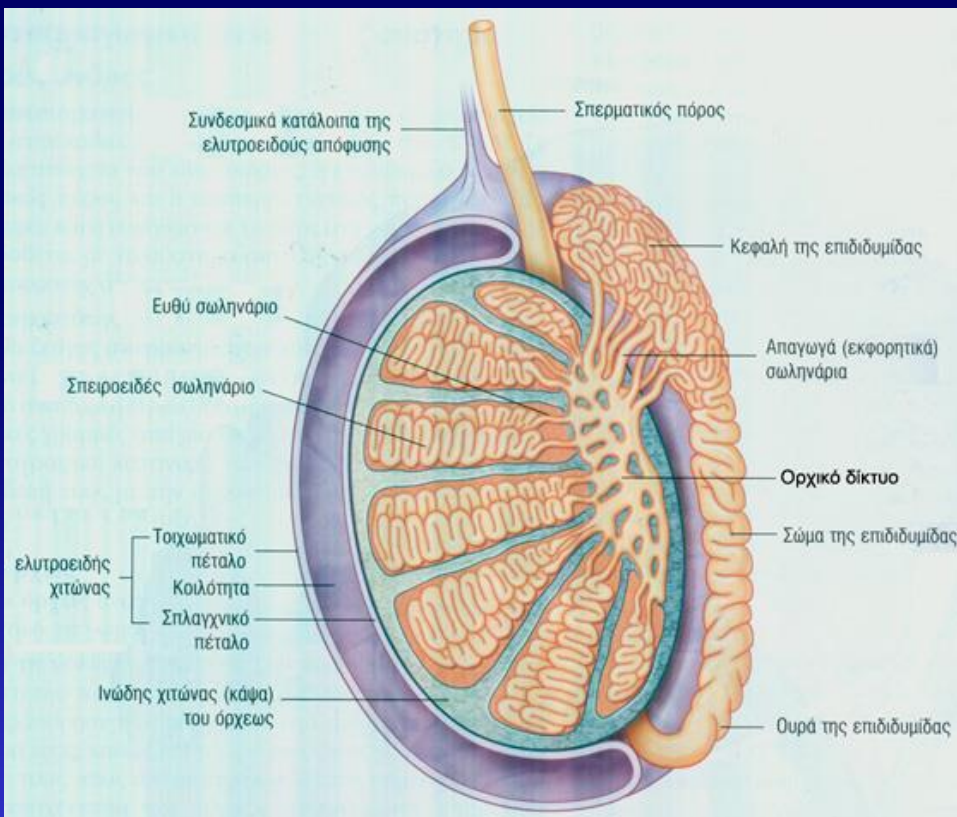
Το σύνολο των διεργασιών μέσω των οποίων τα **σπερματογόνια** (διπλοειδικά κύτταρα) διαφοροποιούνται σε **ώριμα σπερματοζωάρια** (απλοειδικά κύτταρα).

Πού; στους όρχεις

Πότε; από την εφηβεία μέχρι προχωρημένη ηλικία

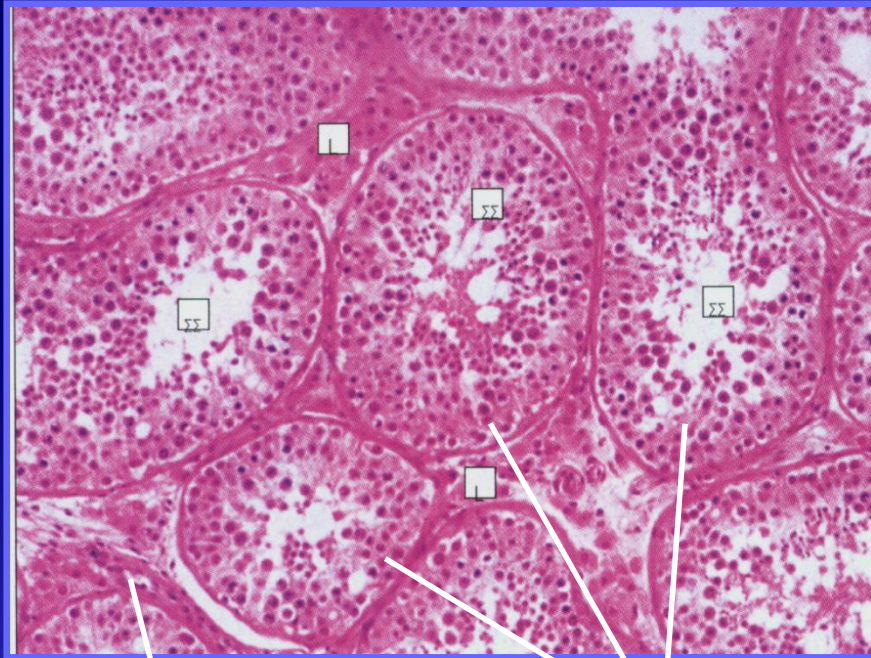
ΟΡΧΕΙΣ

- Όργανα παραγωγής σπερματοζωαρίων
- Ορχικό παρέγχυμα : **σπερματικά σωληνάρια** και **διάμεσος ιστός**
- Κάθε όρχις περιβάλλεται από ινώδη χιτώνα, που παχύνεται στην οπίσθια πλευρά → **μεσόρχιο** ή **μεσαύλιο**. Ινώδη διαφράγματα διαχωρίζουν τον όρχι σε 250-300 λόβια. 1-4 σπερματικά σωληνάρια / λόβιο.



ΣΠΕΡΜΑΤΙΚΑ ΣΩΛΗΝΑΡΙΑ – ΣΠΕΡΜΑΤΙΚΟ ΕΠΙΘΗΛΙΟ

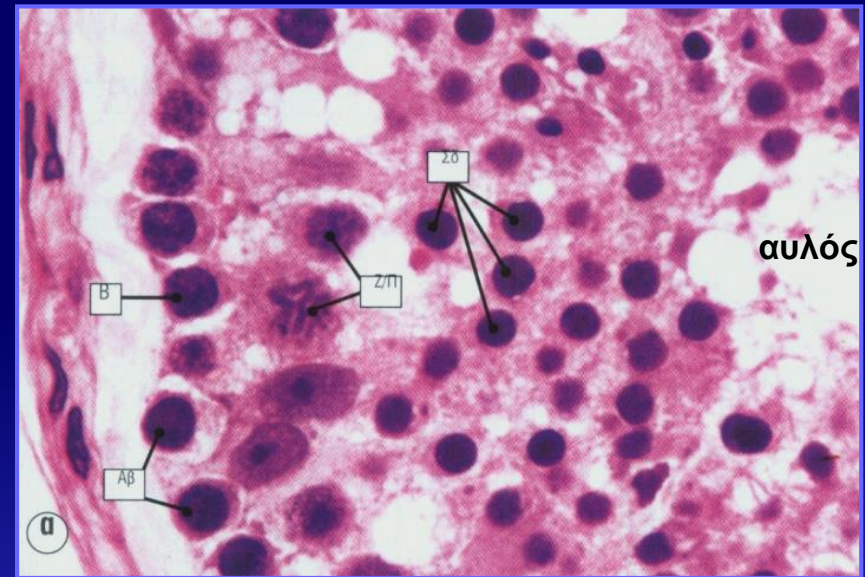
Σπερματικό σωληνάριο (ΣΣ): σπειροειδής, μη διακλαδιζόμενη **αγκύλη** (σχήματος **U**). Ανάμεσα στα ΣΣ βρίσκεται ο **διάμεσος ιστός** (χαλαρός συνδετικός ιστός + αιμοφόρα αγγεία + λεμφικά αγγεία + κύτταρα Leydig).



διάμεσος ιστός

σπερματικά σωληνάρια

Σπερματικό επιθήλιο: ενεργά αναπα-
ραγόμενο επιθήλιο που επενδύει το
τοίχωμα του ΣΣ. Αποτελείται από
**κύτταρα σε διάφορα στάδια της σπερ-
ματογένεσης** και **κύτταρα Sertoli**.

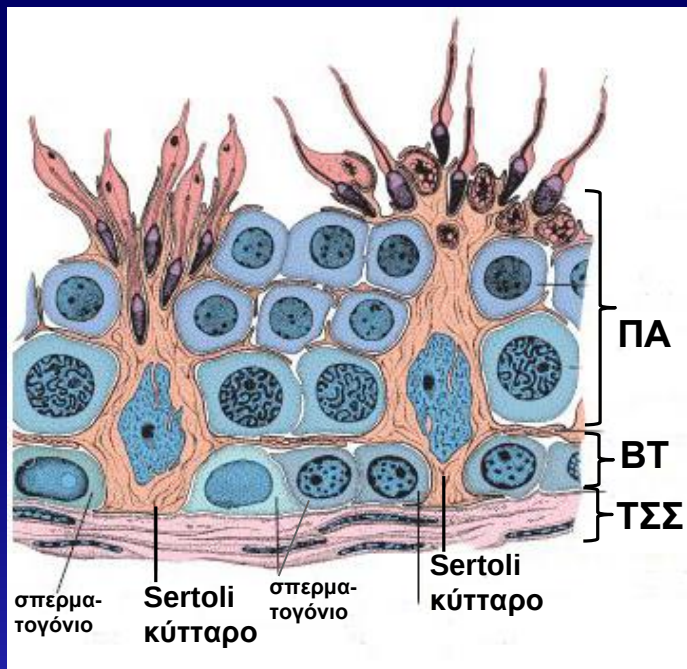


τοίχωμα ΣΣ:
βασική μεμβράνη,
κολλαγόνο, ινοβλάστες, μυοειδή κύτταρα

σπερματικό επιθήλιο

Κύτταρα Sertoli

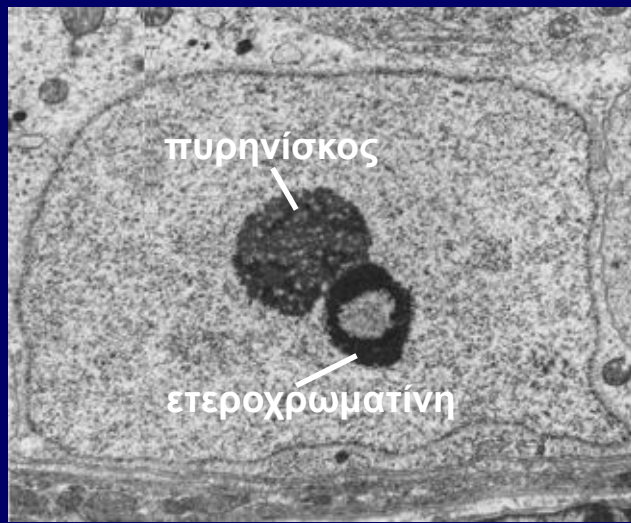
- **Μέχρι την εφηβεία:** κυρίαρχος κυτταρικός τύπος του ΣΣ
- **Μετά την εφηβεία:** ~10% των κυττάρων του ΣΣ
- **Ηλικιωμένοι άντρες:** σημαντικός κυτταρικός πληθυσμός του ΣΣ
- **Στους ενήλικες είναι μεταμιτωτικά κύτταρα**



BT: βασικό τμήμα, ΠΑ: παρααυλικό τμήμα,
ΤΣΣ: τοίχωμα σπερματικού σωληναρίου

- Κυλινδρικά κύτταρα
- Εκτείνονται από το τοίχωμα του ΣΣ μέχρι τον αυλό του
- **Πυρήνας:** σε επαφή με το τοίχωμα του ΣΣ
- **Κυτταρόπλασμα:** έντονες προεκβολές που περικλείουν κύτταρα του σπερματικού επιθηλίου → **φωλές, κρύπτες**
- **Βασικοπλευρικά:** **στενές συνδέσεις** με γειτονικά κύτταρα Sertoli → **βασικό διαμέρισμα** του ΣΣ → **αιματορχικός φραγμός**

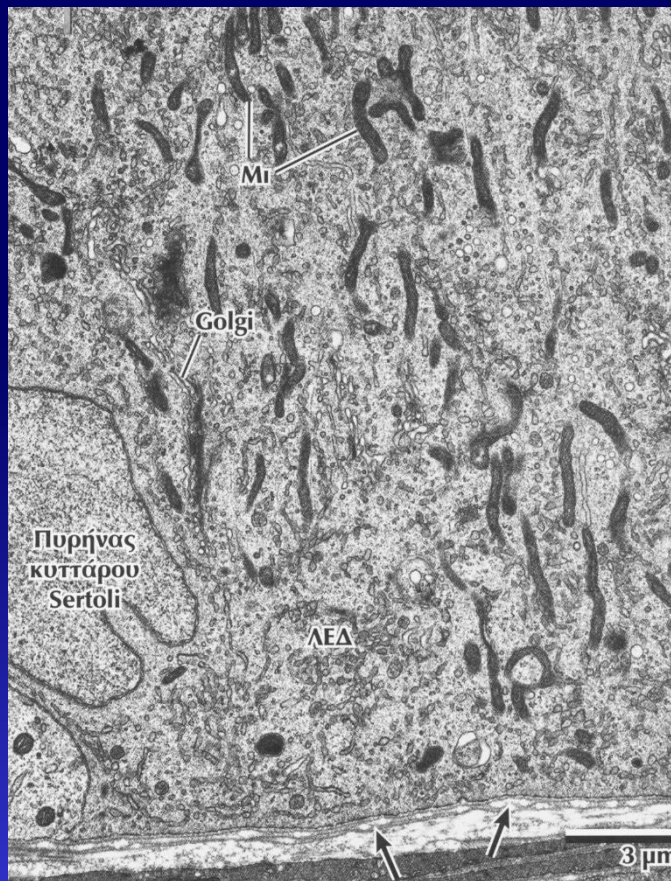
Κύτταρα Sertoli



Πυρήνας: σχεδόν υποστρόγγυλος, με εντομές.

Πυρηνίσκος: εμφανής **μαζί με μάζα ετεροχρωματίνης.**

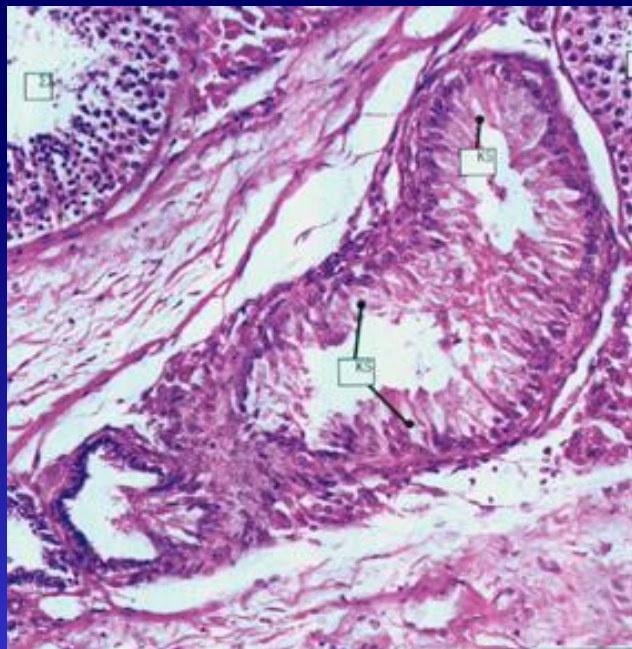
Κυτταρόπλασμα: λείο και αδρό ΕΔ, εκτενές Golgi, πολυριβοσώματα, μιτοχόνδρια, λυσοσώματα, λιποσταγονίδια, εμφανής κυτταροσκελετός (ενδιάμεσα ινίδια, ακτίνη, μικροσωληνίσκοι).



Κύτταρα Sertoli

Λειτουργίες:

- **Στήριξη, θρέψη, προστασία** των αναπτυσσόμενων σπερματογόνων κυττάρων
- **Φαγοκυττάρωση** υπολειμματικών σωματίων (σπερμιογένεση) και εκφυλισμένων σπερματογόνων κυττάρων
- **Ελευθέρωση** των σπερματοζωαρίων στον αυλό του ΣΣ (σπερμίαση)
- **Έκκριση** υγρού (πρωτεΐνες, ιόντα) στον αυλό του ΣΣ



Προεφηβικά: συμβάλλουν στην **αναστολή της μείωσης** των προσπερματογόνων κυττάρων

Μετά την εφηβεία:

- Υποδοχείς της θυλακιοτρόπου ορμόνης (FSH) → επαγωγή έκκρισης **πρωτεΐνης δέσμευσης των ανδρογόνων (ABP)** → σύμπλοκο με ανδρογόνα → **ωρίμανση σπερματογόνων κυττάρων**
- Έλεγχος του **ρυθμού της σπερματογένεσης** (έκφραση ινχιμπίνης-ακτιβίνης)

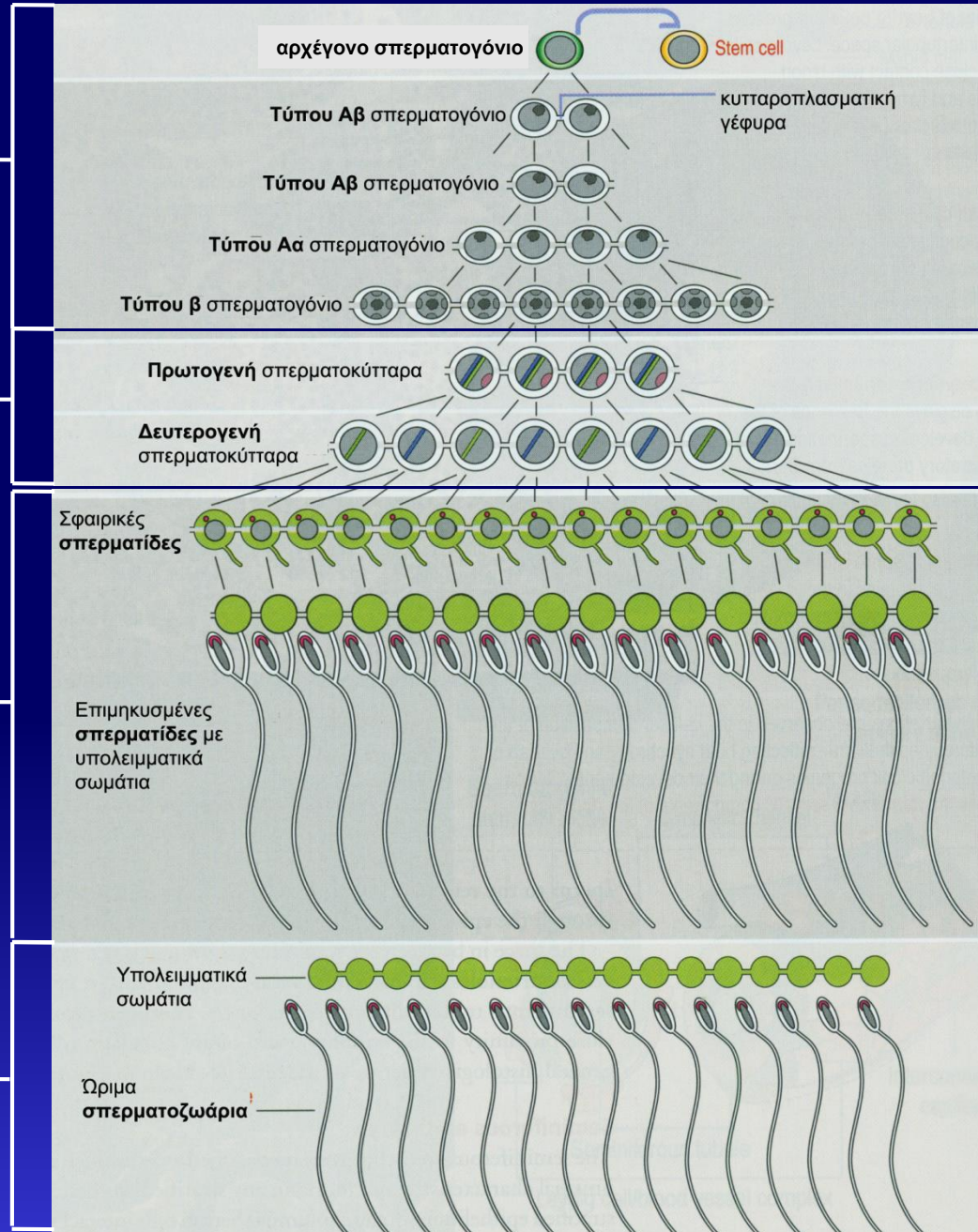
ΣΠΕΡΜΑΤΟΓΕΝΕΣΗ

Σπερματοκυτταρογένεση
(μιτώσεις σπερματογονίων)

Μείωση (I και II)

Σπερμιογένεση

Σπερμίαση



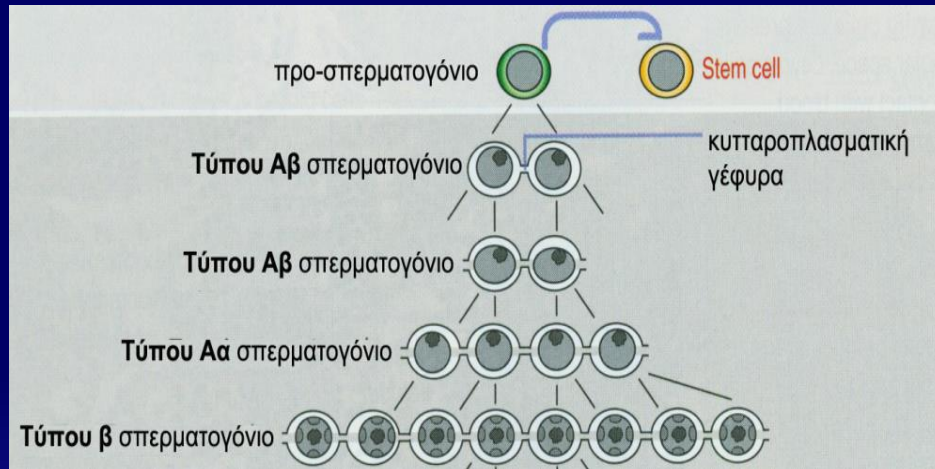
Χαρακτηριστικά Σπερματογένεσης

- Όλα τα κύτταρα μετά από κάθε διαίρεση (μιτωτική ή μειωτική) συνδέονται μεταξύ τους με κυτταροπλασματικές γέφυρες, λόγω ατελούς κυτταροκίνησης
- Όλες οι κυτταρικές διαιρέσεις είναι συγχρονισμένες
- Δεν διακόπτεται η εξέλιξη της σε καμία φάση της

ΣΠΕΡΜΑΤΟΓΕΝΕΣΗ / 1^η φάση ΣΠΕΡΜΑΤΟΚΥΤΤΑΡΟΓΕΝΕΣΗ

✓ Έναρξη στην εφηβεία

✓ Αύξηση αριθμού σπερματογονίων με **ΜΙΤΩΣΕΙΣ**



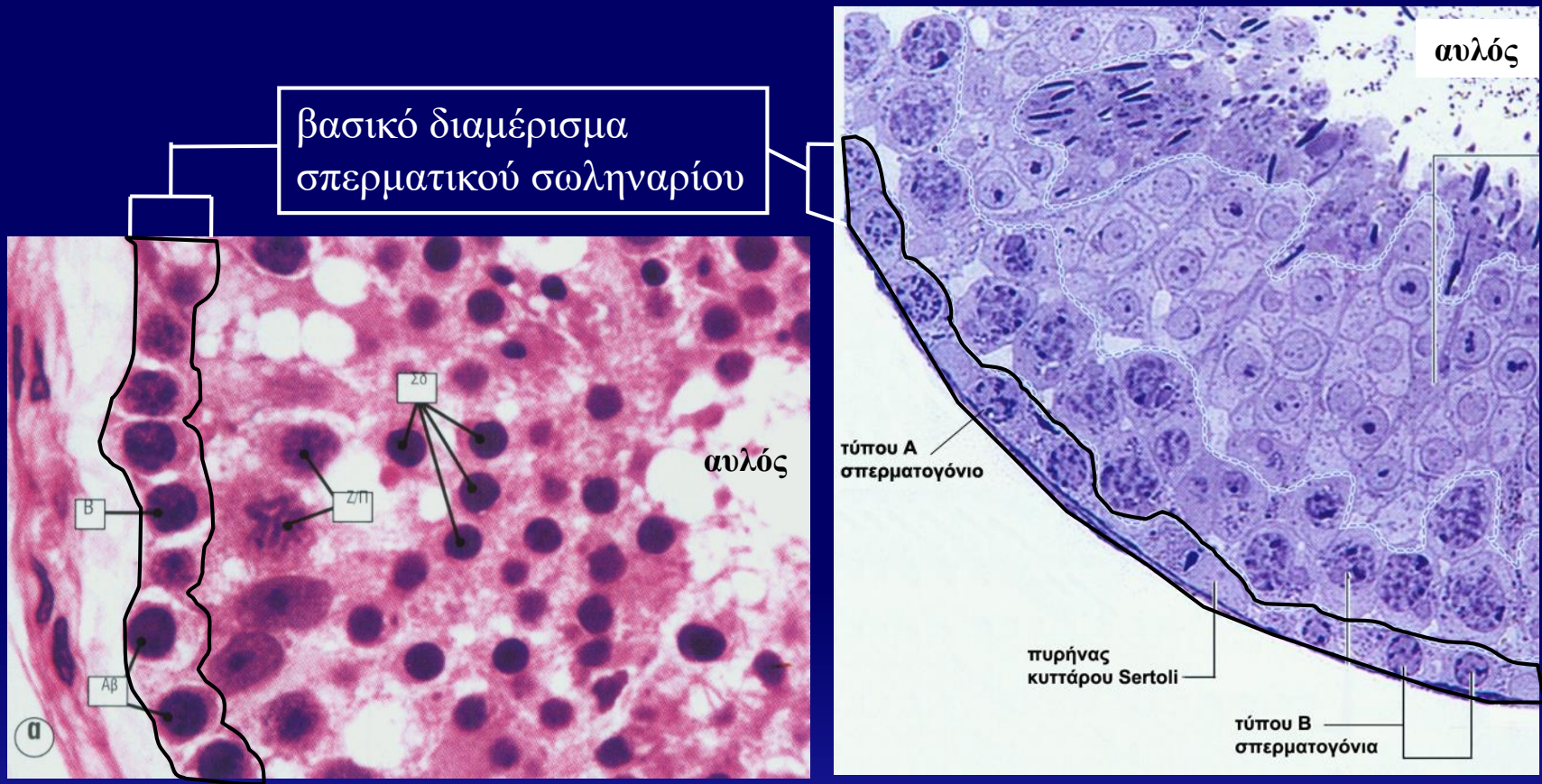
3 είδη σπερματογονίων:

- **Τύπου Α–βαθυχρωματικά (Αβ)**
ωοειδής πυρήνας, βαθυχρωματική
χρωματίνη, 1 πυρηνίσκος σε επαφή
με τον πυρηνικό φάκελο.

- **Τύπου Α–αριοχρωματικά (Αα) σπερματογόνια**
ωοειδής πυρήνας, αραιοχρωματική χρωματίνη, 1 πυρηνίσκος.

- **Τύπου Β σπερματογόνια**
στρογγυλός πυρήνας, ανισομεγέθη κοκκία χρωματίνης σε επαφή με τον
πυρηνικό φάκελο, κεντρικά τοποθετημένος πυρηνίσκος. Εκτελούν την
τελευταία μιτωτική διαίρεση → **πρωτογενή σπερματοκύτταρα.**

Σπερματοκυτταρογένεση... στο Σπερματικό Σωληνάριο (ΣΣ)

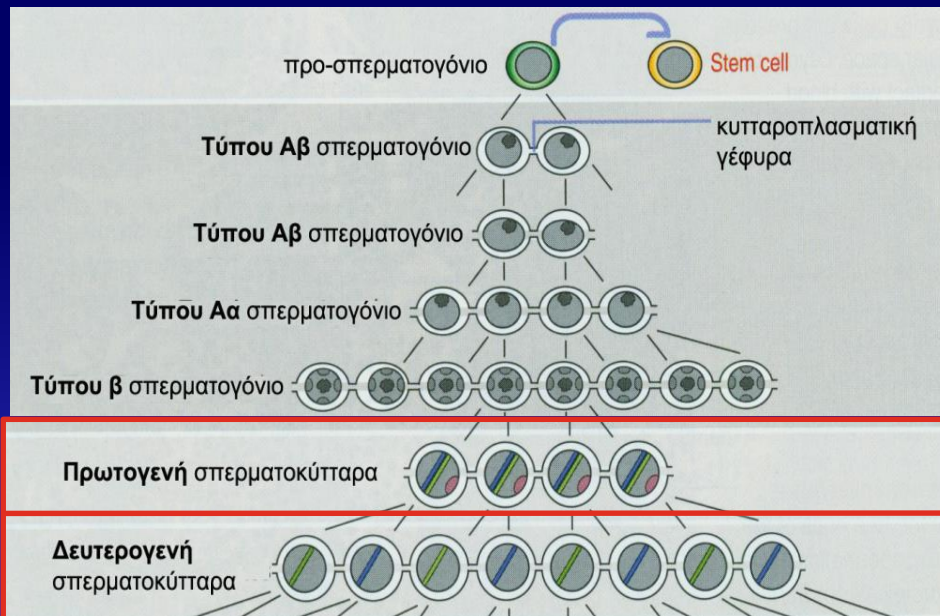


Όλα τα είδη των σπερματογονίων βρίσκονται **στο βασικό διαμέρισμα** του ΣΣ μαζί με τους πυρήνες των κυττάρων Sertoli, **σε επαφή με τη βασική μεμβράνη** (του τοιχώματος του σπερματικού σωληναρίου).

ΣΠΕΡΜΑΤΟΓΕΝΕΣΗ / 2^η φάση ΜΕΙΩΣΗ

Τα **πρωτογενή σπερματοκύτταρα** (θυγατρικά κύτταρα των σπερματογονίων τύπου Β) προχωρούν στο διπλασιασμό του DNA (φάση S του κυτταρικού τους κύκλου) ($2n$, $4c$) και μπαίνουν στη

ΜΕΙΩΣΗ



Μείωση I (πρόφαση I, μετάφαση I, ανάφαση I, τελόφαση I)

Μείωση II (μετάφαση II, ανάφαση II, τελόφαση II)

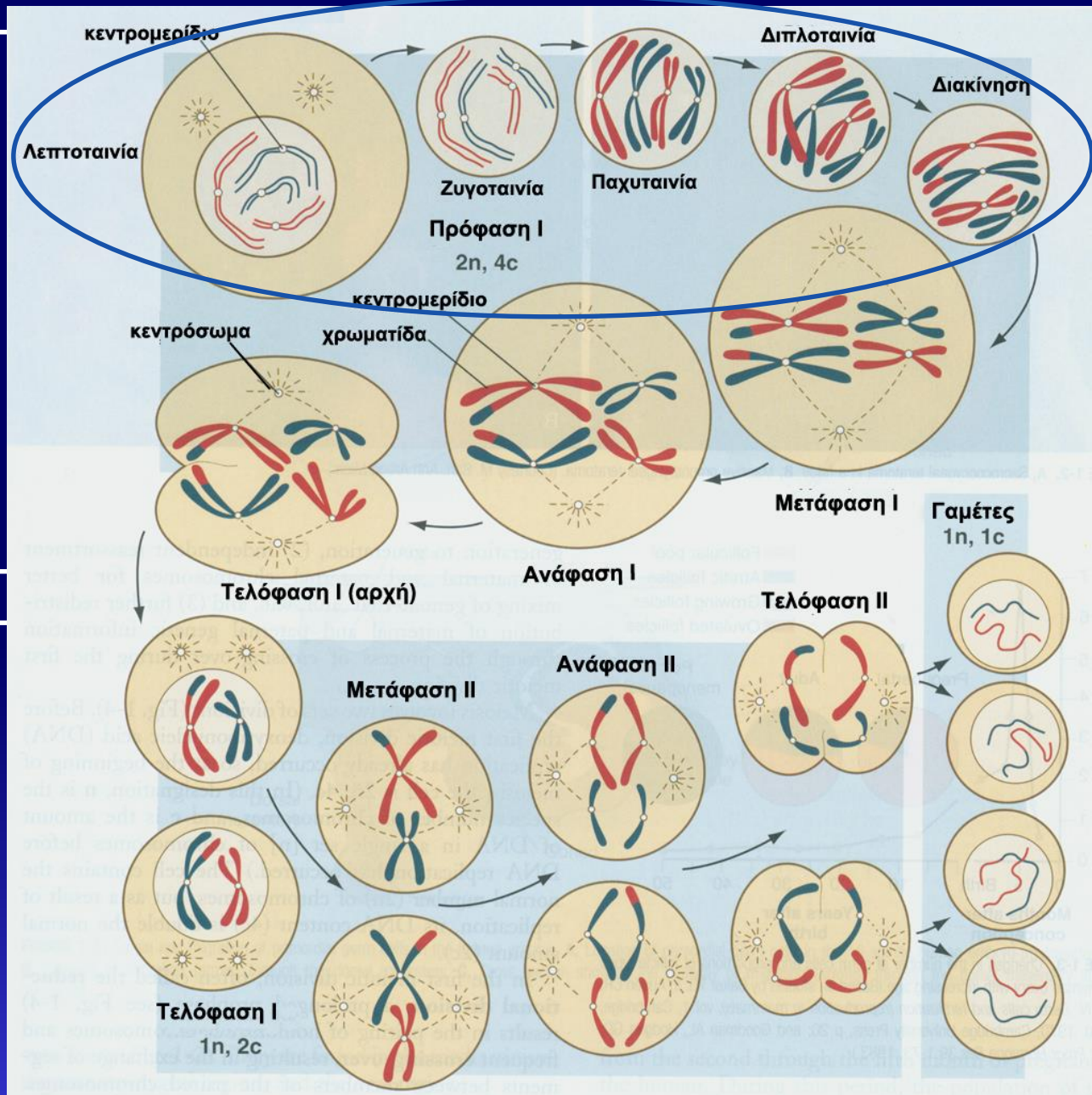
ΜΕΙΩΣΗ

Μείωση I

πρωτογενή
σπερματοκύτταρα
($2n, 4c$)

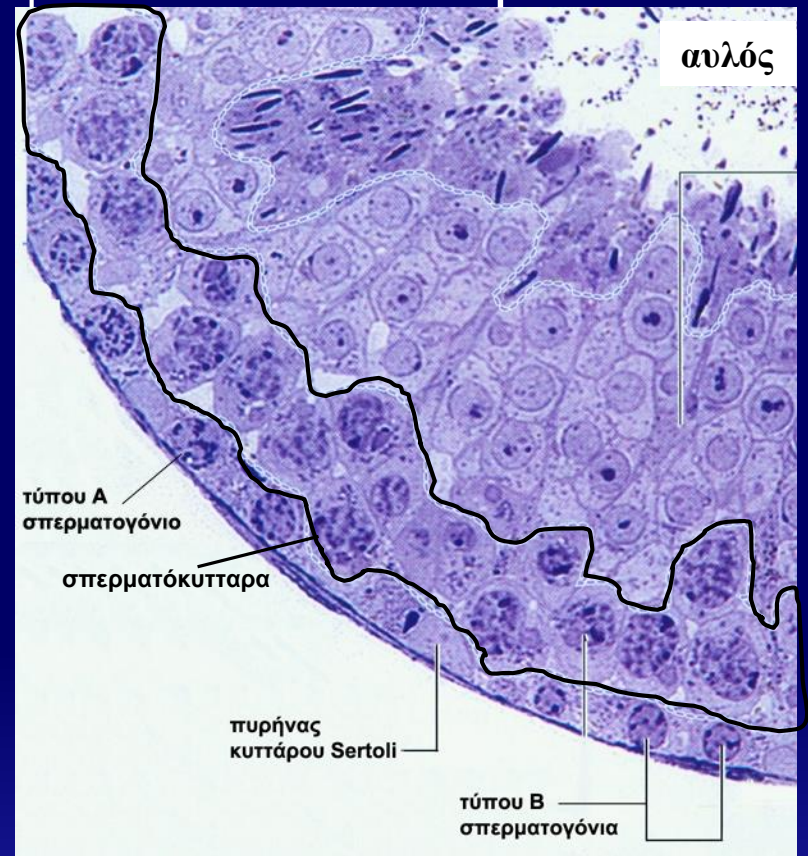
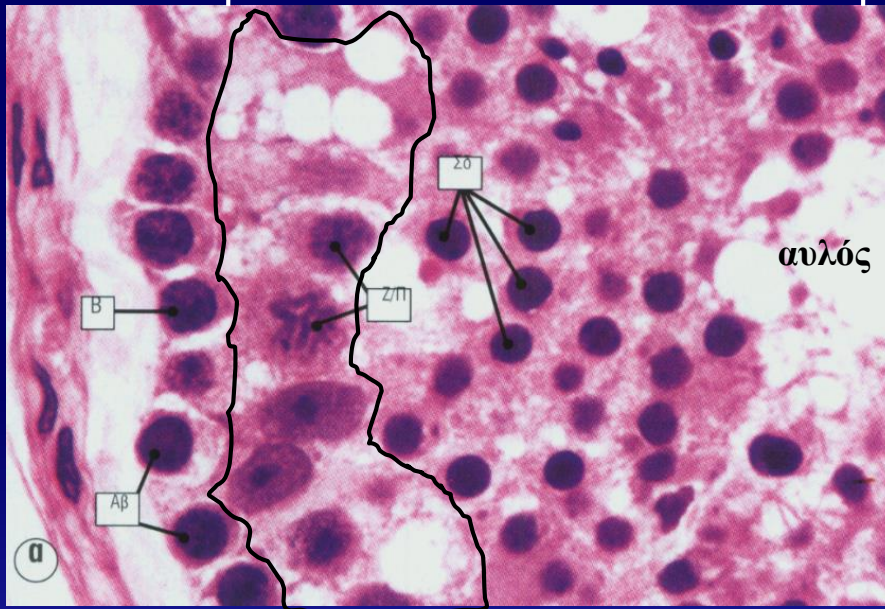
Μείωση II

δευτερογενή
σπερματοκύτταρα
($1n, 2c$)



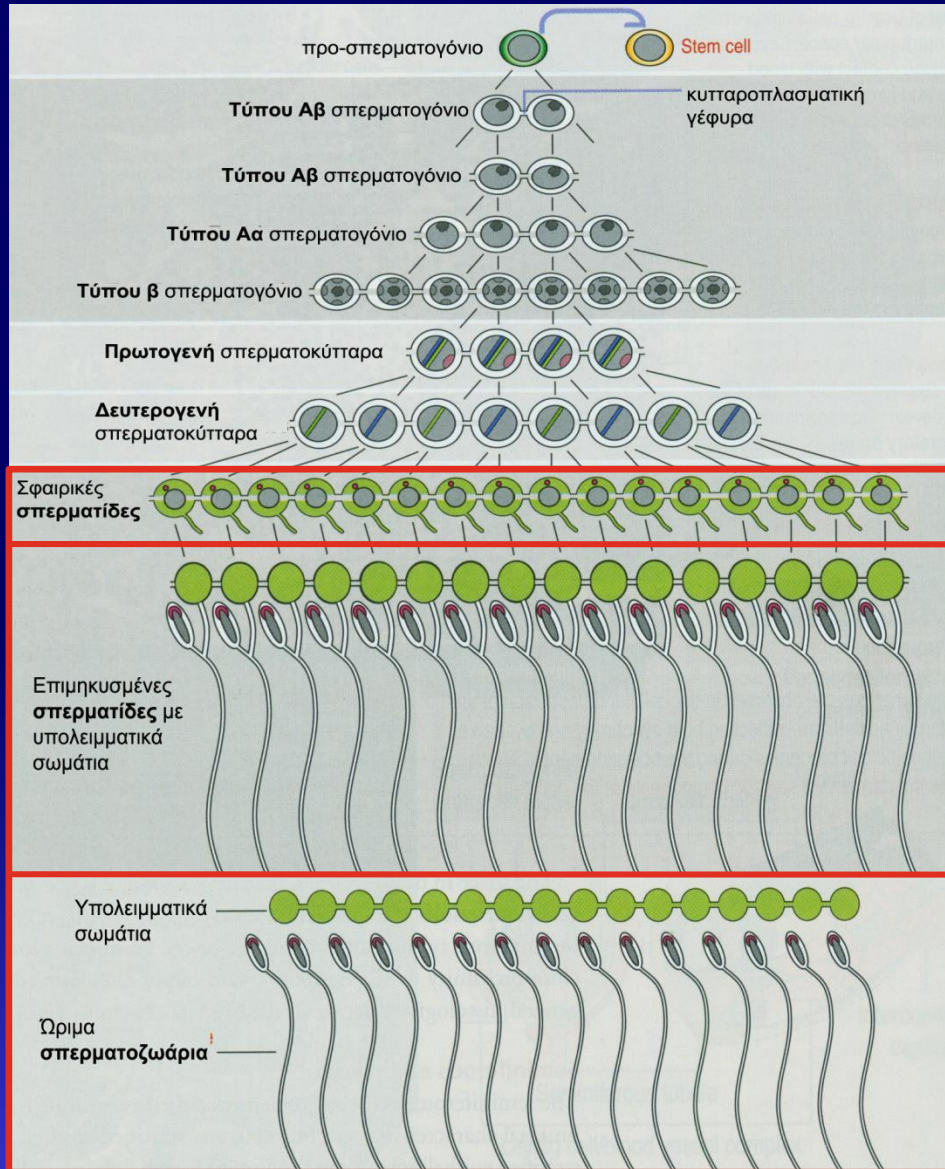
Μείωση..στο Σπερματικό Σωληνάριο

προσαύλιο διαμέρισμα
σπερματικού σωληναρίου



Η μείωση διεκπεραιώνεται στο **κατώτερο προσαύλιο διαμέρισμα** του σπερματικού σωληναρίου.

ΣΠΕΡΜΑΤΟΓΕΝΕΣΗ / 3^η φάση ΣΠΕΡΜΙΟΓΕΝΕΣΗ - ΣΠΕΡΜΙΑΣΗ



Δευτερογενή σπερματοκύτταρα

2^η μειωτική
διαίρεση

Σφαιρικές σπερματίδες
(πρώιμες σπερματίδες)

σπερμιογένεση
+

σπερμίαση

διαφοροποίηση σε
ώριμα σπερματοζωάρια
(όψιμες σπερματίδες)

ΣΤΑΔΙΑ ΣΠΕΡΜΙΟΓΕΝΕΣΗΣ

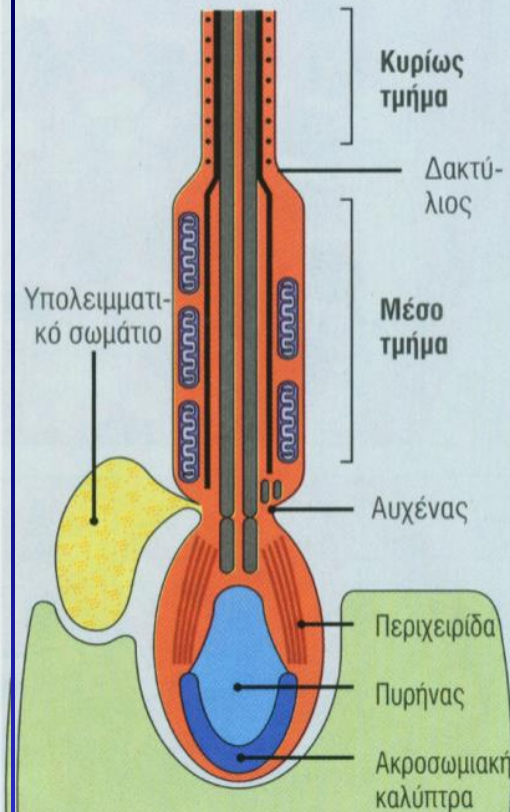
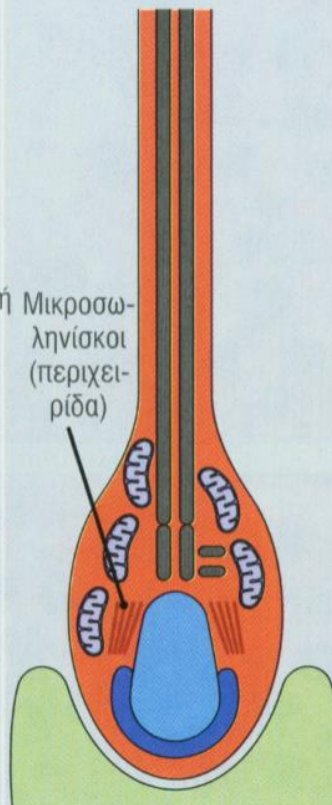
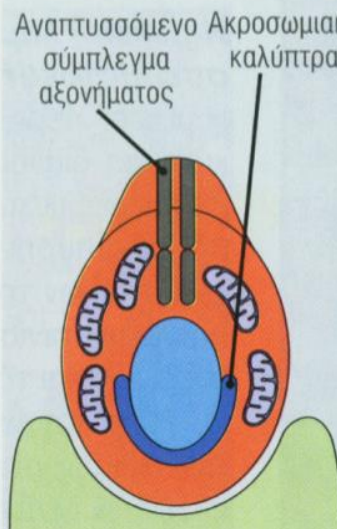
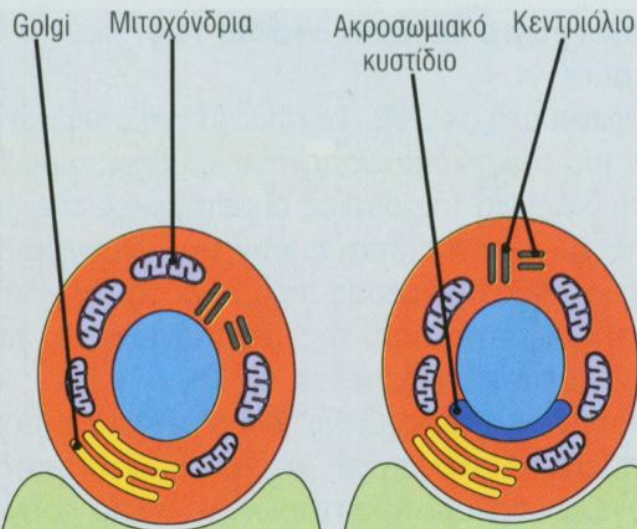
Η σπερμιογένεση πραγματοποιείται στο προσάυλιο διαμέρισμα του ΣΣ: σε φωλέες (πρώιμες σπερματίδες) και σε κρύπτες (όψιμες σπερματίδες) των κυττάρων Sertoli

Στάδιο Golgi

Στάδιο
καλύπτρας

Στάδιο
ακροσώματος

Στάδιο
ωρίμανσης



ΣΠΕΡΜΙΟΓΕΝΕΣΗ / 1^ο στάδιο

Στάδιο Golgi

- Σχηματισμός **προ-ακροσωμιακών κυστιδίων** με υδrolυτικά ένζυμα στη συσκευή **Golgi**

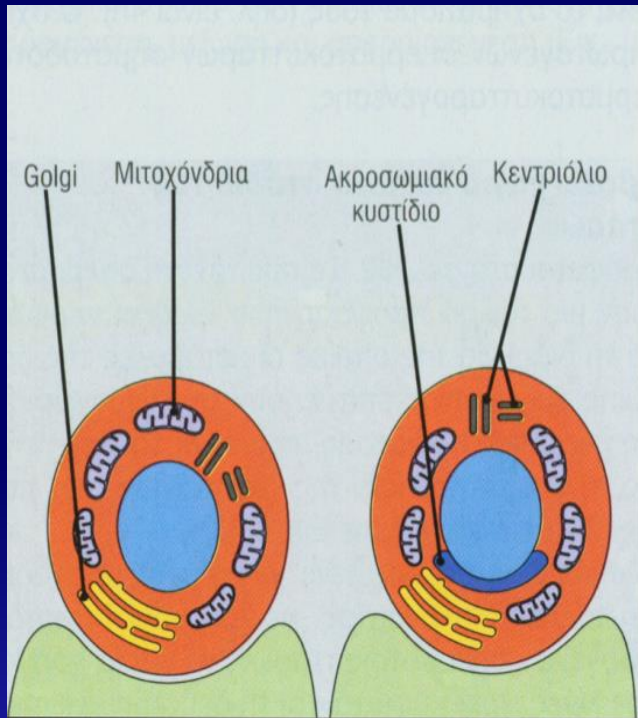
- **Συνένωση** των προ-ακροσωμιακών κυστιδίων



- Σχηματισμός **ακροσωμιακού κυστιδίου** → προσδιορισμός του πρόσθιου πόλου του σπερματοζωαρίου

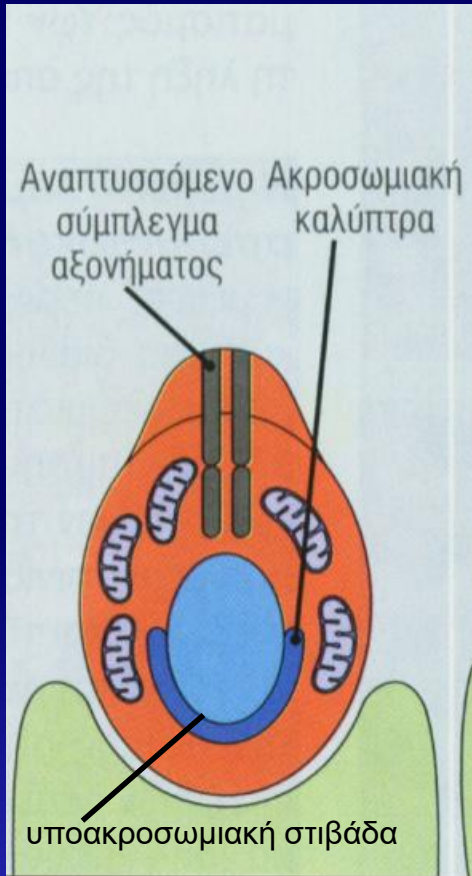
- Τοποθέτηση του **κεντροσώματος** (2 κεντριόλια: άπω και εγγύς) στον **οπίσθιο πόλο** της σπερματίδας

- Αρχή σχηματισμού του αξονήματος (δομή 9+2) της ουράς του σπερματοζωαρίου από το **άπω κεντριόλιο**



ΣΠΕΡΜΙΟΓΕΝΕΣΗ / 2^ο στάδιο

Στάδιο καλύπτρας



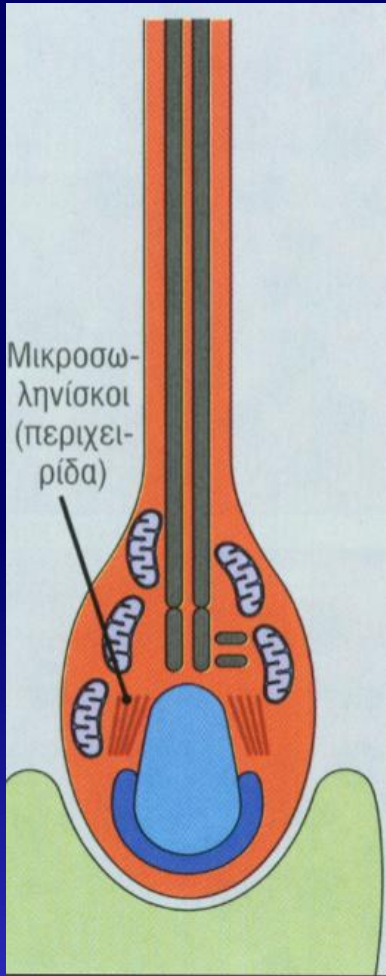
- Σχηματισμός της ακροσωματικής καλύπτρας:
α) επιπέδωση του ακροσωμακού κυστιδίου,
β) σύνδεσή του με το πυρηνικό περίβλημα μέσω της υποακροσωματικής στιβάδας και
γ) κάλυψη του πρόσθιου ήμισυ του πυρήνα.

Υποακροσωματική στιβάδα: κυτταροσκελετικός δίσκος από F-ακτίνη και κερατίνη 5

- Συνέχιση της ανάπτυξης του αξονήματος.
- Τελική τοποθέτηση της σπερματίδας ώστε το ακρόσωμα να κατευθύνεται προς τη βασική μεμβράνη του τοιχώματος του ΣΣ και το αναπτυσσόμενο αξόνημα προς τον αυλό του ΣΣ.

ΣΠΕΡΜΙΟΓΕΝΕΣΗ / 3^ο στάδιο

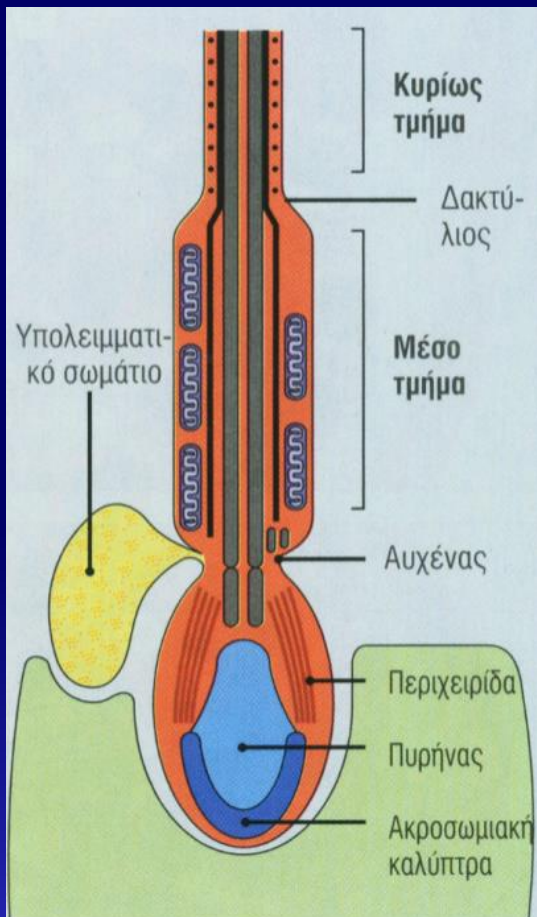
Στάδιο ακροσώματος



- **Επιπέδωση και επιμήκυνση του πυρήνα.**
- Ανάπτυξη **περιχειρίδας**: **περιπυρηνικός δακτύλιος με μικροσωληνίλους**. Συμβάλλει στην επιμήκυνση του πυρήνα.
- **Μετατόπιση του κυτταροπλάσματος** (μεταξύ ακροσωμιακής καλύπτρας και πρόσθιας κυτταρικής μεμβράνης) **προς το οπίσθιο τμήμα** του κυττάρου. Τα μιτοχόνδρια κινούνται προς το αξόνημα και τοποθετούνται κατά μήκος.
- Έναρξη **συμπύκνωσης του πυρήνα**: αντικατάσταση ιστονών με **πρωταμίνες** πλούσιες σε λυσίνη και αργινίνη (δεν διαμορφώνονται νουκλεοσώματα) → **χρωματίνη λείου τύπου**.

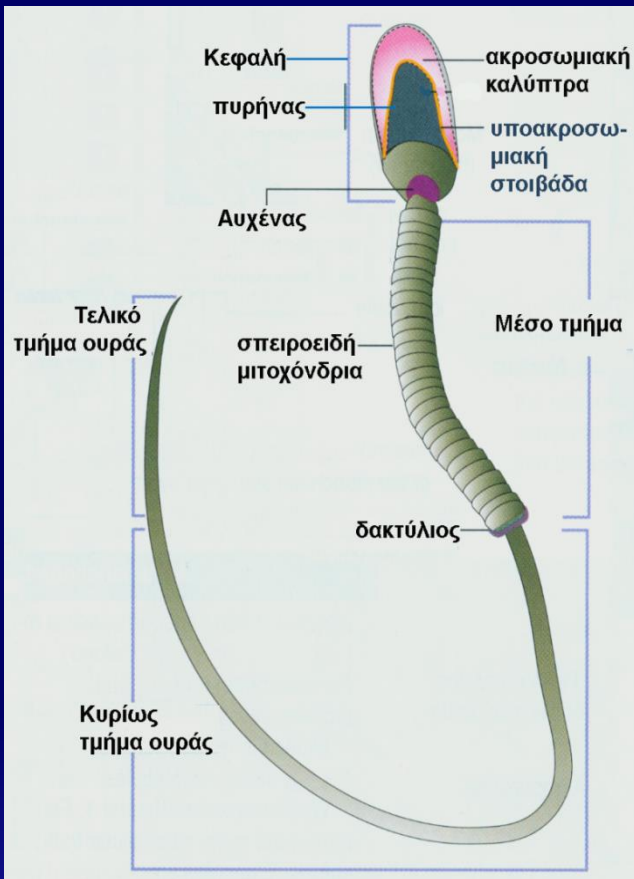
ΣΠΕΡΜΙΟΓΕΝΕΣΗ / 4^ο στάδιο

Στάδιο ωρίμανσης



- Ολοκλήρωση επιπέδωσης και επιμήκυνσης του πυρήνα. Αποδιάταξη της περιχειρίδας.
- Ολοκλήρωση συμπύκνωσης του πυρήνα.
- Σχηματισμός **συσκευής σύζευξης κεφαλής –ουράς (αυχένα)** από το εγγύς κεντριόλιο και τη περικεντριολική θεμέλια ουσία.
- Τελική τοποθέτηση μιτοχονδρίων σε ελικοειδή διάταξη στο **μέσο τμήμα της ουράς** του σπερματοζωαρίου.
- **Περίσφιγξη** και **αποβολή περίσσειας κυτταροπλάσματος (υπολειμματικό σωματίο)** από τον αυχένα. Φαγοκυτταρώνεται από τα κύτταρα Sertoli.
- **Σπερμίαση**: **απαγκίστρωση** από τα κύτταρα Sertoli και **απελευθέρωση** στον **αυλό του ΣΣ**.

ΩΡΙΜΟ ΣΠΕΡΜΑΤΟΖΩΑΡΙΟ



Κεφαλή: συμπυκνωμένος πυρήνας καλυμμένος από την ακροσωμιακή καλύπτρα.

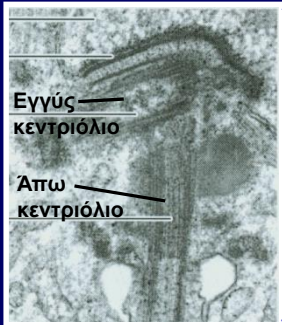
Αυχένας: βραχύ τμήμα που συνδέει την κεφαλή με την ουρά. Περιέχει τα δύο κεντριόλια και 9 αδρές επιμήκεις ίνες που περιβάλλουν το αξόνημα μέχρι τη συμβολή του κύριου (βασικού) τμήματος με το τελικό τμήμα της ουράς.

Μέσο τμήμα ουράς: αποτελείται από το αξόνημα, περιβαλλόμενο από τις 7 επιμήκεις ίνες και από έλυτρο σπειροειδών μιτοχονδρίων. Τα μιτοχόνδρια σταματούν στον δακτύλιο.

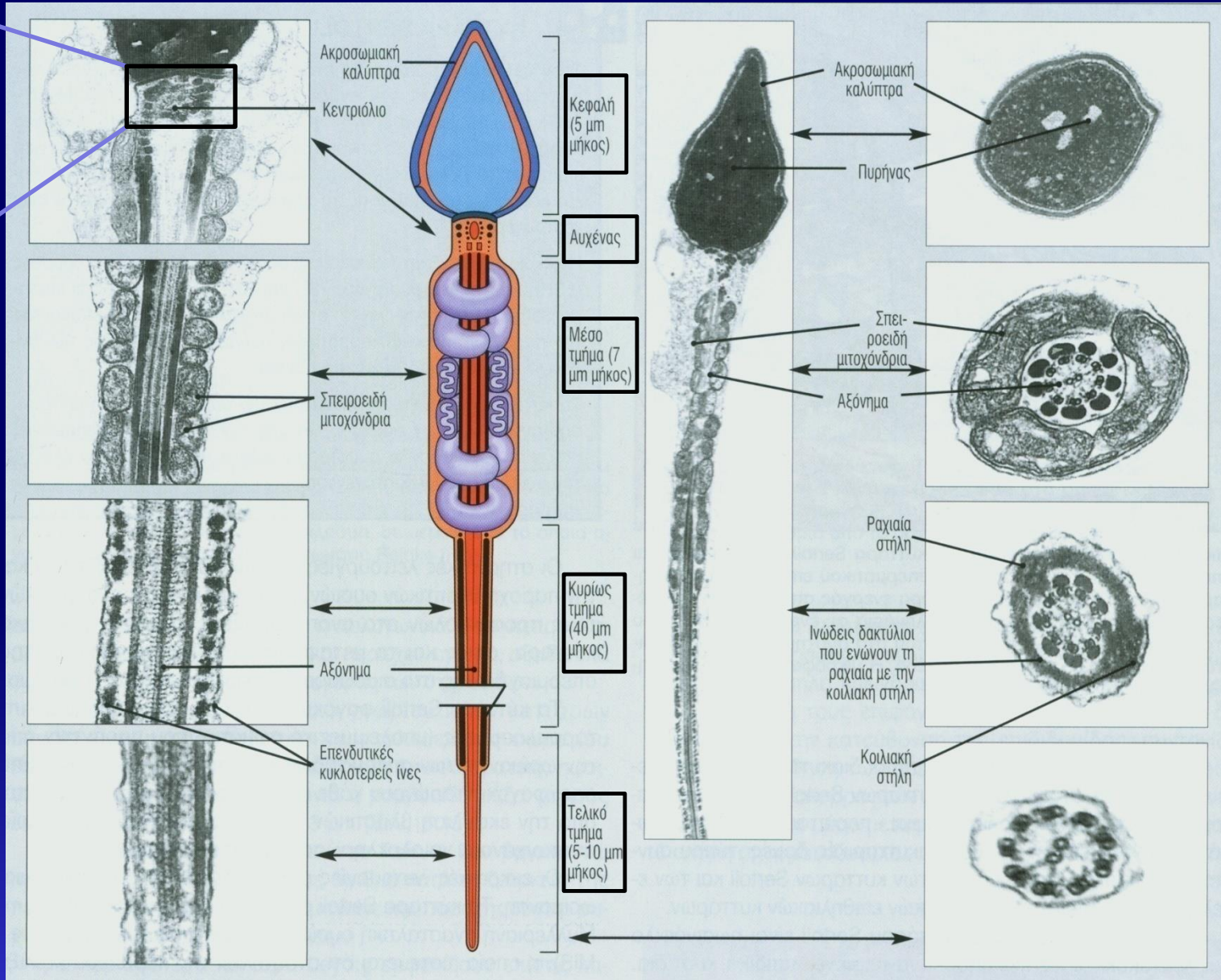
Κυρίως τμήμα ουράς: το πιο μακρύ τμήμα της ουράς. Αποτελείται από το αξόνημα, περιβαλλόμενο από τις 9 επιμήκεις ίνες και από ένα ινώδες έλυτρο (επενδυτικές κυκλοτερείς ίνες).

Τελικό τμήμα ουράς: αποτελείται μόνο από το αξόνημα.

ΩΡΙΜΟ ΣΠΕΡΜΑΤΟΖΩΑΡΙΟ



αυχένας
ή
συσκευή
σύζευξης
κεφαλής-
ουράς



επιμήκειες διατομές

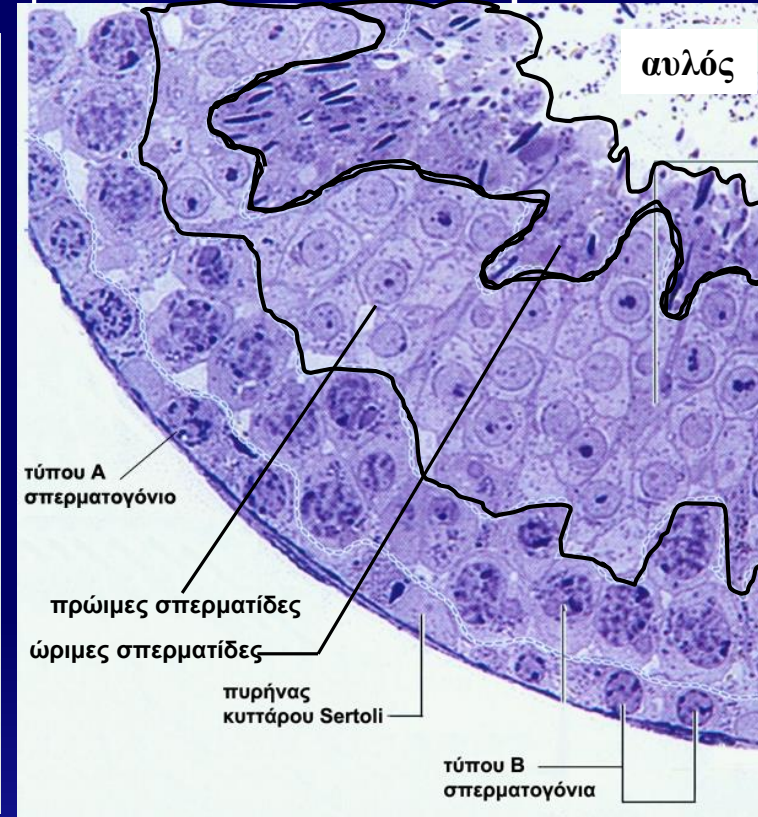
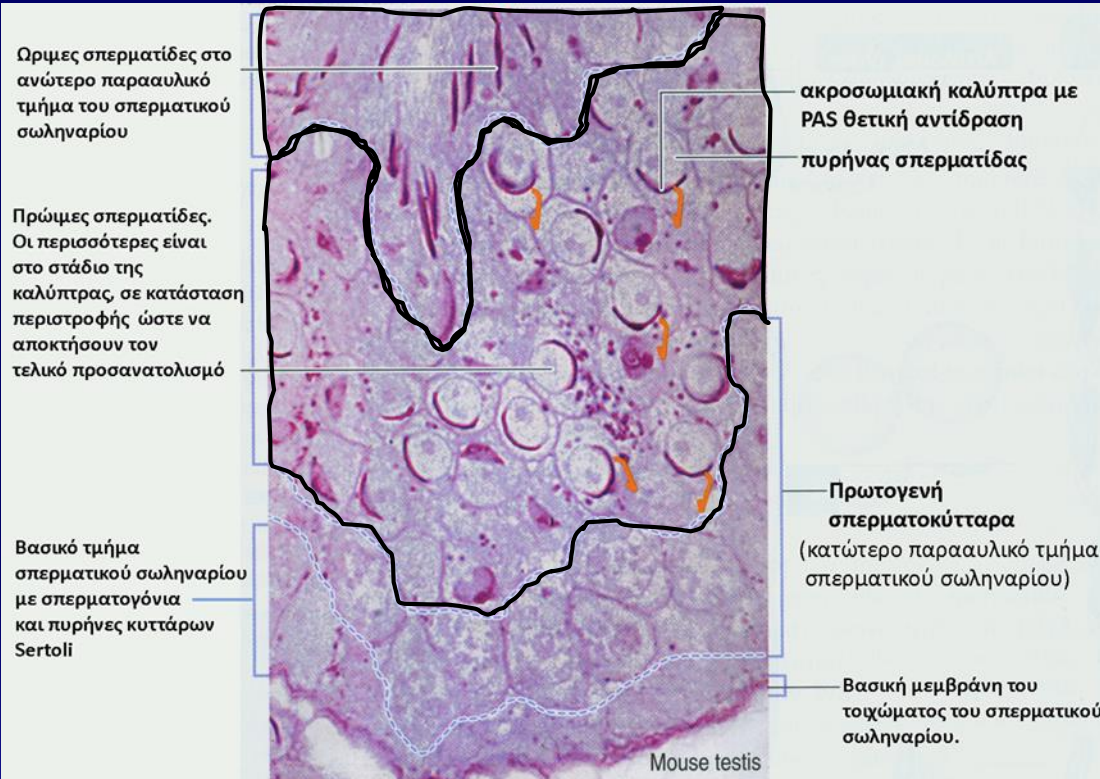
εγκάρσιες διατομές

Διάρκεια σπερματογένεσης

Στον άνθρωπο: 64 ημέρες

Σπερμιογένεση..στο Σπερματικό Σωληνάριο

προσαύλιο διαμέρισμα
σπερματικού σωληναρίου



Οι **πρώιμες σπερματίδες** βρίσκονται στο **ενδιάμεσο προσαύλιο διαμέρισμα** του ΣΣ, ενώ οι **ώριμες (όψιμες) σπερματίδες** βρίσκονται στο **ανώτερο προσαύλιο διαμέρισμα** του σπερματικού σωληναρίου.

Ανώμαλες μορφές σπερματοζωαρίων

