



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
Εθνικόν και Καποδιστριακόν  
Πανεπιστήμιον Αθηνών

# Ζωολογία Ι

## Ενότητα 5: Αρχές Ανάπτυξης

Σκαρλάτος Ντέντος , Επικ. Καθηγητής  
Σχολή Θετικών Επιστημών  
Τμήμα Βιολογίας

# Περιεχόμενα ενότητας

Θα αναπτυχθούν τα εξής θέματα:

- Γονιμοποίηση.
- Αυλάκωση - Γαστριδίωση.
- Μηχανισμοί Ανάπτυξης.

Σκαρλάτος Ντέντος  
sdedos@biol.uoa.gr

•Καμία από τις εικόνες ή σχήματα που παρουσιάζονται δεν παραβιάζει πνευματικά δικαιώματα



# Γονιμοποίηση



# Ανάπτυξη: Θεμελιώδες αξίωμα

- Η ανάπτυξη και ποικιλία των κυτταρικών μορφών είναι αποτέλεσμα της **ιεραρχίας αναπτυξιακών αποφάσεων** με αποτέλεσμα όταν η πορεία διαφοροποίησης ενός κυττάρου έχει καθοριστεί, δεν μπορεί να παρεκκλίνει ή να εξελιχθεί σε κάτι διαφορετικό.



# Γονιμοποίηση 1/2

- Με τη ένωση ενός θηλυκού και ενός αρσενικού γαμέτη (**γονιμοποίηση**) επιτυγχάνονται 2 σκοποί:
  - 1) **Ανασυνδυασμός** γονιδίων-αποκατάσταση διπλοειδίας
  - 2) **Ενεργοποίηση** ωαρίου (με ή χωρίς την άμεση συμμετοχή του αρσενικού γαμέτη).
- Ενώ το **σπερματοζώαριο** παρέχει το **γενετικό του υλικό** και **ενεργοποιεί** το ωάριο κατά τη γονιμοποίηση, το ωάριο φέρει τη **λέκιθο** και μεγάλες ποσότητες **mRNA**, **ριβωσωμάτων** και **πρωτεϊνών γνωστών ως μορφογενετικοί καθοριστές (ΜΚ) (morphogens)**.



# Γονιμοποίηση 2/2

- Οι πρωτεΐνες αυτές (ΜΚ) ανήκουν στην κατηγορία των πρωτεϊνών που μεταδίδουν σήματα στα κύτταρα και προκαλούν **αποκρίσεις** από τα κύτταρα που **εξαρτώνται από την συγκέντρωση των ΜΚ**.
- Οι ΜΚ δρούν με την παρουσία τους σε **διαβαθμιζόμενη συγκέντρωση** στους αναπτυσσόμενους ιστούς και έτσι προκαλούν **διαφορική έκφραση γονιδίων** στα κύτταρα σχετιζόμενη με τη συγκέντρωσή τους. Στους ΜΚ ανήκουν πρωτεΐνες όπως ο **TGF- $\beta$ , Wnt, EGF, FGF, Hedgehog** κ.α.



# Διαδικασία ενεργοποίησης 1/12

- Πρότυπος οργανισμός ο **αχινός** (που είδαμε στο εργαστήριο). Η γονιμοποίηση ξεκινά με τη **χημειοταξία (chemotaxis)** του σπερματοζωαρίου προς το ωάριο. Αυτό το φαινόμενο **έχει βρεθεί σε θαλάσσια Ασπόνδυλα, αλλά δεν είναι γνωστό στα Θηλαστικά.**
- **Φαντάζεστε τις επιπτώσεις μιας τέτοιας ανακάλυψης;**
- Στον αχινό το σπερματοζωάριο, αφού εντοπίσει το ωάριο, περνάει μέσα από το **ζελατινώδες περίβλημα** του ωαρίου και δημιουργείται η **ακροσωμική αντίδραση (acrosomal reaction).**



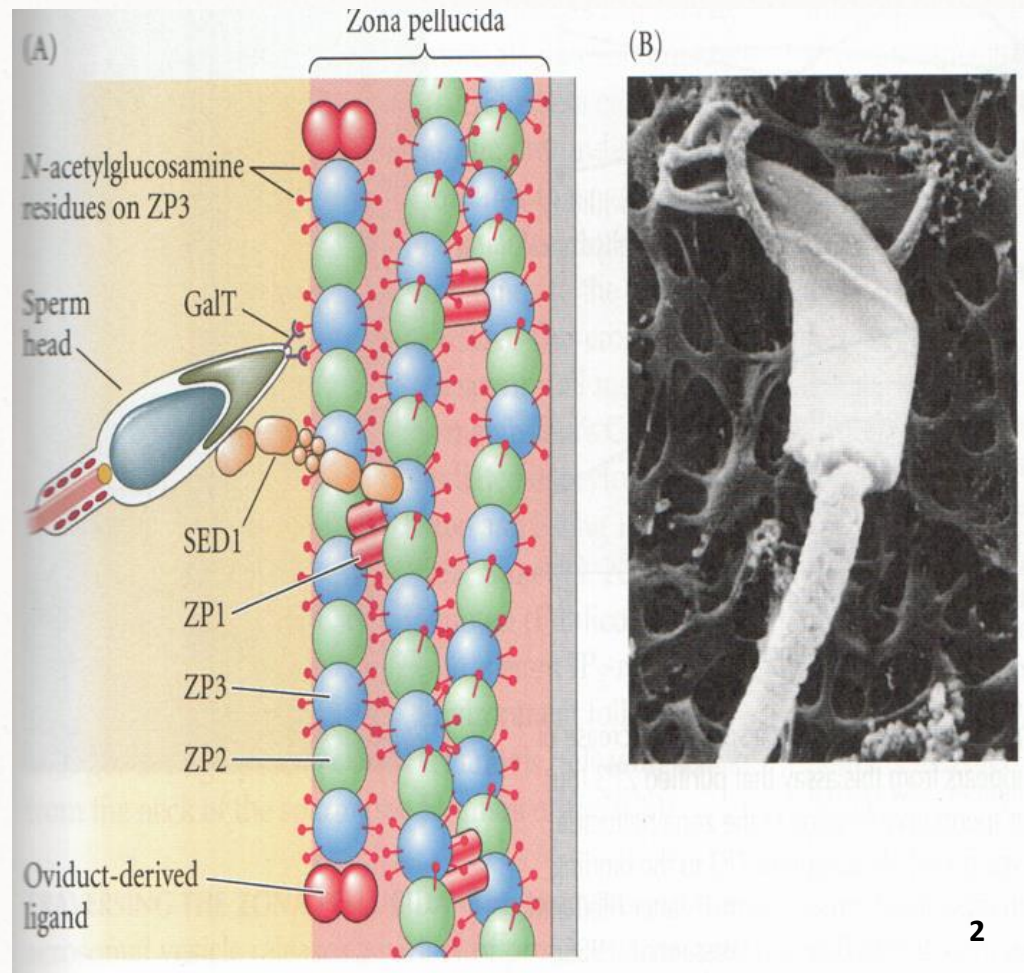
# Διαδικασία ενεργοποίησης 2/12

- Στα **Θηλαστικά** το σπερματοζωάριο προσδένεται στην αποκαλούμενη **zona pellucida** (που αντιστοιχεί στην βιτελλινική μεμβράνη του ωαρίου του αχινού.)
- Η zona pellucida φέρει **πρωτεϊνικούς υποδοχείς** όπως η **ZP3** στους οποίους προσδένεται η πρωτεΐνη **beta 1, 4-galactosyltransferase I (GalT)** που βρίσκεται στην επιφάνεια του σπερματοζωαρίου.

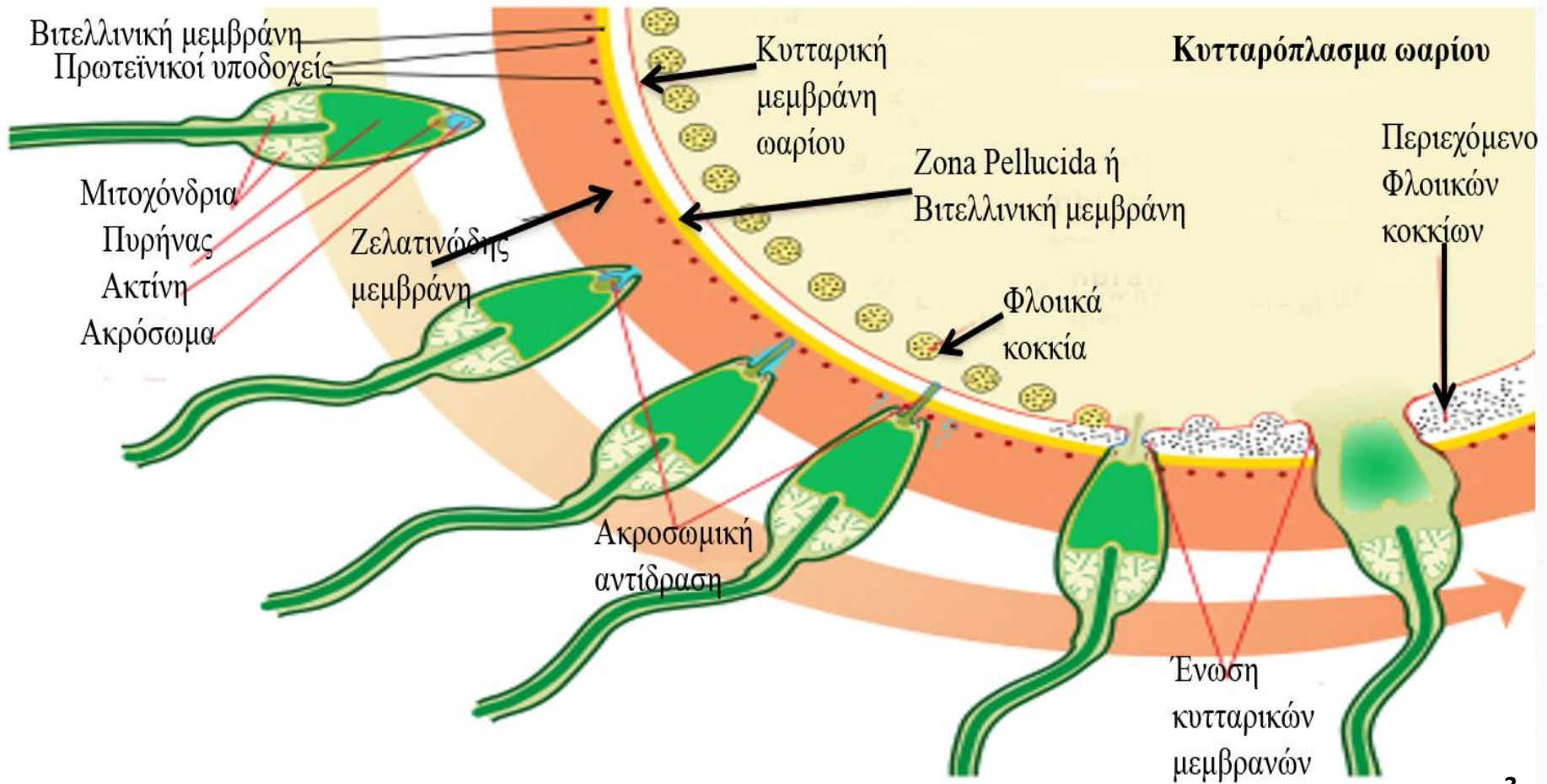




# Διαδικασία ενεργοποίησης 3/12



# Διαδικασία ενεργοποίησης 4/12



3



# Διαδικασία ενεργοποίησης 5/12

## Η ακροσωμική αντίδραση

- Η σύνδεση της **ZP3** με την πρωτεΐνη **beta 1,4-galactosyltransferase I (GalT)** που βρίσκεται στην επιφάνεια του σπερματοζωαρίου ξεκινά την ακροσωμική αντίδραση. Κατόπιν το **ένζυμο υαλουρονιδάση** πέπτει το πλέγμα υαλουρονικού οξέος και οδηγεί στη **σύμπτυξη της κυτταρικής μεμβράνης ωαρίου-σπερματοζωαρίου** που **επιτρέπει τον πυρήνα και το κεντριόλιο** του σπερματοζωαρίου, να εισέλθουν στον κυτταρόπλασμα του ωαρίου.
- Αυτό είναι το **έναυσμα για την ενεργοποίηση του ωαρίου.**

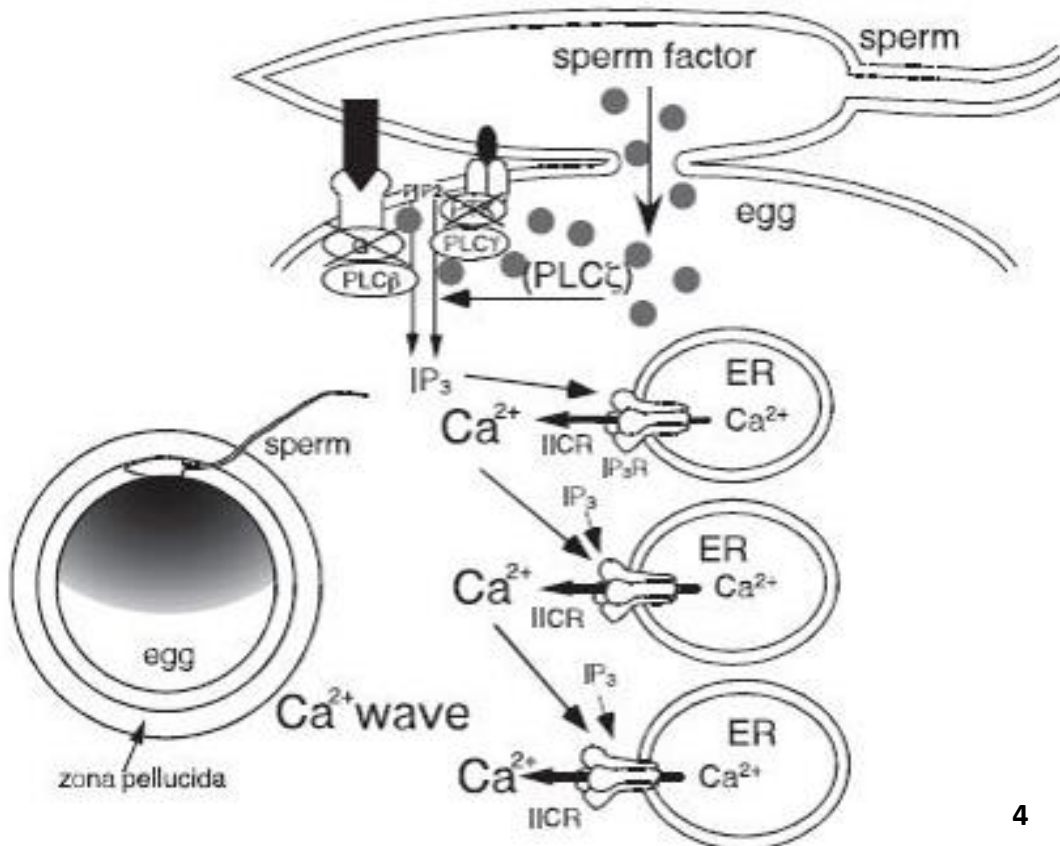


# Διαδικασία ενεργοποίησης 6/12

- Η ενεργοποίηση του ωαρίου ξεκινά με ένα κύμα ασβεστίου που εξαπλώνεται από το σημείο εισόδου του σπερματοζωαρίου σε όλο το ωάριο. Δεν πρόκειται για ένα μόνο κύμα ασβεστίου αλλά πολλές ταλαντώσεις των ενδοκυτταρικών επιπέδων ασβεστίου. Το κύμα ασβεστίου προκαλείται από αύξηση των επιπέδων του δεύτερου αγγελιοφόρου 1,4,5-τριφωσφορική ινοσιτόλη ( $IP_3$ ) που προκαλείται από το ένζυμο φωσφολιπάση C ζήτα (PLCζ) που εισαγάγει «εμβολιάζει» το σπερματοζωάριο στο κυτταρόπλασμα του ωαρίου.



# Διαδικασία ενεργοποίησης 7/12



4

Ενεργοποίηση ωαρίου από την PLC

- Ο μηχανισμός αυτός υπάρχει στα **Θηλαστικά** αλλά **δεν είναι γνωστό** τι συμβαίνει σε άλλα είδη ζώων αν και το **κύμα ασβεστίου εντοπίζεται σε όλα τα είδη ζώων** στα οποία έχει ερευνηθεί.



# Διαδικασία ενεργοποίησης 8/12

**Οξύς και αργός φραγμός-Φλοιική αντίδραση.**

- Στον **αχινό** και σε άλλα είδη ζώων (εκτός από τα Θηλαστικά) έχει βρεθεί ότι αμέσως μετά την ακροσωμική αντίδραση υπάρχει **είσοδος κατιόντων νατρίου στο ωάριο** που προκαλούν μετατόπιση του δυναμικού ηρεμίας στην κυτταρική μεμβράνη του ωαρίου από **-70 mV στα +20 mV**.
- Αυτό ονομάζεται **οξύς φραγμός** και εικάζεται ότι είναι μια **επιπλέον στρατηγική** των οργανισμών που χρησιμοποιούν **εξωτερική γονιμοποίηση** για την **αποφυγή πολυσπερμίας**.
- Ο **αργός φραγμός** είναι το **κύμα ασβεστίου** που προκαλεί τη **φλοιική αντίδραση** η οποία δημιουργεί τη **μεμβράνη γονιμοποίησης**.

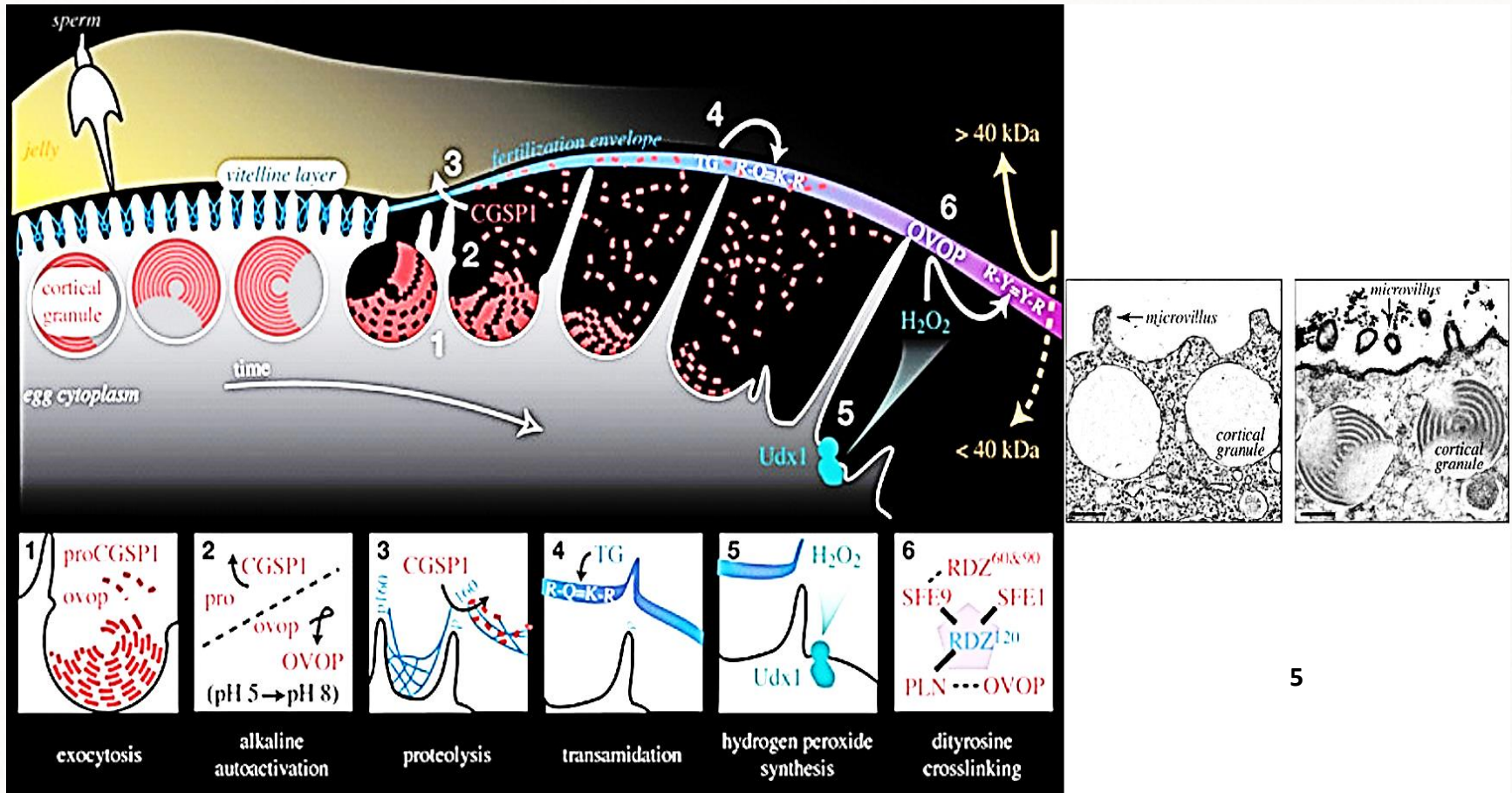


# Διαδικασία ενεργοποίησης 9/12

- Με την **φλοιική αντίδραση (cortical reaction ή zona reaction)** δημιουργείται η μεμβράνη γονιμοποίησης και **αποφεύγεται η πολυσπερμία.**
- Τα **φλοιικά κοκκία** περιέχουν **υαλίνη, περοξειδάσες, πρωτεάσες και μουκοπολυσακχαρίτες**, όλα συστατικά απαραίτητα για τη δημιουργία της μεμβράνης γονιμοποίησης. Οι **περοξειδάσες** συνδέουν τα μόρια της **υαλίνης** και στη συνέχεια **παρεμποδίζεται η σύνδεση άλλων σπερματοζωαρίων με την ZP3.** Έτσι έχουμε αποφυγή πολυσπερμίας που δημιουργεί πολυπλοειδία και μη βιώσιμους ζυγωτούς.



# Διαδικασία ενεργοποίησης 10/12



5



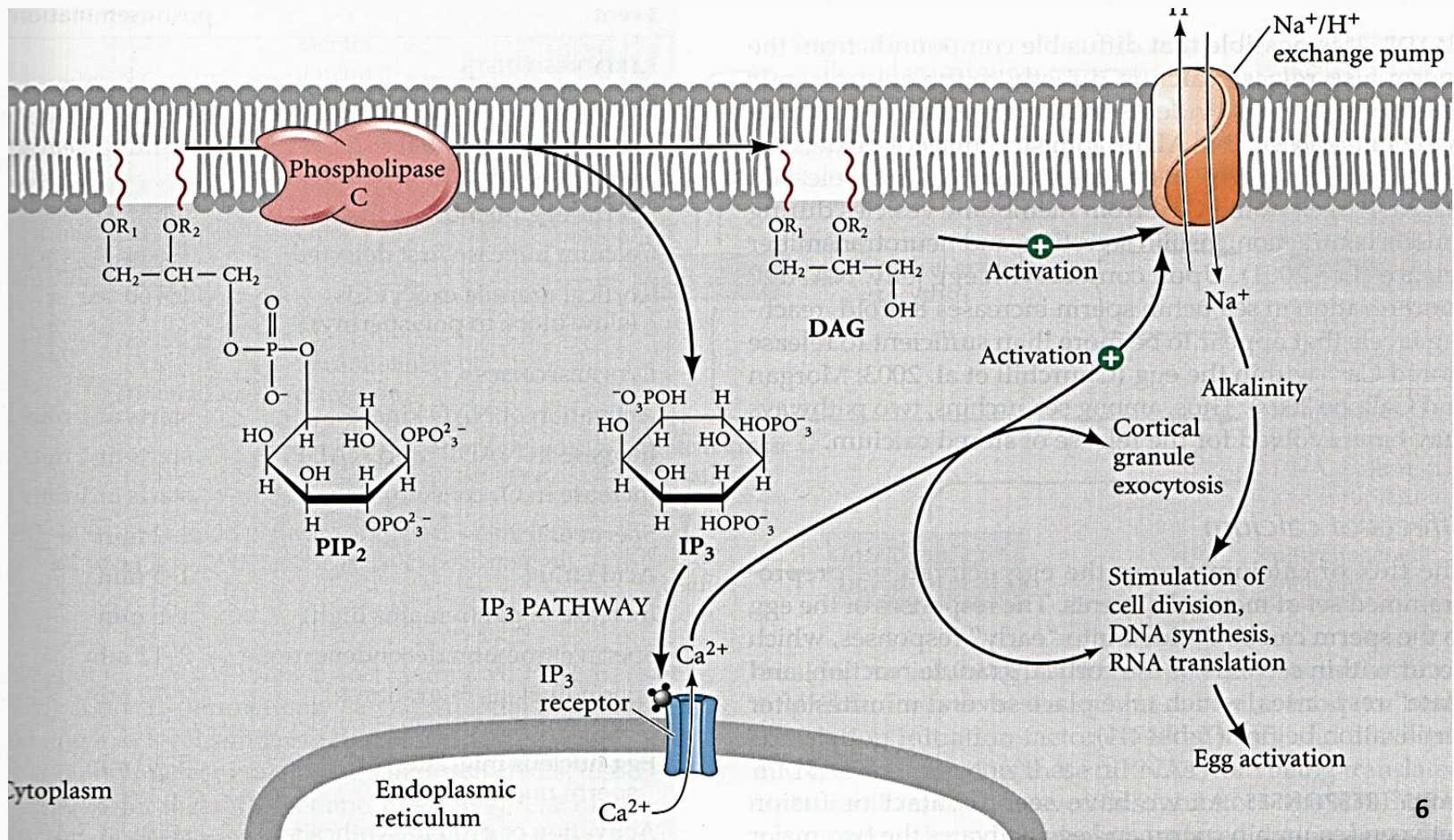


# Διαδικασία ενεργοποίησης 11/12

- Η δημιουργία της μεμβράνης γονιμοποίησης είναι αποτέλεσμα του **κύματος ασβεστίου** και πιθανολογείται η δράση της **πρωτεϊνικής κινάσης C (PKC)** στη δημιουργία της μεμβράνης γονιμοποίησης. Το **κύμα ασβεστίου** ενεργοποιεί την **κινάση που εξαρτάται από την καλμοδουλίνη (CaMK II)** και την **φωσφατάση, καλσινευρίνη**, και έχουμε **συμπλήρωση της Μείωσης II (δημιουργία 2<sup>ου</sup> πολικού σωματίου)** και **συνένωση του αρσενικού και θηλυκού προπυρήνα.**



# Διαδικασία ενεργοποίησης 12/12



6



# Αυλάκωση - Γαστριδίωση



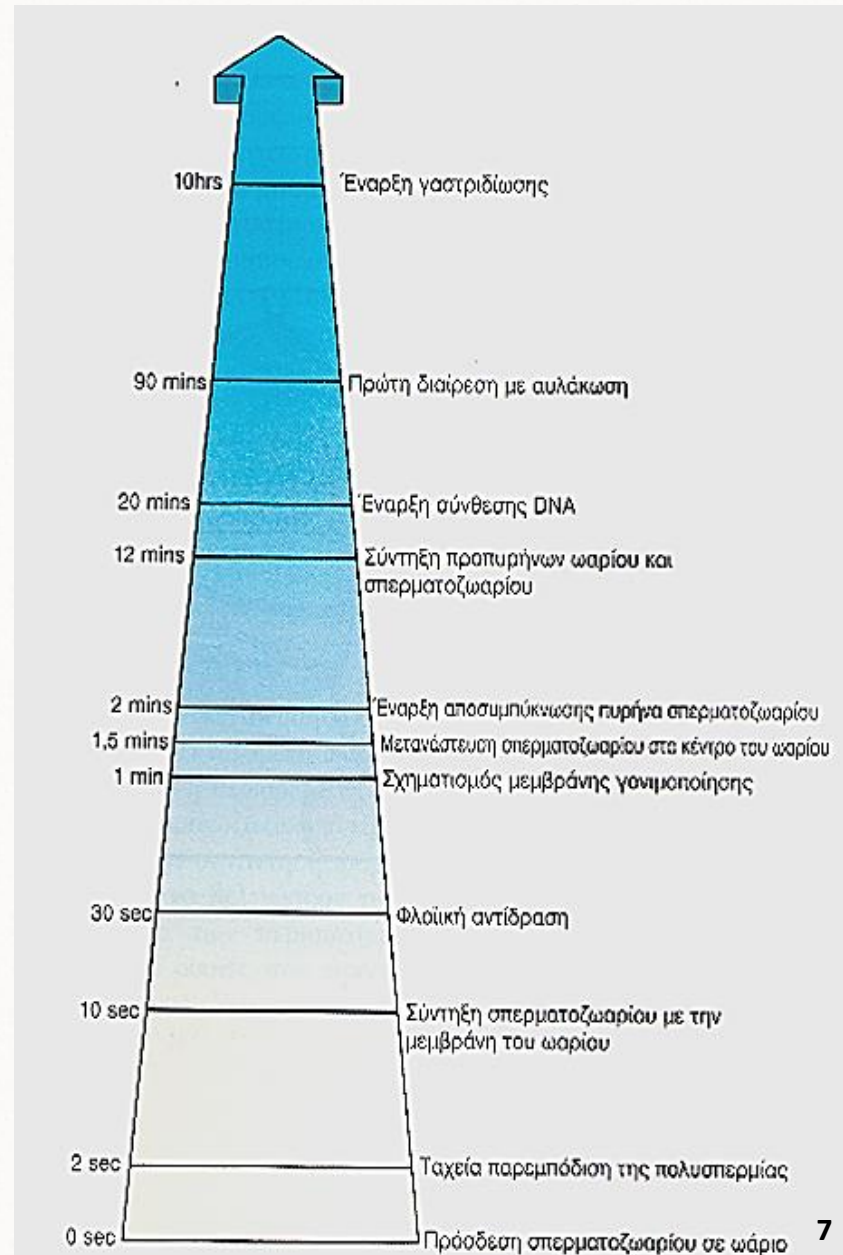
# Αυλάκωση 1/3

- Το επόμενο αναπτυξιακό στάδιο **μετά τη γονιμοποίηση είναι η αυλάκωση.**
- Με την **αυλάκωση** έχουμε δημιουργία ομάδων κυττάρων, **τα βλαστομερίδια, με διατήρηση του μεγέθους και συνεχούς διαίρεσης της συνολικής μάζας.** Η πορεία της αυλάκωσης καθορίζεται από την **πολικότητα του ωαρίου.**



# Αυλάκωση 2/3

**Χρονοδιάγραμμα  
αρχικής ανάπτυξης  
στον αχινό.**



# Αυλάκωση 3/3

## Είδη αυλάκωσης

Διακρίνονται **4 πρότυπα αυλάκωσης** στα ζώα ανάλογα με το ποσό της λέκιθου στο ωάριο. **Αυτά είναι:**

- **Ισολεκιθικά:** η σχισμή της αυλάκωσης επεκτείνεται σε όλη την έκταση του αυγού.
- **Μεσολεκιθικά:** η αυλάκωση είναι αργή στον φυτικό πόλο.
- **Τελολεκιθικά:** η αυλάκωση επεκτείνεται σε μια δισκοειδή επιφάνεια κυττάρων και δεν διαπερνά τη λέκιθο
- **Κεντρολεκιθικά:** η αυλάκωση είναι επιφανειακή και προκύπτει πολυπύρρηνο έμβρυο (ας το δούμε αναλυτικά....)

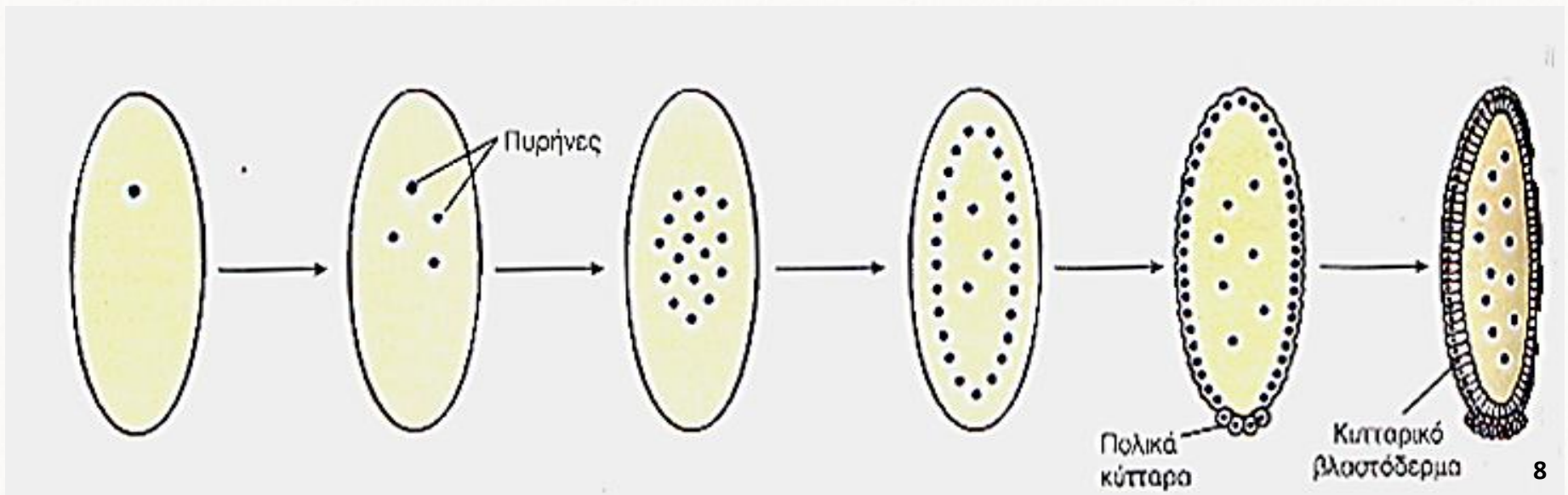


# Είδη αυλάκωσης 1/8

Λέκιθος	Αυγά	Αυλάκωση
Λίγη ισοκατανεμημένη	<b>Ισολεκιθικά</b> (π.χ. Εχινόδερμα, Κεφαλοχορδωτά, πολλά Μαλάκια, τα περισσότερα Θηλαστικά)	<b>Ολοβλαστική</b> (ολική και ίση)
Μέτρια, κυρίως στο φυτικό πόλο	<b>Μεσολεκιθικά</b> (π.χ. πολλά Αμφίβια)	<b>Ολοβλαστική</b> (ολική και άνιση)
Πολλή, στο φυτικό πόλο	<b>Τελολεκιθικά</b> (π.χ. Πτηνά, Ερπετά, πολλά ψάρια)	<b>Μεροβλαστική</b> (μερική) δισκοειδής
Πολλή, στο κέντρο	<b>Κεντρολεκιθικά</b> (π.χ. Έντομα και άλλα Αρθρόποδα)	<b>Μεροβλαστική</b> (μερική) <b>επιφανειακή.</b>



# Είδη αυλάκωσης 2/8



**Επιφανειακή αυλάκωση σε έμβρυο Δροσόφιλας.**





# Είδη αυλάκωσης 3/8

- Στα **κεντρολεκιθικά** αυγά των **Εντόμων** η αυλάκωση είναι επιφανειακή και προκύπτει **πολυπύρρηνο έμβρυο**.
- Μετά από **8 μιτωτικές διαιρέσεις (256 πυρήνες)** οι **πυρήνες μεταναστεύουν** στην περιφέρεια του αυγού. Στη συνέχεια έχουμε αναδίπλωση της κυτταρικής μεμβράνης. Στο **οπίσθιο τμήμα του αυγού ορισμένοι πυρήνες** θα δώσουν τα **πολικά κύτταρα** που θα αναπτυχθούν στους **γαμέτες**.



# Είδη αυλάκωσης 4/8

Όταν δεν υπάρχει μεγάλη ποσότητα λέκιθου (Ισολεκιθικά, Μεσολεκιθικά) τότε έχουμε **4 πρότυπα αυλάκωσης ανάλογα με τη χωροταξική διάταξη των βλαστομεριδίων.**

**Αυτά είναι:**

1) Στην **ακτινωτή αυλάκωση** οι διαιρέσεις γίνονται **παράλληλα ή κάθετα στον πολικό άξονα του αυγού (Α και Β).** Παρατηρείται και στο **βάτραχο (Β).** Χαρακτηρίζει τα **Δευτεροστόμια (Εχινόδερμα, Ημιχορδωτά, Χορδωτά).**



# Είδη αυλάκωσης 5/8

2) Στη **σπειροειδή αυλάκωση** οι διαιρέσεις γίνονται **πλάγια ως προς τον πολικό άξονα** του αυγού και τα βλαστομερίδια «γεμίζουν» το χώρο μεταξύ τους (Γ). Χαρακτηρίζει τα **Πρωτοστόμια (Γαιοσκώληκες, Μαλάκια, Πλατυέλμινθες)**.



# Είδη αυλάκωσης 6/8

## ΑΚΤΙΝΩΤΗ ΟΛΟΒΛΑΣΤΙΚΗ ΑΥΛΑΚΩΣΗ

**Α Αστερίας:** Ισολεκιθικό αυγό



**Β Βάτραχος:** Μεσολεκιθικό αυγό

Ζωικός πόλος



Φυτικός πόλος Φαιά ημισέληνος

## ΣΠΕΙΡΟΕΙΔΗΣ ΟΛΟΒΛΑΣΤΙΚΗ ΑΥΛΑΚΩΣΗ

**Γ Νημερτίνος:** Ισολεκιθικό αυγό



## ΔΙΣΚΟΕΙΔΗΣ ΜΕΡΟΒΛΑΣΤΙΚΗ ΑΥΛΑΚΩΣΗ

**Δ Όρνιθα:** Τελολεκιθικό αυγό



## ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗ ΟΛΟΒΛΑΣΤΙΚΗ ΑΥΛΑΚΩΣΗ

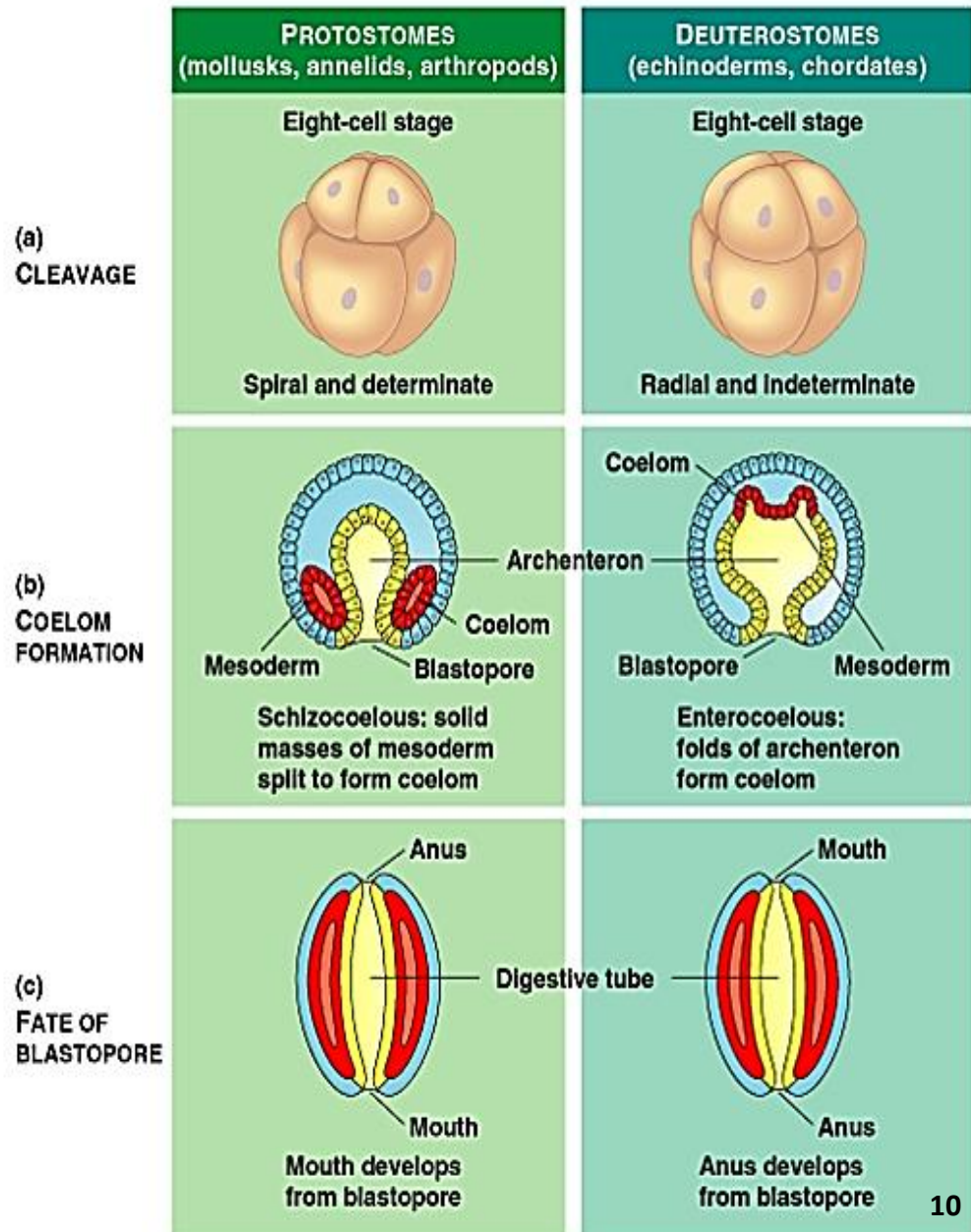
**Ε Ποντικός:** Ισολεκιθικό αυγό







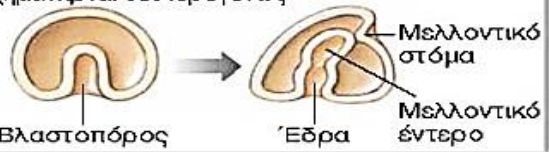
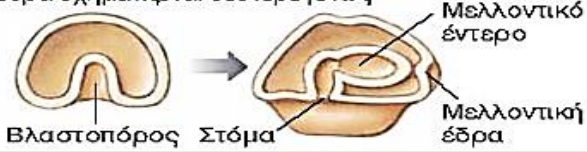
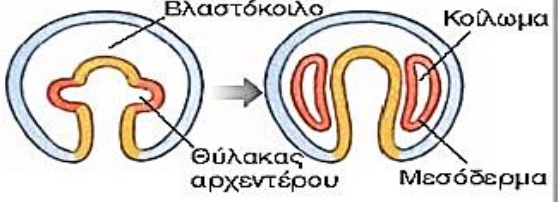
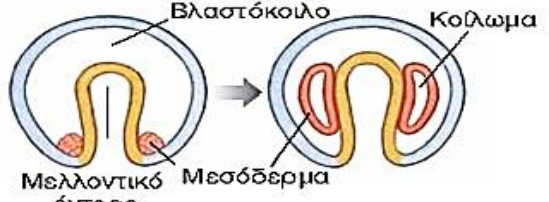
9



# Διαφορές Πρωτοστομίων- Δευτεροστομίων 1/3



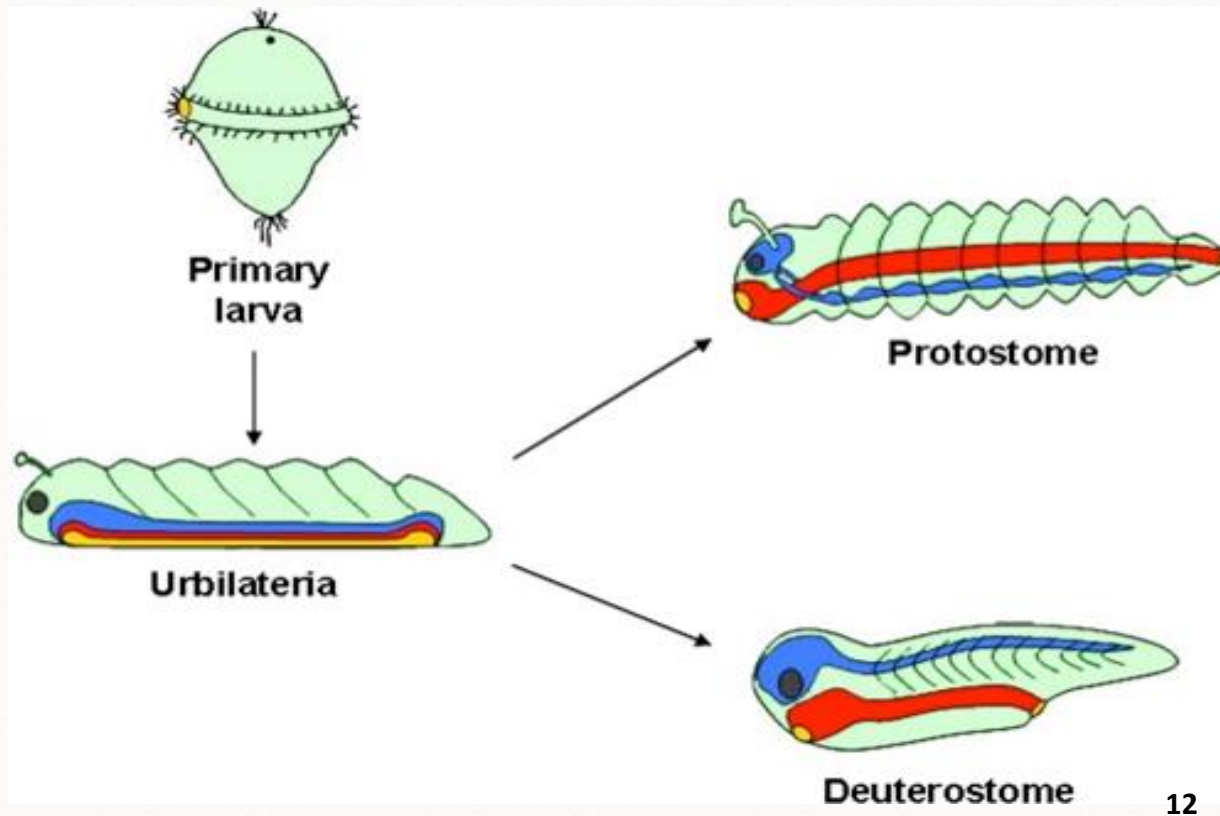
# Διαφορές Πρωτοστομίων- Δευτεροστομίων 2/3

ΔΕΥΤΕΡΟΣΤΟΜΙΑ	ΛΟΦΟΤΡΟΧΟΖΩΑ ΠΡΩΤΟΣΤΟΜΙΑ
<p>1 Ακτινωτή αυλάκωση</p> 	<p>1 Σπειροειδής αυλάκωση</p> 
<p>2 Ρυθμιστικό έμβρυο</p>  <p>Στάδιο 4 κυττάρων    Αφαίρεση 1 βλαστομεριδίου    2 κανονικές προνύμφες</p>	<p>2 Μωσαϊκό έμβρυο</p>  <p>Στάδιο 4 κυττάρων    Αφαίρεση 1 βλαστομεριδίου    Διακοπή ανάπτυξης</p>
<p>3 Ο βλαστοπόρος γίνεται έδρα, το στόμα σχηματίζεται δευτερογενώς</p>  <p>Βλαστοπόρος    Έδρα    Μελλοντικό στόμα    Μελλοντικό έντερο</p>	<p>3 Ο βλαστοπόρος γίνεται στόμα, η έδρα σχηματίζεται δευτερογενώς</p>  <p>Βλαστοπόρος    Στόμα    Μελλοντικό έντερο    Μελλοντική έδρα</p>
<p>4 Το κοιλώμα σχηματίζεται με δημιουργία θύλακων (εντεροκοιλικά)</p>  <p>Βλαστόκοιλο    Κοιλώμα    Θύλακας αρχεντέρου    Μεσόδερμα</p>	<p>4 Το κοιλώμα σχηματίζεται με διαχωρισμό (σχιζοκοιλωματικά)</p>  <p>Βλαστόκοιλο    Κοιλώμα    Μελλοντικό έντερο    Μεσόδερμα</p>

11



# Διαφορές Πρωτοστομίων- Δευτεροστομίων 3/3



# Είδη αυλάκωσης 7/8

Όταν δεν υπάρχει μεγάλη ποσότητα λέκιθου (Ισολεκιθικά, Μεσολεκιθικά) τότε έχουμε 4 πρότυπα αυλάκωσης ανάλογα με τη χωροταξική διάταξη των βλαστομεριδίων.

**Αυτά είναι:**

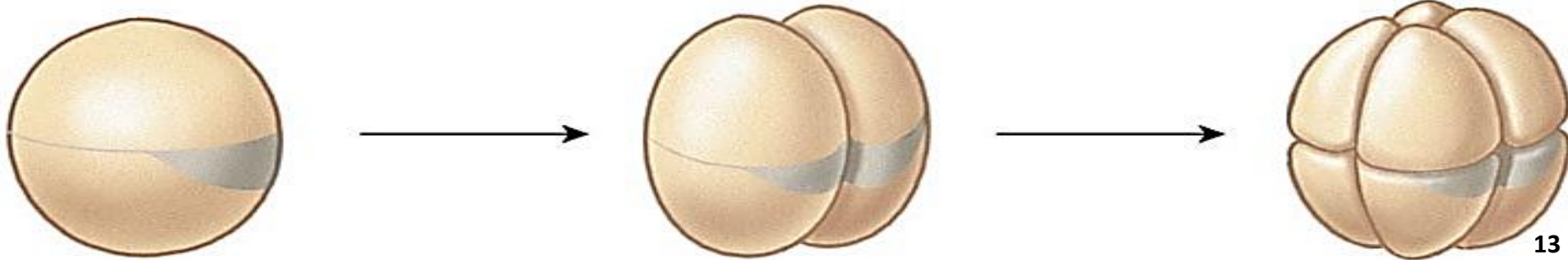
3) Στην **αμφίπλευρη αυλάκωση**, η πρώτη διαίρεση διαπερνά τον φυτικό-ζωικό άξονα. Χαρακτηρίζει τα **Χιτωνόζωα**.





# Αμφίπλευρη αυλάκωση

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



13

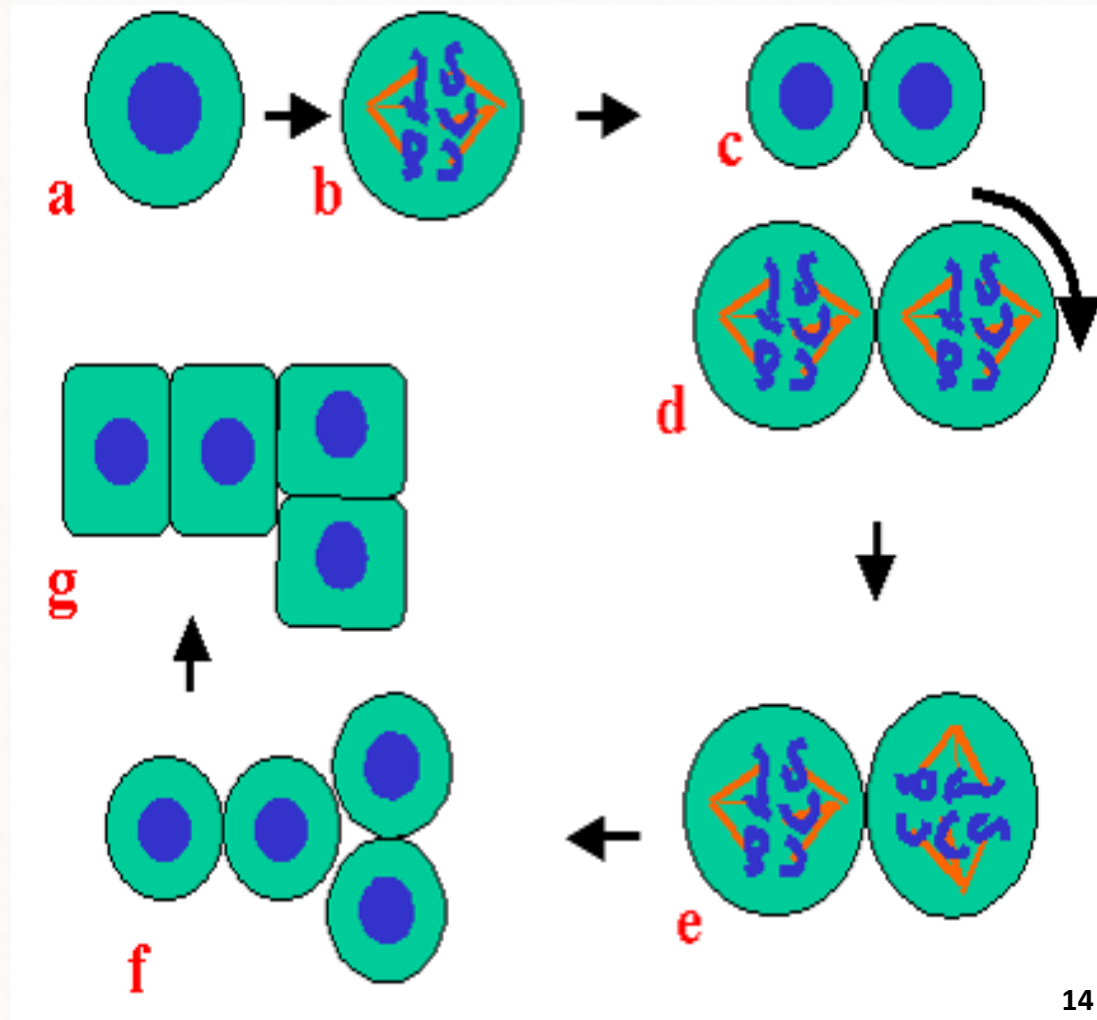


# Είδη αυλάκωσης 8/8

4) Στην περιστροφική αυλάκωση (χαρακτηριστικό των Θηλαστικών) η 1<sup>η</sup> διαίρεση περνά τον φυτικό-ζωικό άξονα (μεσημβρινό) ενώ η 2<sup>η</sup> διαίρεση είναι για το ένα κύτταρο «μεσημβρινή» και για το άλλο «ισημερινή». Οι επόμενες διαιρέσεις είναι **ασύγχρονες** και δίνουν στα εξωτερικά κύτταρα μια δομή, τον **τροφοβλάστη**, από τον οποίο προκύπτει ο **πλακούντας**.



# Περιστροφική αυλάκωση



14



# Βλαστιδίωση 1/2

- Με την αυλάκωση προκύπτει ένα **σύμπλεγμα κυττάρων** που ονομάζεται **βλαστίδιο** και περικλύεται στη **βλαστική κοιλότητα**.
- Τα κύτταρα φέρουν **μεγάλα ποσά DNA** (λόγω μιτωτικών διαιρέσεων) αλλά **δεν έχουμε αύξηση του συνολικού μεγέθους αλλά υποδιαίρεση** σε μεγάλο αριθμό μικρών κυττάρων.
- Σημαντικό είναι το στάδιο του **μεσοβλαστιδίου** που οριοθετεί τη χρονική στιγμή **έναρξης της μεταγραφής** από τα ίδια τα κύτταρα.



# Βλαστιδίωση 2/2

- Πριν το στάδιο του μεσοβλαστιδίου, τα κύτταρα **1)** διαιρούνται ταυτόχρονα, **2)** φέρουν χρωματίνη σε ετεροχρωματική κατάσταση (καταστολή μεταγραφής) και **3)** χρησιμοποιούν μόνο μητρικό mRNA στη μετάφραση.
- Μετά το στάδιο του μεσοβλαστιδίου τα κύτταρα εμφανίζουν **διαφορική έκφραση των πατρογονικών γονιδίων.**
- Η χρονική στιγμή του μεσοβλαστιδίου διαφέρει από είδος σε είδος.



# Γαστριδίωση 1/5

- Η **γαστριδίωση** περιλαμβάνει εκτεταμένες και ολοκληρωμένες **μετακινήσεις των κυττάρων** και καταλήγει σε δραματική **αναδιάταξη των κυττάρων του βλαστιδίου**.
- Μέσω της γαστριδίωσης δημιουργούνται τα 3 βλαστικά δέρματα, το εξώδερμα, το μεσόδερμα και το ενδόδερμα. Ουσιαστικά, έχουμε **δημιουργία του πλάνου οργάνωσης του εμβρύου**.
- Τα **πρότυπα γαστριδίωσης διαφέρουν** σε μεγάλο βαθμό στα διάφορα είδη ζωικών οργανισμών.

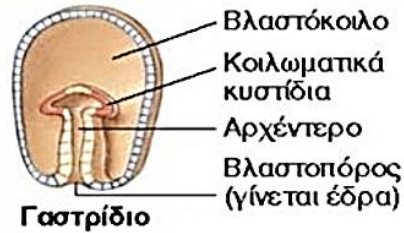


# Γαστριδίωση 2/5

## A Αστερίας



Βλαστίδιο



Γαστρίδιο

Βλαστόκοιλο  
Κοιλωματικά  
κυστίδια  
Αρχέντερο  
Βλαστοπόρος  
(γίνεται έδρα)

## B Βάτραχος



Βλαστίδιο



Γαστρίδιο

Βλαστόκοιλο  
Αρχέντερο  
Λεκιθικό πώμα  
(βλαστοπόρος)

## Γ Νημερτίνος



Γαστρίδιο



βλαστίδιο

Βλαστόκοιλο  
Μελλοντικά  
μεσοδερμικά  
κύτταρα  
Βλαστοπόρος  
(γίνεται  
στόμα)

## Γαστριδίωση σε διάφορους ζωικούς οργανισμούς

### Δ Όρνια



βλαστίδιο



Γαστρίδιο

Αρχέγονη  
γραμμή  
Μεταναστεύοντα  
κύτταρα  
Λέκιθος

### Ε Ποντικός



βλαστίδιο  
(βλαστοκύστη)

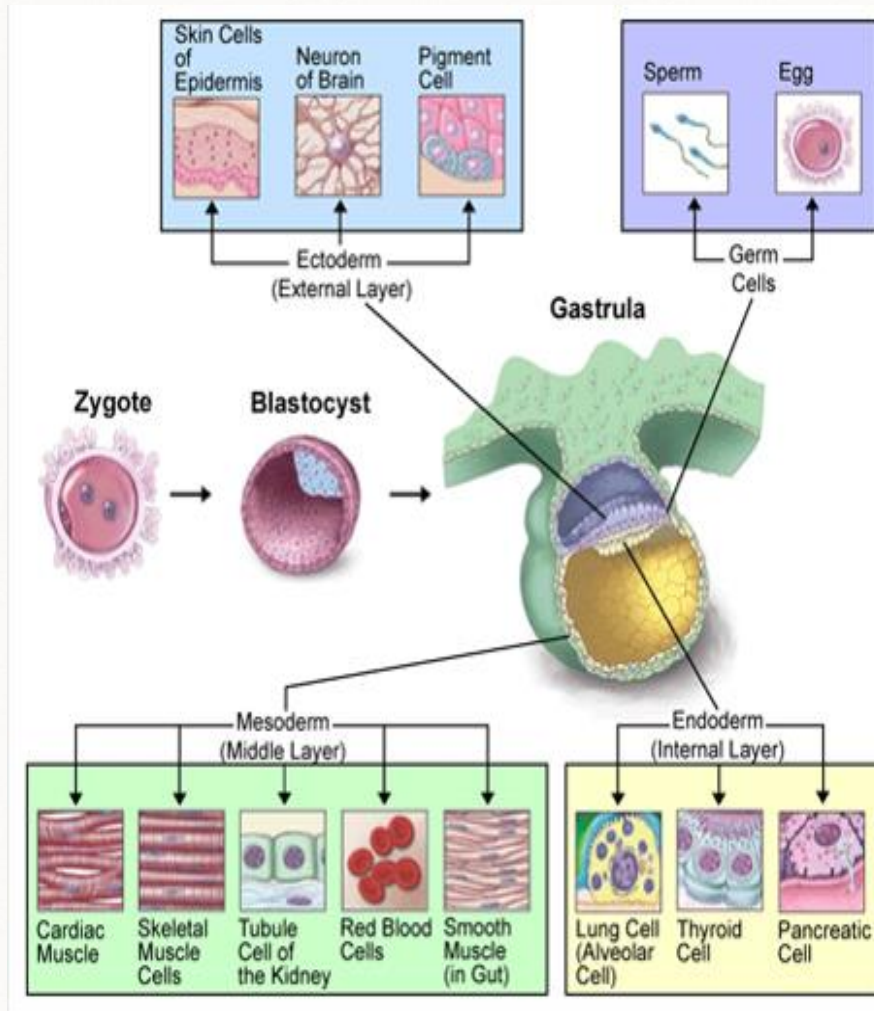


Γαστρίδιο

Εσωτερική μάζα  
κυττάρων  
Τροφοβλάστη  
Αμνιακή κοιλότητα  
Άμνιο  
Εξώδερμα  
Μεταναστεύοντα  
κύτταρα  
Λεκιθικός σάκος  
Ενδόδερμα



# Γαστριδίωση 3/5

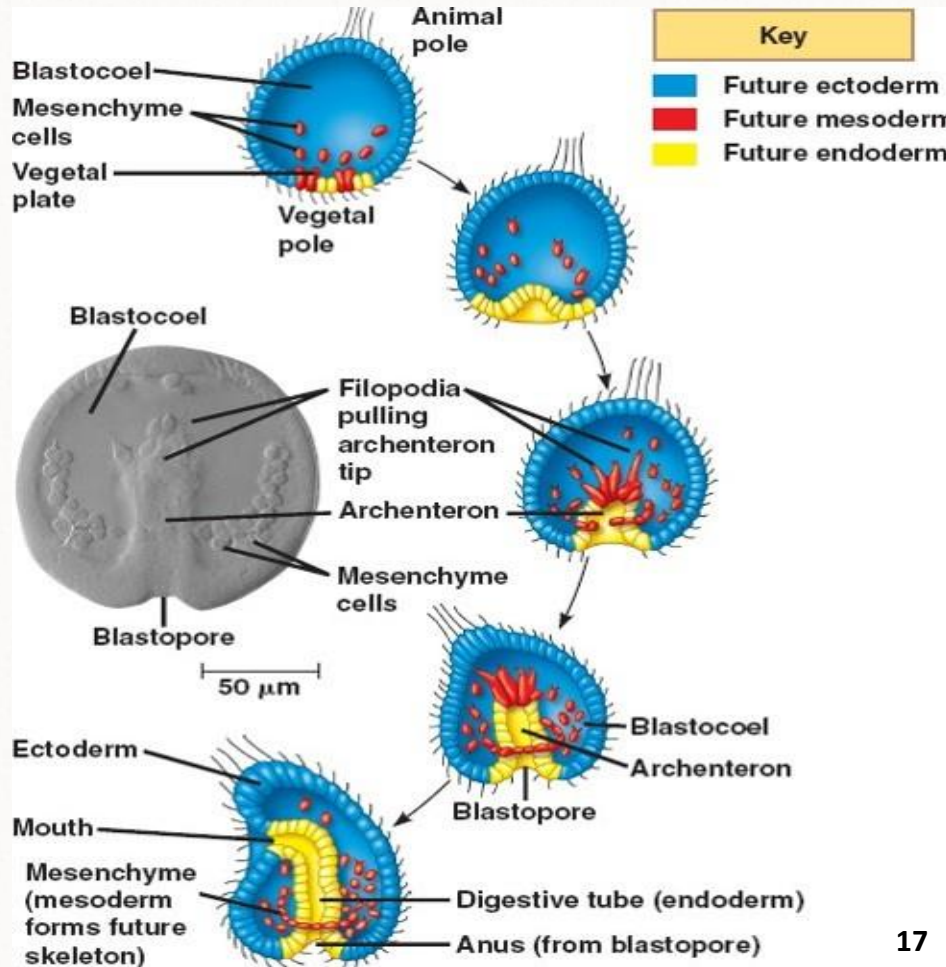


**Ιστοί που προκύπτουν από τα 3 βλαστικά δέρματα στα Θηλαστικά.**





# Γαστριδίωση 4/5



Διάγραμμα γαστριδίωσης στον αχινό.

17



# Γαστριδίωση 5/5

- Τα πρότυπα γαστριδίωσης μας δείχνουν ότι ενώ τα **Θηλαστικά έχουν ισολεκιθικά αυγά** και τα **Αμφίβια, Ερπετά και Πτηνά έχουν τελολεκιθικά αυγά**, εντούτοις τα πρότυπα γαστριδίωσής τους **μοιάζουν**. Αυτό εξηγείται με την υπόθεση ότι **έχουν κοινό πρόγονο που είχε τελολεκιθικά αυγά**.
- Τα **Κνιδόζωα** (μέδουσα, ύδρα) και τα **Κτενοφόρα** είναι **διπλοβλαστικοί** οργανισμοί και δεν έχουν μεσόδερμα. Όλα τα **άλλα Μετάζωα** είναι **τριπλοβλαστικοί** οργανισμοί.

Θαυμάσια ιστοσελίδα για τη γαστριδίωση με εικόνες και βίντεο:  
<http://www.gastrulation.org/>

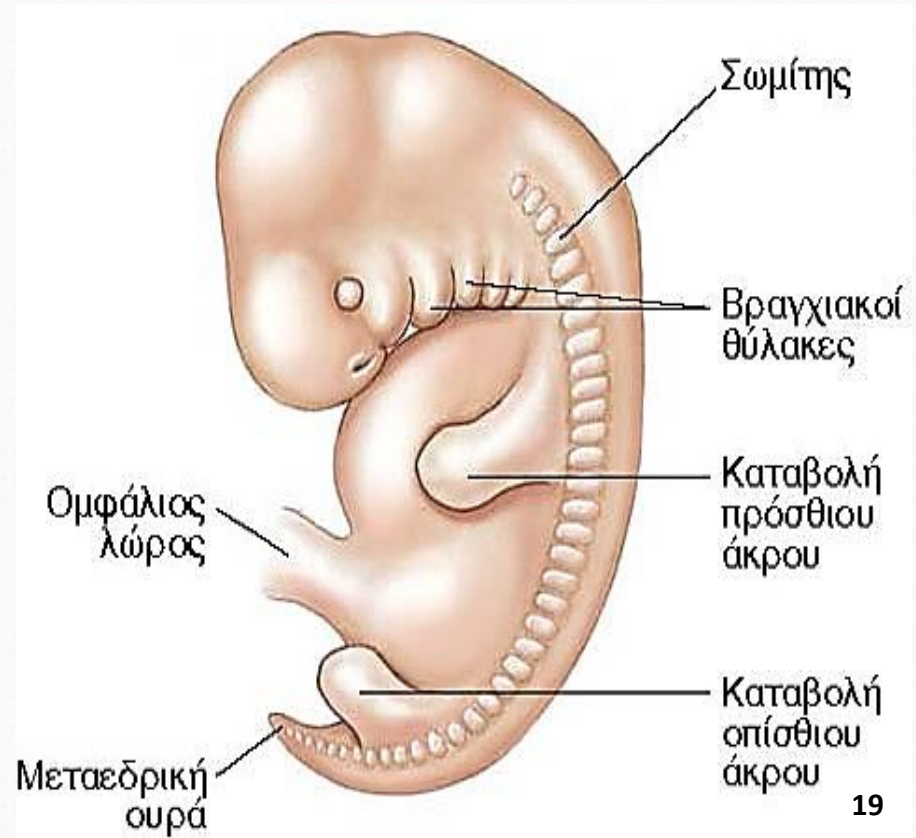
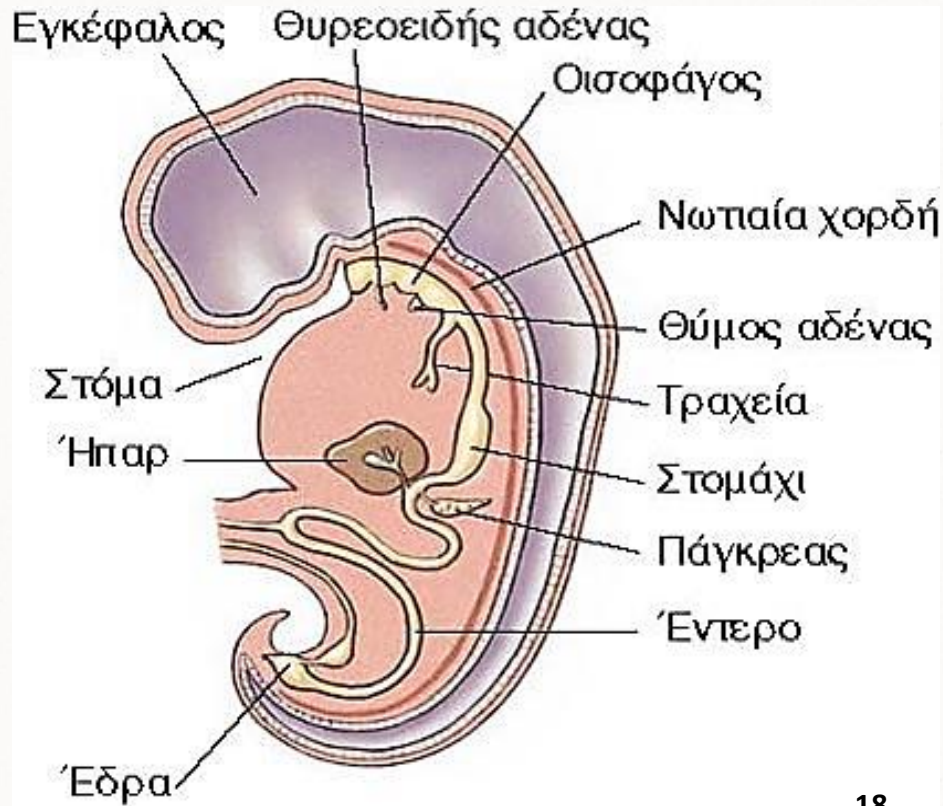


# Μεταγαστριο 1/2

- Από τα 3 βλαστικά δέρματα προκύπτουν διαφορετικοί ιστοί (όπως δείχθηκε παραπάνω). Κατά το **στάδιο ανάπτυξης** που λέγεται **μεταγαστρίδιο** εμφανίζεται **εξαιρετική ομοιότητα στο πλάνο ανάπτυξης των οργάνων των Σπονδυλοζώων**.
- Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει η παρουσία των **φαρυγγικών θυλάκων (βραγχιακοί θύλακες) των Σπονδυλοζώων**: Οι σχηματισμοί αυτοί επενδύονται από **ενδόδερμα** και αλληλεπιδρώντας με το **εξώδερμα** δίνουν τα **βραγχιακά τόξα** που περαιτέρω αναπτύσσονται στα **βράγχια των Ιχθύων**. **Διατηρούνται όμως και στα χερσαία Σπονδυλόζωα** και συνεισφέρουν στην δημιουργία της άνω και κάτω γνάθου καθώς και στη δημιουργία του παραθυροειδή και θύμου αδένου.



# Μεταγάστριο 2/2



# Μηχανισμοί Ανάπτυξης



# Γονιδιακή έκφραση 1/8

- Σύγχρονες μελέτες σε **οργανισμούς-μοντέλα** δείχνει ότι η **επιγένεση (η διαδικασία ανάπτυξης)** αναπτύσσεται σε **3 στάδια**:
  - 1) Διαμόρφωση αρχιτεκτονικής του σώματος.
  - 2) καθορισμός θέσης στο σώμα και
  - 3) μορφογένεση άκρων και οργάνων στη συγκεκριμένη θέση.
- Οι διαδικασίες αυτές καθορίζονται από τους **μορφογενετικούς ρυθμιστές (ΜΚ)**.

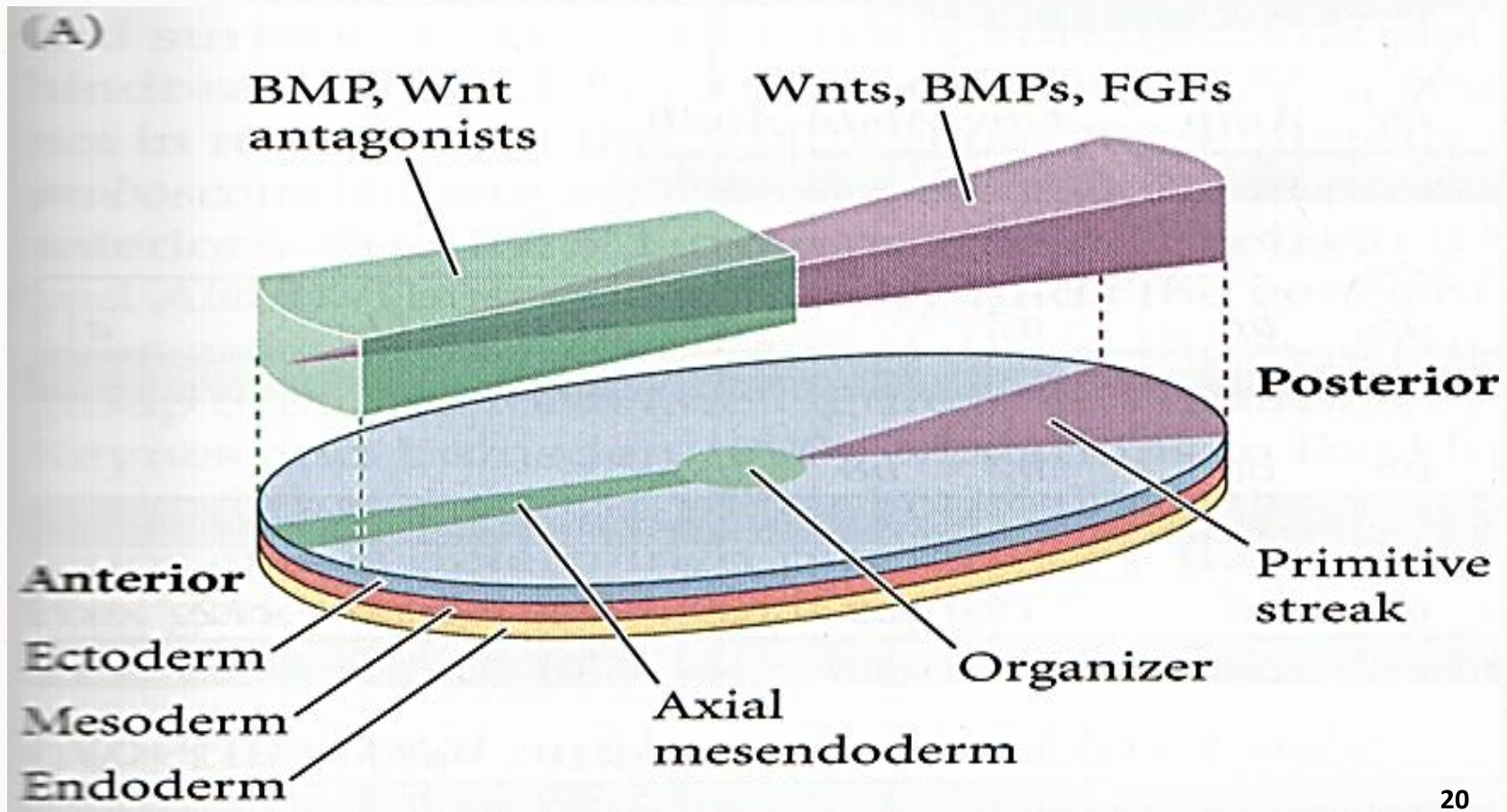


# Γονιδιακή έκφραση 2/8

- Η διαμόρφωση της αρχιτεκτονικής του σώματος (δηλ. τι είναι αρχή-τέλος, δεξιό-αριστερό και μπροστά-πίσω) καθορίζεται από συγκεκριμένα γονίδια.
- Στη δροσόφιλα το **mRNA** του γονιδίου **bicoid** καθορίζει το **μπροστινό τμήμα** του εντόμου. Ένα παρόμοιο γονίδιο το **Pitx2** στα **Σπονδυλόζωα** καθορίζει το εάν η **θέση των οργάνων θα είναι δεξιά ή αριστερά**. Το **Pitx2** ενεργοποιείται από το γονίδιο **hedgehog**.



# Γονιδιακή έκφραση 3/8



20





# Γονιδιακή έκφραση 4/8

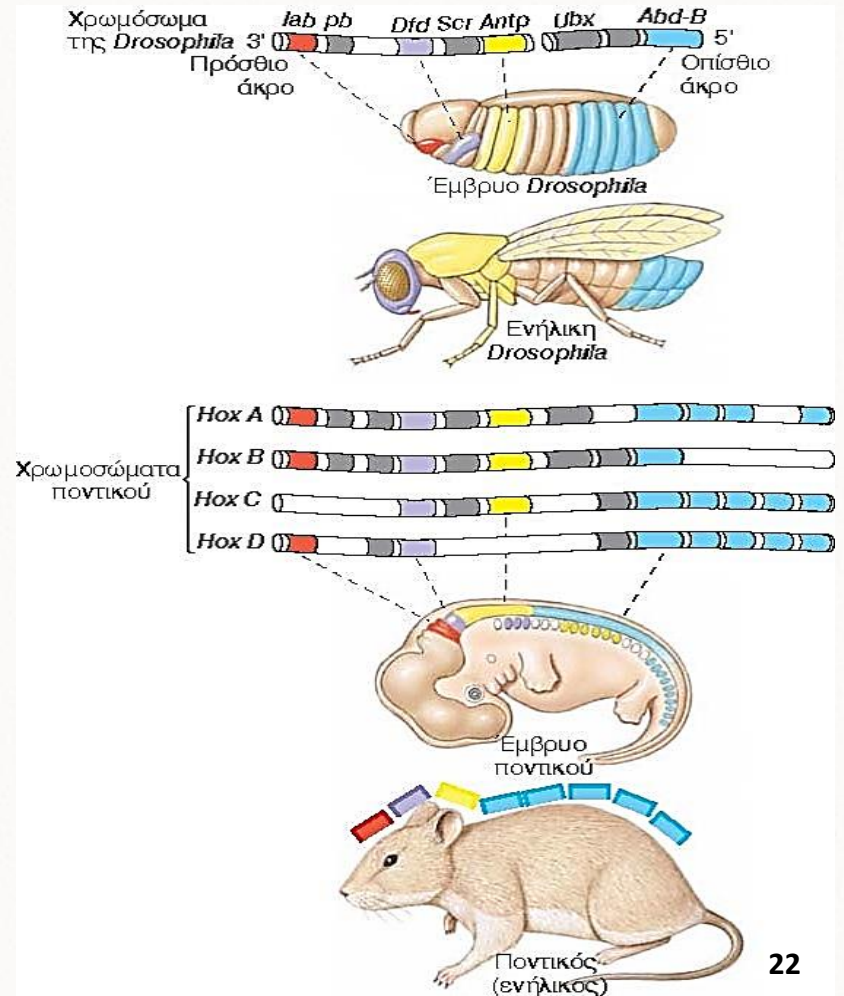
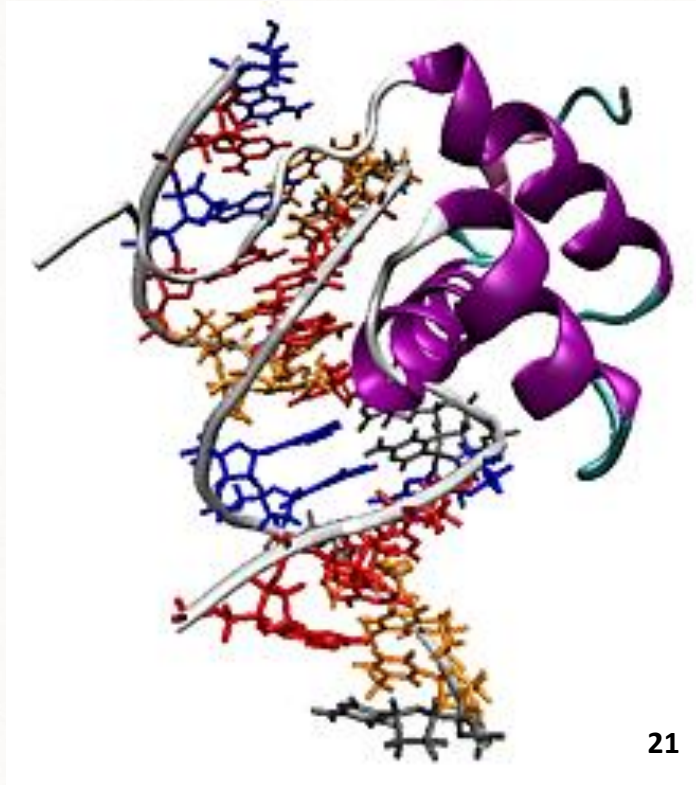
**2) Ο καθορισμός της θέσης στο σώμα ρυθμίζεται από τα γονίδια Hom στη δροσόφιλα (Hox στα άλλα ζώα).**

Τα **ομοιοτικά γονίδια (Hox)** κωδικοποιούν **ομάδες** πολύ σημαντικών **πρωτεϊνών** που ρυθμίζουν τη θέση στο σώμα στα μεταμερή και τους σωμίτες.

Οι πρωτεΐνες αυτές χαρακτηρίζονται από την **παρουσία ενός πρωτεϊνικού μοτίβου 60 αμινοξέων (homeobox)** που είναι **πολύ συντηρημένο** στα διάφορα είδη ζώων στα οποία έχει βρεθεί.



# Γονιδιακή έκφραση 5/8



# Γονιδιακή έκφραση 6/8

## 3) Μορφογένεση άκρων και οργάνων στη συγκεκριμένη θέση.

Πειράματα σε έμβρυα κότας έδειξαν ότι η πρωτεΐνη **fibroblast growth factor (fgf)** καθορίζει τον **τρόπο ανάπτυξης των άκρων του εμβρύου**.

Συγκεκριμένα, ο **fgf** εκφραζόμενος σε **διαβαθμισμένη συγκέντρωση** στο άκρο διαμορφώνει τη γεωμετρία της ανάπτυξης στον **εγγύς-ακραιο (κοντά-μακριά από το σώμα) άξονα**. Η πρωτεΐνη **hedgehog** με τον ίδιο τρόπο διαμορφώνει τον **πρόσθιο-οπίσθιο άξονα** και καθορίζει τη σωστή θέση των δακτύλων. Επίσης η πρωτεΐνη **Wnt7a** διαμορφώνει τον **νωτιαίου-κοιλιακού άξονα**.

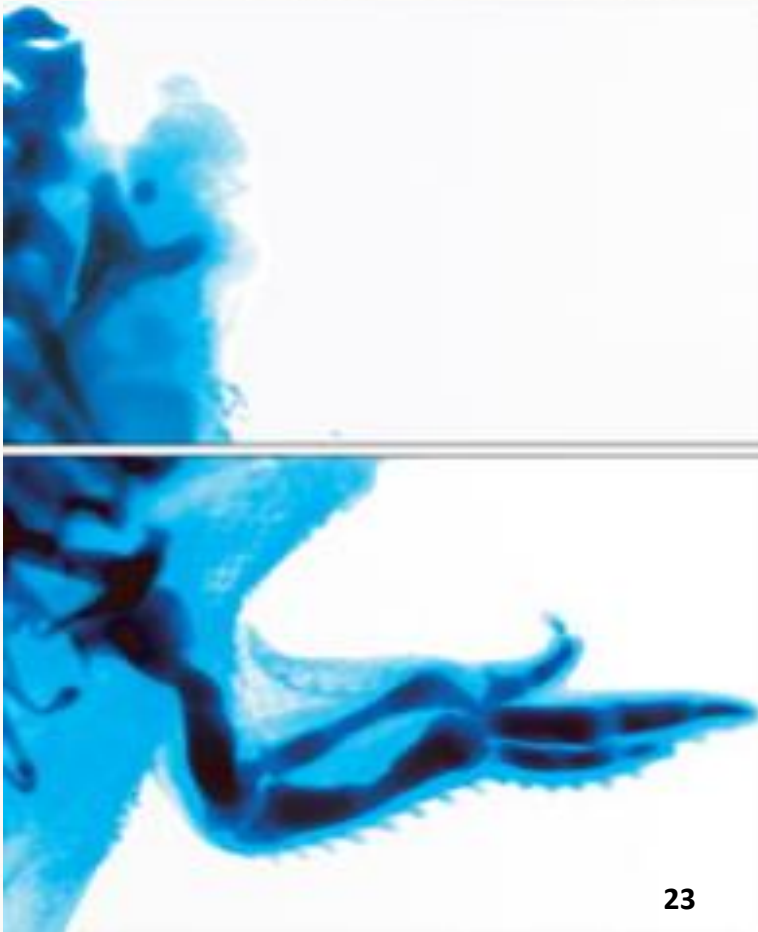


# Γονιδιακή έκφραση 7/8

- Πρόσφατη έρευνα βρήκε ότι η ουσία **thalidomide** γνωστή για τις **εκτεταμένες μορφολογικές ανωμαλίες** που προκάλεσε **σε έμβρυα ανθρώπων** τη δεκαετία του '60 προσδένεται στην πρωτεΐνη **cereblon**, η οποία εκφράζεται στα άκρα εμβρύων της κότας.



# Γονιδιακή έκφραση 8/8

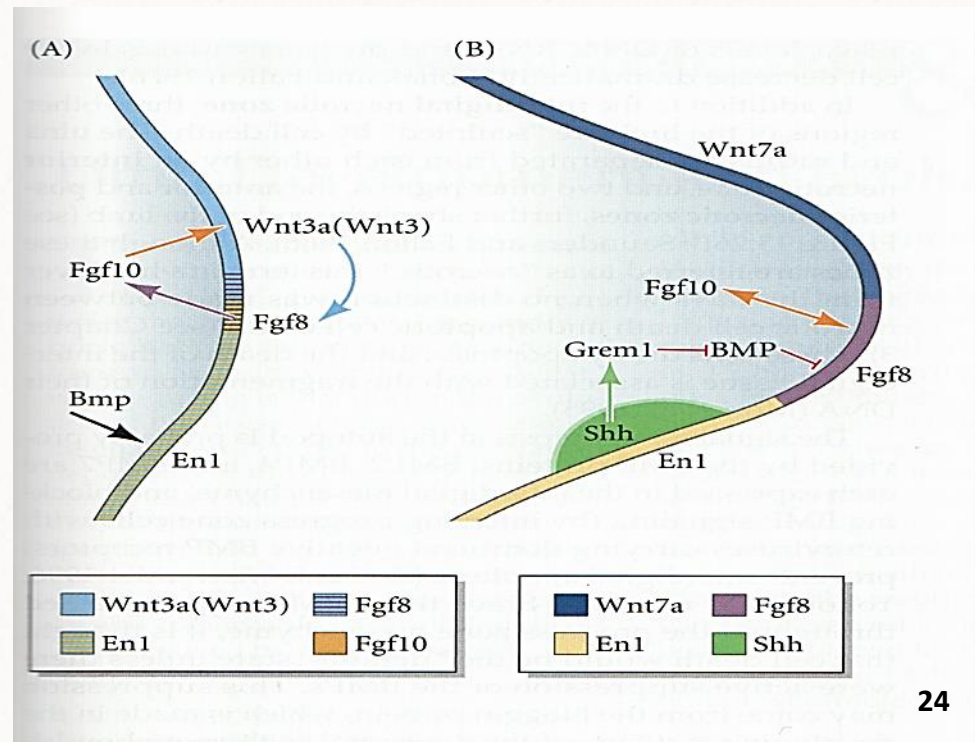


Πηγή: Ito, T. et al., (2010) Identification of a Primary Target of Thalidomide Teratogenicity *Science*, 327, 1345-1350.

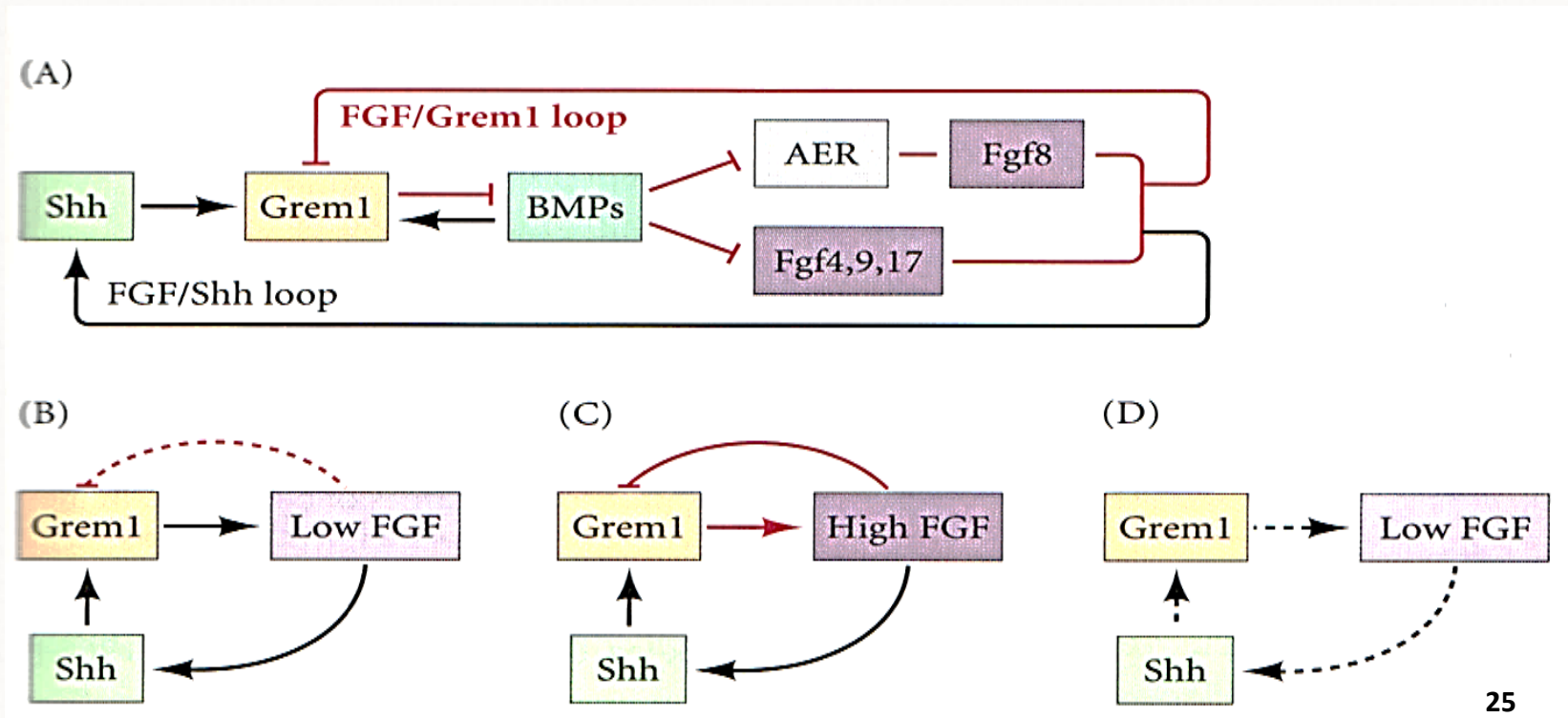


# Μορφογένεση άκρων 1/4

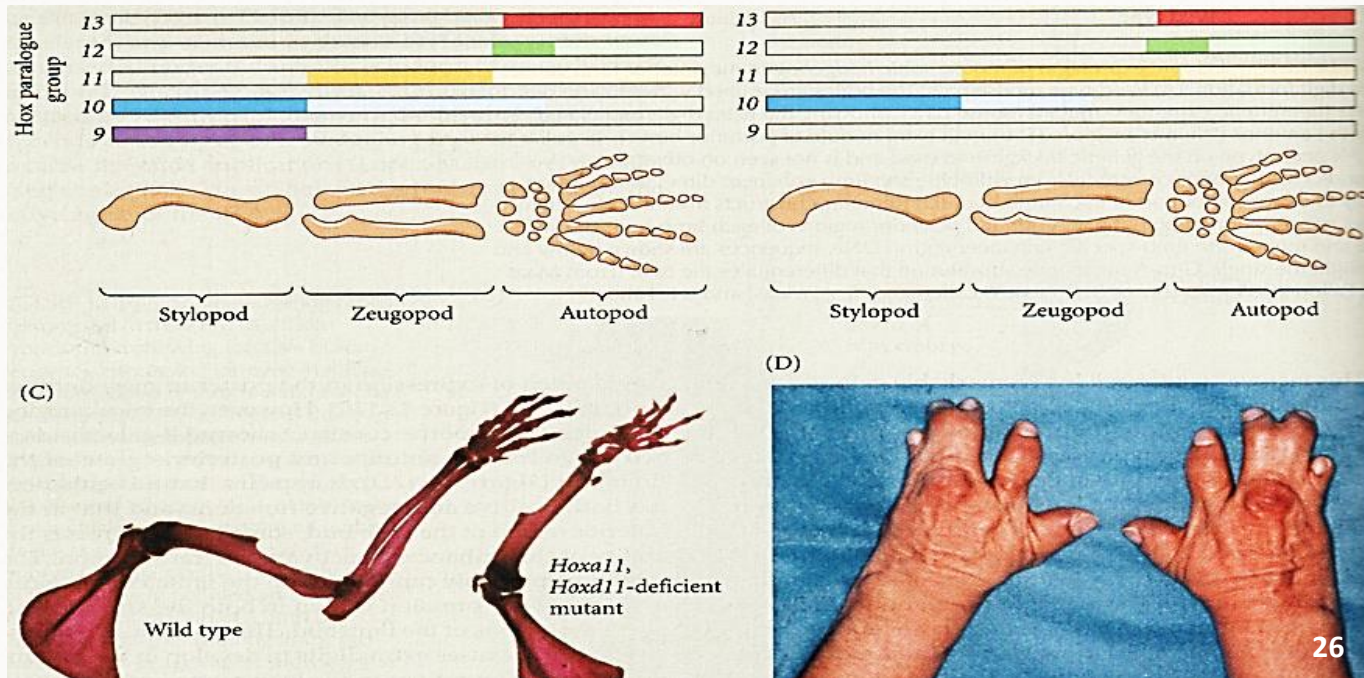
Η δημιουργία των 4 άκρων στα τετράποδα ζώα είναι αποτέλεσμα της αποτέλεσμα της συνδυασμένης δράσης, μέσω μηχανισμών θετικής και αρνητικής ανάδρασης, των πρωτεϊνών **fibroblast growth factor (fgf)**, **bone morphogenetic proteins (Bmp)** και της πρωτεΐνης **Sonic Hedgehog (Shh)**.



# Μορφογένεση άκρων 2/4



# Μορφογένεση άκρων 3/4

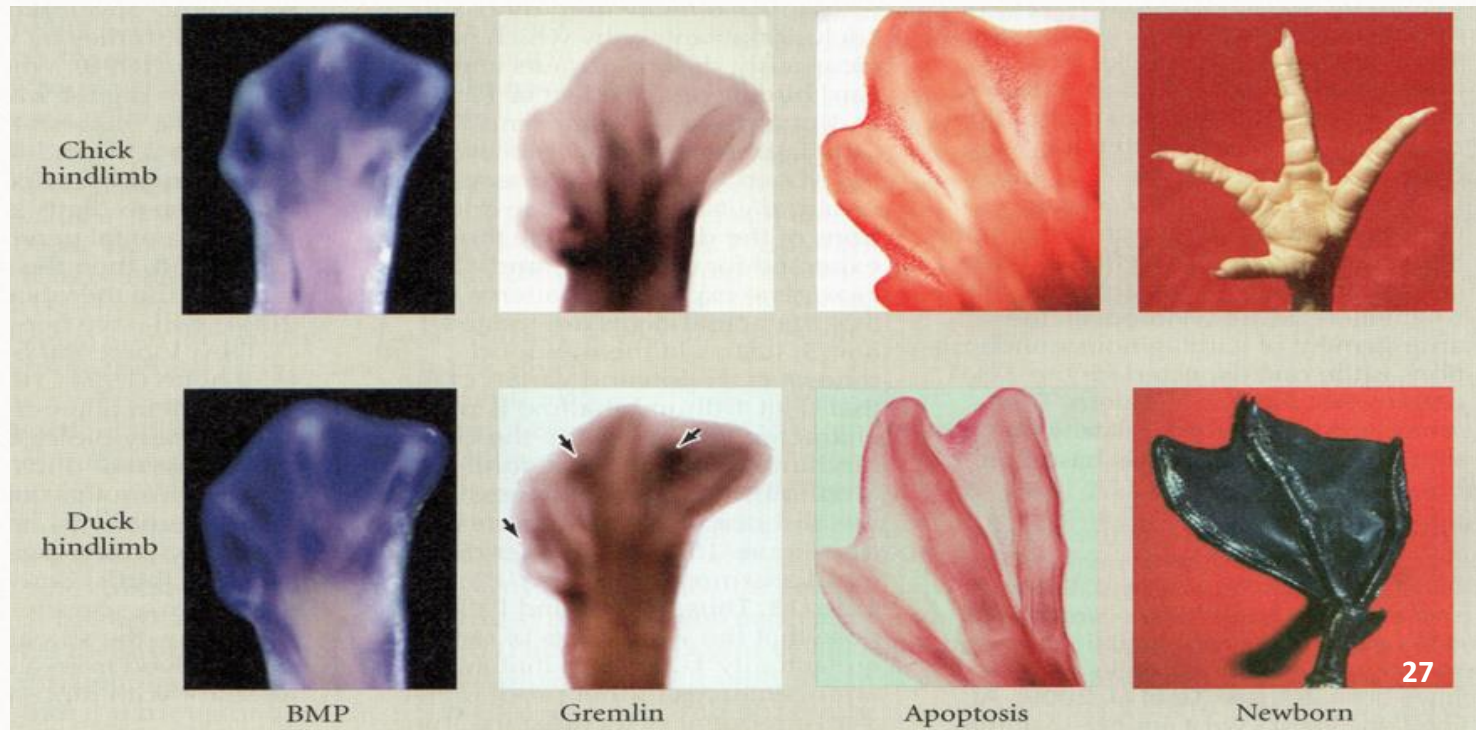


- Ρόλο συντονιστή της έκφρασης και ενεργότητας των **Fgf**, **Bmp** και **Shh** παίζουν τα **Hox γονίδια**: διαφορές στην έκφρασή τους οδηγούν στη δημιουργία των άνω και κάτω άκρων.





# Μορφογένεση άκρων 4/4



- Η έκφραση ενός μορφογενετικού καθοριστή (Gremlin) οδηγεί στην παρουσία νηκτικής μεμβράνης στα πόδια της πάπιας και όχι της κότας!



# Γονιδιακή έκφραση

## Εvo-Devo και μερικά ερωτήματα 1/2

Είναι η αρχιτεκτονική δομή της αμφίπλευρης συμμετρίας ουσιαστικά ίδια σε όλα τα ζώα;

Το γονίδιο **chordin** που ελέγχει την ανάπτυξη του κεντρικού νευρικού συστήματος στο **βάτραχο** είναι **όμοιο** με το γονίδιο **short gastrulation** που κάνει το ίδιο στη **δrosόφιλα**. Το γονίδιο **decapentaplegic** καθορίζει τη ραχιαία ανάπτυξη στη **δrosόφιλα** και το γονίδιο **bone morphogenetic protein-4** κάνει το ίδιο στο **βάτραχο**.

Το γενικότερο ερώτημα που προκύπτει: **Είναι η αρχιτεκτονική δομή στα πρωτοστόμια ανάποδη ως προς τα δευτεροστόμια;**



# Γονιδιακή έκφραση

## Εvo-Devo και μερικά ερωτήματα 2/2

- Μπορούμε να κάνουμε υποθέσεις για την ανατομία εξαφανισθέντων ειδών από την γνώση των γονιδίων των αρτίγονων ειδών; π.χ. δεδομένου ότι τα γονίδια *eyeless/Pax-6* που καθορίζουν την ανάπτυξη των οφθαλμών είναι αρκετά συντηρημένα, τι είδους μάτια είχαν τα εξαφανισθέντα είδη;
- Μπορεί η εξέλιξη των ειδών να προήλθε από μεταλλάξεις σε λίγα κρίσιμα αναπτυξιακά γονίδια και όχι σταδιακή συσσώρευση μεταλλάξεων όπως πρότεινε ο Δαρβίνος (gradualism);



# Τέλος Ενότητας



# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



# Σημειώματα



# Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.



# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών, Σκαρλάτος Ντέντος, Επίκουρος Καθηγητής. «Ζωολογία Ι. Ενότητα 5. Αρχές Ανάπτυξης». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://opencourses.uoa.gr/courses/BIOL3/>.





# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.



# Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων 1/4

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

## Εικόνες

**Εικόνα 1.** Copyright 2010 Εκδόσεις Utopia Ε.Π.Ε.. Πηγή: Ζωολογία: Ολοκληρωμένες Αρχές, Hickman, Roberts, Keen, Larson, L'Anson, Eisenhour, ISBN: 978-960-99280-3-8.

**Εικόνα 2.** Copyrighted.

**Εικόνα 3.** Wikipedia The Free Encyclopedia. Σύνδεσμος: [http://en.wikipedia.org/wiki/Human\\_fertilization](http://en.wikipedia.org/wiki/Human_fertilization). Πηγή: <http://en.wikipedia.org>.

**Εικόνα 4.** [http://www.biology-online.org/articles/calcium\\_signals\\_egg\\_activation/figures.html](http://www.biology-online.org/articles/calcium_signals_egg_activation/figures.html)

**Εικόνα 5.** Brown University. MCB Department. Σύνδεσμος: [http://www.brown.edu/Research/Wessel\\_Lab/Research/Ed\\_resource.html](http://www.brown.edu/Research/Wessel_Lab/Research/Ed_resource.html). Πηγή: [http://www.brown.edu/Research/Wessel\\_Lab/#](http://www.brown.edu/Research/Wessel_Lab/#)

**Εικόνα 6.** Copyrighted.

**Εικόνα 7.** Copyright 2010 Εκδόσεις Utopia Ε.Π.Ε.. Πηγή: Ζωολογία: Ολοκληρωμένες Αρχές, Hickman, Roberts, Keen, Larson, L'Anson, Eisenhour, ISBN: 978-960-99280-3-8. Εικόνα 8:



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων 2/4

**Εικόνα 8.** Copyright 2010 Εκδόσεις Utopia Ε.Π.Ε.. Πηγή: Ζωολογία: Ολοκληρωμένες Αρχές, Hickman, Roberts, Keen, Larson, Λ'Anson, Eisenhour, ISBN: 978-960-99280-3-8.

**Εικόνα 9.** Copyright 2010 Εκδόσεις Utopia Ε.Π.Ε.. Πηγή: Ζωολογία: Ολοκληρωμένες Αρχές, Hickman, Roberts, Keen, Larson, Λ'Anson, Eisenhour, ISBN: 978-960-99280-3-8.

**Εικόνα 10.** [http://www.mun.ca/biology/scarr/Protostomes\\_vs\\_Deuterostomes.html](http://www.mun.ca/biology/scarr/Protostomes_vs_Deuterostomes.html)

**Εικόνα 11.** Copyright 2010 Εκδόσεις Utopia Ε.Π.Ε.. Πηγή: Ζωολογία: Ολοκληρωμένες Αρχές, Hickman, Roberts, Keen, Larson, Λ'Anson, Eisenhour, ISBN: 978-960-99280-3-8.

**Εικόνα 12.** <http://www.pnas.org/content/105/43/16411/F1.expansion.html>

**Εικόνα 13.** Copyright 2010 Εκδόσεις Utopia Ε.Π.Ε.. Πηγή: Ζωολογία: Ολοκληρωμένες Αρχές, Hickman, Roberts, Keen, Larson, Λ'Anson, Eisenhour, ISBN: 978-960-99280-3-8.

**Εικόνα 14.** Copyright © The University of Edinburgh 2015.

Σύνδεσμος: [http://www.bms.ed.ac.uk/research/others/smaciver/Cyto-Topics/asymmetric\\_cell\\_division.htm](http://www.bms.ed.ac.uk/research/others/smaciver/Cyto-Topics/asymmetric_cell_division.htm). Πηγή: <http://www.ed.ac.uk/schools-departments/biomedical-sciences/>.



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων 3/4

**Εικόνα 15.** Copyright 2010 Εκδόσεις Utopia Ε.Π.Ε.. Πηγή: Ζωολογία: Ολοκληρωμένες Αρχές, Hickman, Roberts, Keen, Larson, Λ'Anson, Eisenhour, ISBN: 978-960-99280-3-8.

**Εικόνα 16.** <http://www.pnas.org/content/105/43/16411/F1.expansion.html>

**Εικόνα 17.** <http://bio1152.nicerweb.com/Locked/media/ch47/gastrulation-urchin.html>

**Εικόνα 18.** Copyright 2010 Εκδόσεις Utopia Ε.Π.Ε.. Πηγή: Ζωολογία: Ολοκληρωμένες Αρχές, Hickman, Roberts, Keen, Larson, Λ'Anson, Eisenhour, ISBN: 978-960-99280-3-8.

**Εικόνα 19.** Copyright 2010 Εκδόσεις Utopia Ε.Π.Ε.. Πηγή: Ζωολογία: Ολοκληρωμένες Αρχές, Hickman, Roberts, Keen, Larson, Λ'Anson, Eisenhour, ISBN: 978-960-99280-3-8.

**Εικόνα 20.** Copyrighted.

**Εικόνα 21.** Homeodomain. Wikipedia The Free Encyclopedia.

Σύνδεσμος:<http://en.wikipedia.org/wiki/Homeobox>. Πηγή: <http://en.wikipedia.org>

**Εικόνα 22.** Copyright 2010 Εκδόσεις Utopia Ε.Π.Ε.. Πηγή: Ζωολογία: Ολοκληρωμένες Αρχές, Hickman, Roberts, Keen, Larson, Λ'Anson, Eisenhour, ISBN: 978-960-99280-3-8.



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων 4/4

**Εικόνα 23.** Ito, T. et al., (2010) Identification of a Primary Target of Thalidomide Teratogenicity *Science*, 327, 1345-1350.

**Εικόνα 24.** Copyrighted.

**Εικόνα 25.** Copyrighted.

**Εικόνα 26.** Copyrighted.

**Εικόνα 27.** © 2015 Macmillan Publishers Limited. All Rights Reserved. Σύνδεσμος: [http://www.nature.com/nrg/journal/v4/n9/fig\\_tab/nrg1159\\_F2.html](http://www.nature.com/nrg/journal/v4/n9/fig_tab/nrg1159_F2.html). Πηγή: <http://www.nature.com>.

