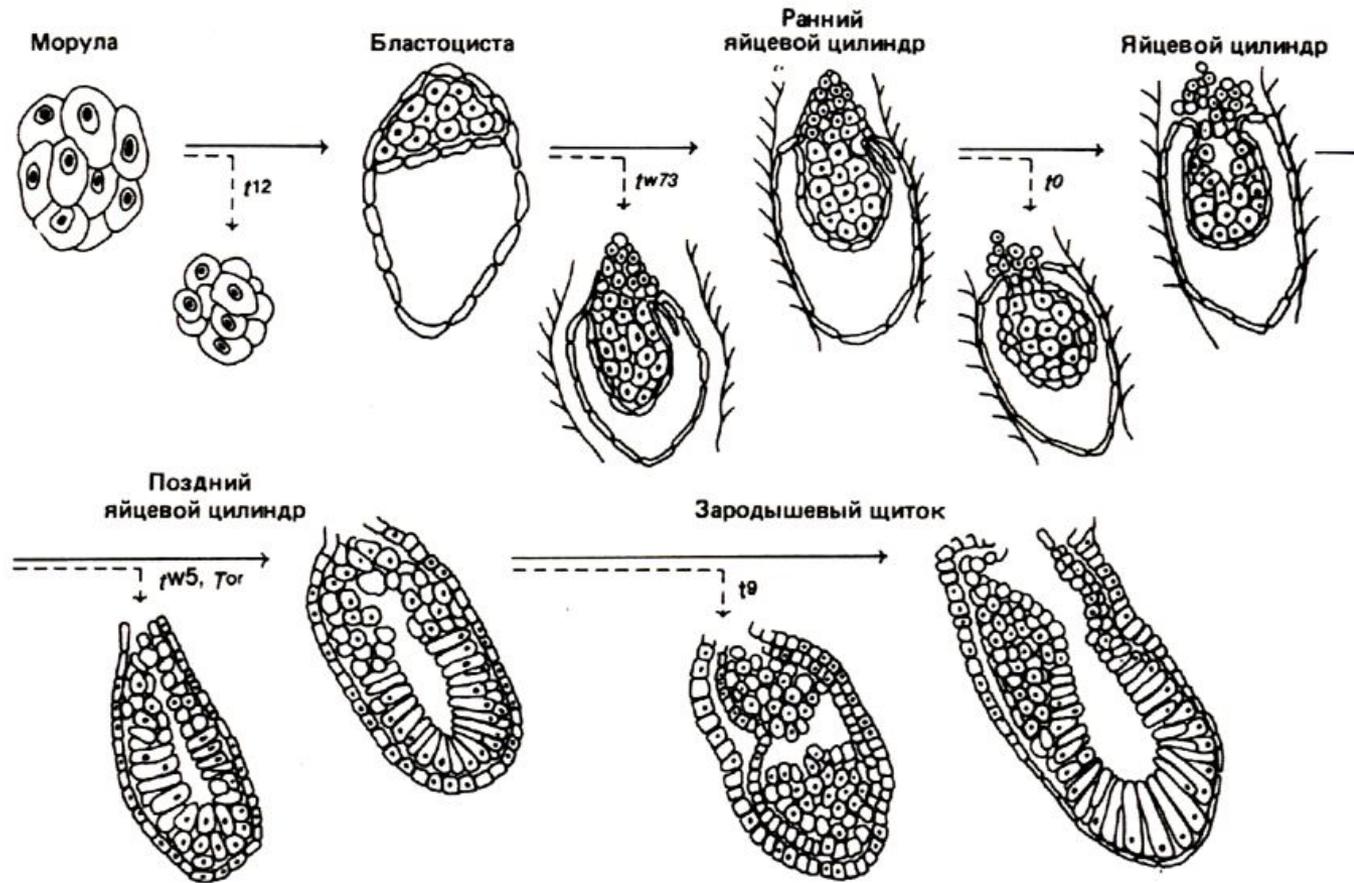


# Лекция 6

## **Гастрюляция и становление антериально- постериальной оси тела эмбриона**

# Формирование зародышевого цилиндра/диска



**brachyury** – брахиури; фактор транскрипции.

Мутантный признак у мышей и других млекопитающих: наличие укороченного хвоста (локус -  $T_{Orl}$ , локализован у мыши на хромосоме 17).

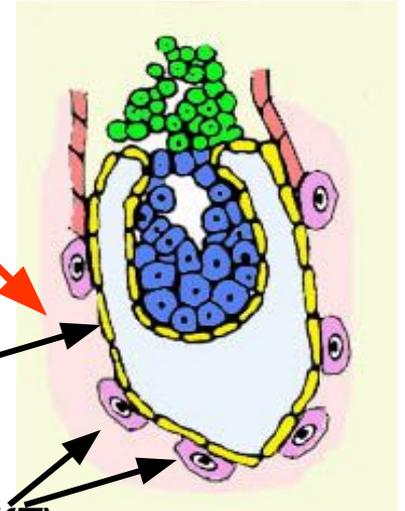
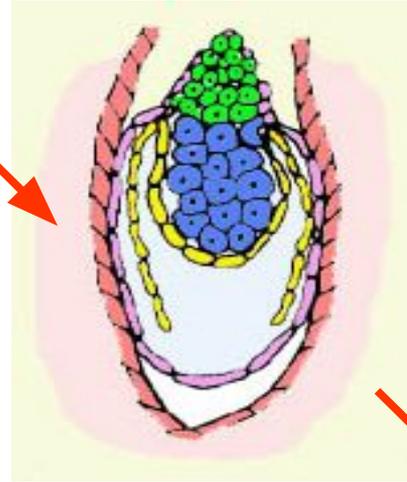
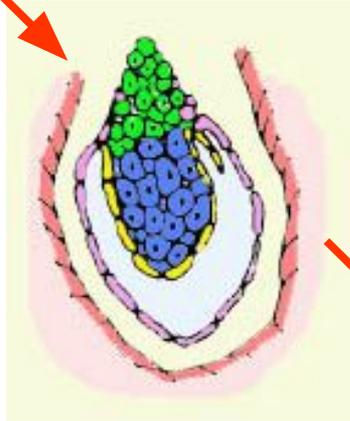
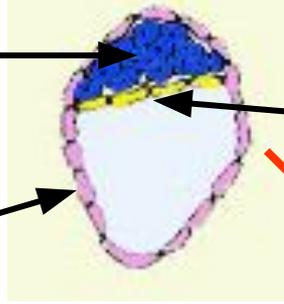
91% гомологии у мыши и человека; а 77а/к составляющих T-box идентичны

# Формирование зародышевого цилиндра у мыши

Эпибласт

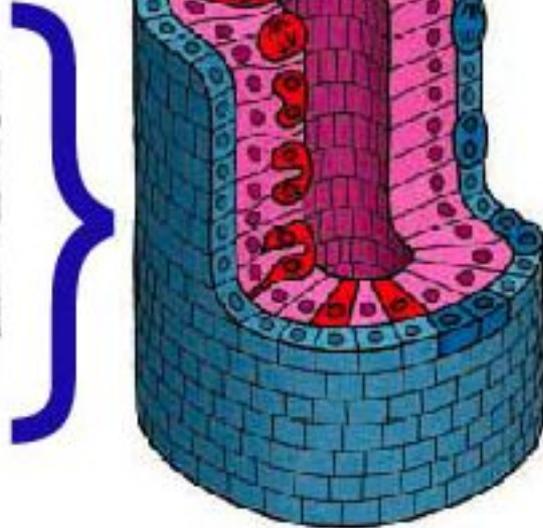
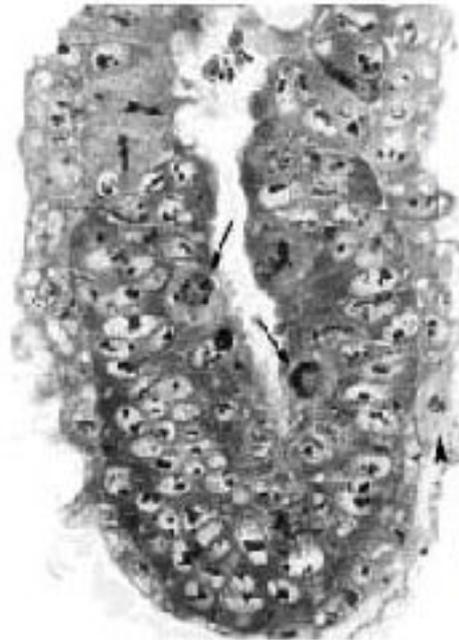
Гипобласт

ТЭ

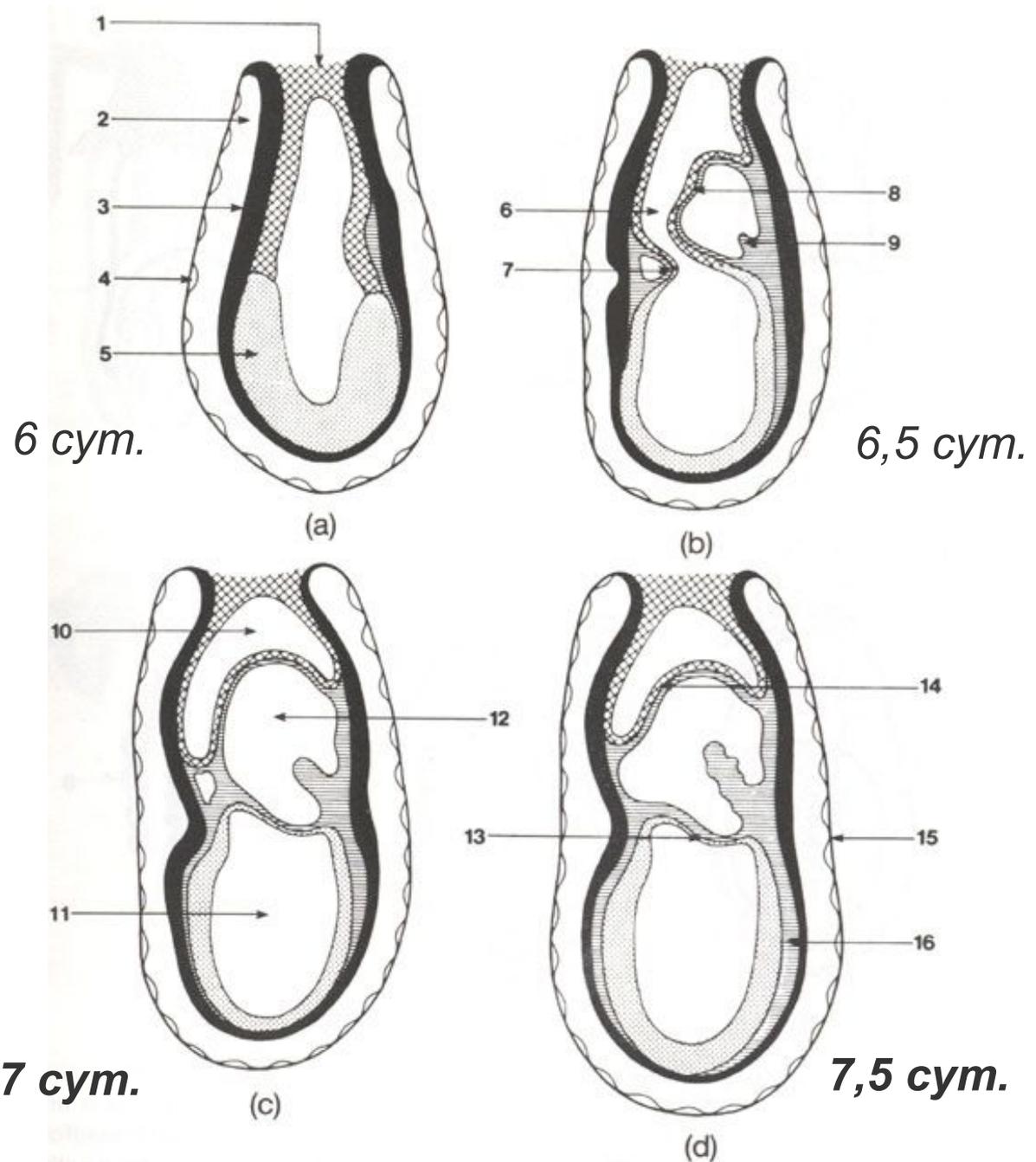


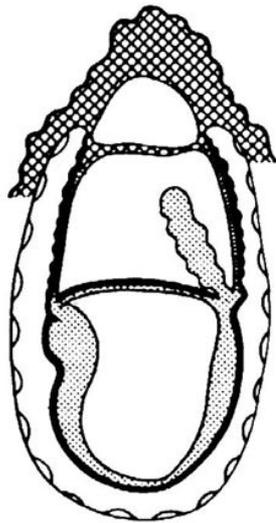
Гипобласт

ТЭ (ПГКТ)

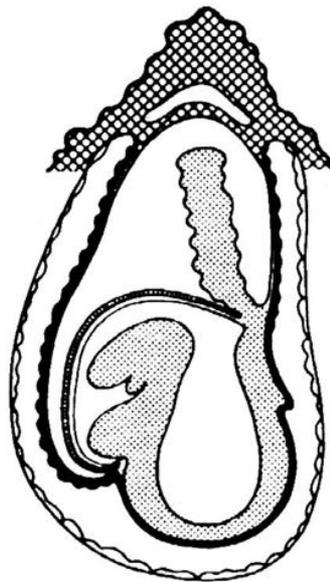


**Схема строения зародышевого цилиндра (эмбрион мыши, сагиттальный план)**

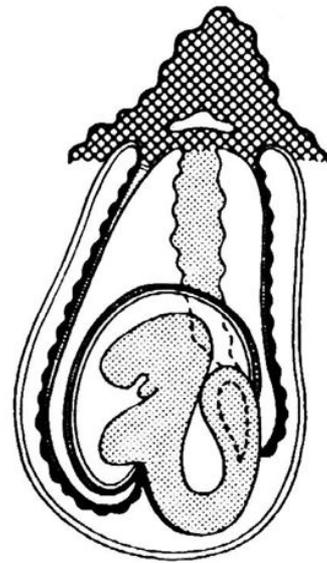




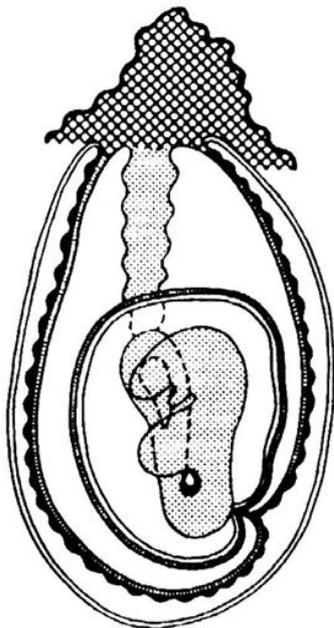
a



b



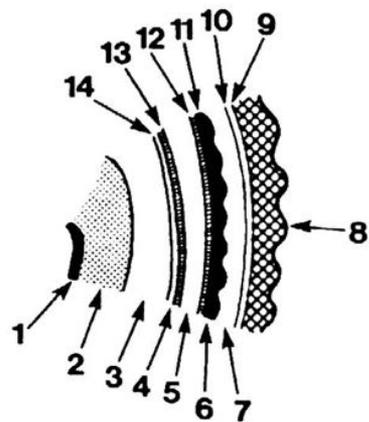
c



d



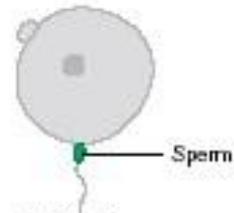
e



f



Unfertilized egg



Fertilization



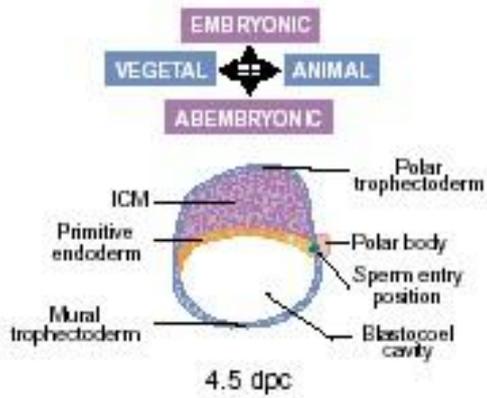
Zygote



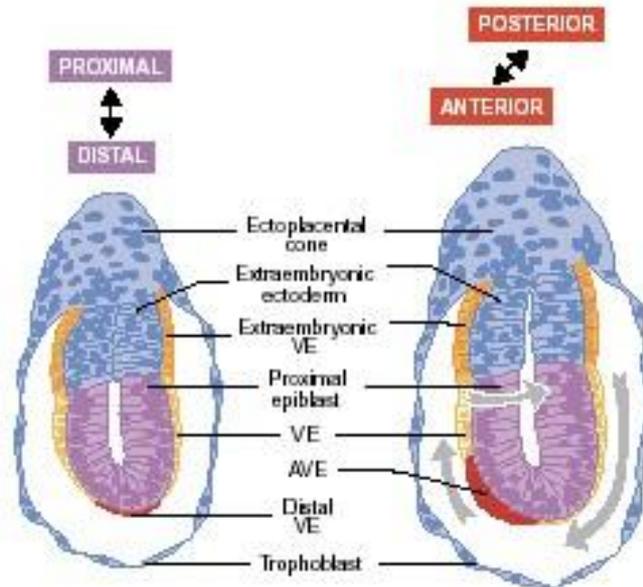
Two-cell embryo



Three-cell embryo

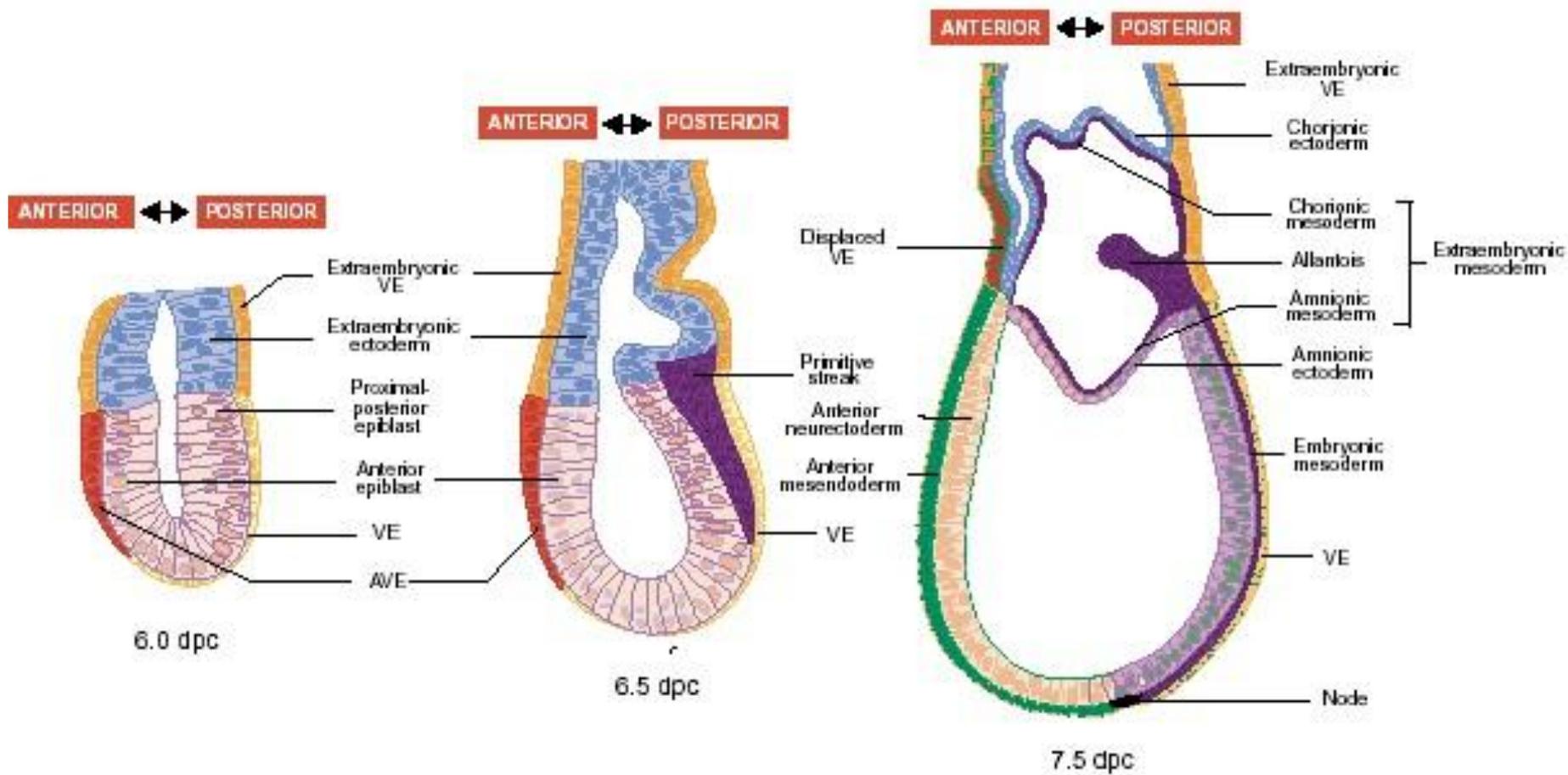


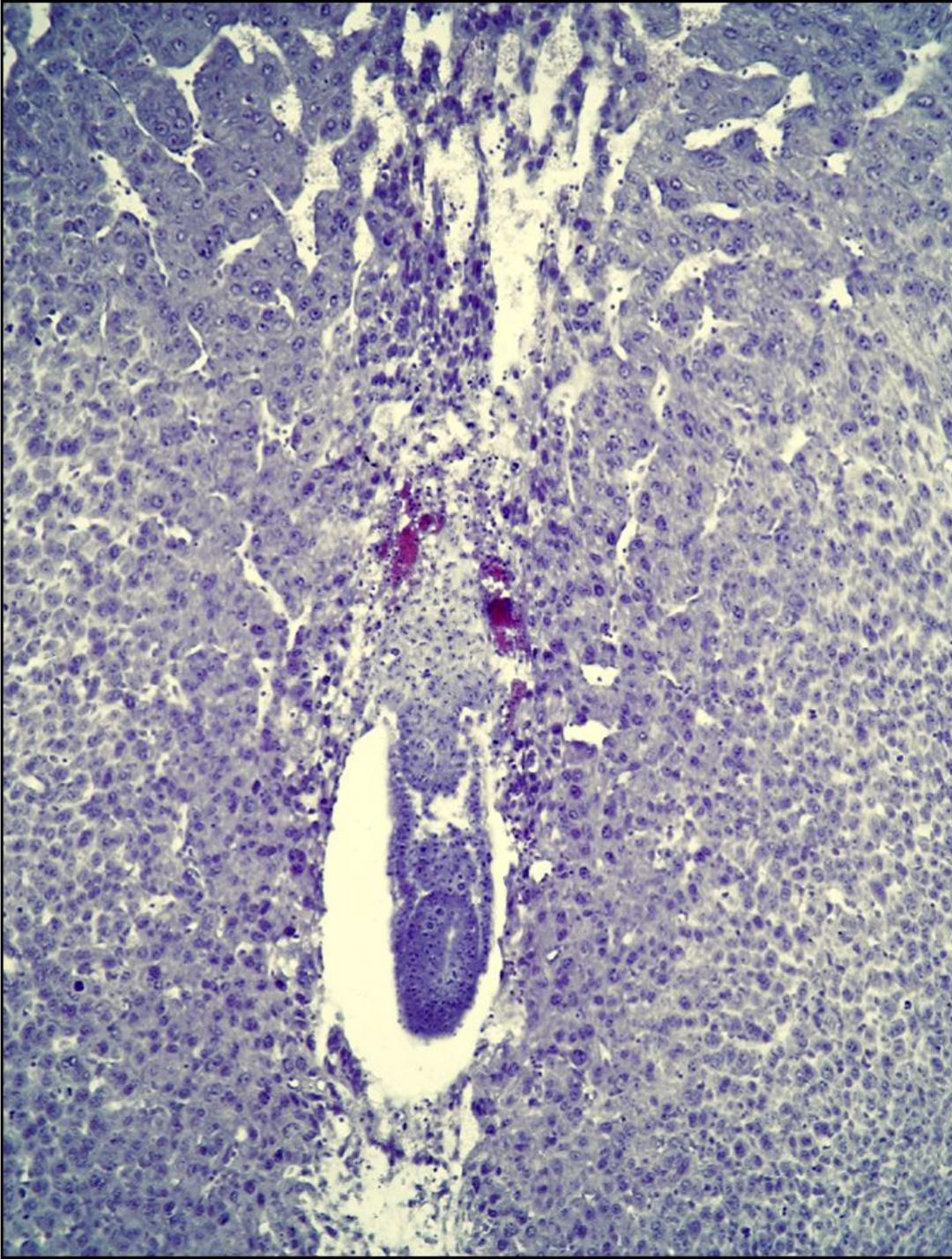
4.5 dpc



5.5 dpc

5.75 dpc





**Зародышевый  
цилиндр,  
6,5 суток**

## **Мышь: амниотические складки и формирование 3 полостей**



**Проамниотическая полость (1)  
и амниотические складки (2)**



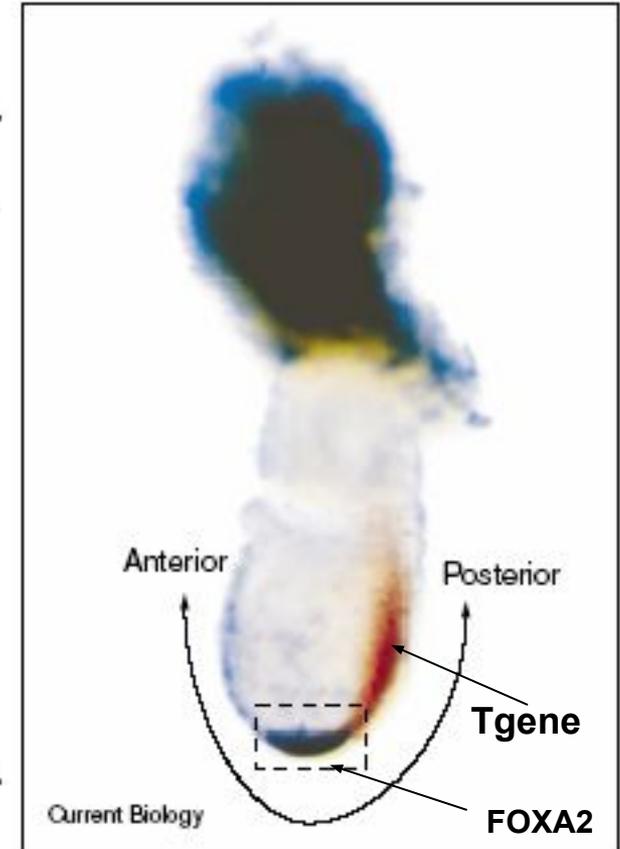
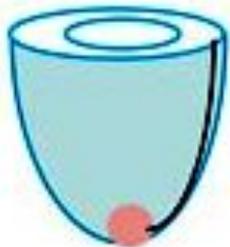
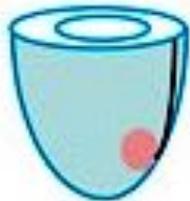
**Амниотическая полость (1)  
Экзоцелом (2)  
Эктоплацентарная полость (3)**

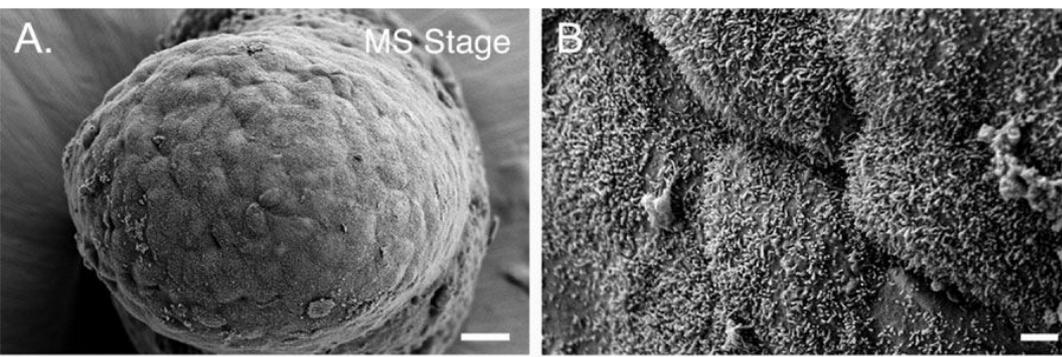
# Начало гаструляции у мыши: формирование первичной полоски и положение ось тела зародыша

C



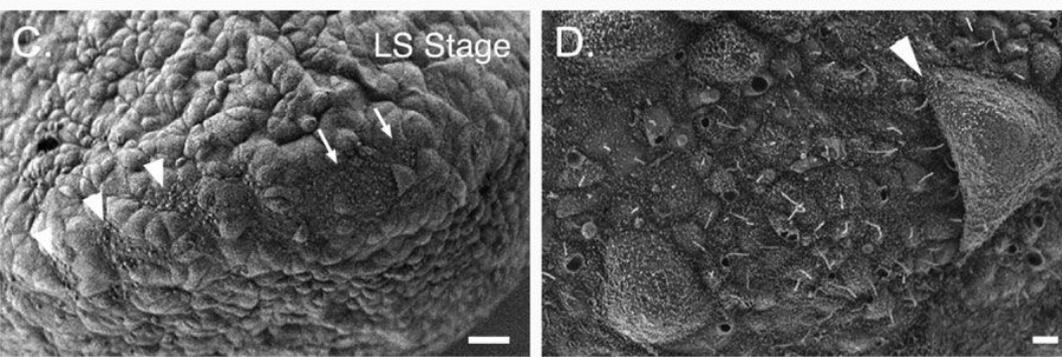
	Gene activity	Cell fates	Axis induction
Early-gastrula organiser	<i>Foxa2</i> <i>Gsc</i> <i>Lhx1</i>	Prechordal mesoderm Anterior notochord (part) Cranial mesoderm	Incomplete axis with no anterior neural feature
Mid-gastrula organiser	<i>Foxa2</i> <i>Gsc</i> <i>Chrd</i> <i>Nog</i> <i>T</i>	Anterior axial mesendoderm Trunk notochord (part) Foregut endoderm	Complete axis
Node	<i>Foxa2</i> <i>Chrd</i> <i>Nog</i> <i>Shh</i> <i>T</i>	Trunk notochord Gut endoderm	Trunk only



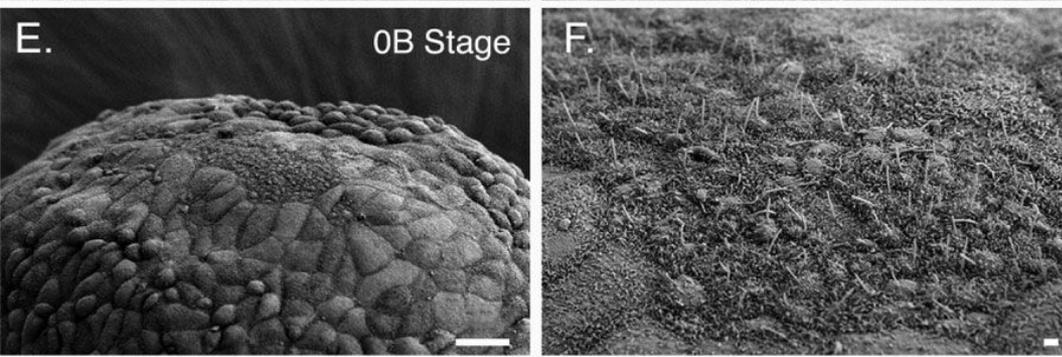


Scanning electron micrographs (SEM) of the stages of node morphogenesis. All panels show ventral views of the distal tip of the embryo, the position of the node. Anterior is to the left.

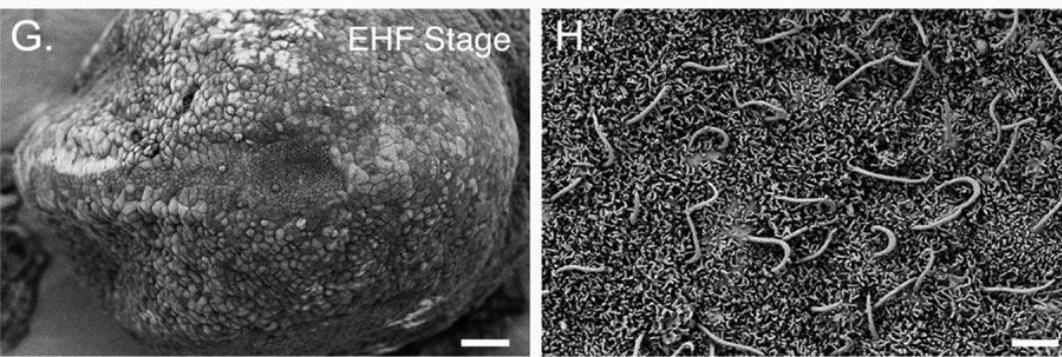
A,B: MS (mid-streak, e7.25) stage. Visceral endoderm covers distal region of the embryo.



C,D: LS stage (e7.5). Clusters of cells with small apical surfaces and cilia begin to appear in groups near the presumptive node (arrows, C) and the axial midline (arrowheads, C). Some endoderm cells lie over the node field (arrowhead, D). Most cilia are located in the center of node cells at this stage.



E,F: OB stage (e7.5– e7.75). The node region is free of overlying endoderm but has not adopted a concave shape. Cilia are longer and continue to project outward.



G,H: EHF stage (e7.75). The pit of the node is concave; cilia have elongated and project posteriorly. The panel in G is a lower magnification view of the embryo shown in Figure 3A.

These images are from embryos in the C3H/HeJ inbred strain. Scale bars 20  $\mu$ m in A,C,E,G, 2  $\mu$ m in B,D,F,H.

MS stage  
(midgastrula)



LS stage  
(late gastrula)

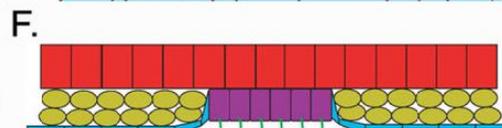
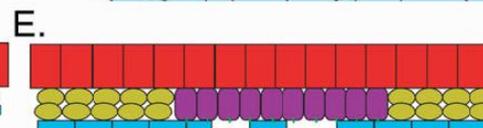
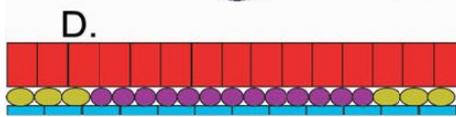
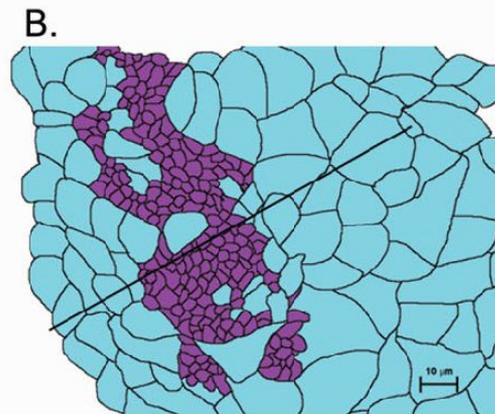
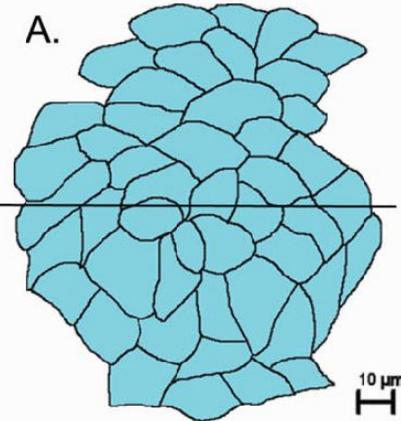
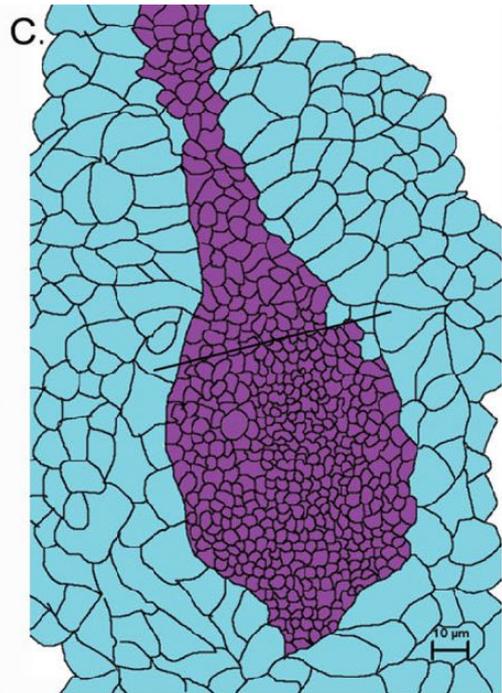
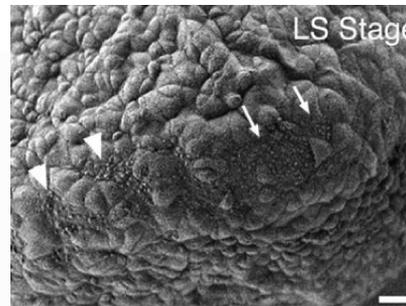
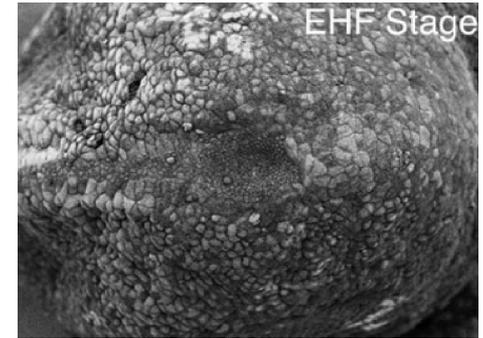


EHF stage  
(early headfold).

## Формирование узелка (Node) – последовательные стадии

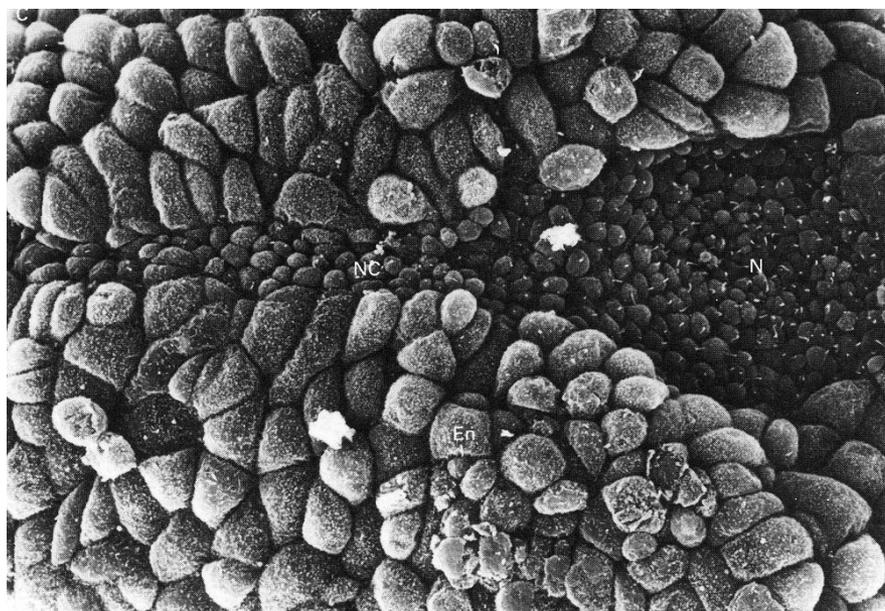
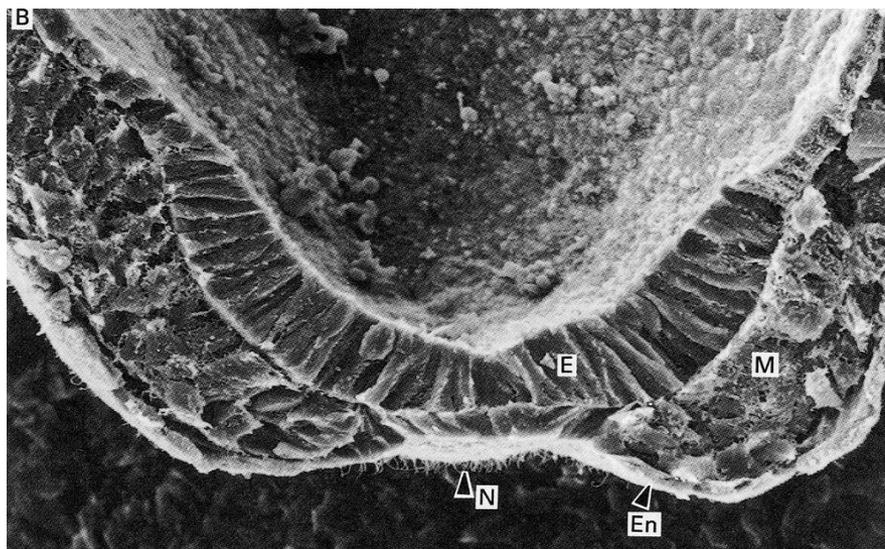
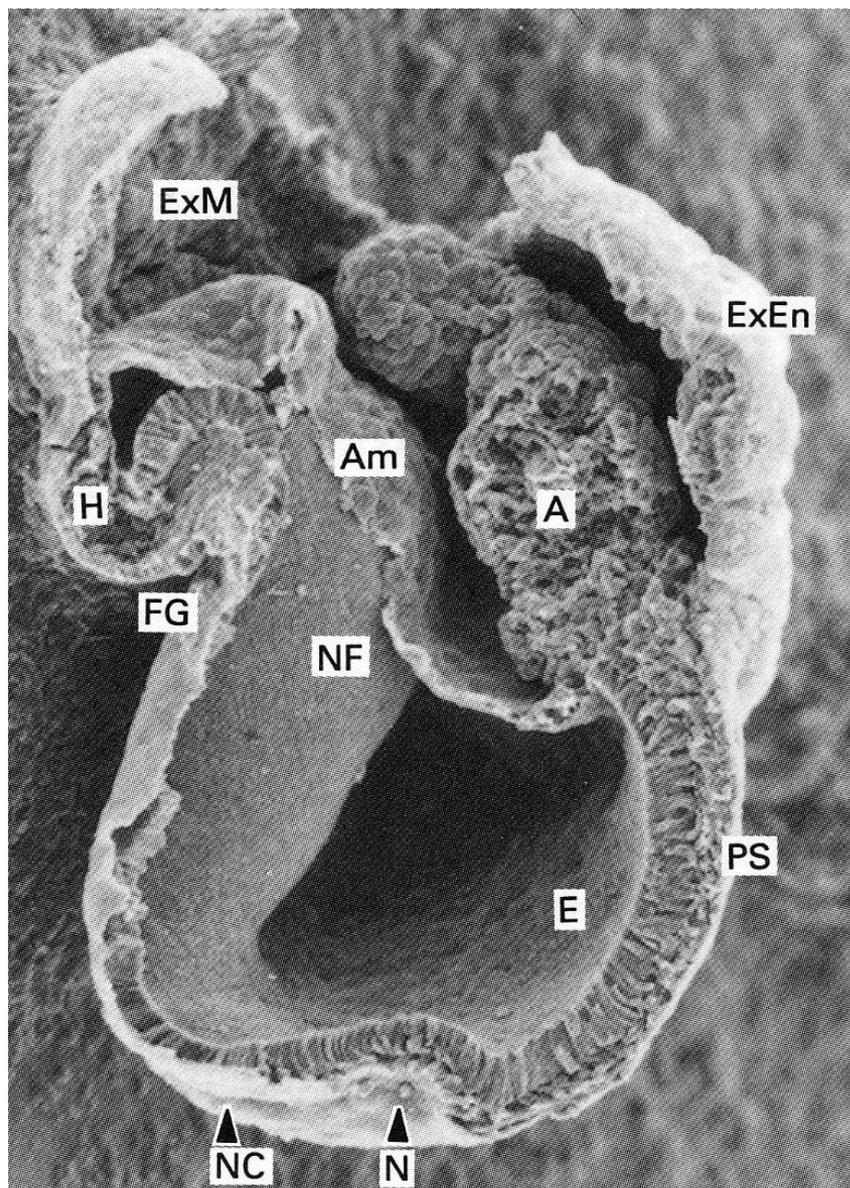
Обнажившиеся на вентральной стороне клетки узелка эпителизируются и формируют реснички на впикальной (внешней) поверхности;

Куда деваются энтодермальные клетки, не очень понятно: мигрируют в латеральном направлении? не пролиферируют? гибнут?

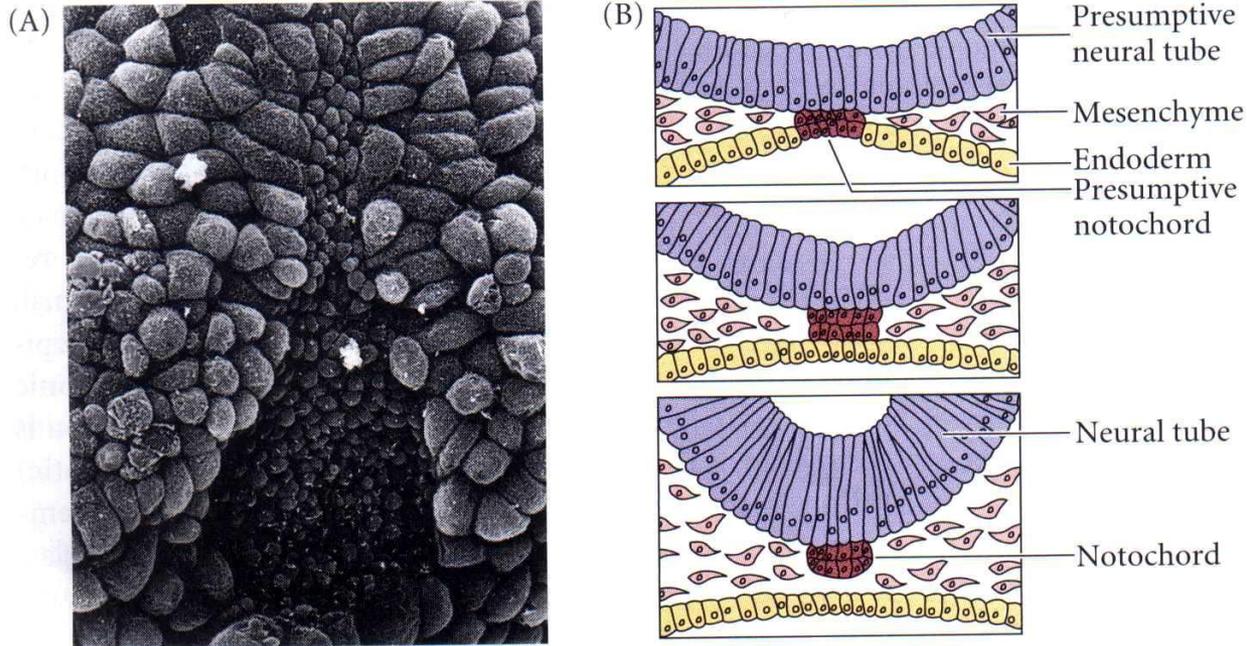


endoderm,  
ventral node,  
notochordal  
plate,  
paraxial  
mesoderm,  
epiblast.

*Гастрюляция у мыши: первичная полоска и зародышевый узелок (node)*



# Нотохорд эмбриона мыши

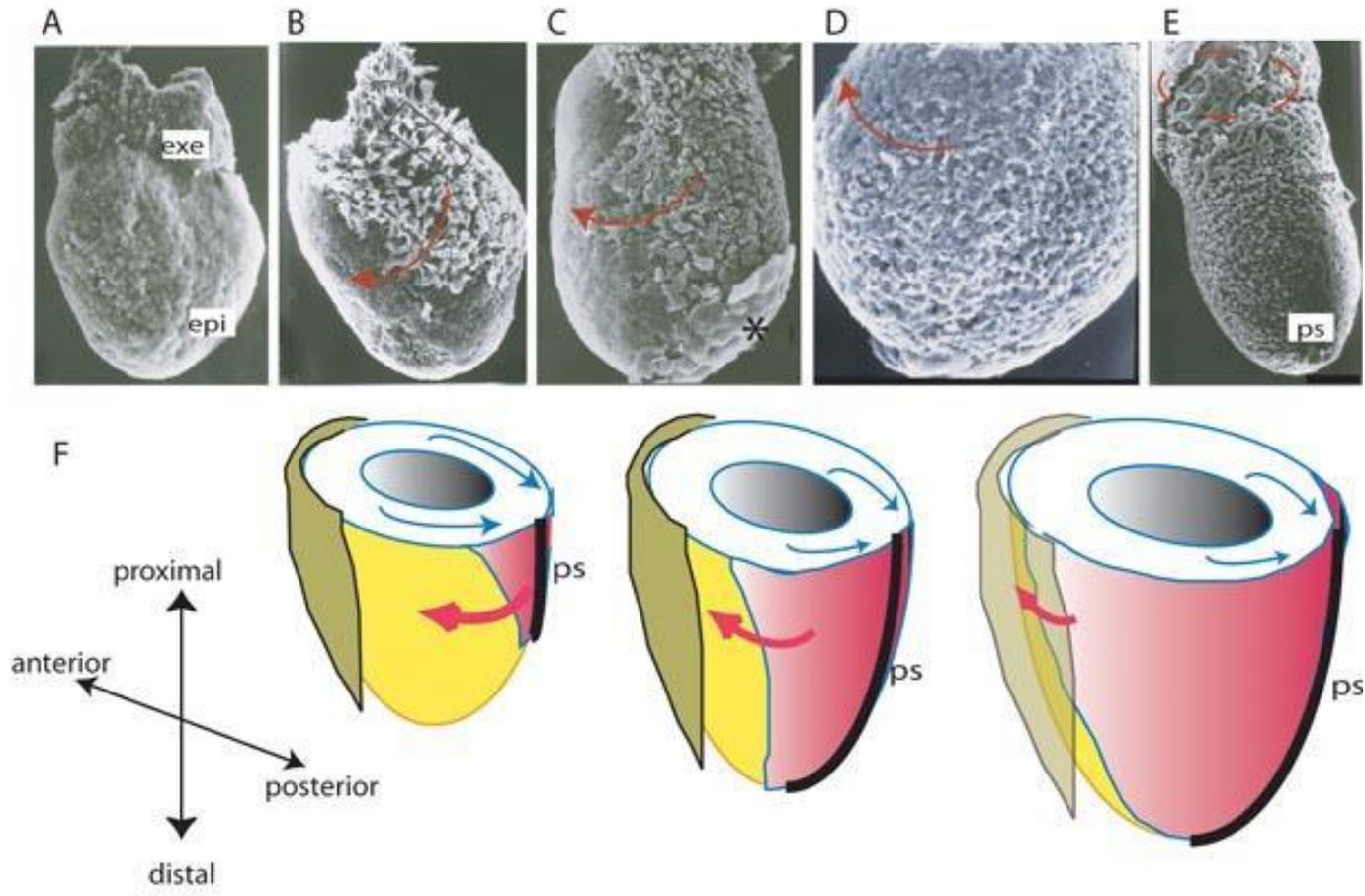


**Figure 11.29**

Formation of the notochord in the mouse. (A) The ventral surface of the 7.5-day mouse embryo, seen by scanning electron microscopy. The presumptive notochord cells are the small, ciliated cells in the midline that are flanked by the larger endodermal cells of the primitive gut. The node (with its ciliated cells) is seen at the bottom. (B) The formation of the notochord by the dorsal infolding of the small, ciliated cells. (From Sulik et al. 1994; photograph courtesy of K. Sulik and G. C. Schoenwolf.)

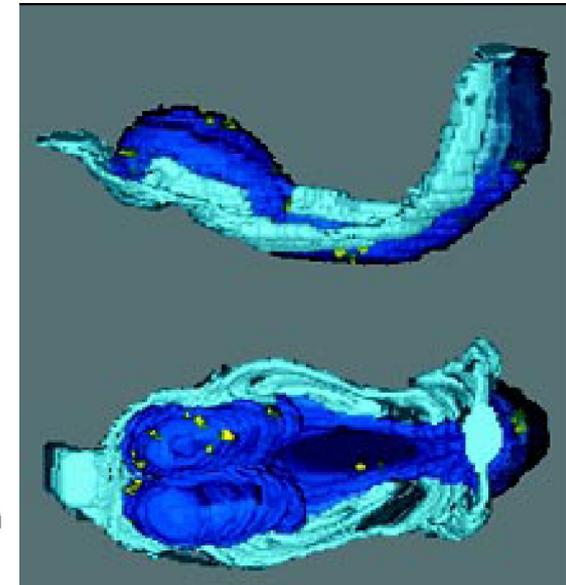
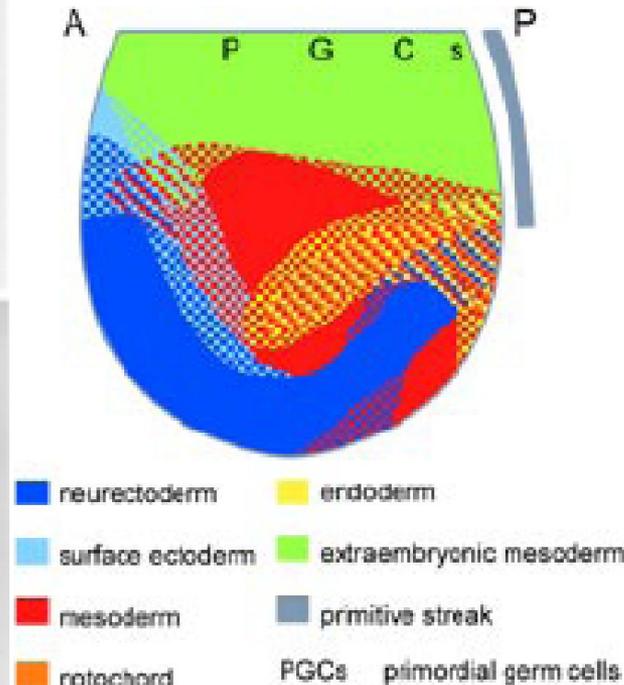
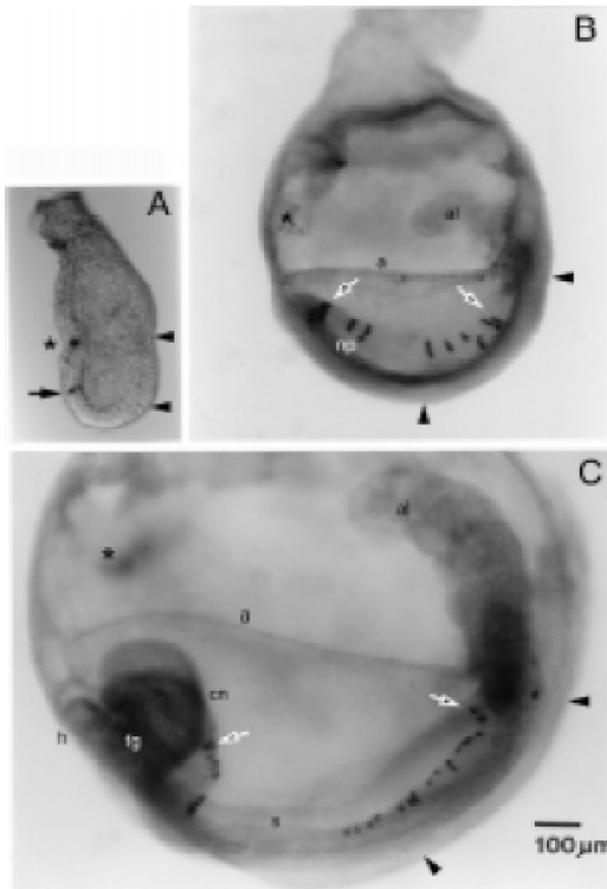
Формирующийся нотохорд у эмбриона мыши образует единый слой с энтодермой первичной кишки и контактирует с дном нервной трубки

# Зародышевый цилиндр (мышь): формирование латеральной мезодермы



© Patrick P.L. Tam and Jacqueline M. Gad  
From *Gastrulation: From Cells to Embryo*  
© 2004 Cold Spring Harbor Laboratory Press  
Chapter 16, Figure 3

## Карта презумптивных зачатков эмбриона мыши 6.5 сут. развития



Результат большого числа таких экспериментов:

Карта презумптивных зачатков для эмбриобласта эмбриона 6,5 сут.

и

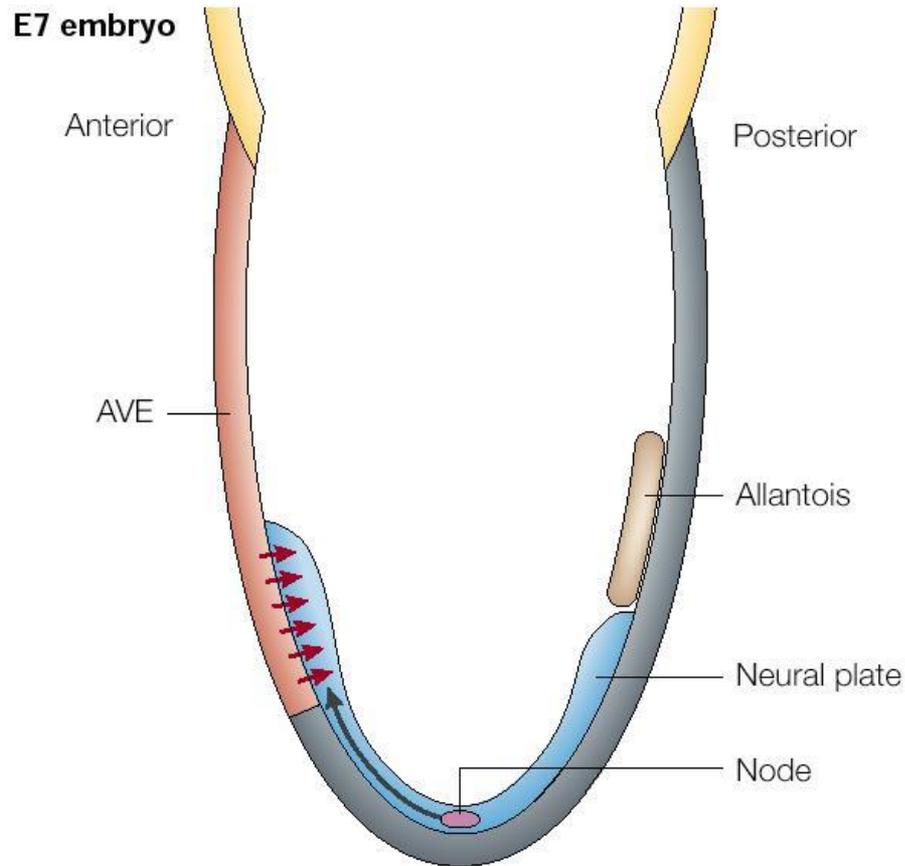
Компьютерная 3D реконструкция распределения потомков меченой клетки на стадии нейроляции

Исследование распространения клеток клона в развивающемся эмбрионе мыши:

**A:** В одну клетку эпибласта эмбриона мыши 6,5 сут. развития была инъецирована пероксидаза хрена

**B,C:** Потомки такой помеченной клетки через 24 и 40 часов после инъекции

# Ant-Post ось: взаимодействие AVE и node



Участие двух сигнальных центров: узелка (**node**) и антериорной висцеральной энтодермы (**AVE**) в формирование головы и головного мозга млекопитающих.

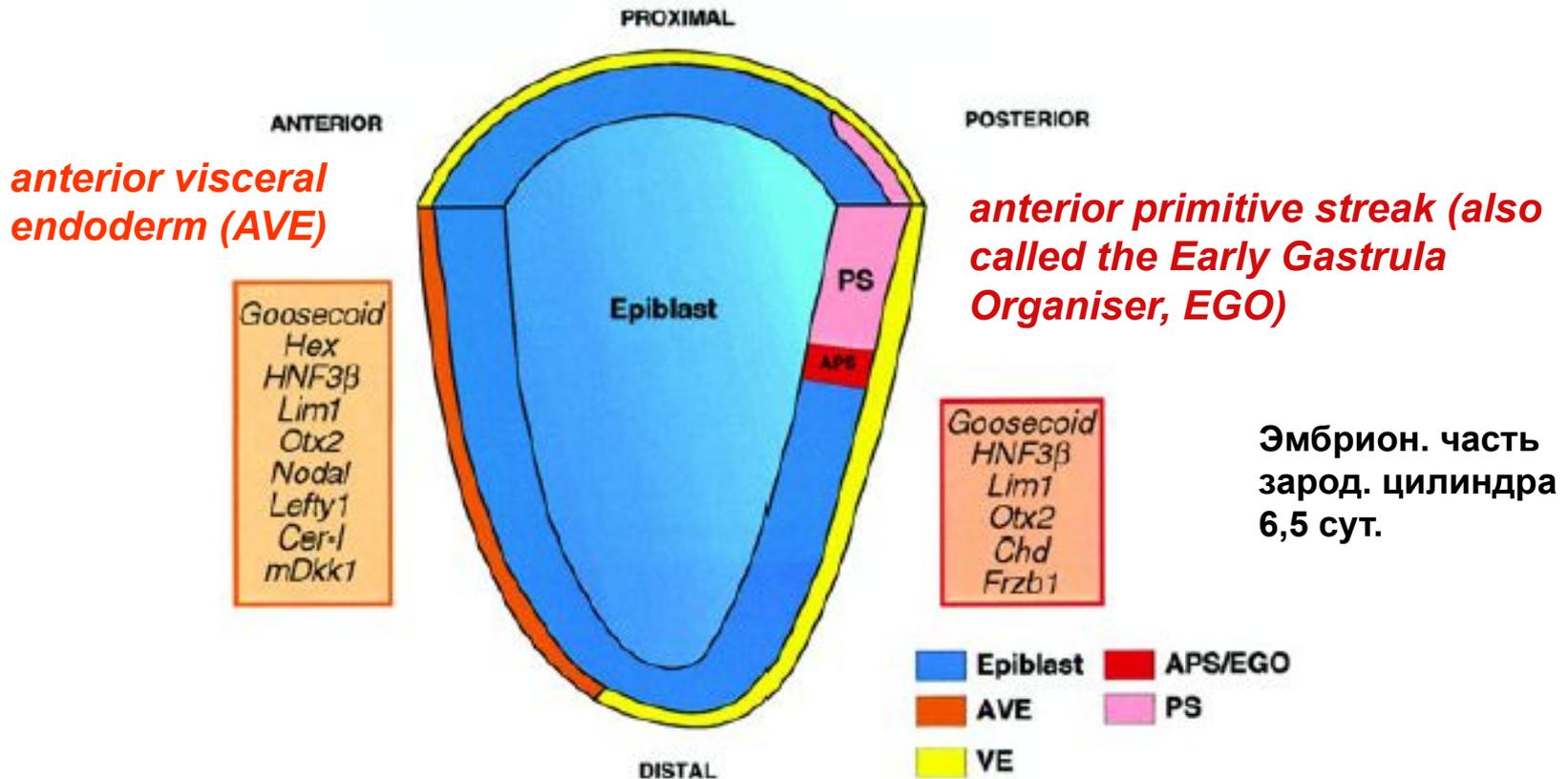
**AVE** экспрессирует гены - *Lim1*, *Otx2*, *Hex*, *Cerberus*, *Dickkopf*.

**Узелок** – гены *Hordin*, *Noggin*

Линия клеток-предшественников AVE выявляется еще на стадии бластоцисты: экспрессия **Lefty-1** в части клеток гипобласта;  
В клетках первичной эктодермы, примыкающих к презумптивной AVE – экспрессия **Cer-1**

# Формирование антериальных (головных) структур

зависит от сигналов, посылаемых двумя организующими центрами на стадии ранней гастролы

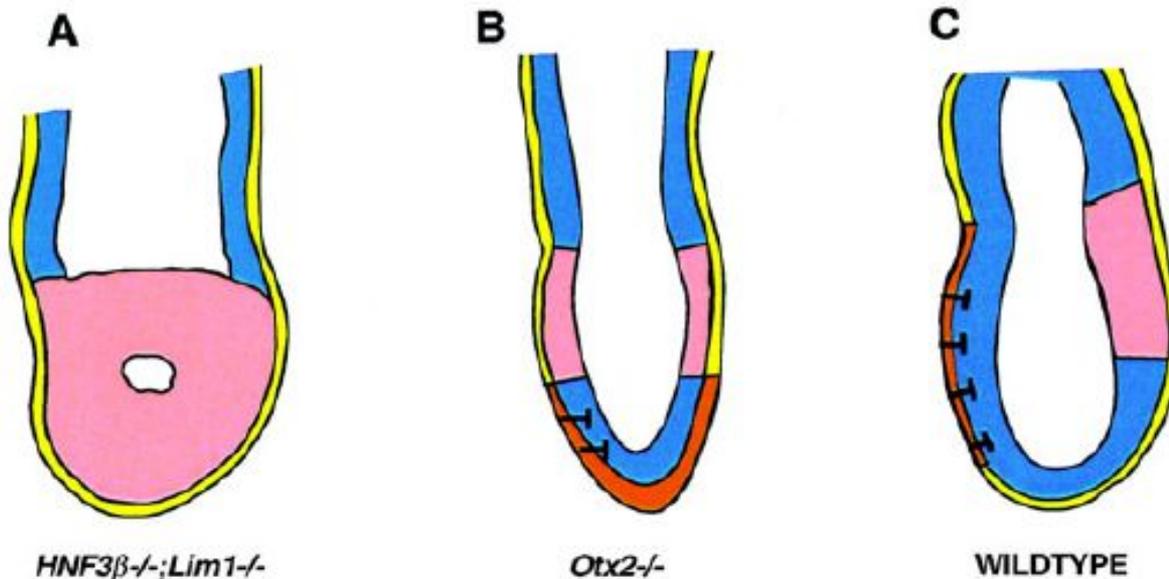


**Зона AVE (оранж. цвет)** подстилает перспективный участок антериальных нейральных структур.

Проксимальная зона постериального эпибласта (**задняя часть первичной полоски (primitive streak (PS) – розовый цвет)** – зона формирования латеральной мезодермы).

Антериальная часть первичной полоски (anterior primitive streak - APS) или организатор ранней гастролы (**early gastrula organiser – EGO, красный цвет на схеме**), имеет набор экспрессируемых генов, характерных для организатора. Часть этих генов экспрессируется и в зоне AVE.

## Нарушения генной экспрессии в клетках висцеральной мезодермы (HNF3 $\beta$ ; Lim1 and Otx2 $^{-/-}$ нокауты) приводят к образованию постериального эпибласта в антериальной области гастролы

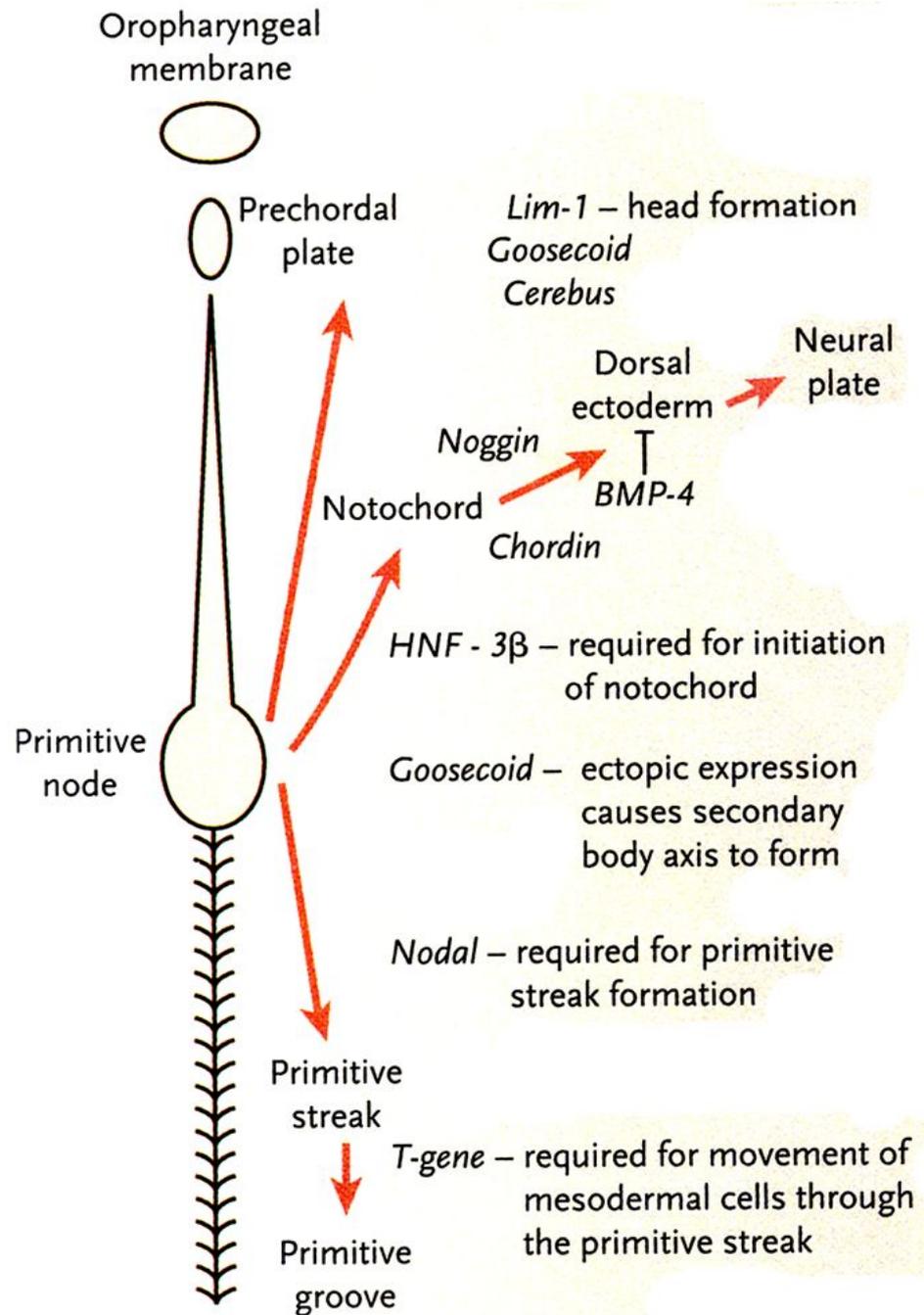
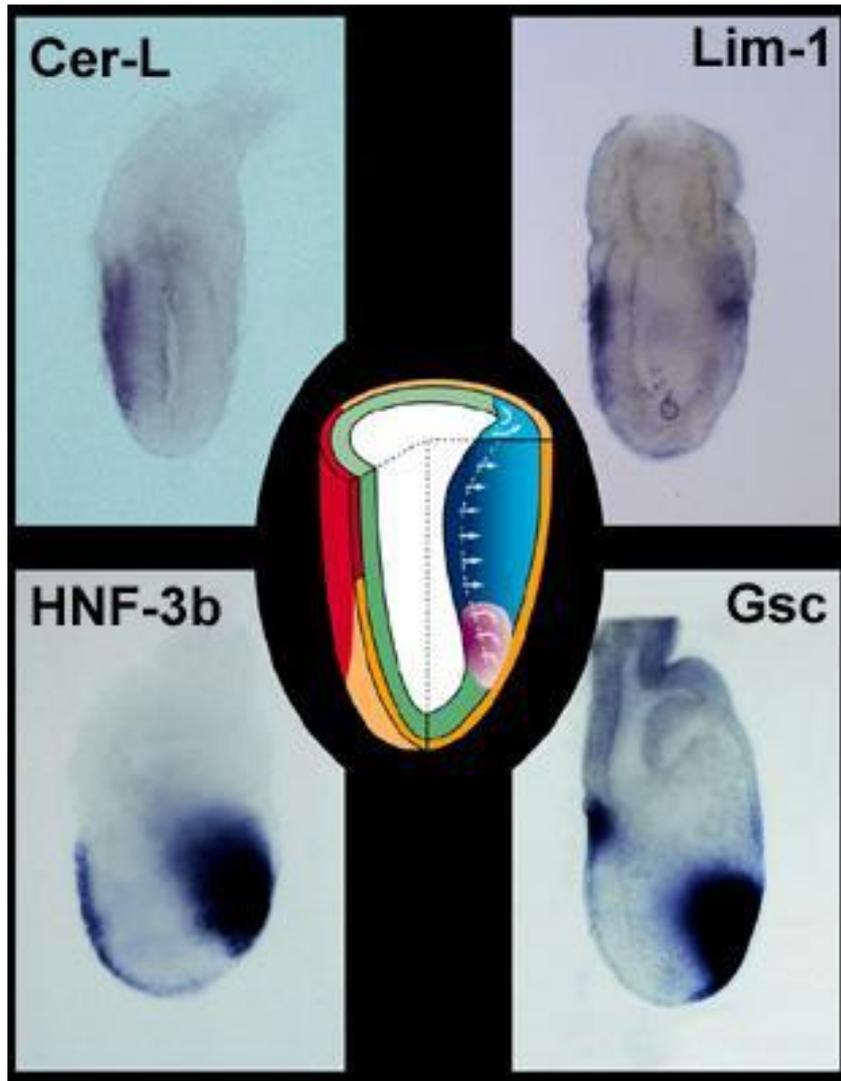


У нокаутов по генам HNF3 $\beta$  и Lim1 отсутствует антериальный эпибласт и вся область эмбриобласта заполнена клетками, имеющими характеристики мезодермы или первичной полоски (розовый цвет)

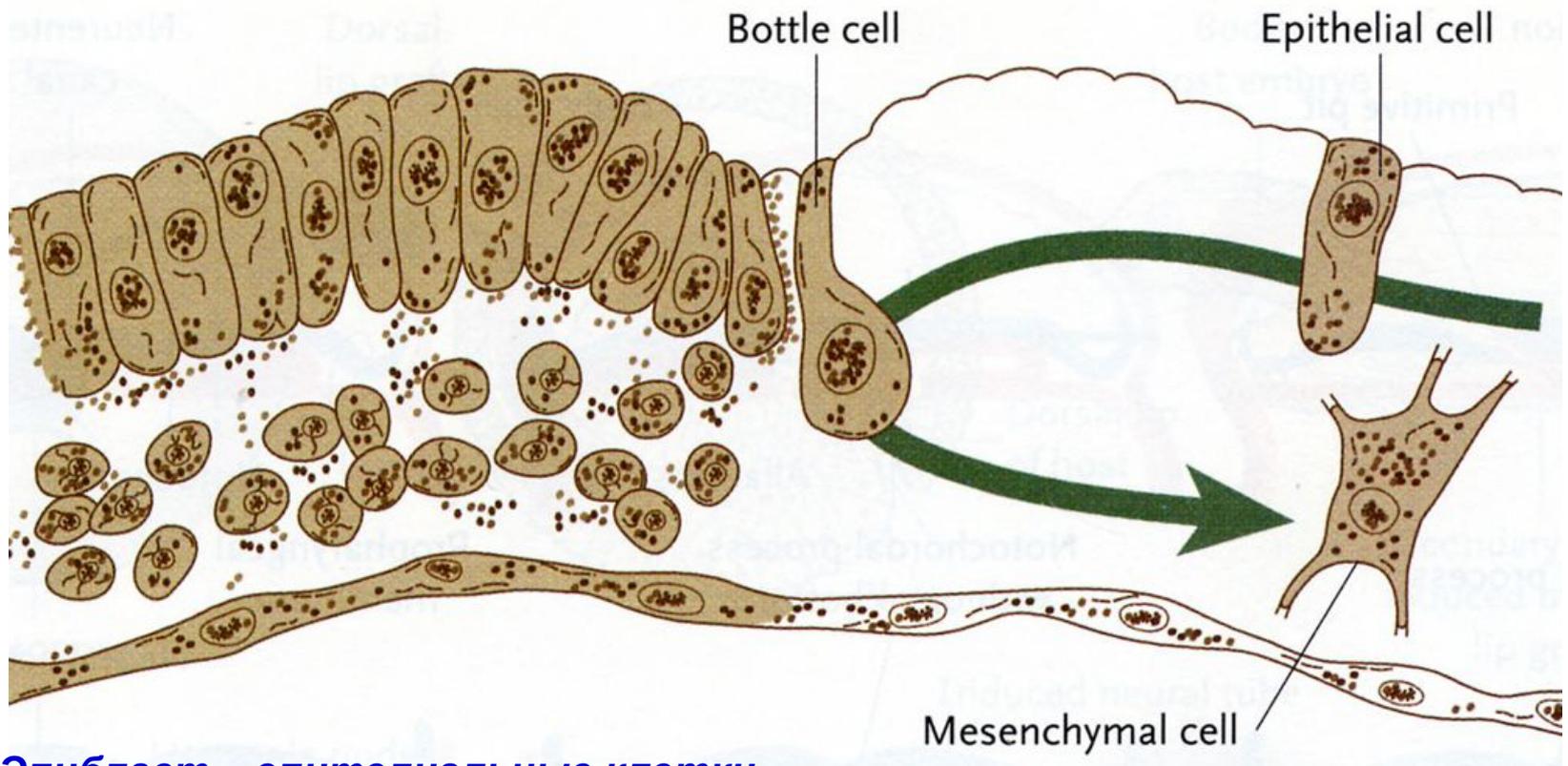
У нокаутов по гену Otx2 $^{-/-}$  зона AVE (оранж.цвет) расположена аномально, на дистальном конце зародышевого цилиндра. В результате в антериальной области ЗЦ не формируются головные структуры

У эмбрионов дикого типа первичная полоска (розовый) формируется в проксимально-постериальной области эпибласта.

Анализ фенотипов мутантных эмбрионов дает возможность предположить, что AVE (антериальная висцеральная энтодерма, показана оранжевым цветом) продуцирует сигнал (черные стрелки), который блокирует образование постериальных структур в антериальной области гастролы мыши)



**Гаструляция: изменение формы презумптивных клеток мезодермы**  
Epithelial-mesenchymal transition (EMT)



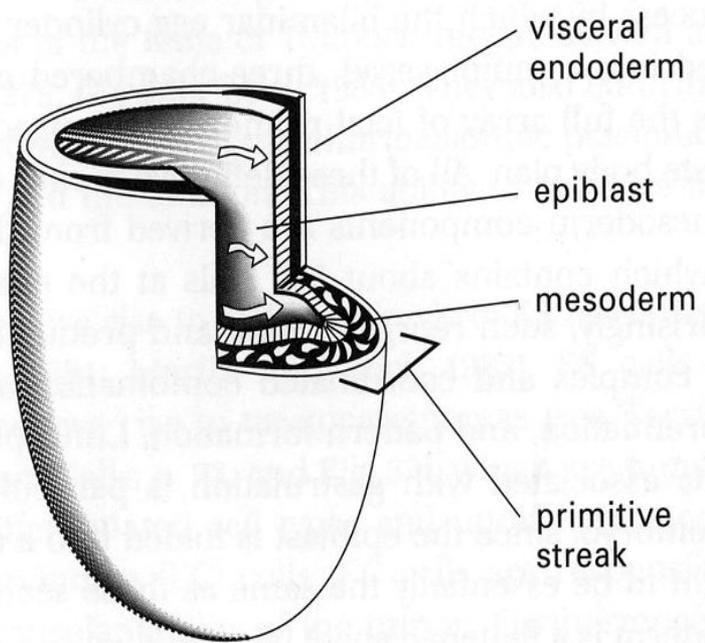
**Эпибласт – эпителиальные клетки**

**Первичная полоска – колбовидные клетки**

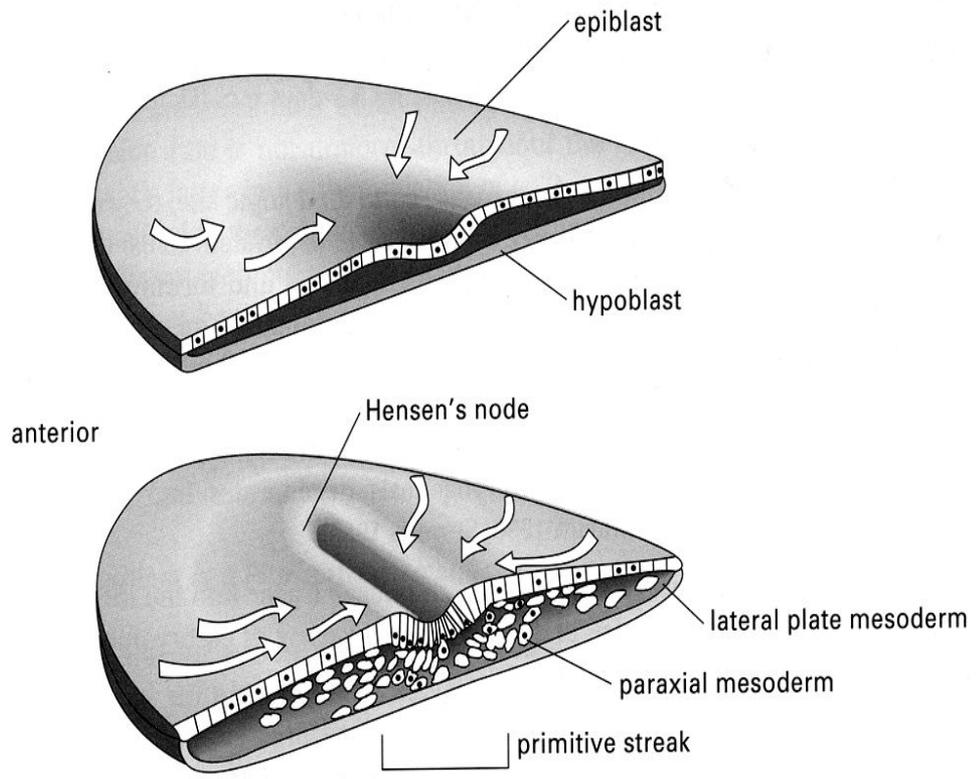
**Мезодерма – мезенхимные клетки**

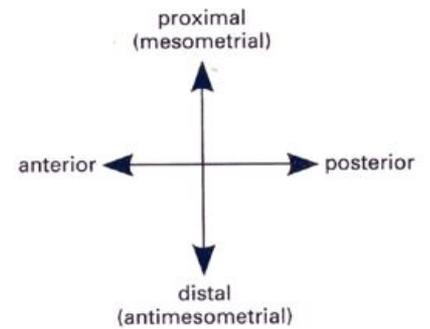
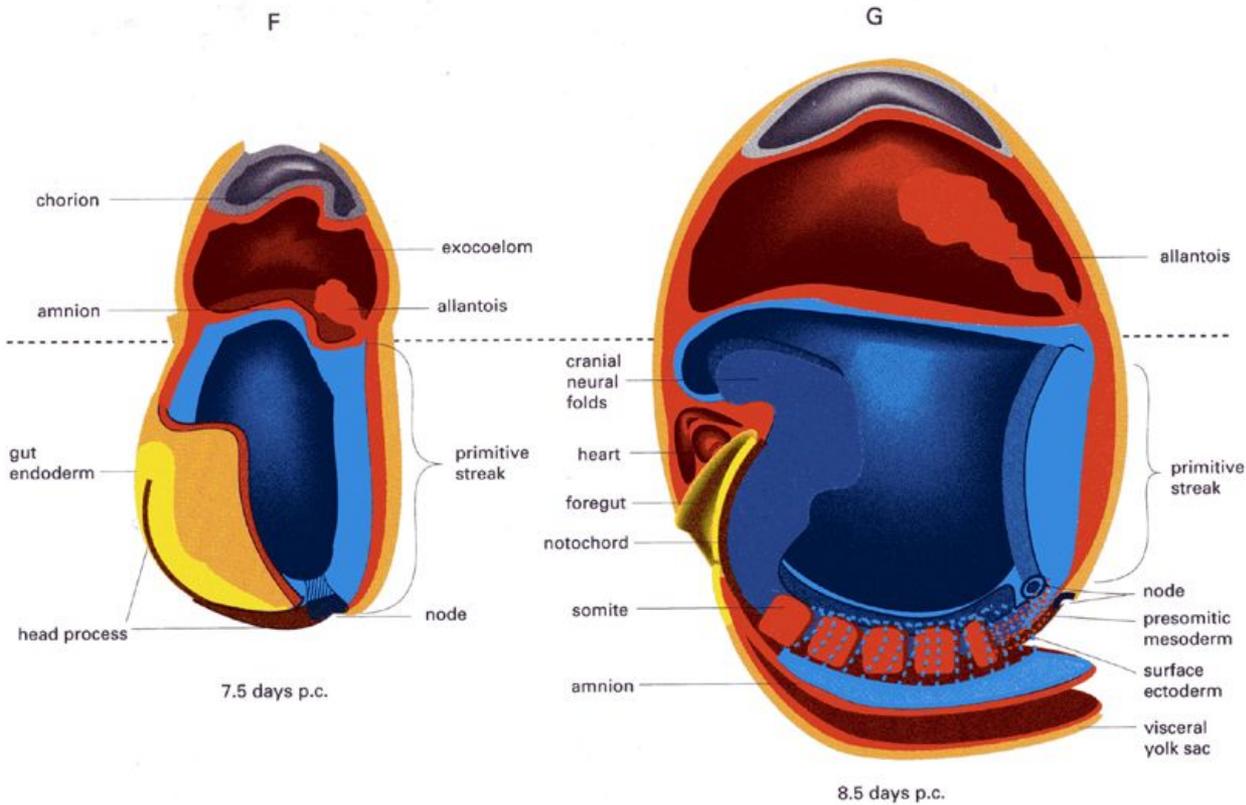
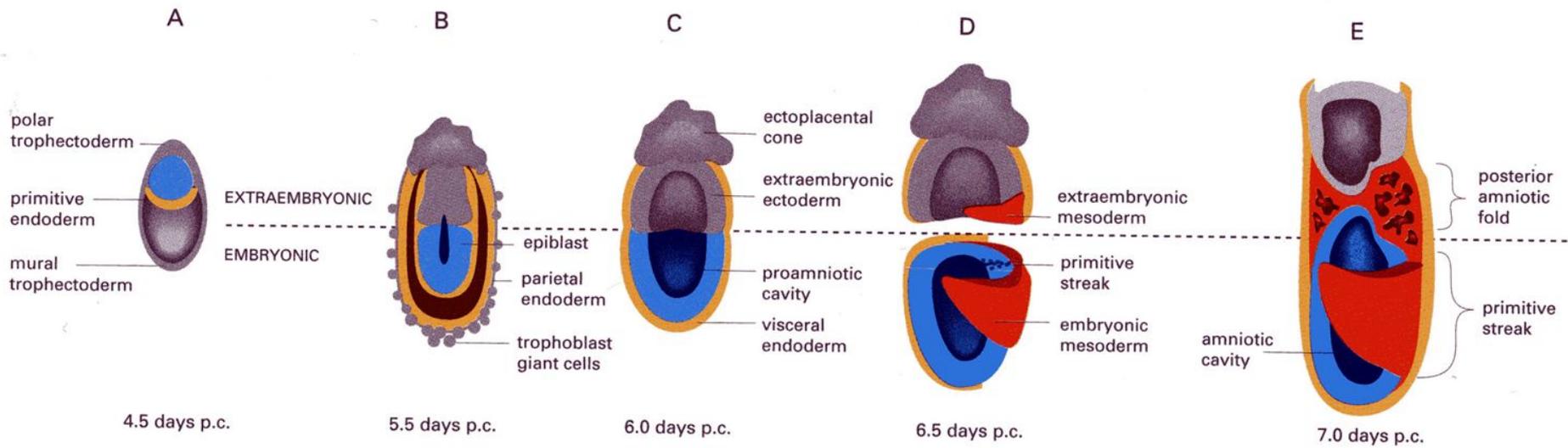
**(впоследствии мезенхимные клетки, составляющие мезодерму могут снова участвовать в формировании эпителия – например при формировании сомитов).**

# Зародышевый цилиндр: мышь

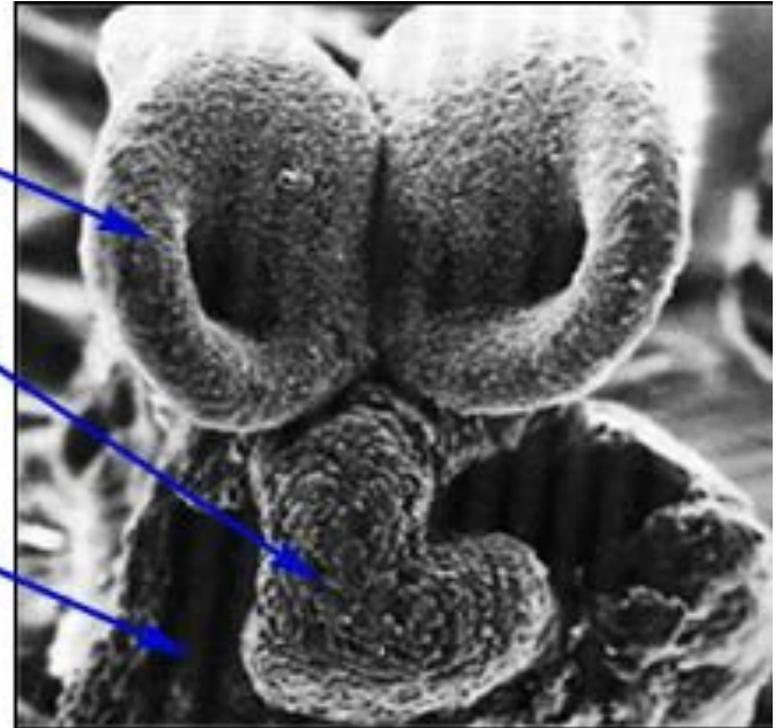
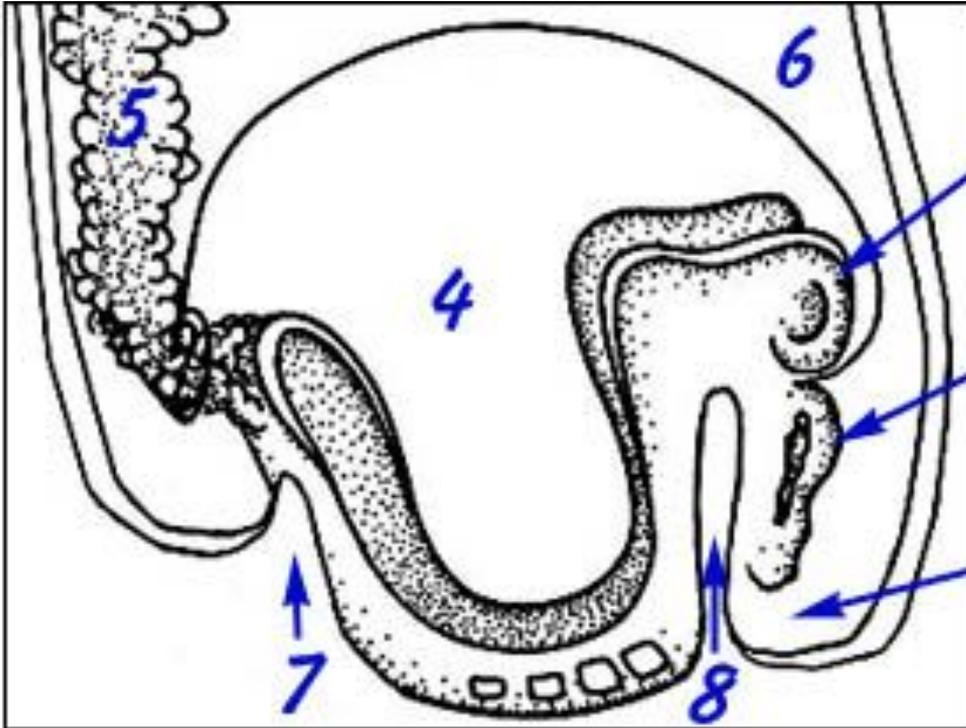


# Зародышевый диск: цыпленок

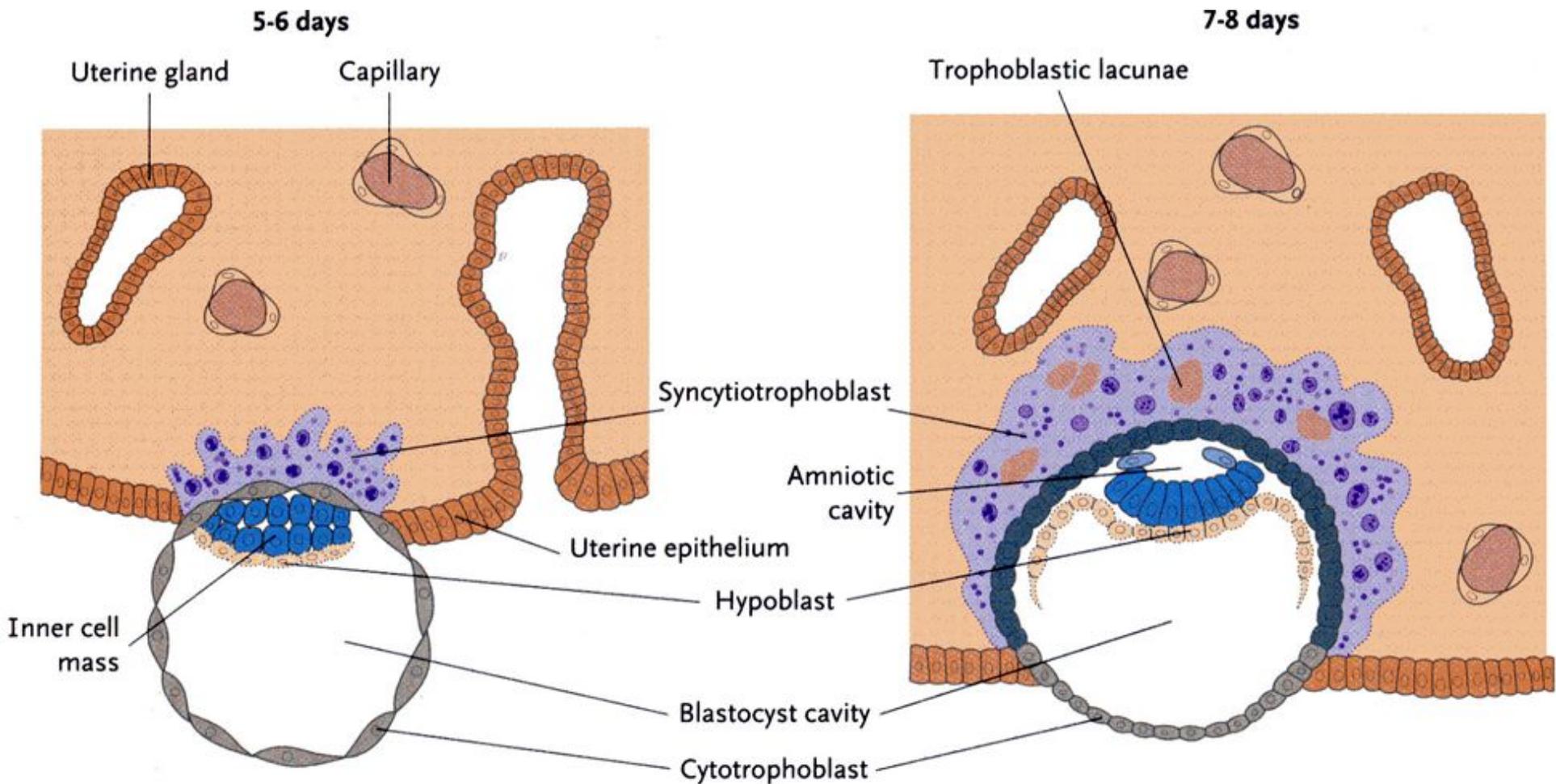




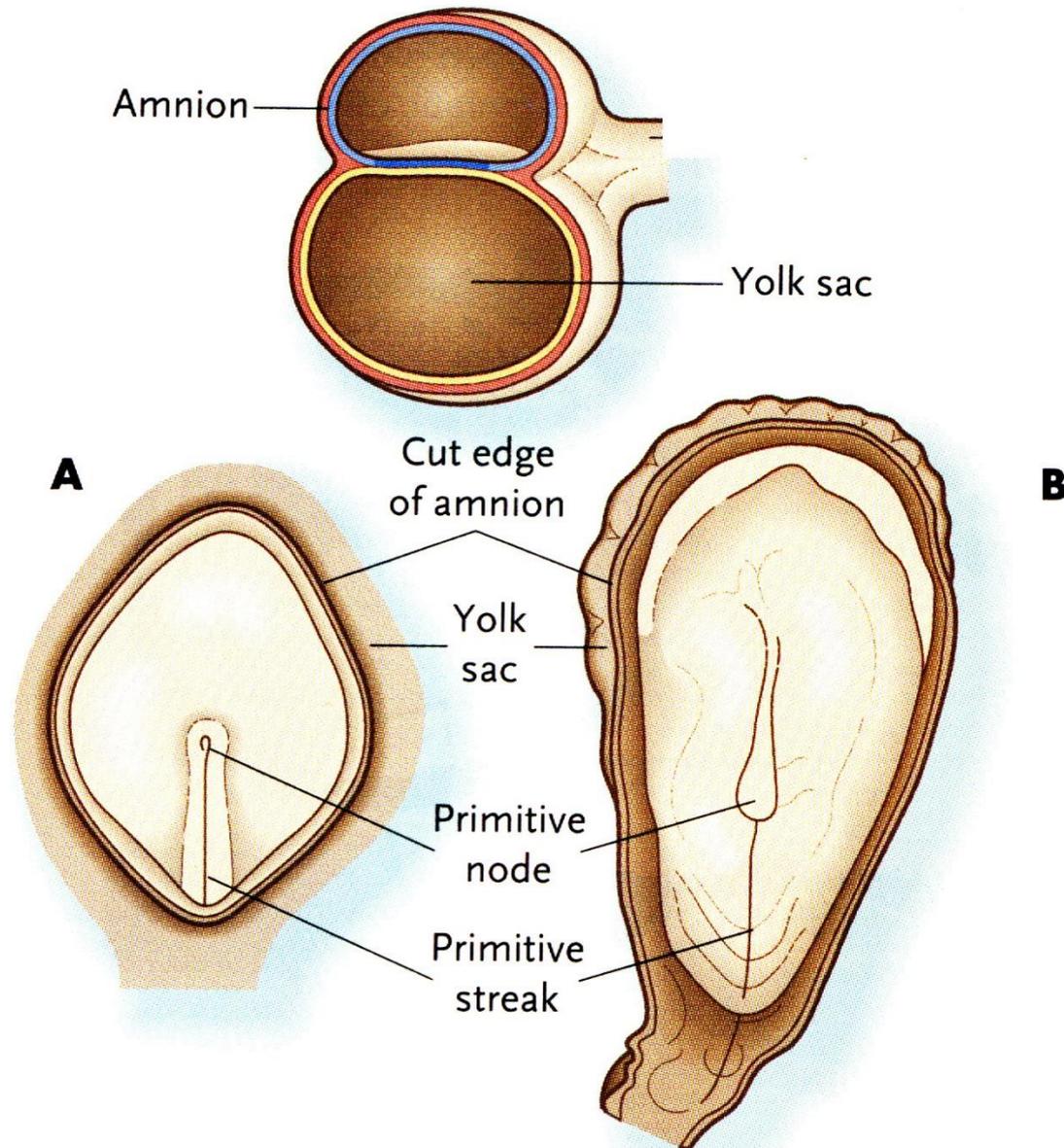
## Эмбрион мыши: 8,5 суток



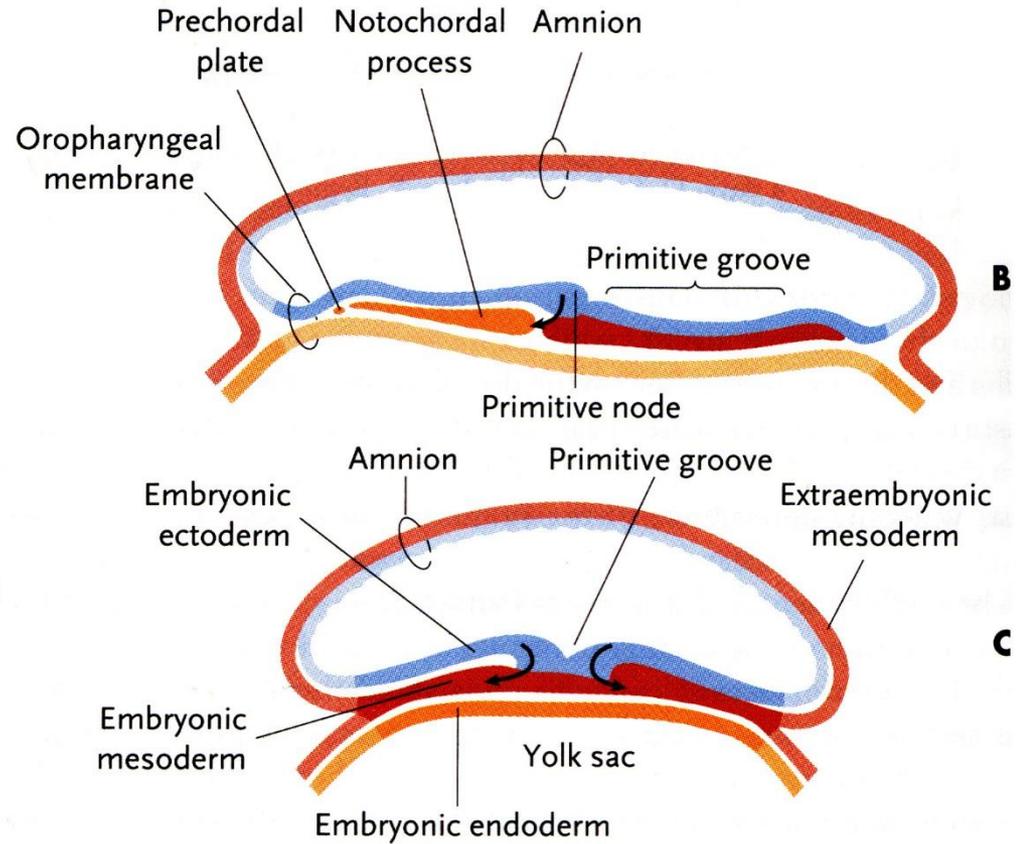
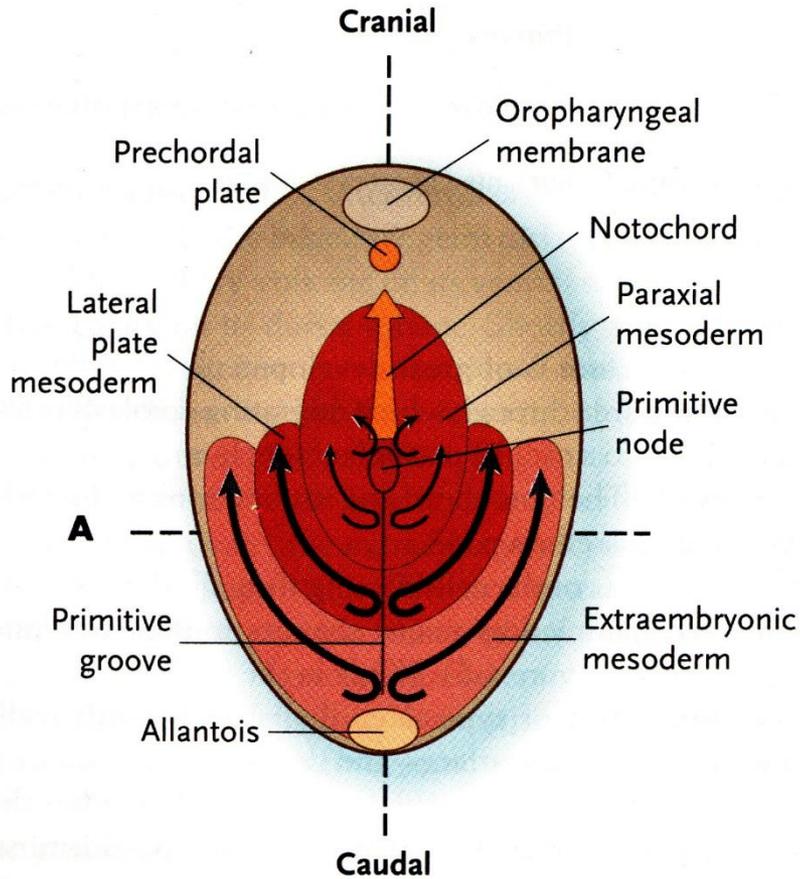
# Имплантация у человека



**Эмбрион человека:  
первый этап гаструляции - формирование первичной полоски**



## Эмбрион человека: Второй этап гаструляции - формирование мезодермы



## Эмбрион человека: нотохорд

