



ΣΠΕΡΜΑΤΟΓΕΝΕΣΗ

Σοφία Χαβάκη

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια

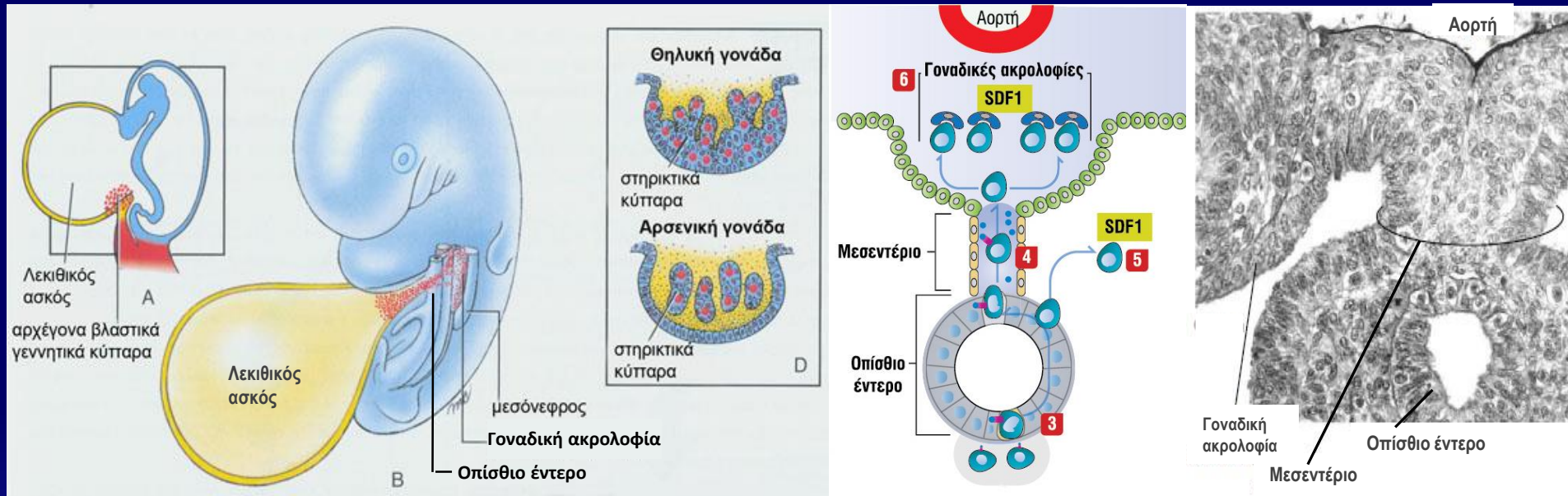
Εργαστήριο Ιστολογίας – Εμβρυολογίας

ΕΚΠΑ

Αρχέγονα (βλαστικά) γεννητικά κύτταρα

Οι γαμέτες (♀, ♂) κατάγονται από τον ίδιο πρόγονο:

το αρχέγονο (βλαστικό) γεννητικό κύτταρο (*Primordial germ cell*).



Τα αρχέγονα γεννητικά κύτταρα εμφανίζονται στο ανθρώπινο έμβρυο στο **τοιίχωμα 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 → τελικά 2500-5000 εγκαθίστανται στις γονάδες.

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

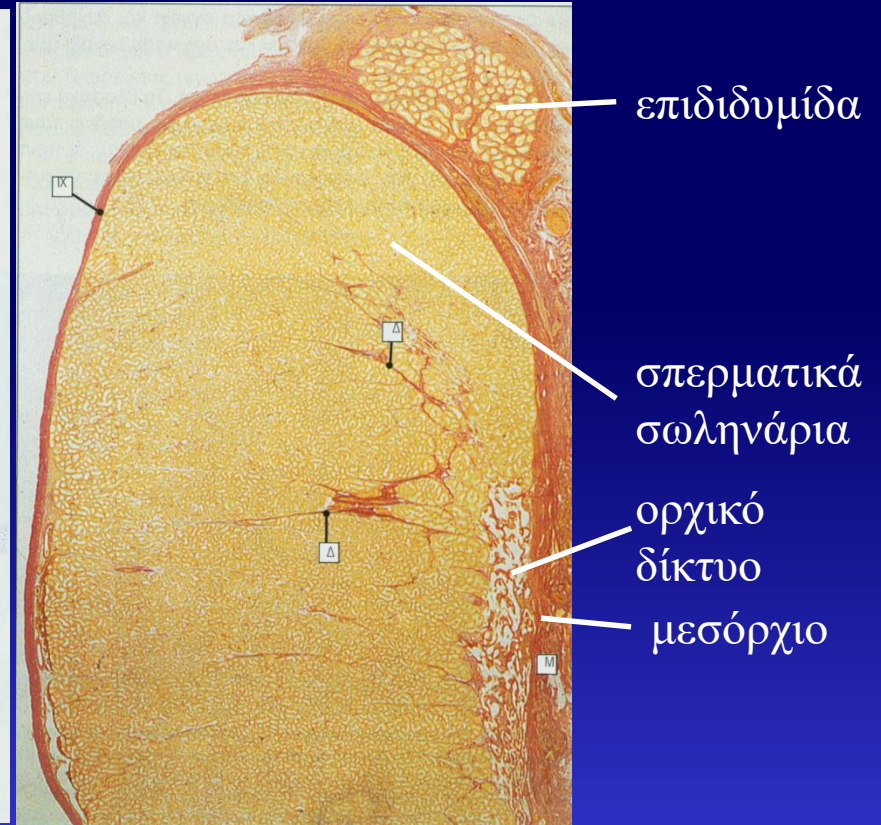
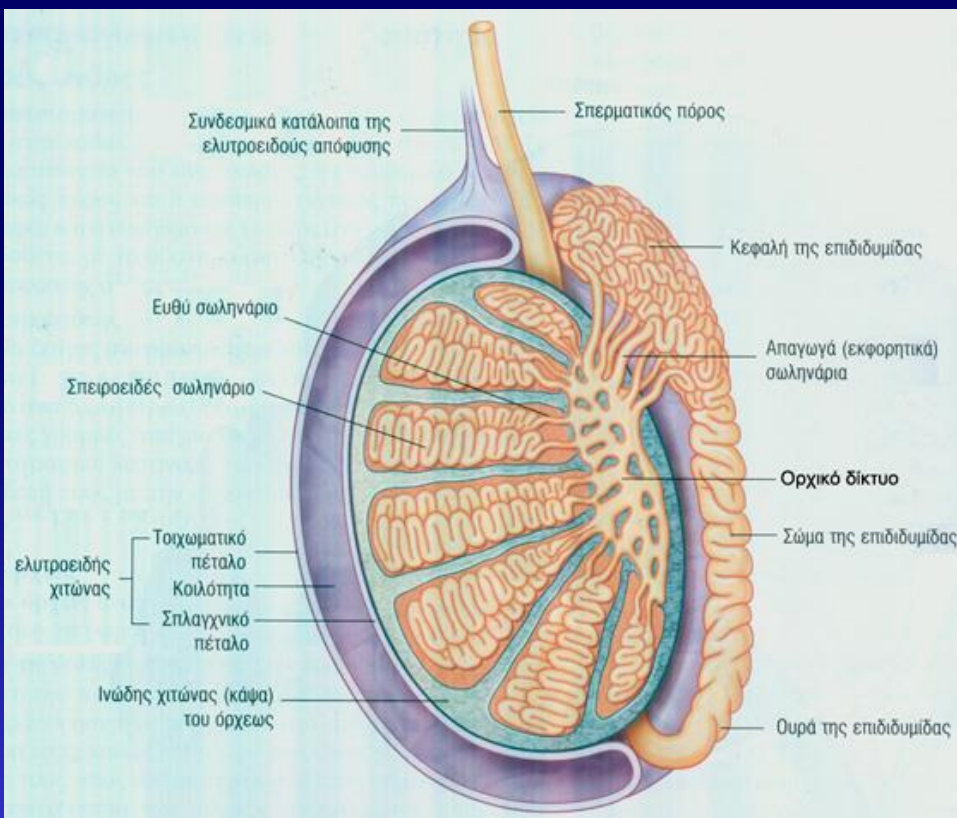
Το σύνολο των διεργασιών μέσω των οποίων τα **σπερματογόνια** (διπλοειδικά κύτταρα) διαφοροποιούνται σε **ώριμα σπερματοζωάρια** (απλοειδικά κύτταρα).

Πού; στους όρχεις

Πότε; από την εφηβεία μέχρι προχωρημένη ηλικία

ΟΡΧΕΙΣ

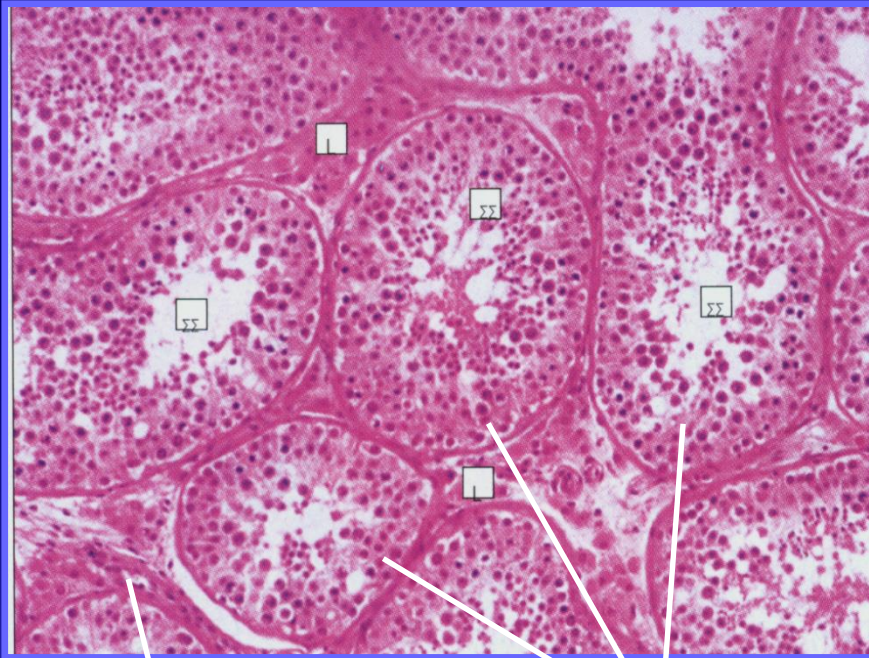
- Όργανα παραγωγής σπερματοζωαρίων
- Ορχικό παρέγχυμα : **σπερματικά σωληνάρια** και **διάμεσος ιστός**
- Κάθε όρχις περιβάλλεται από ινώδη χιτώνα, που παχύνεται στην οπίσθια πλευρά → **μεσόρχιο** ή **μεσαύλιο**. Ινώδη διαφράγματα διαχωρίζουν τον όρχι σε 250-300 λόβια. 1-4 σπερματικά σωληνάρια / λόβιο.



ΣΠΕΡΜΑΤΙΚΑ ΣΩΛΗΝΑΡΙΑ – ΣΠΕΡΜΑΤΙΚΟ ΕΠΙΘΗΛΙΟ

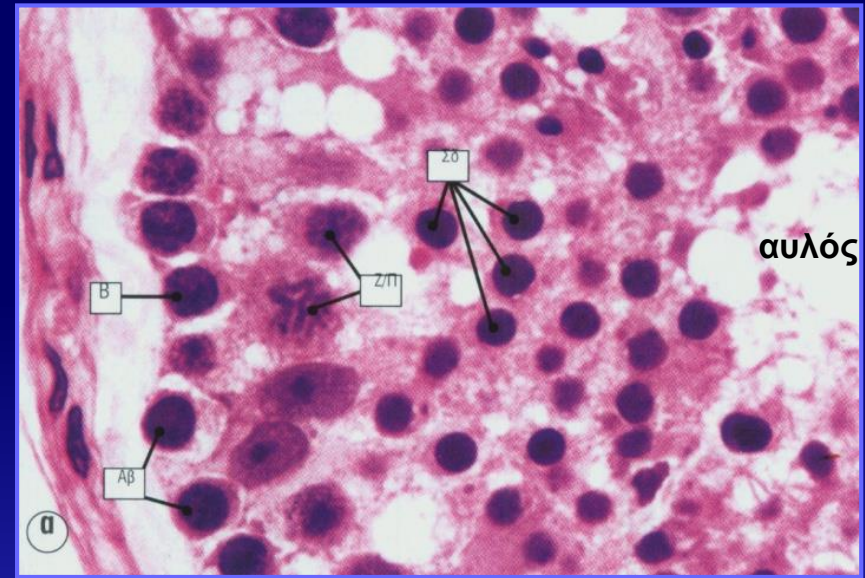
Σπερματικό σωληνάριο (ΣΣ): σπειροειδής, μη διακλαδιζόμενη αγκύλη (σχήματος **U**). Ανάμεσα στα ΣΣ βρίσκεται ο **διάμεσος ιστός** (χαλαρός συνδετικός ιστός + αιμοφόρα αγγεία + λεμφικά αγγεία + κύτταρα *Leydig*).

Σπερματικό επιθήλιο: ενεργά αναπαυγόμενο επιθήλιο που επενδύει το τοίχωμα του ΣΣ. Αποτελείται από κύτταρα σε διάφορα στάδια της σπερματογένεσης και κύτταρα *Sertoli*.



διάμεσος ιστός

σπερματικά σωληνάρια

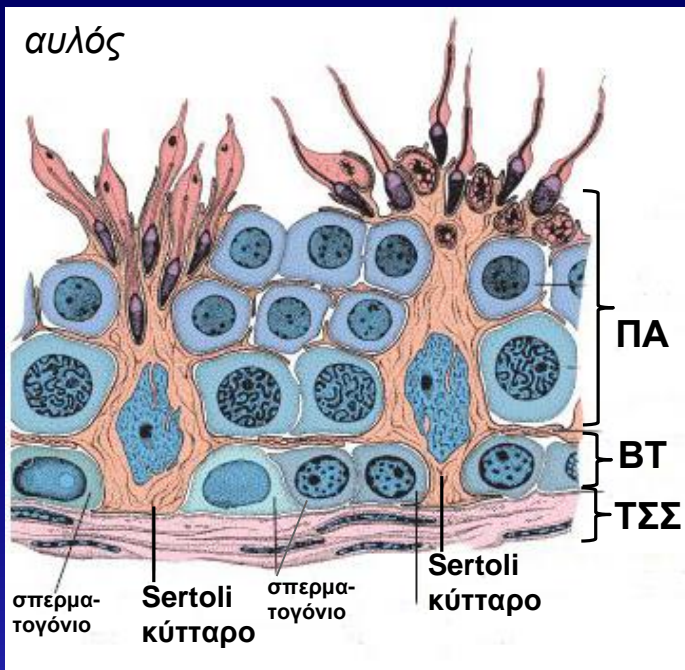


τοίχωμα ΣΣ:
βασική μεμβράνη,
κολλαγόνο, ινοβλάστες, μυοειδή κύτταρα

σπερματικό επιθήλιο

Κύτταρα Sertoli

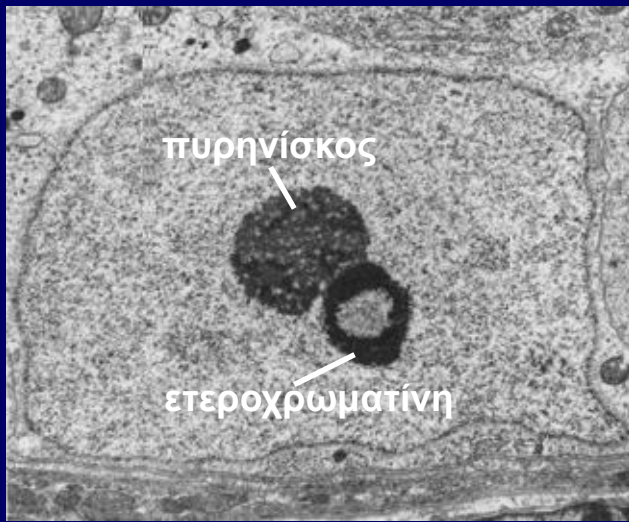
- **Μέχρι την εφηβεία:** κυρίαρχος κυτταρικός τύπος του ΣΣ
- **Μετά την εφηβεία:** ~10% των κυττάρων του ΣΣ
- **Ηλικιωμένοι άντρες:** σημαντικός κυτταρικός πληθυσμός του ΣΣ
- **Στους ενήλικες είναι μεταμιτωτικά κύτταρα**



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 τμήμα του ΣΣ** → **αιματορχικός φραγμός**

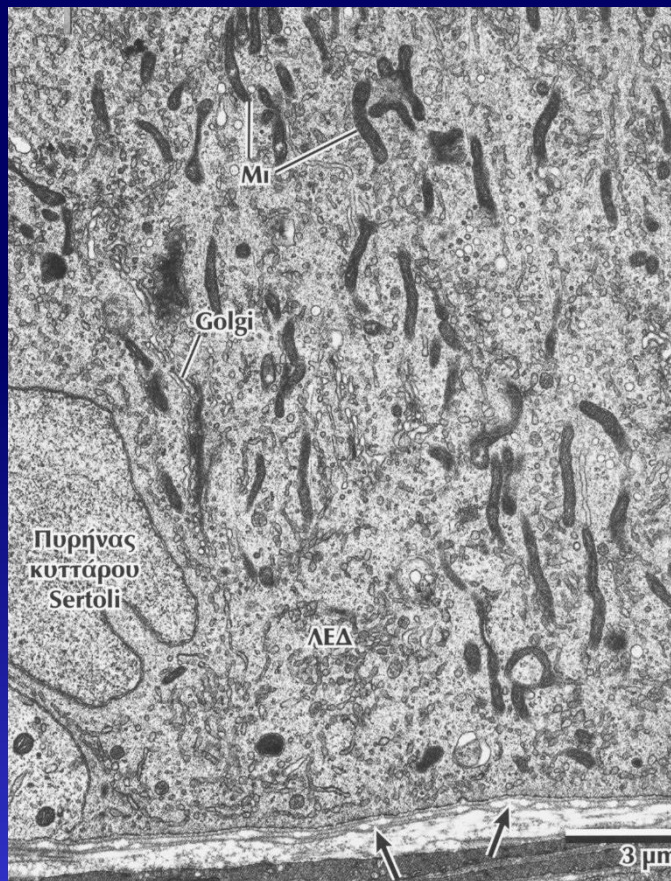
Κύτταρα Sertoli



Πυρήνας: σχεδόν υποστρόγγυλος, με εντομές.

Πυρηνίσκος: ευδιάκριτος μαζί με μάζα ετεροχρωματίνης.

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



Κύτταρα Sertoli

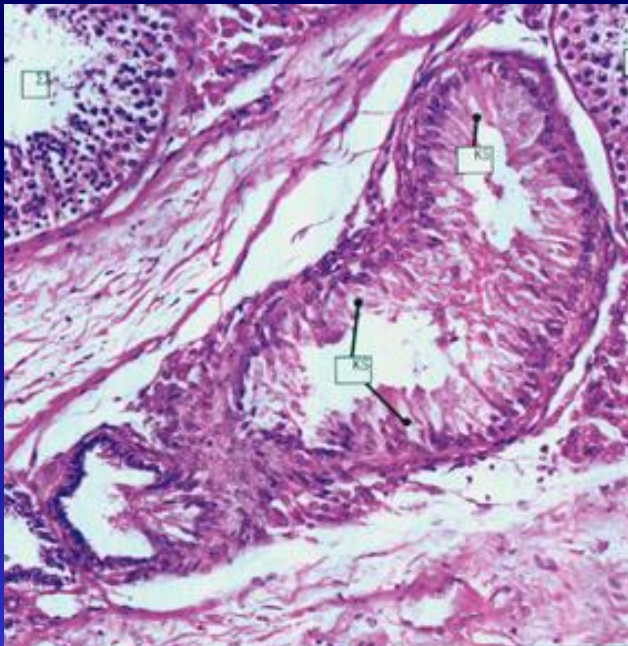
Λειτουργίες:

- **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 αρχέγονων σπερματογόνων 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**)



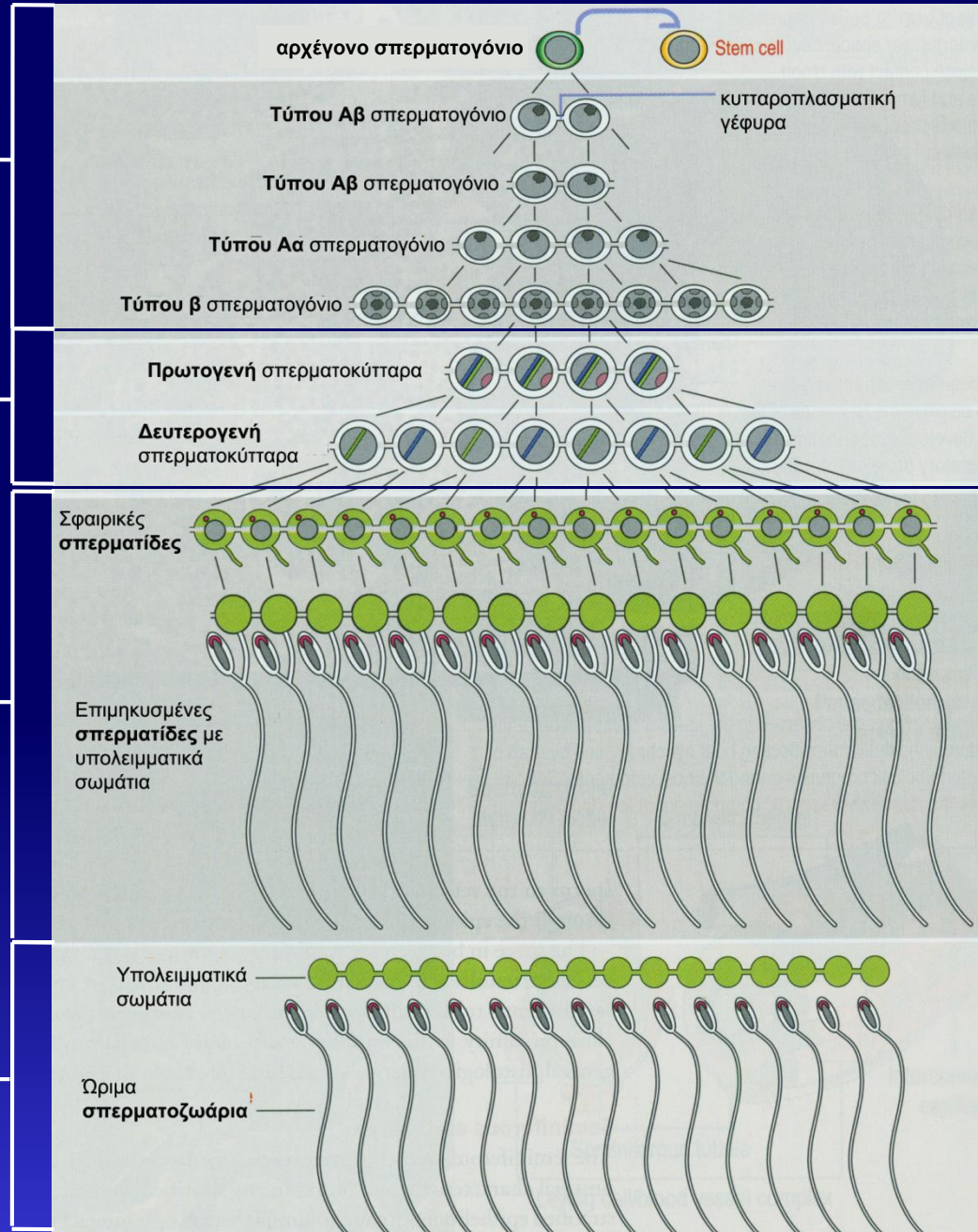
ΣΠΕΡΜΑΤΟΓΕΝΕΣΗ

Σπερματοκυτταρογένεση
(μιτώσεις σπερματογονίων)

Μείωση (I και II)

Σπερμιογένεση

Σπερμίαση



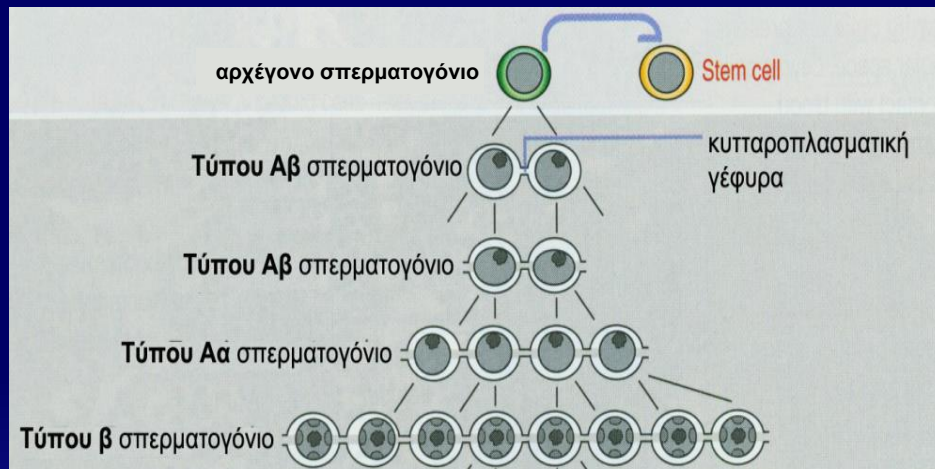
Χαρακτηριστικά Σπερματογένεσης

- 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:

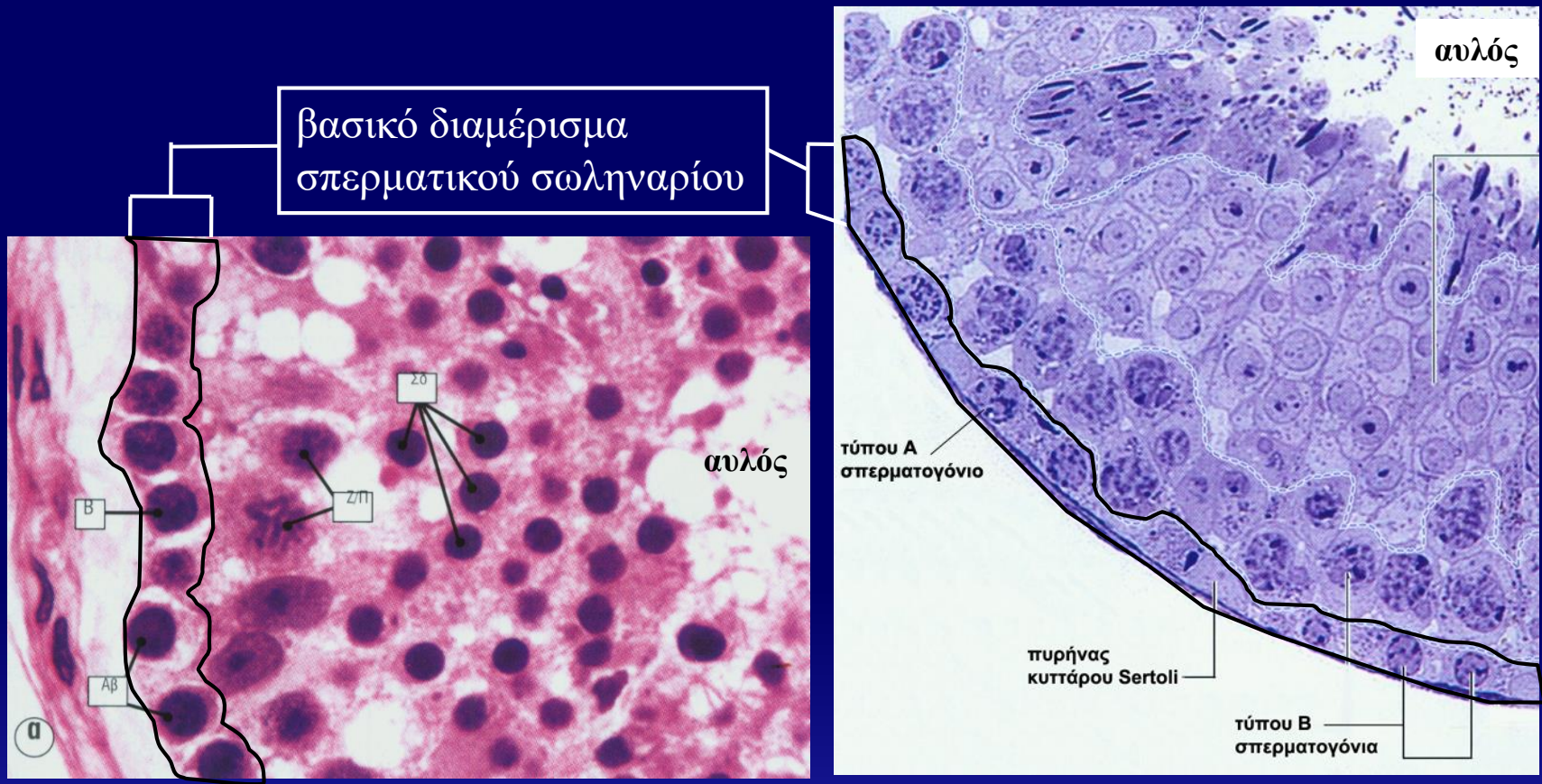
- **Τύπου Α–βαθυχρωματικά (Αβ)** ωοειδής πυρήνας, βαθυχρωματική χρωματίνη, 1 πυρηνίσκος σε επαφή με τον πυρηνικό φάκελο.

- **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)

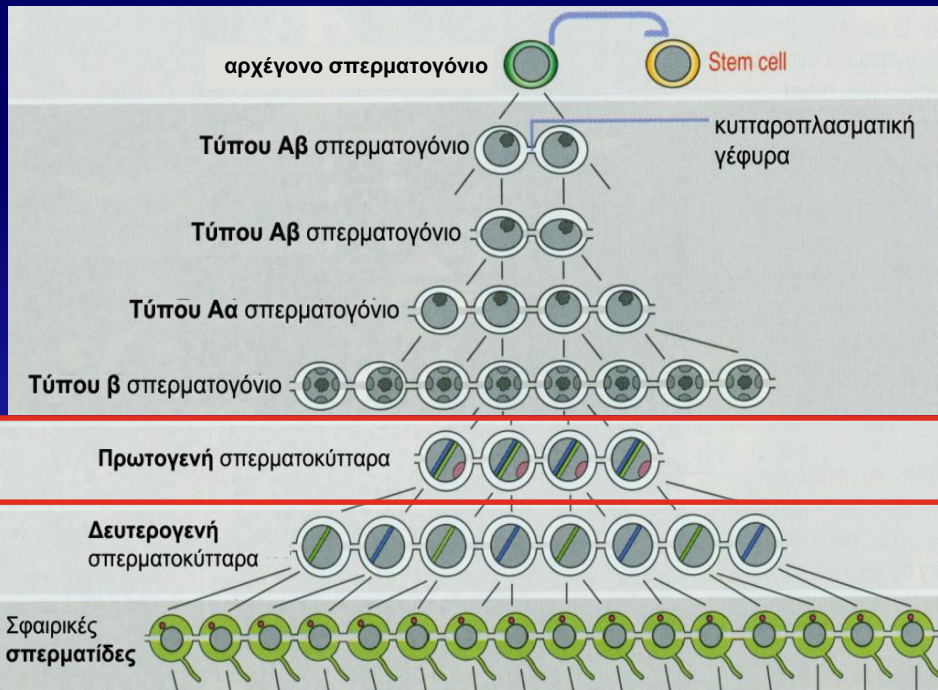


Όλα τα είδη των σπερματογονίων βρίσκονται **στο βασικό διαμέρισμα** του ΣΣ μαζί με τους πυρήνες των κυττάρων Sertoli, **σε επαφή με τη βασική μεμβράνη** (του τοιχώματος του σπερματικού σωληναρίου).

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)

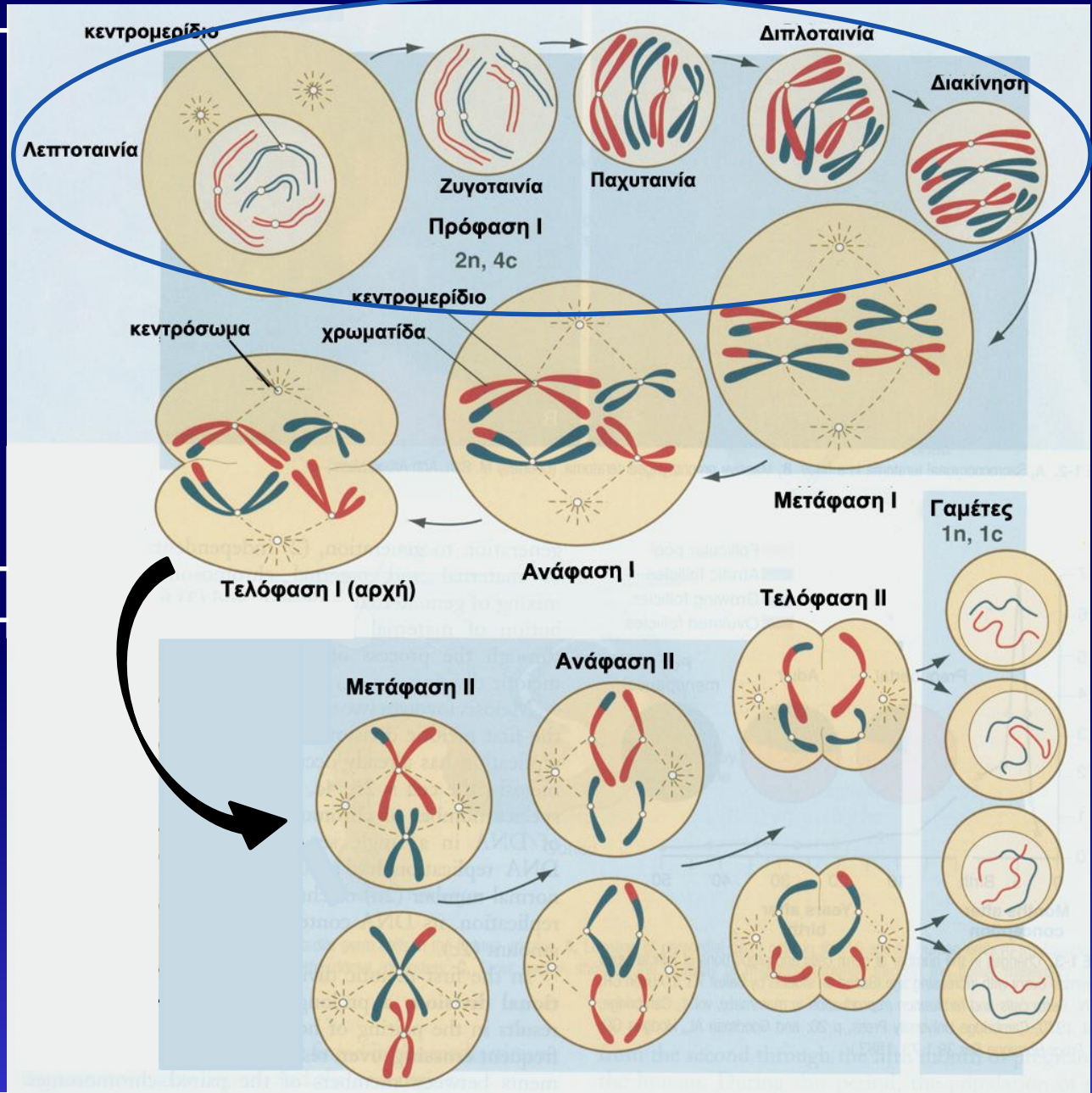
ΜΕΙΩΣΗ

Μείωση I

πρωτογενή
σπερματοκύτταρα
($2n, 4c$)

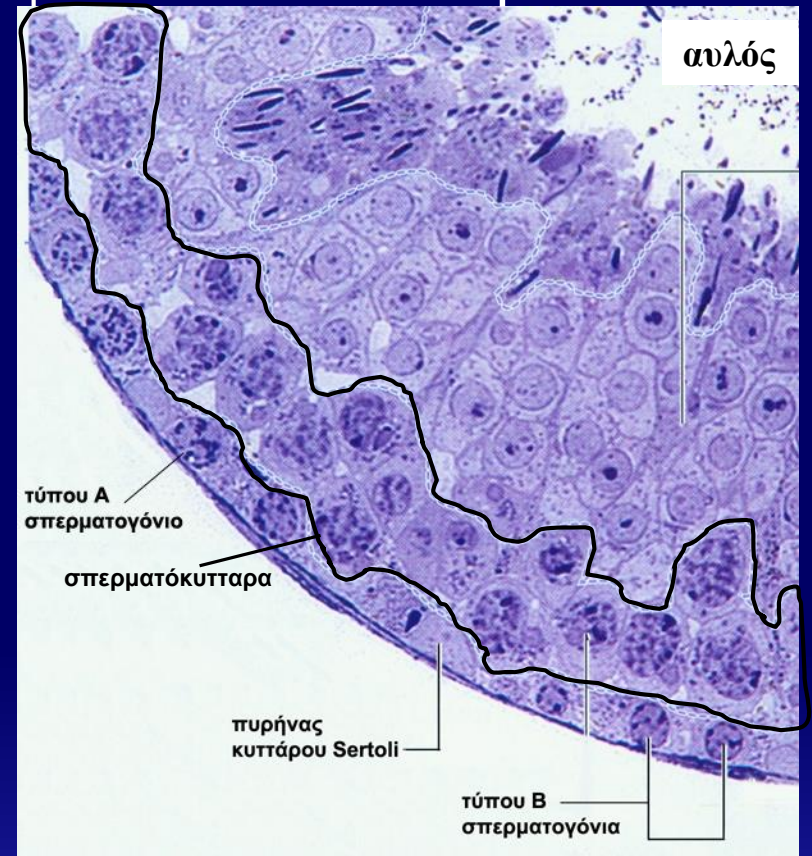
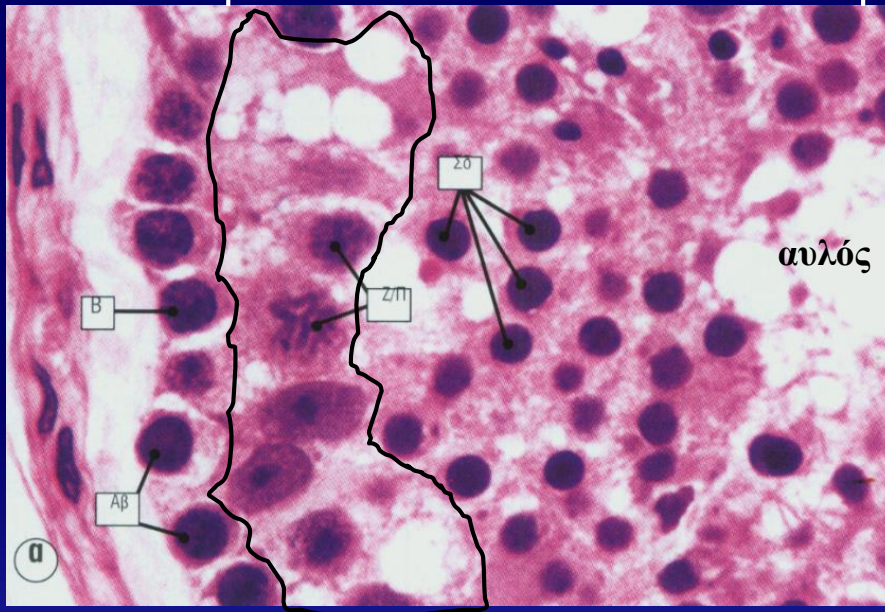
Μείωση II

δευτερογενή
σπερματοκύτταρα
($1n, 2c$)



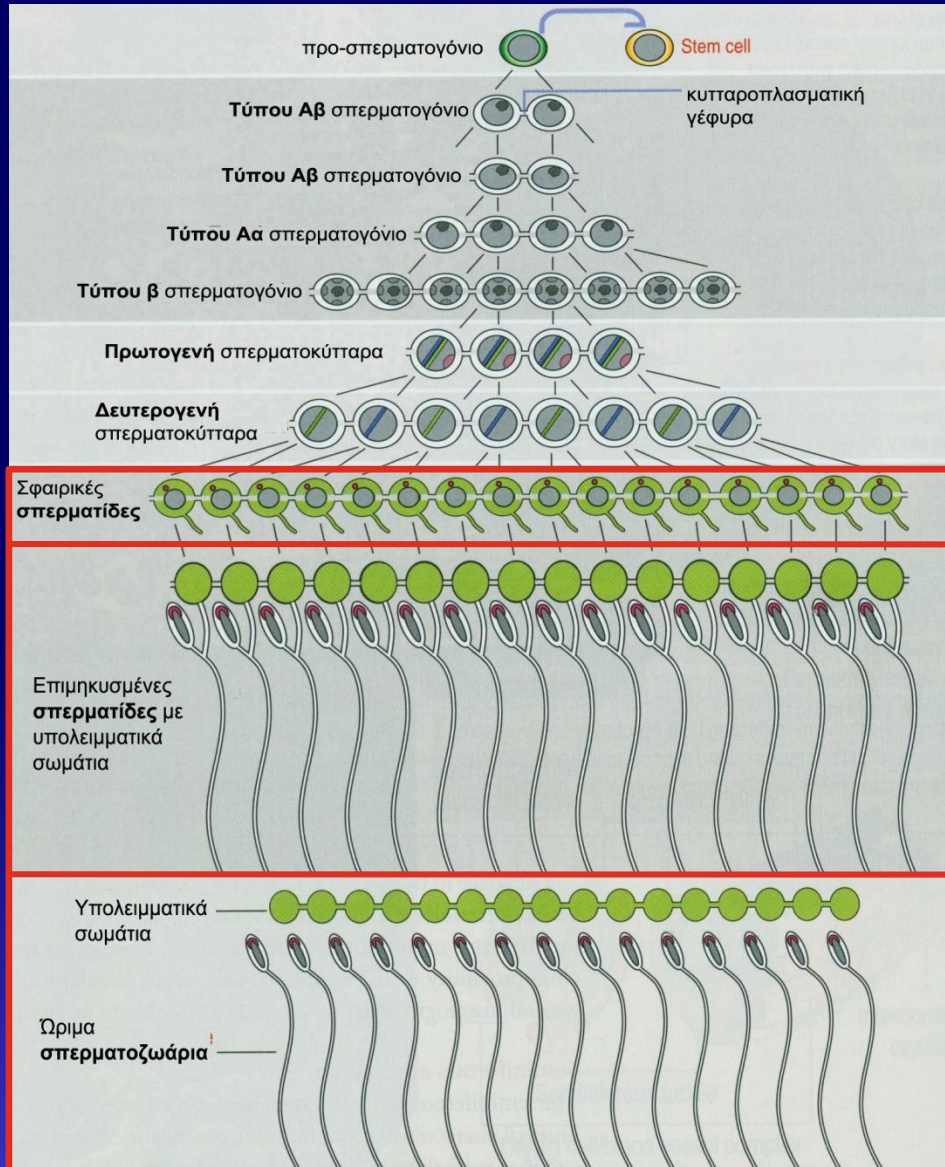
Μείωση..στο Σπερματικό Σωληνάριο

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 σπερμιόγνεση πραγματοποιείται στο προσαύλιο διαμέρισμα του ΣΣ: σε φωλές (πρώιμες σπερματίδες) και σε κρύπτες (όψιμες σπερματίδες) των κυττάρων Sertoli

Στάδιο Golgi

Στάδιο
καλύπτρας

Στάδιο
ακροσώματος

Στάδιο
ωρίμανσης

Golgi Μιτοχόνδρια

Ακροσωματικό
κυστίδιο Κεντριόλιο

Αναπτυσσόμενο
σύμπλεγμα
αξονήματος Ακροσωματική
καλύπτρα

Μικροσω-
ληνίσκοι
(περιχει-
ρίδα)

Υπολειμμα-
τικό
σωμάτιο

Κυρίως
τμήμα

Δακτύ-
λιος

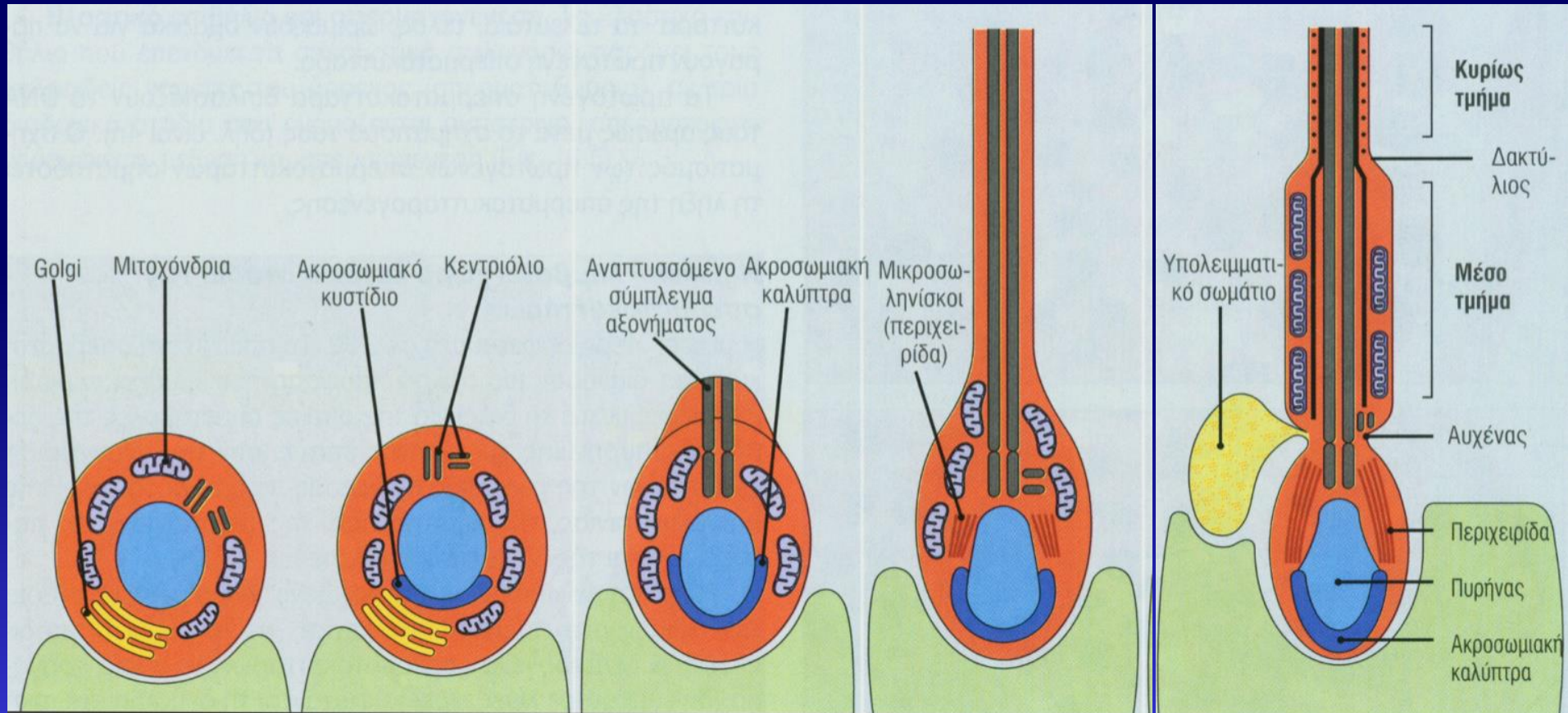
Μέσο
τμήμα

Αυχένας

Περιχειρίδα

Πυρήνας

Ακροσωματική
καλύπτρα



ΣΠΕΡΜΙΟΓΕΝΕΣΗ / 1^ο στάδιο

Στάδιο Golgi

- Σχηματισμός **προ-ακροσωμακών κυστιδίων** με υδρολυτικά ένζυμα στη συσκευή **Golgi**

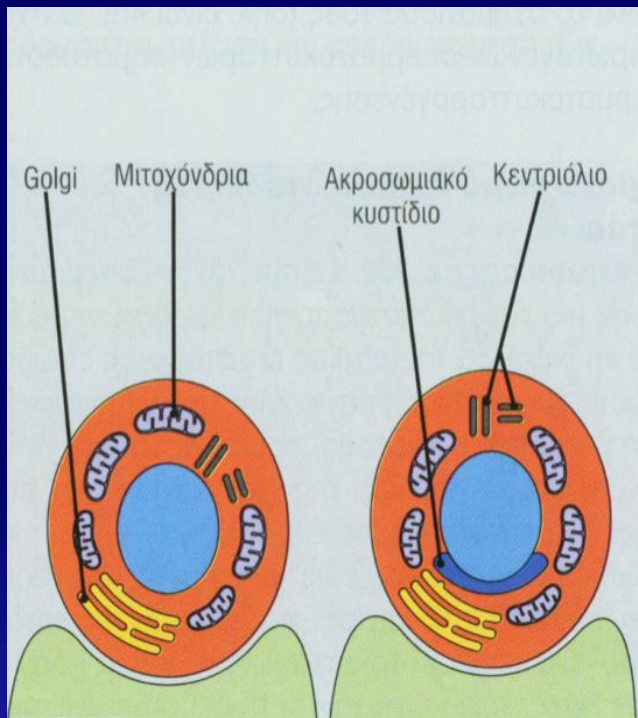
- **Συνένωση** των προ-ακροσωμακών κυστιδίων



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

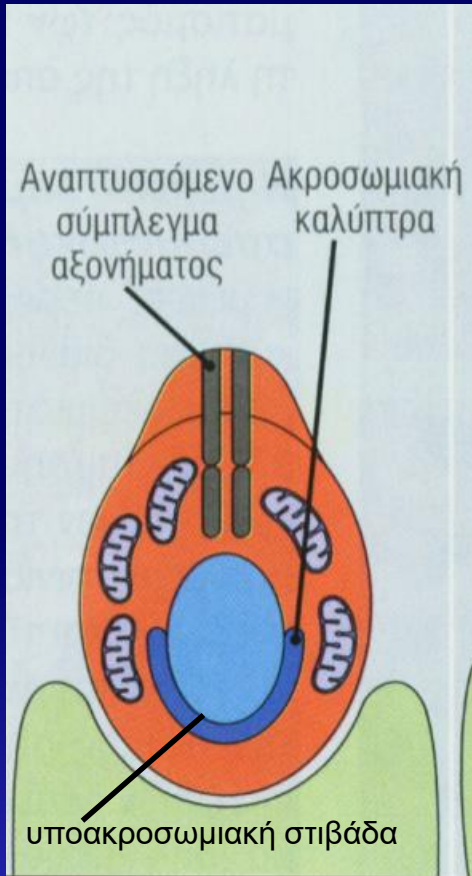
- Τοποθέτηση του **κεντροσώματος** (2 κεντριόλια: άπω και εγγύς) στον **οπίσθιο πόλο** της σπερματίδας

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



ΣΠΕΡΜΙΟΓΕΝΕΣΗ / 2^ο στάδιο

Στάδιο καλύπτρας



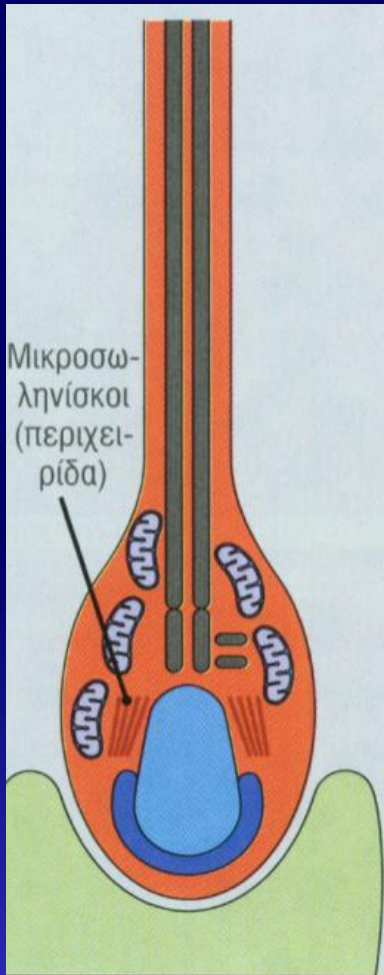
- Σχηματισμός της ακροσωματικής καλύπτρας:
 - α) επιπέδωση του ακροσωματικού κυστιδίου,
 - β) σύνδεσή του με το πυρηνικό περίβλημα μέσω της υποακροσωματικής στιβάδας και
 - γ) κάλυψη του πρόσθιου ήμισυ του πυρήνα.

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

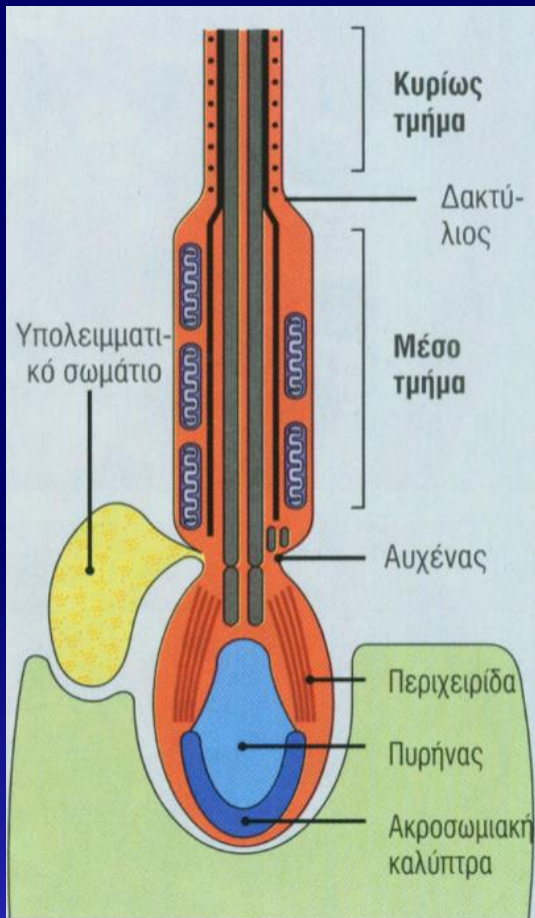
Στάδιο ακροσώματος



- **Επιπέδωση και επιμήκυνση του πυρήνα.**
- **Ανάπτυξη περιχειρίδας: περιπυρηνικός δακτύλιος με μικροσωληνίσκους.** 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.**

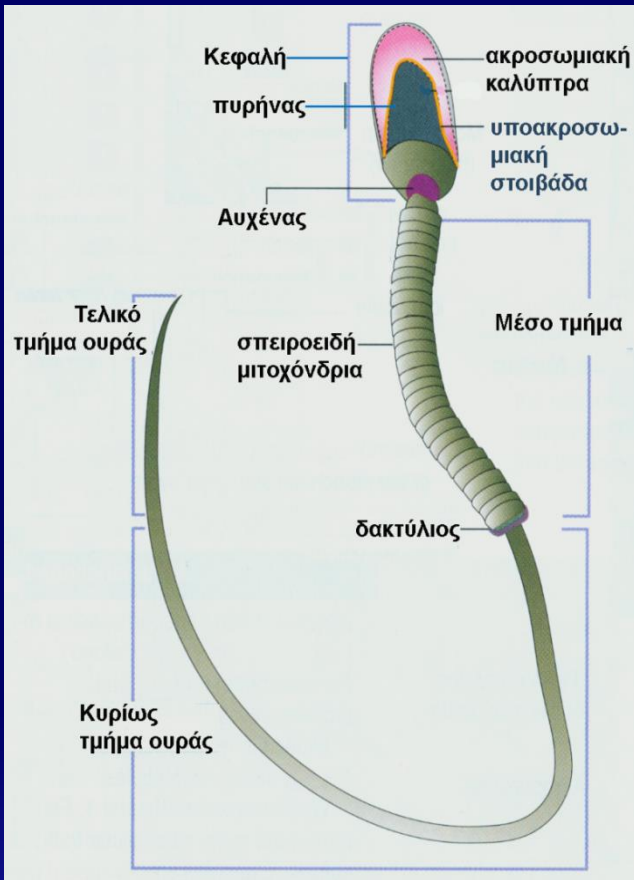
ΣΠΕΡΜΙΟΓΕΝΕΣΗ / 4^ο στάδιο

Στάδιο ωρίμανσης



- Ολοκλήρωση επιπέδωσης και επιμήκυνσης του πυρήνα. Αποδιάταξη της περιχειρίδας.
- Ολοκλήρωση συμπύκνωσης του πυρήνα.
- Σχηματισμός **συσκευής σύζευξης κεφαλής –ουράς (αυχένας)** 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.

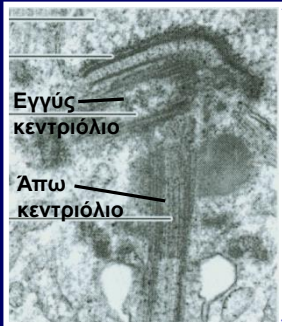
Αυχένας: βραχύ τμήμα που συνδέει την κεφαλή με την ουρά. Περιέχει τα δύο κεντριόλια και 9 αδρές επιμήκεις ίνες που περιβάλλουν το αξόνημα μέχρι τη συμβολή του κύριου (βασικού) τμήματος με το τελικό τμήμα της ουράς.

Μέσο τμήμα ουράς: αποτελείται από το αξόνημα, περιβαλλόμενο από τις 9 επιμήκεις ίνες και από έλυτρο σπειροειδών μιτοχονδρίων. Τα μιτοχόνδρια σταματούν στον δακτύλιο.

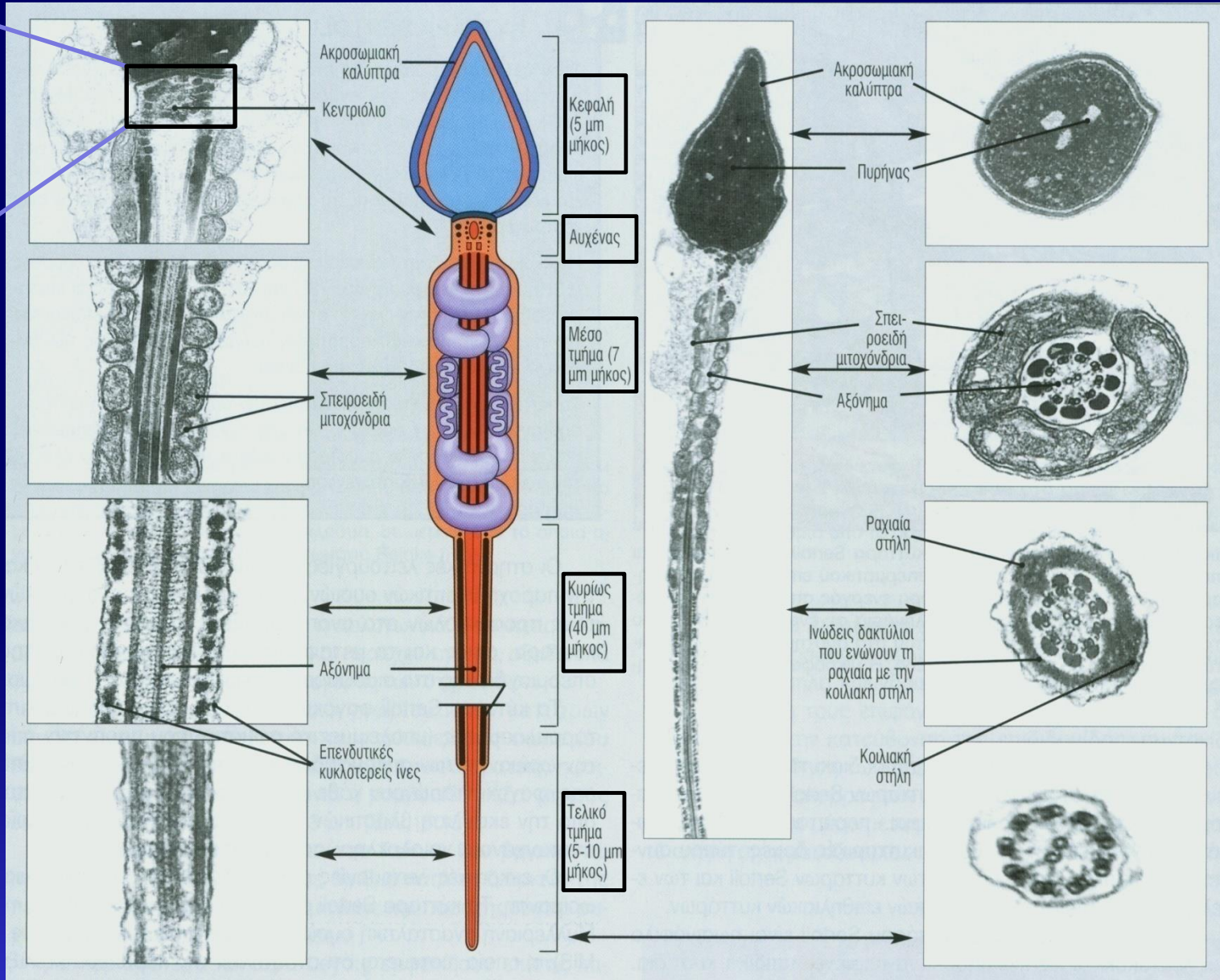
Κυρίως τμήμα ουράς: το πιο μακρύ τμήμα της ουράς. Αποτελείται από το αξόνημα, περιβαλλόμενο από τις 7 επιμήκεις ίνες και από ένα ινώδες έλυτρο (επενδυτικές κυκλοτερείς ίνες).

Τελικό τμήμα ουράς: αποτελείται μόνο από το αξόνημα.

ΩΡΙΜΟ ΣΠΕΡΜΑΤΟΖΩΑΡΙΟ



αυχένας
ή
συσκευή
σύζευξης
κεφαλής-
ουράς



επιμήκειες διατομές

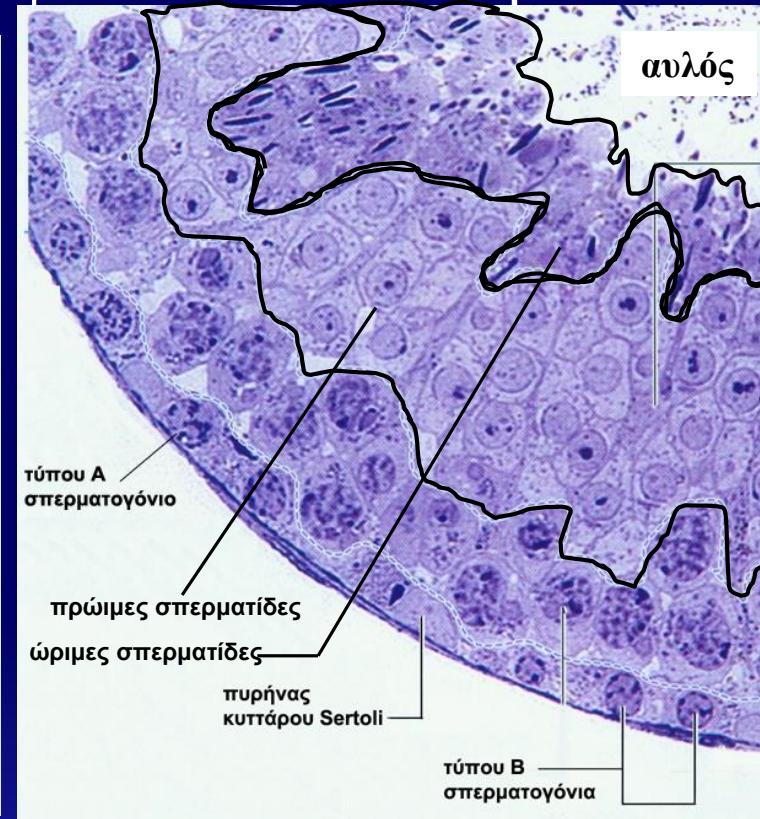
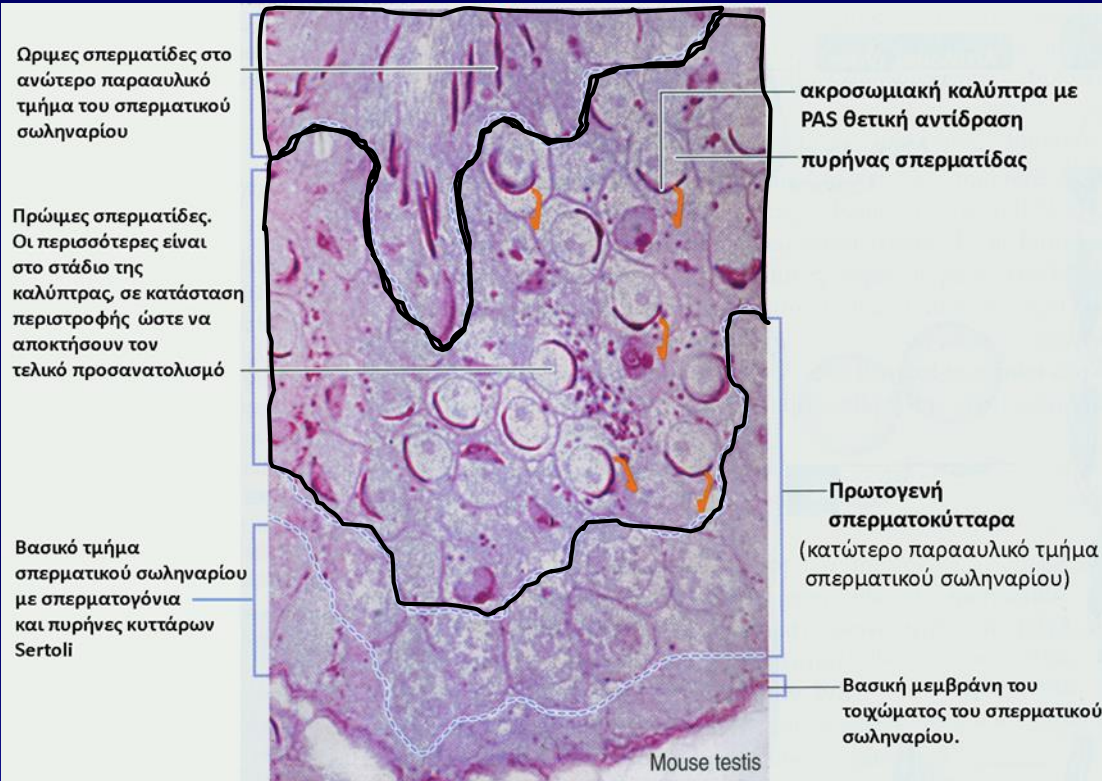
εγκάρσιες διατομές

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

