

КАЗАНСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
МЕДИЦИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



2025г.

Тема № 11

Общая эмбриология

лекция

Тяпкина Оксана Викторовна

к.б.н., доцент кафедры
медицинской биологии и генетики
КГМУ

ПЛАН

1. Основные закономерности раннего эмбриогенеза.
2. Основные этапы раннего эмбриогенеза (оплодотворение, дробление, гаструляция, нейруляция) на молекулярном уровне.

Эмбриология (биология развития) — наука, изучающая индивидуальное развитие многоклеточного организма, а также закономерности изменений его морфофункционального состояния на протяжении всего онтогенеза.

Эмбриональный период

В эмбриональном периоде выделяют три основных этапа: **дробление, гаструляцию, инвагинацию, эмиграцию, эпиболию, деляминацию и первичный органогенез.**

Эмбриональный, или зародышевый, период онтогенеза начинается с момента оплодотворения и продолжается до выхода зародыша из яйцевых оболочек.

У большинства позвоночных он включает стадии (фазы): *дробления, гаструляции, гисто- и органогенеза.*

Почти все животные имеют общую универсальную анатомическую схему развития.

Яйцеклетка — гигантскоеместилище материалов — делится, или дробится, и дает начало многочисленным клеткам меньшего размера. Они связываются в одно целое и образуют эпителиальный слой, граничащий с внешней средой. Большая часть этого слоя остается снаружи и составляет **эктодерму** — предшественник эпидермиса и нервной системы. Часть этого слоя втягивается внутрь и формирует **энтодерму** — предшественник кишечника и его придатков, таких как легкие и печень. Еще одна группа клеток

перемещается в пространство между эктодермой и энтодермой и формирует **мезодерму** — предшественник мышц, соединительных тканей и разных других составных частей организма. Такое преобразование простого шара или полой сферы из клеток в структуру с кишкой называют гастрюляцией (от греческого слова, обозначающего живот), и в той или иной форме это почти универсальная особенность развития животного.

Наследственная информация в оплодотворенной яйцеклетке определяет природу всего многоклеточного организма



а) 100 мкм



б) Морской еж



в) 50 мкм



г) Мышь



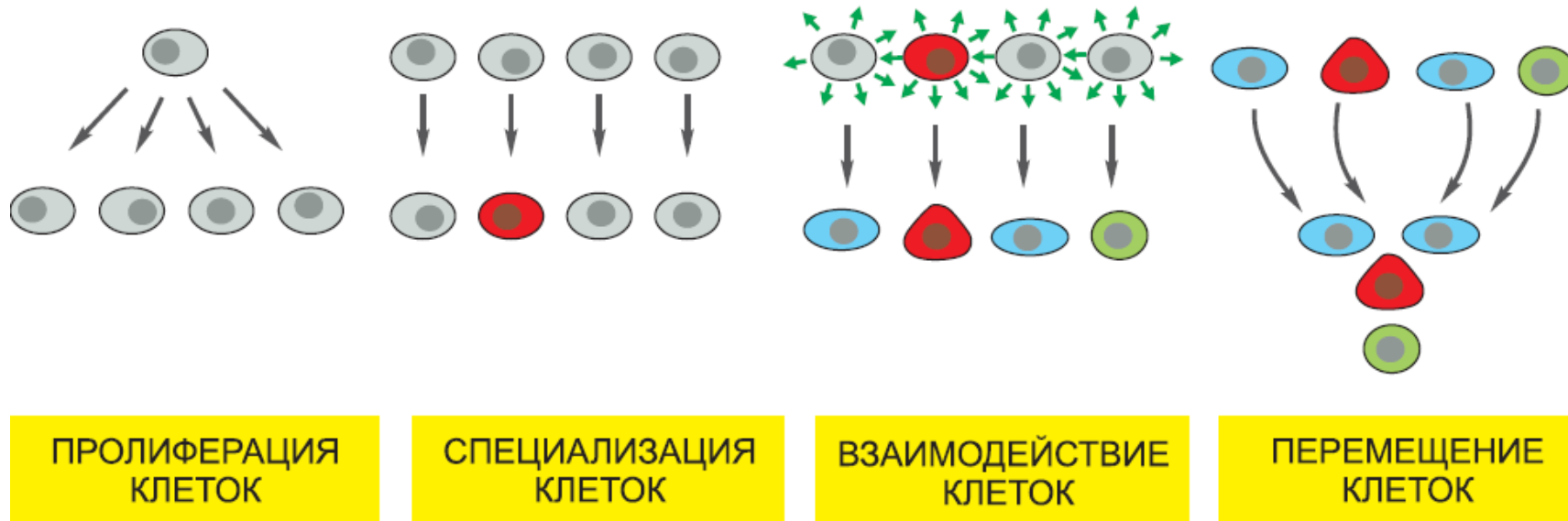
д) 50 мкм



е) Морская водоросль *Fucus*

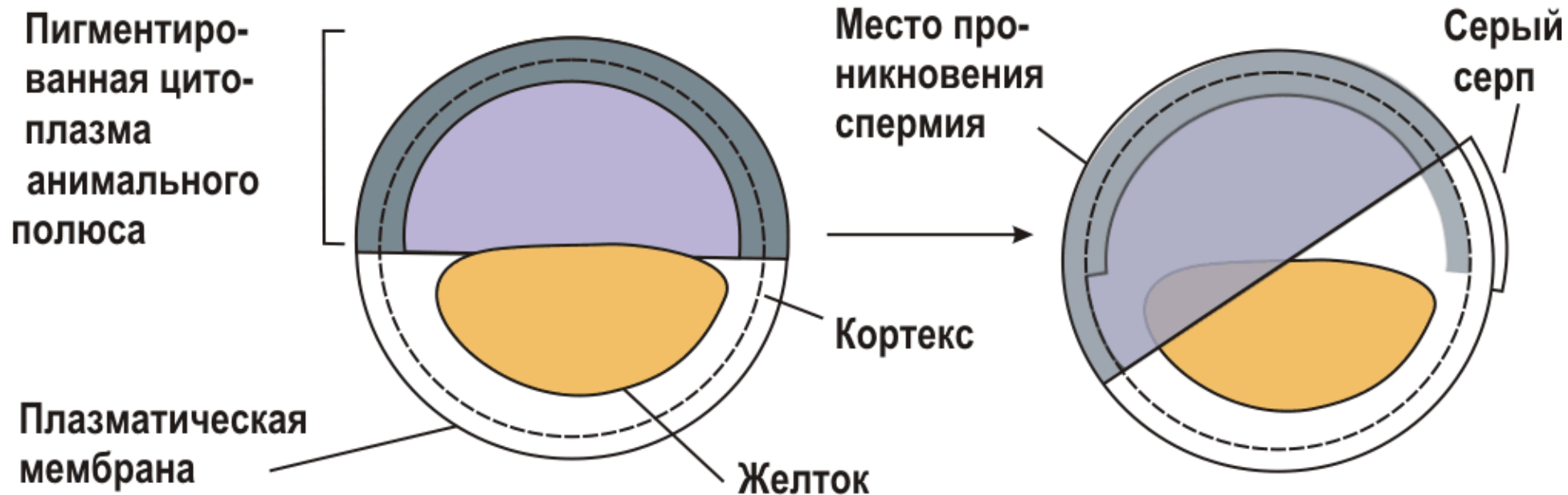
Почти все животные имеют общую
универсальную анатомическую схему
развития.

Почти все животные имеют общую универсальную анатомическую схему развития.



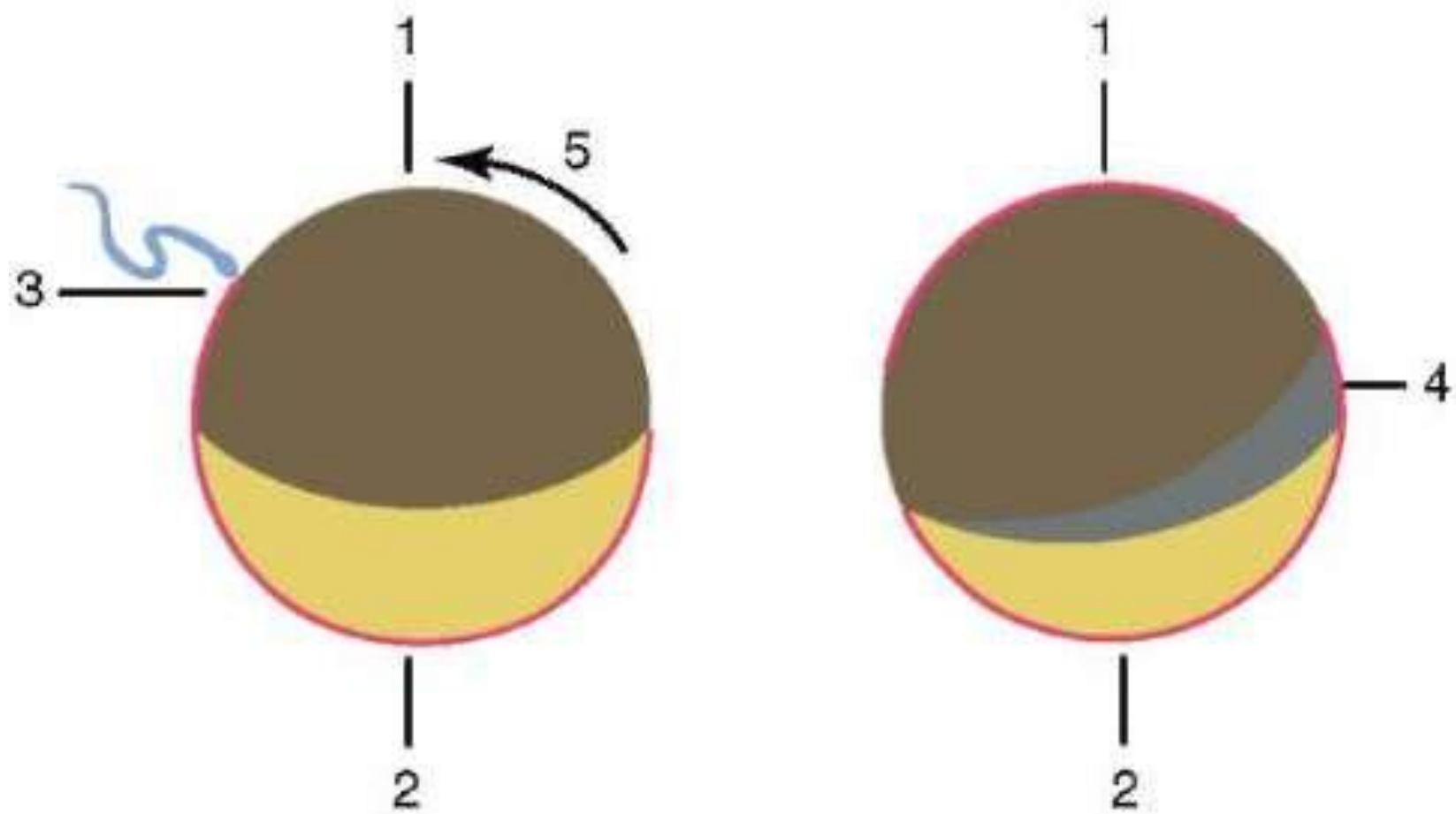
Четыре важнейших процесса, посредством которых формируется многоклеточный организм: разрастание клеток, специализация клеток, взаимодействие клеток и перемещение клеток

АНИМАЛЬНЫЙ ПОЛЮС

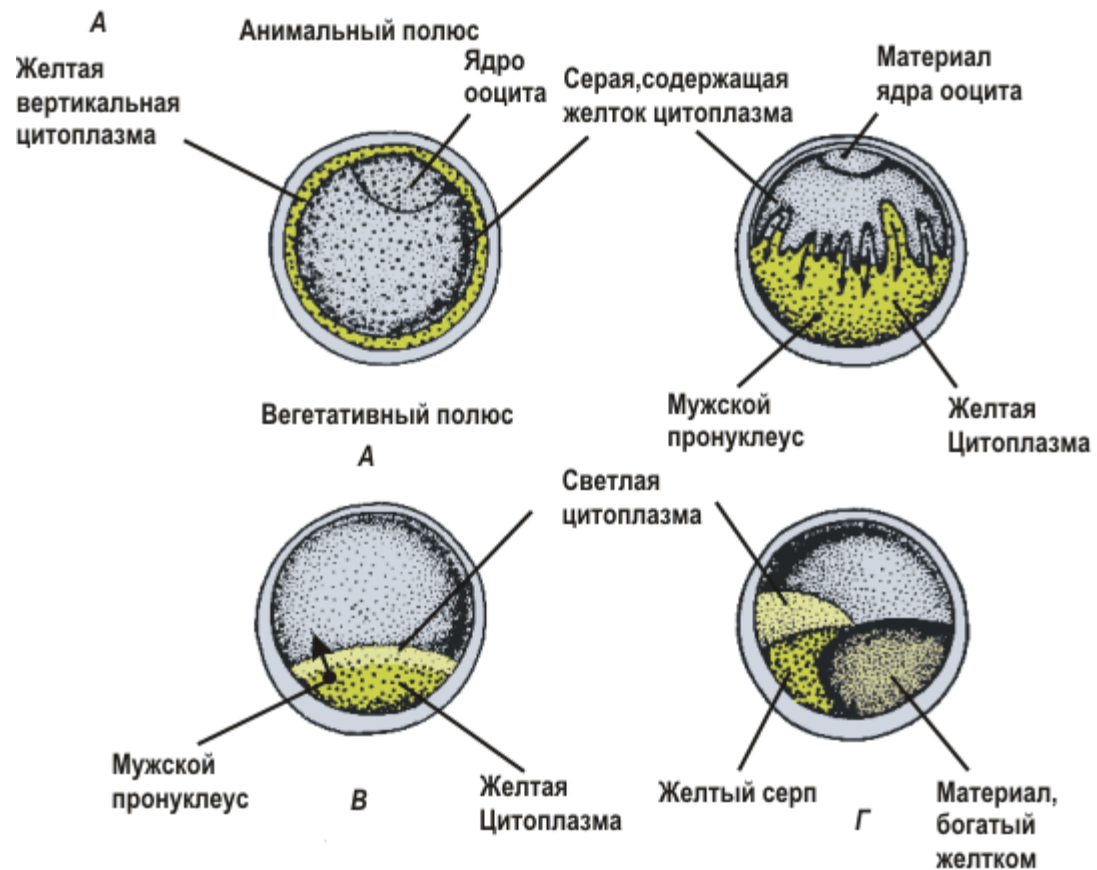


ВЕГЕТАТИВНЫЙ ПОЛЮС

Слева - яйцо лягушки до оплодотворения; справа - изменения, возникающие сразу после оплодотворения



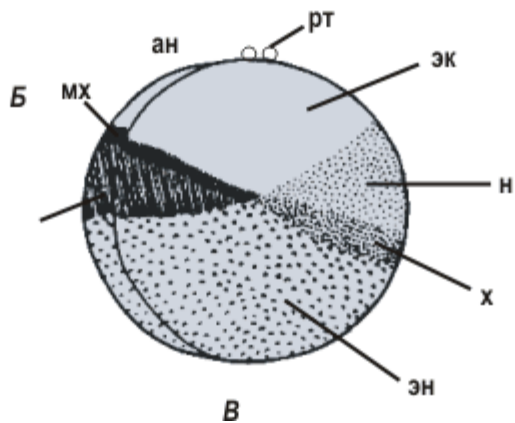
Сегрегация цитоплазмы яйца амфибий после проникновения спермия: 1 - анимальный полюс; 2 - вегетативный полюс; 3 - место внедрения сперматозоида; 4 - серый серп; 5 - направление перемещения цитоплазмы с пигментными гранулами.

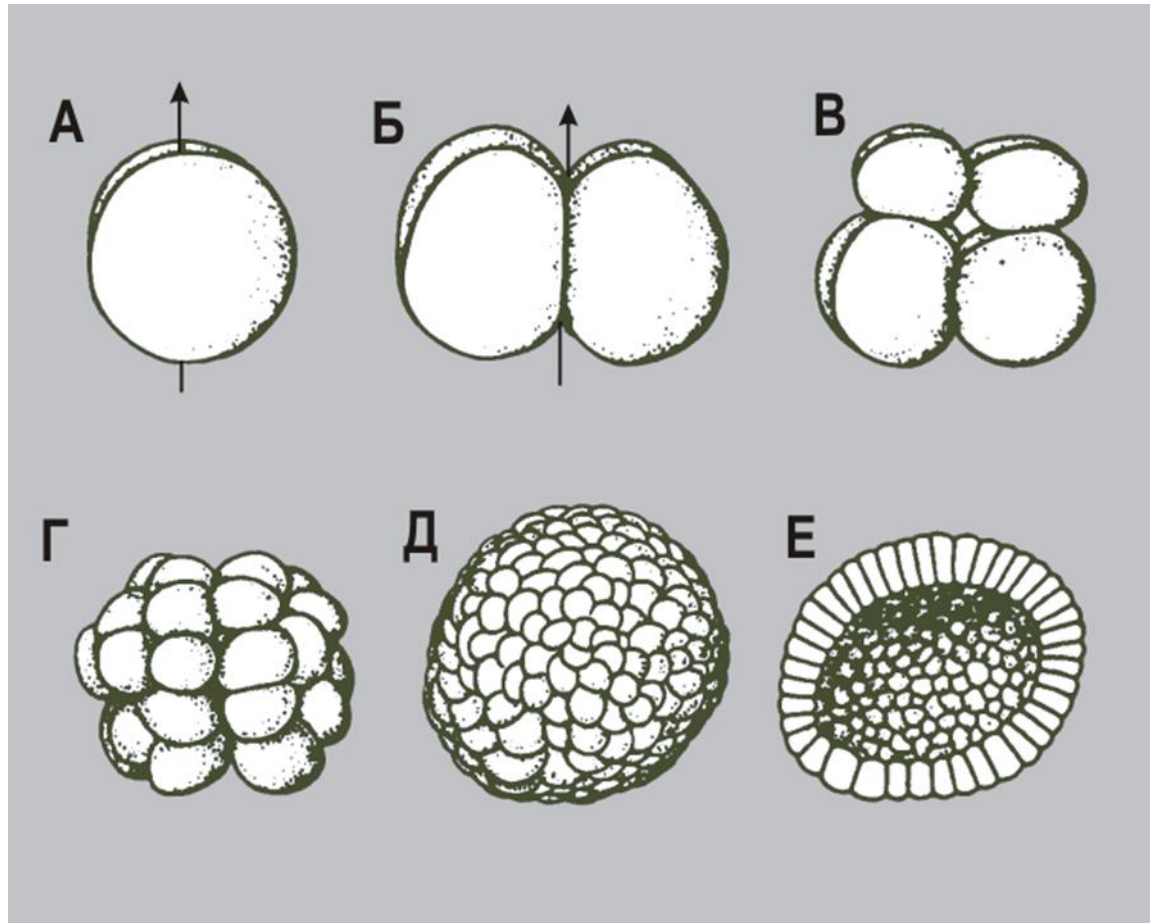


Ооплазматическая сегрегация и карта предварительных зачатков у асцидий

А - перемещение цитоплазматических масс в яйце асцидии (А-Г - последовательные этапы);

Б - карта предварительных областей на стадии двух бластомеров у асцидий: ан - анимальный полюс, в - вегетативный полюс, м - мышцы туловища, мх - мышцы хвоста, н - нервная система, рт - редуционные (полярные) тельца, эк - эктодерма, эн - энтодерма, х - хорда.





Целобластула - типичная бластула с полостью внутри из примерно одинаковых по размеру бластомеров, т.е. бластула с полостью.

Целобластула встречается у самых разных организмов - губок, кишечнополостных, плоских и кольчатых червей, моллюсков, иглокожих и хордовых.

А - первое деление дробления, анимальный полюс яйца до дробления расположен наверху; Б - второе деление дробления, ведущее к образованию четырехклеточной стадии;

В - третье деление дробления; клетки анимального полушария несколько мельче;

Г - после двух дальнейших делений дробления;

Д - бластула; Е - бластула в разрезе; виден бластоцель, окруженный одним слоем клеток.

Компактизация эмбриона мыши на ранних стадиях развития



Микрофотографии. Клетки эмбриона на ранних стадиях развития сначала лишь очень неплотно прилегают друг к другу. Примерно на восьмиклеточной стадии они начинают вырабатывать E-кадгерин и в результате становятся прочно и плотно скрепленными друг с другом. Сканирующая электронная микроскопии.

Бластула (греч. blastos - росток) - пузырек, в котором различают заполненную жидкостью полость -бластоцель, окруженную многочисленными клетками - бластомерами - двух видов: крупных темных и мелких светлых. Из последних формируется стенка пузырька - трофобласт (греч. trophe - питание), дающий в дальнейшем начало внешнему слою оболочек зародыша.

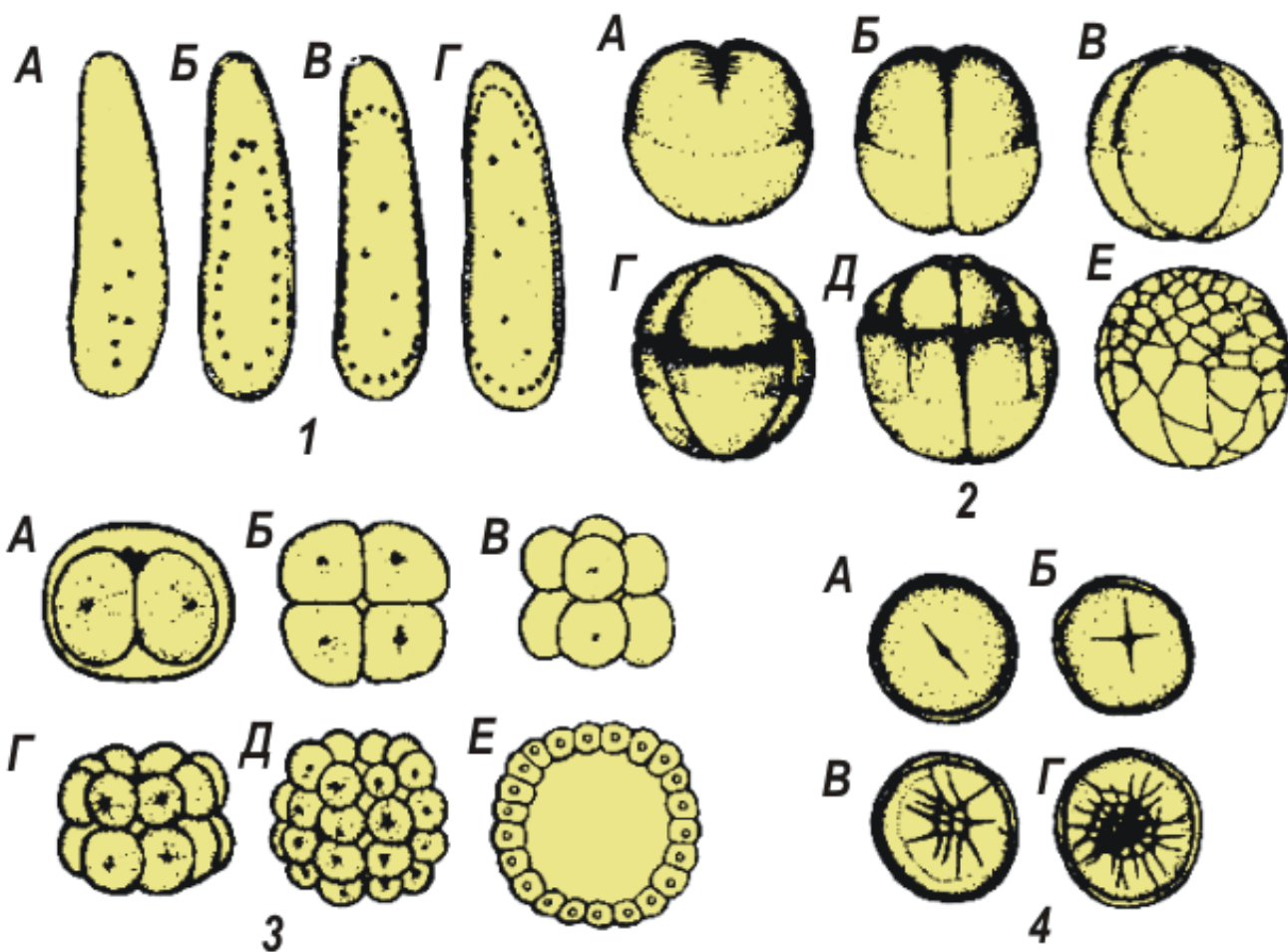
Бластула (blastula): ранняя стадия развития эмбриона животных, образующаяся путем дроблений оплодотворенного яйца. На этой стадии в большинстве случаев (например, у млекопитающих) эмбрион состоит из единственного слоя клеток (**бластомеров**), окружающих **бластоцель** (полость). Таким образом, бластула - однослойный зародыш, которым завершается дробление.

У разных организмов возникающие при дроблении бластомеры располагаются относительно друг друга по-разному (это зависит главным образом от характера распределения питательных веществ в цитоплазме яйцеклетки). У лягушки или морского ежа, например, бластула представляет собой полый пузырек, оболочка которого образована слоем бластомеров.

У очень многих животных по мере делений зиготы между **бластомерами** постепенно образуется полость (**бластоцель**). В большинстве случаев, хотя и не всегда, бластомеры располагаются в один слой. В результате образуется полый шарик, стенка которого состоит из одного слоя клеток. Однослойный зародыш, формирующийся в итоге дробления, называется бластулой.

Типичная бластула с полостью внутри из примерно одинаковых по размеру бластомеров называется **целобластулой** (т.е. бластула с полостью) и встречается у самых разных организмов - губок, кишечнополостных, плоских и кольчатых червей, моллюсков, иглокожих и хордовых. У некоторых из них клетки целобластулы образуют жгутики, она выходит из-под оболочек яйца и становится активно плавающей личинкой. Бросается в глаза сходство такой личинки с колониями жгутиковых протистов (например, вольвокса). У большинства животных в течение всего дробления клетки зародыша соединены "щелевыми" контактами. Однако роль сигнализации через щелевые контакты до сих пор слабо изучена.

Ход дробления и строение бластулы



Зависимость хода дробления и строения бластулы от количества и распределения желтка в яйцеклетке.

1 - неполное поверхностное дробление (жук);

2 - полное неравномерное дробление (лягушка);

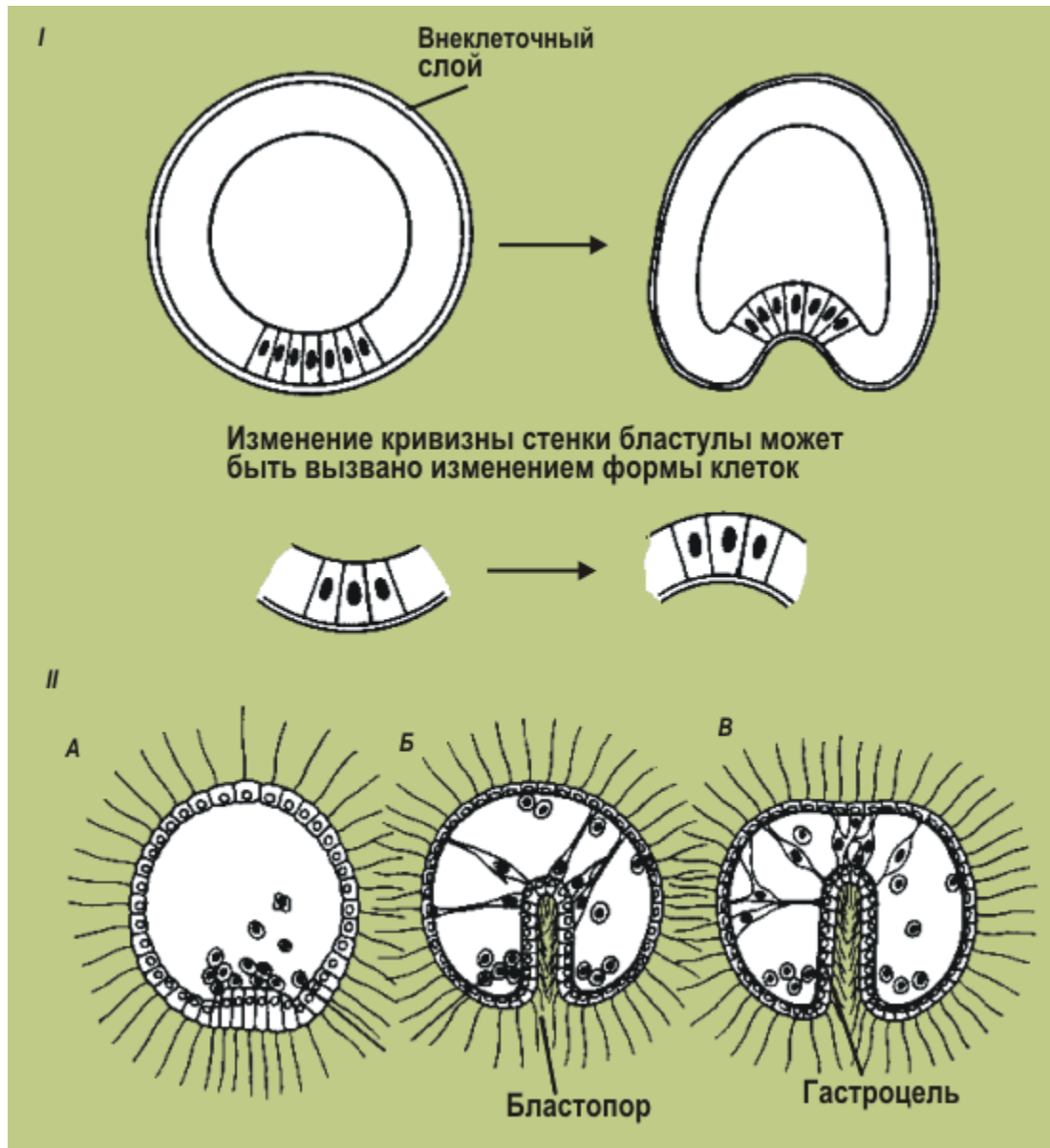
3 - полное равномерное дробление (голотурия, тип иглокожие);

4 - неполное дискоидальное дробление, вид с анимального полюса (курица).

Перибластула

У насекомых ядро яйцеклетки находится в центре, а свободная от желтка цитоплазма - у поверхности. Образующиеся при дроблении ядра "вползают" под наружную мембрану и располагаются под всей поверхностью. Такое дробление называется неполным поверхностным, а образующаяся бластула - перибластулой.

Дискобластула образуется в результате неполного дискоидального дробления.

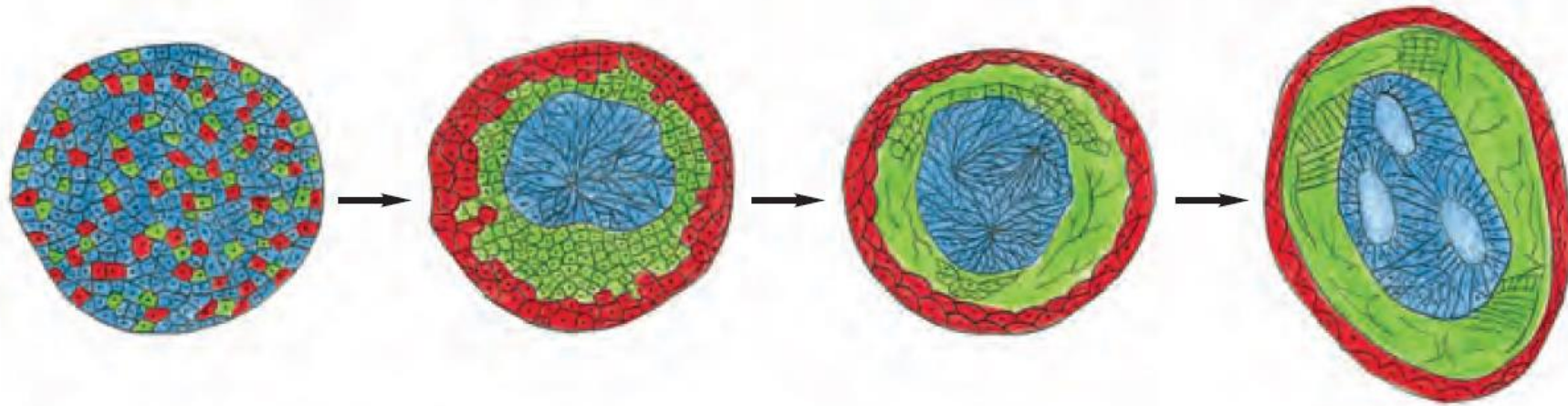


I. Начальные стадии впячивания клеток на вегетативном полюсе.

II. А - стенка бластулы в области вегетативного полюса начинает впячиваться внутрь;

Б,В - клетки на верхушке впячивания образуют филоподии - тонкие ложноножки, прикрепляющиеся к внутренней стенке бластоцеля и подтягивают вворачивающийся клеточный пласт внутрь бластоцеля, образуя полость первичной кишки.

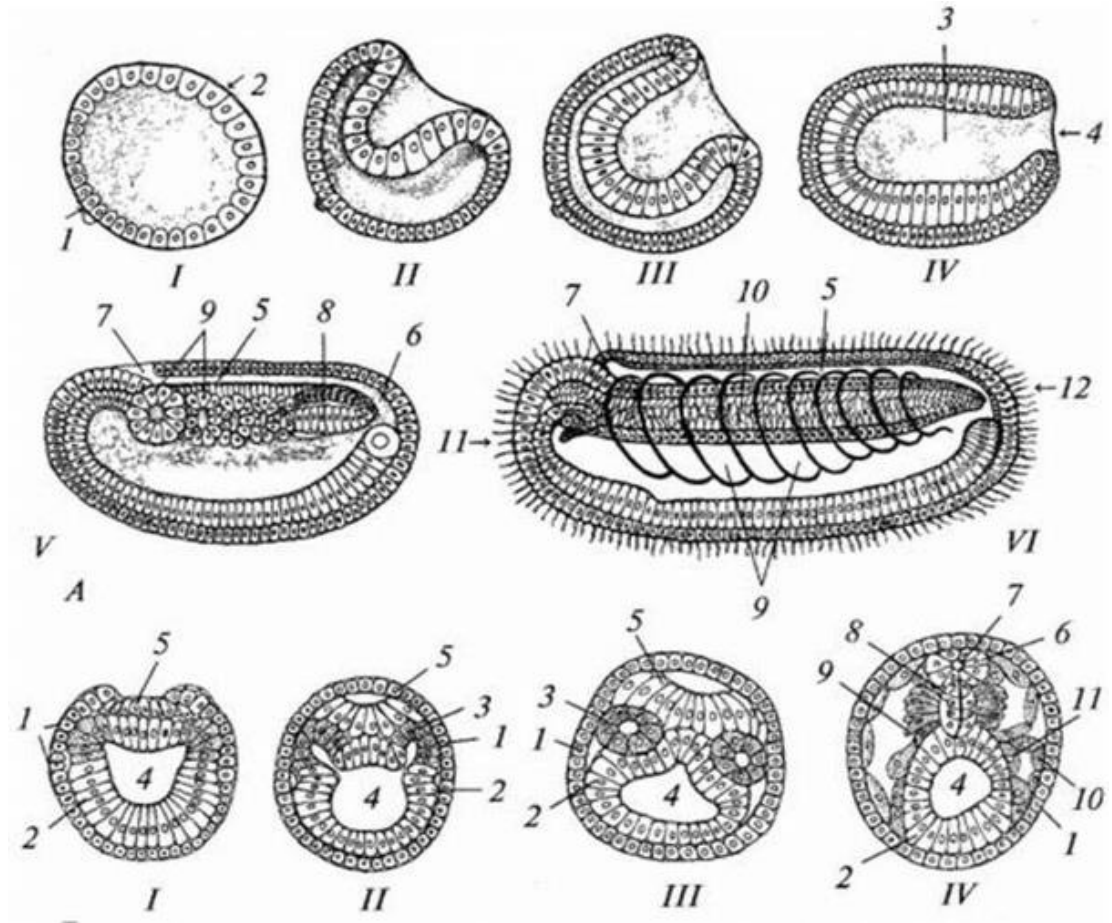
Расслаивание



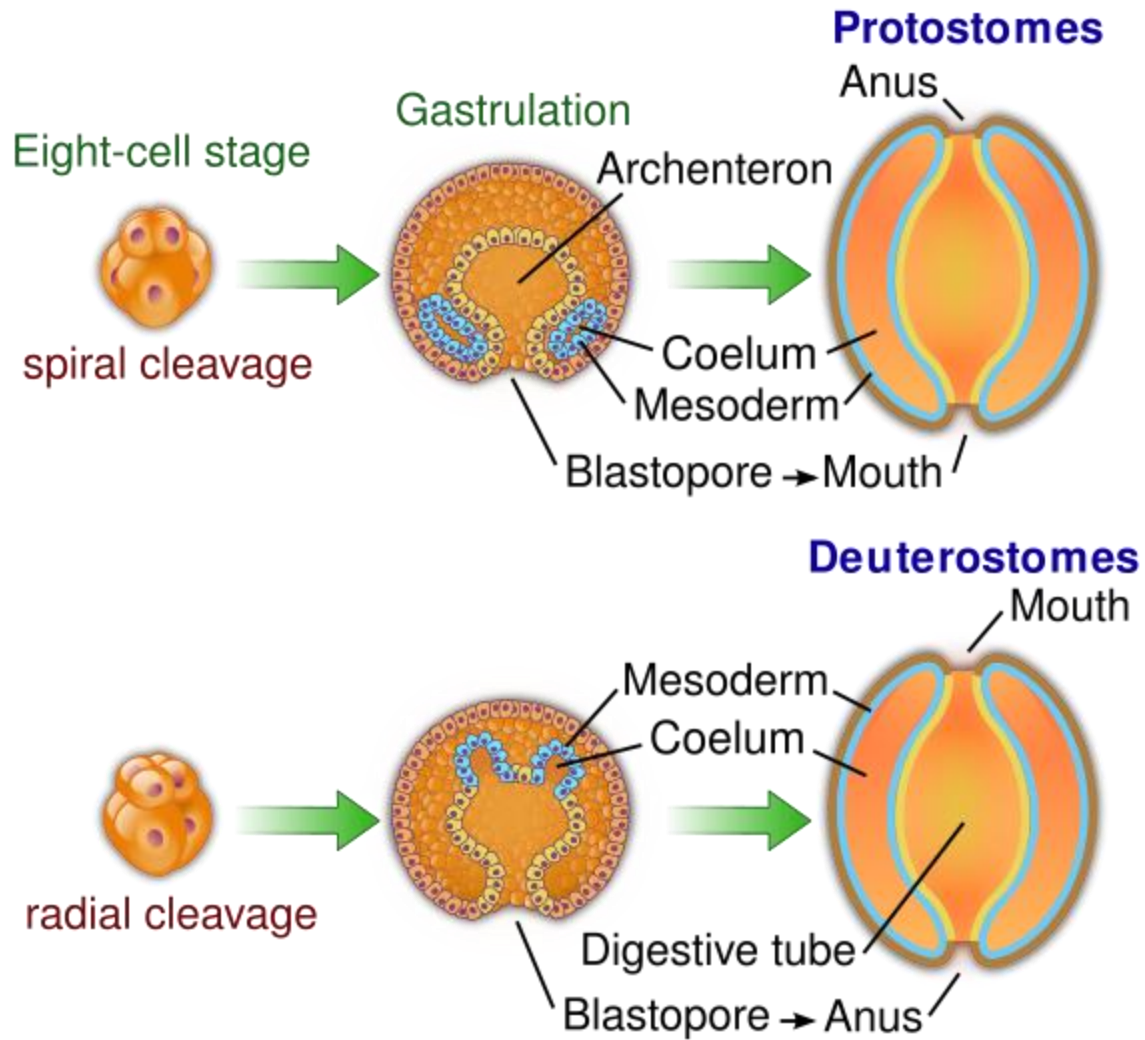
Клетки, взятые из разных частей раннего эмбриона земноводного, расслаиваются согласно своему происхождению. В классическом эксперименте, представленном здесь, суспензия дезагрегированных клеток мезодермы (зеленый цвет), нервной пластинки (синий цвет) и эпидермальных клеток (красный цвет) агрегировала вновь случайным образом. Затем происходило расслоение клеток, отражающее их расположение в нормальном эмбрионе: «нервная трубка» внутри, эпидермис снаружи, а мезодерма — между ними.



Ковалевский Александр Онуфриевич
07 (19) 11.1840 — 09 (22).11.1901



Ранние стадии развития ланцетника оказались чрезвычайно сходными с соответствующими этапами онтогенеза многих беспозвоночных, в том числе и низших таких, как, например, кишечнополостные.



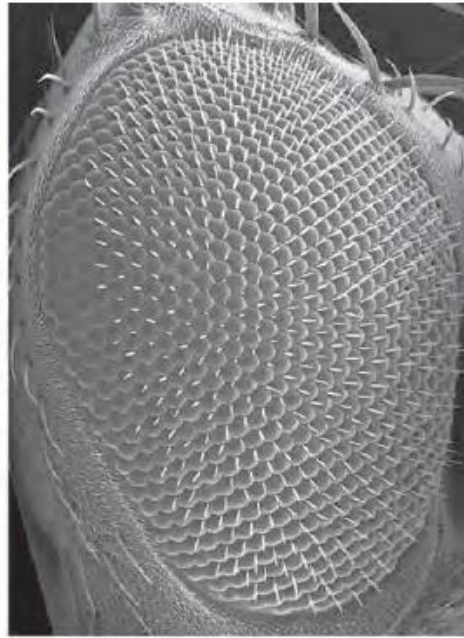
У первичноротых клетки делятся спиральным делением вместо радиального.

Во время гастрюляции первое отверстие становится ртом эмбриона, а анус формируется позже. Кроме того, вторичная полость тела (показана синим цветом) формируется из ткани, которая отделяется от остальной, а не складывается из стенок кишечника.



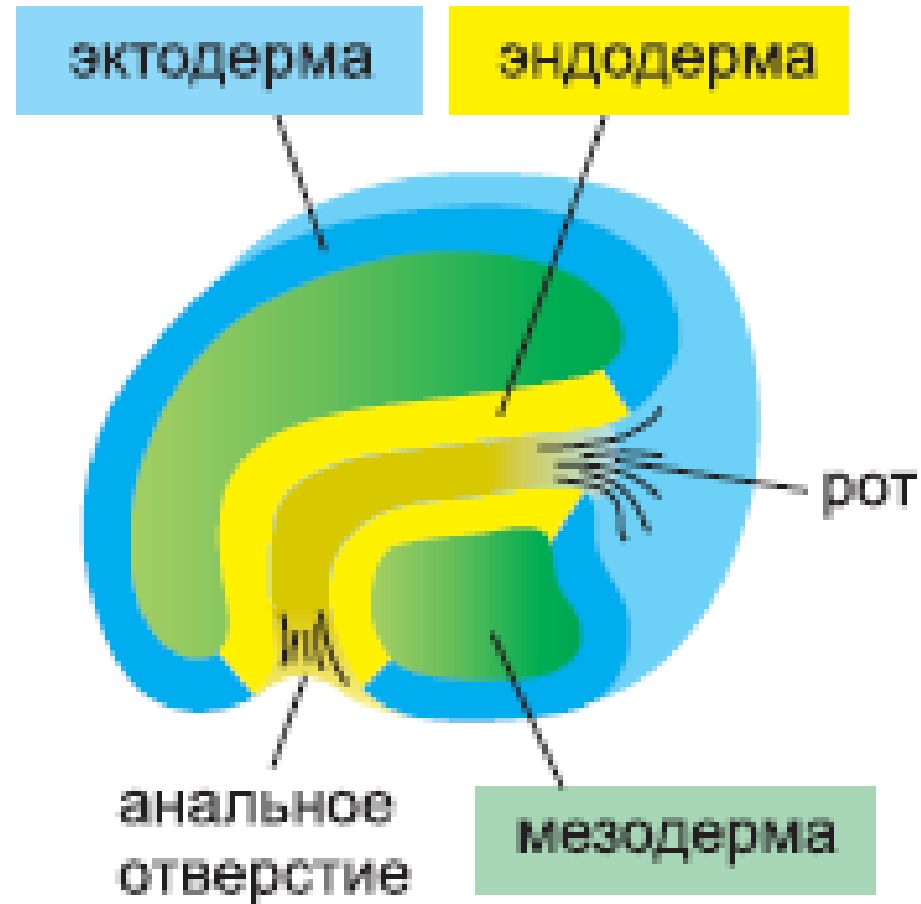
б)

50 мкм



б) Белок моллюска, используемый в мухе. Белок *Eyeless* управляет развитием глаза у дрозофилы и, когда неправильно экспрессируется, может обусловить развитие глаза в ненадлежащем участке тела, например, на лапке. Когда гомологичный белок *Raxb* от мыши, кальмара или практически любого животного, обладающего глазами, подобным образом аномально экспрессируется в трансгенной мухе, обнаруживается тот же эффект. На полученных с помощью растрового электронного микроскопа снимках показан участок глазной ткани на мушиной лапке, образовавшейся в результате неправильной экспрессии гена *Eyeless* дрозофилы (сверху) и *Raxb* кальмара (снизу). Для сравнения на изображении справа показан целый глаз нормальной дрозофилы при более слабом увеличении.

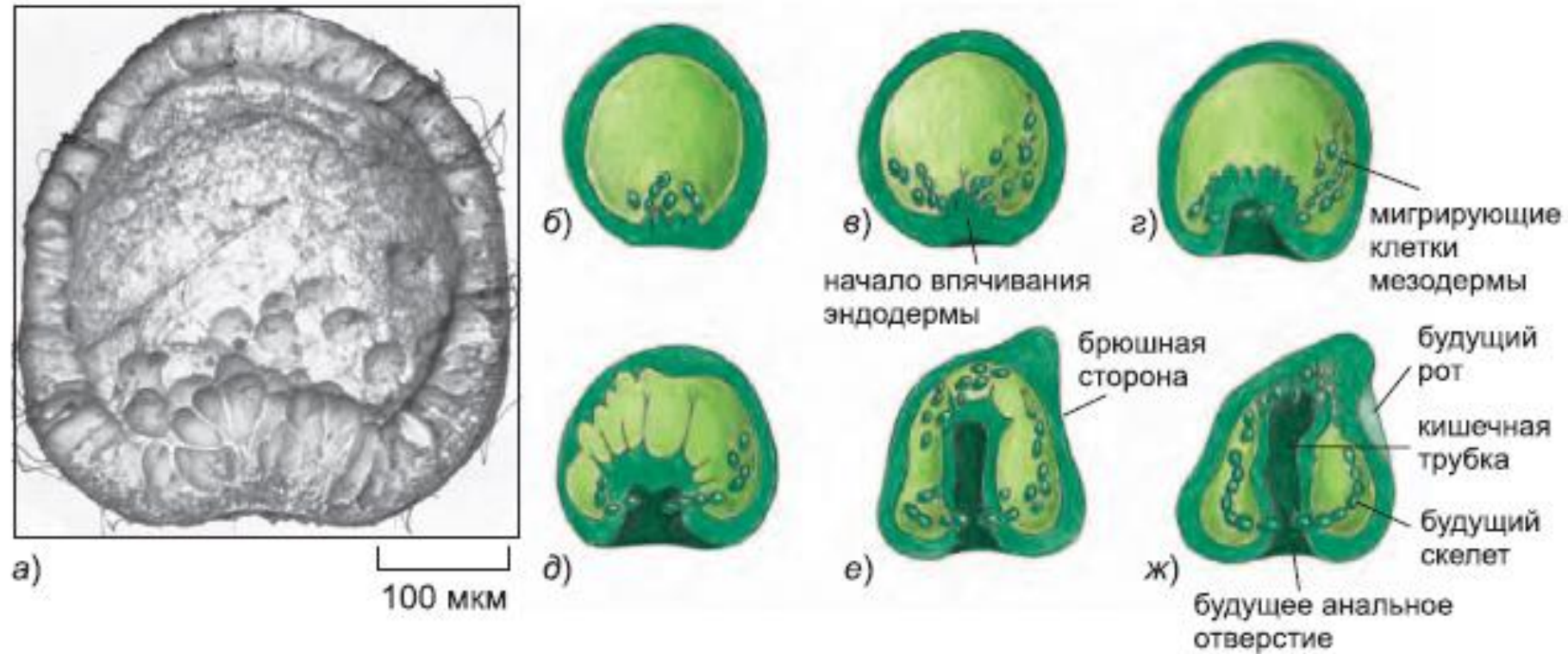
Гастрюляция морского ежа



з) Основное строение организма животного:
снаружи слой эктодермы,
внутри трубка энтодермы,
а между ними — прослойка мезодермы.

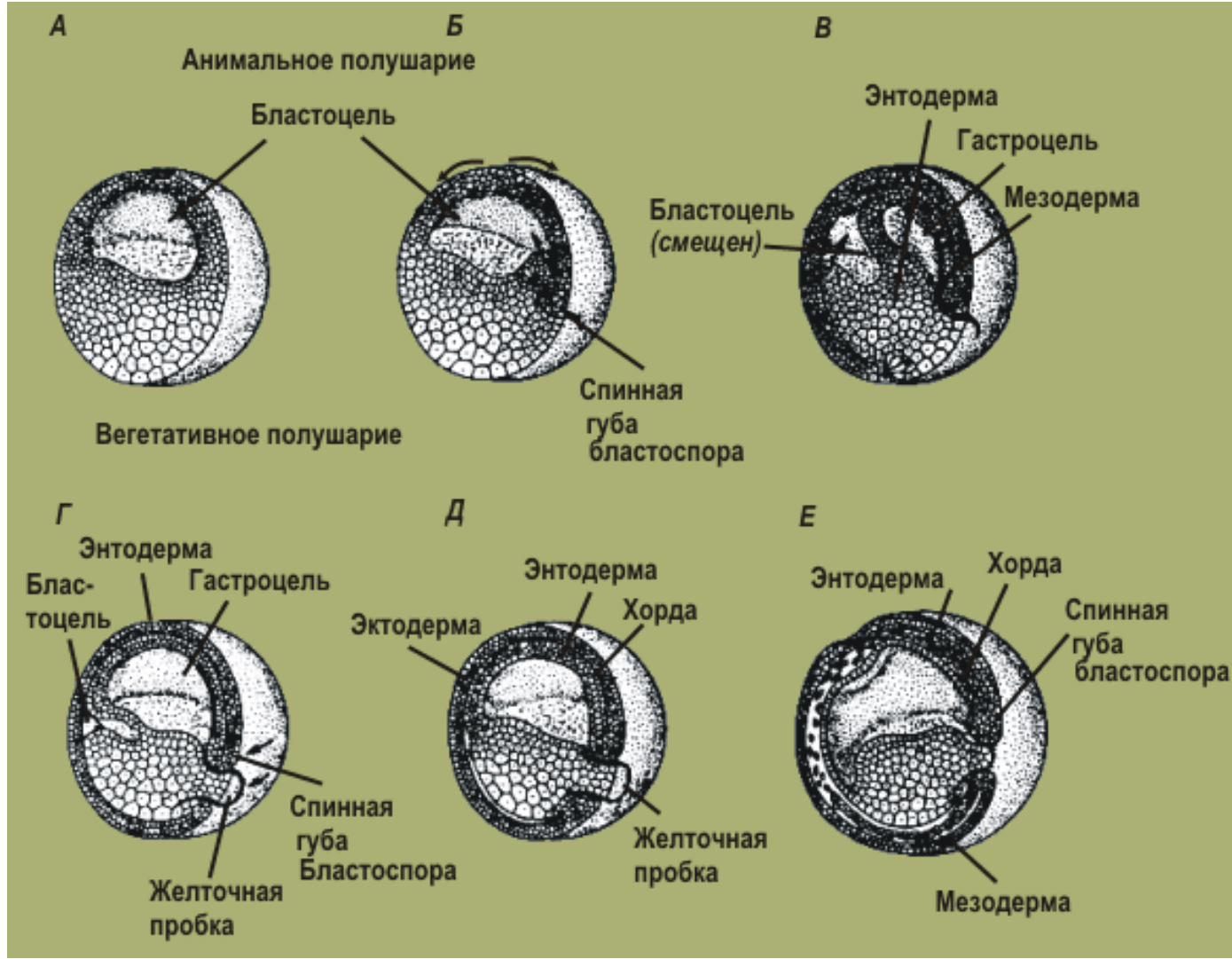
з)

Гастрюляция морского ежа



Оплодотворенная яйцеклетка делится и производит бластулу — полую сферу эпителиальных клеток, окружающих внутреннюю полость. Затем, в процессе гастрюляции, некоторые из клеток втягиваются внутрь и формируют кишечник и прочие внутренние ткани. а) Растровый микроснимок, показывающий начальное втягивание эпителия. б) Показано, как группа клеток высвобождается из эпителия и закладывает мезодерму. в) Затем эти клетки расползаются по внутренней поверхности стенки бластулы. г) Тем временем эпителий продолжает подворачиваться внутрь и превращается в эндодерму. д, е) Впячивающаяся эндодерма вытягивается в длинную кишечную трубку. ж) Конец кишечной трубки упирается в стенку бластулы на участке будущего ротового отверстия. Здесь эктодерма и эндодерма соединятся и сформируется отверстие.

Движение клеток при гастрюляции у лягушки



Разрезы проведены через центр зародыша. Главные направления движения клеток показаны стрелками.

А - бластула;

Б - начало гастрюляции; клетки, двигаясь внутрь зародыша, образуют спинную губу бластоспора;

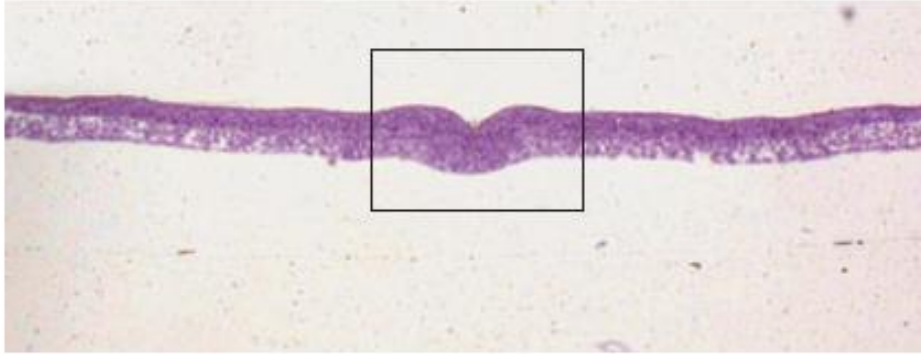
В - образование гастроцеля;

Г,Д - клетки-предшественники эктодермы мигрируют по поверхности вегетативного полушария;

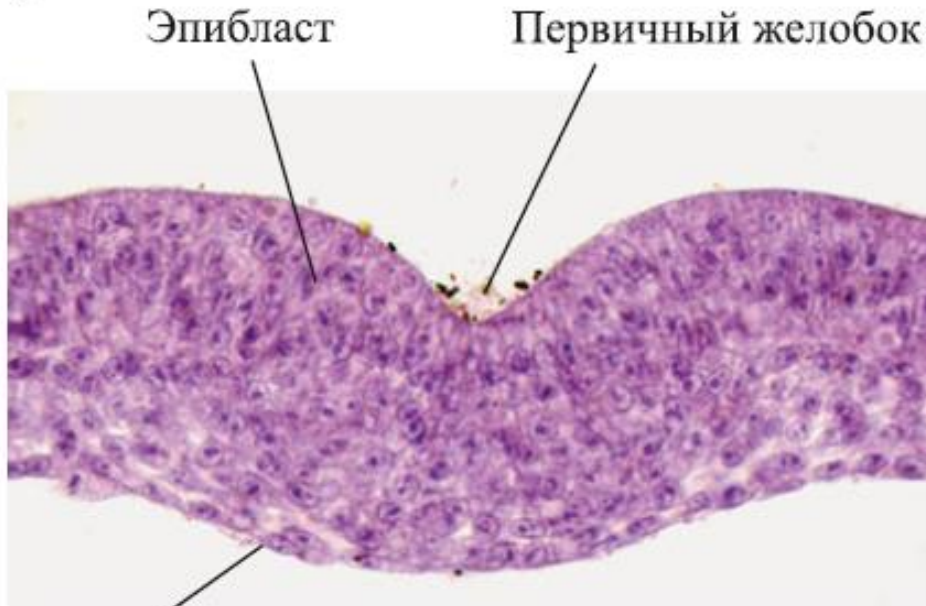
Е - продолжение гастрюляции.

Поперечный разрез зародышевого диска: *a* – первичная полоска (ув. 40);
б – фрагмент первичной полоски (ув. 200)

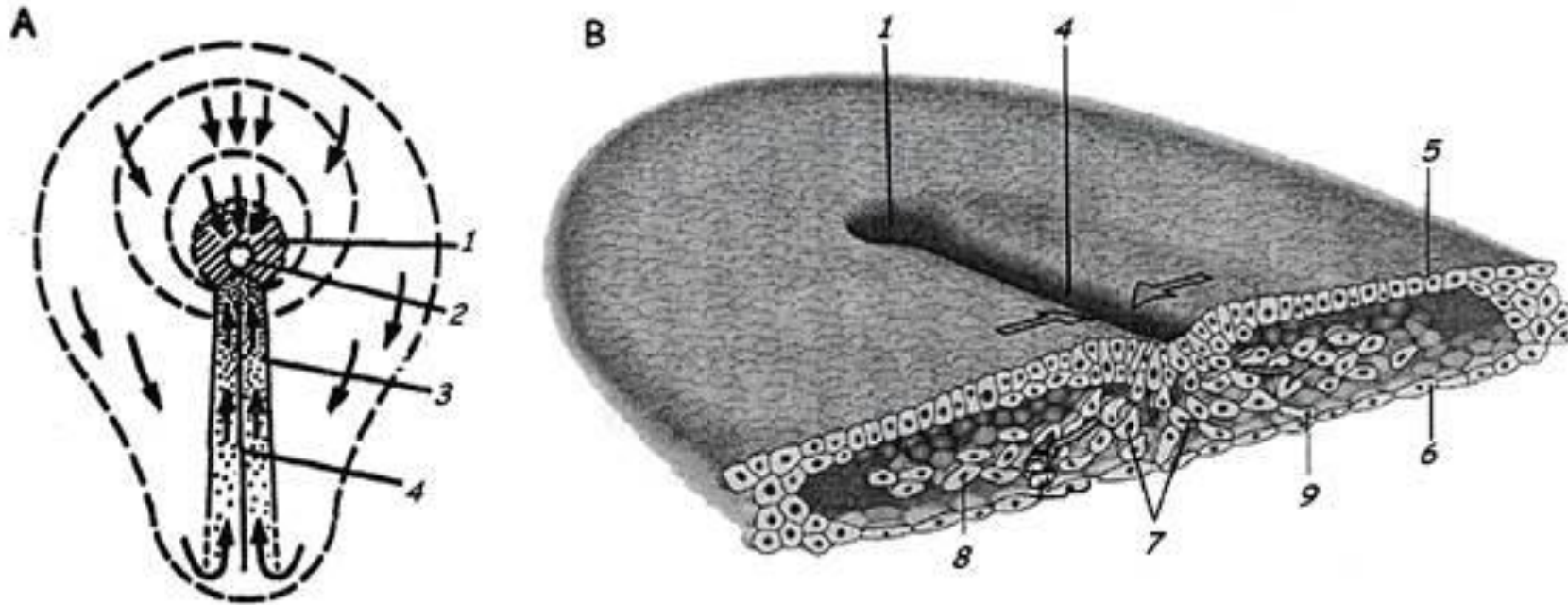
a



б



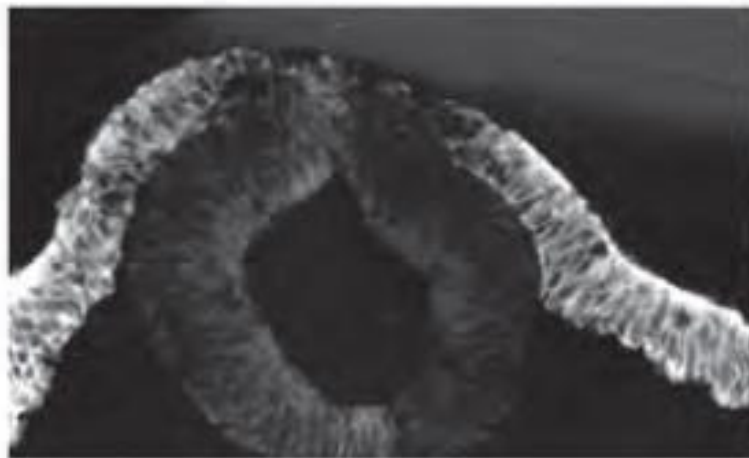
Гипобласт



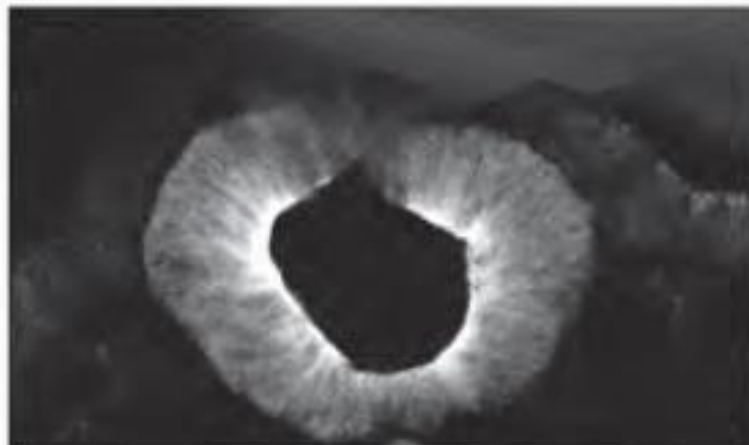
Иммиграция в эмбриогенезе птиц

1. первичный (гензеновский) узелок; 2. первичная ямка; 3. первичная полоска; 4. первичная бороздка; 5. эпибласт; 6. гипобласт; 7. клетки, выселяющиеся из первичной полоски; 8. мезодерма; 9. зародышевая энтодерма, замещающая гипобласт

Экспрессия кадгеринов при конструировании нервной системы



а)



б)

100 мкм

Микрофотографии поперечных срезов куриного эмбриона на ранних стадиях развития: а) отделение нервной трубки от эктодермы и отделение нервного гребня от нервной трубки. Клетки развивающейся нервной трубки окрашенные иммунофлуоресцентным методом антителами к (а) E-кадгерину и (б) N-кадгерину.

Изменение характера экспрессии кадгеринов при конструировании нервной системы

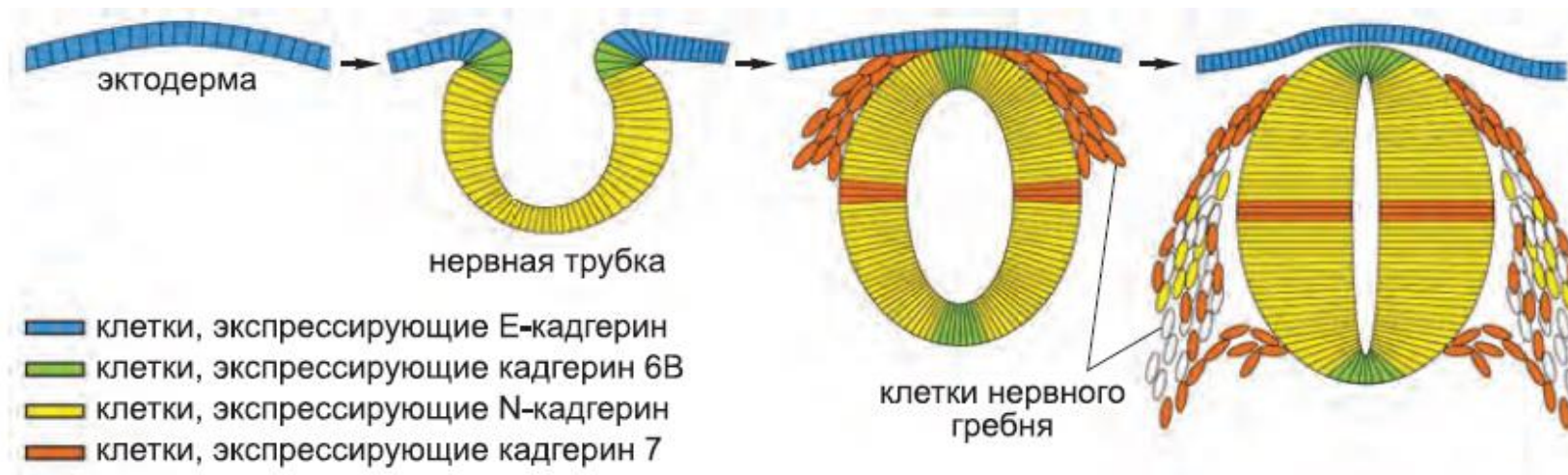
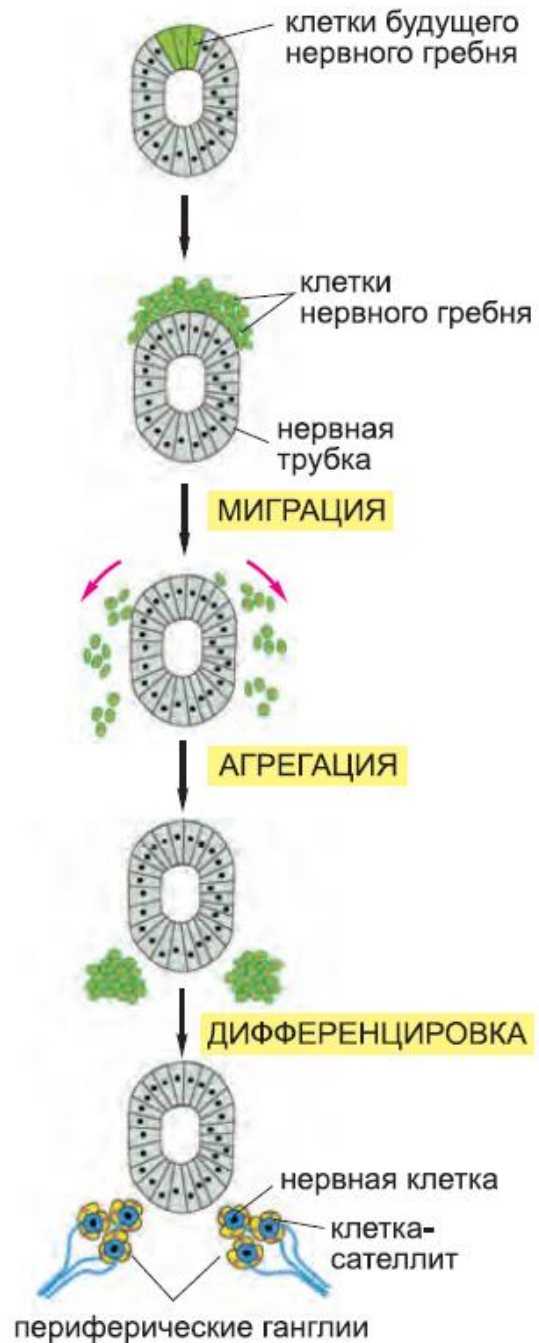


Схема развития куриного эмбриона на ранних стадиях: отделение нервной трубки от эктодермы и отделение нервного гребня от нервной трубки. в) При смене характера экспрессии генов различные группы клеток обособляются друг от друга согласно тому, какие кадгерины они вырабатывают.

Гомологичные белки, взаимозаменяемые в ходе развития мышей и мух.

а) Белок мухи, используемый в мышши. Последовательность ДНК дрозофилы, кодирующая белок Engrailed (регулирующий гены белок), может заменить соответствующую последовательность мышши, кодирующую у нее белок Engrailed-1. Отсутствие белка Engrailed-1 у мышши вызывает дефект в ее мозге (не в состоянии развиться мозжечок); белок дрозофилы служит эффективным его заменителем, избавляя трансгенную мышшь от такой аномалии.





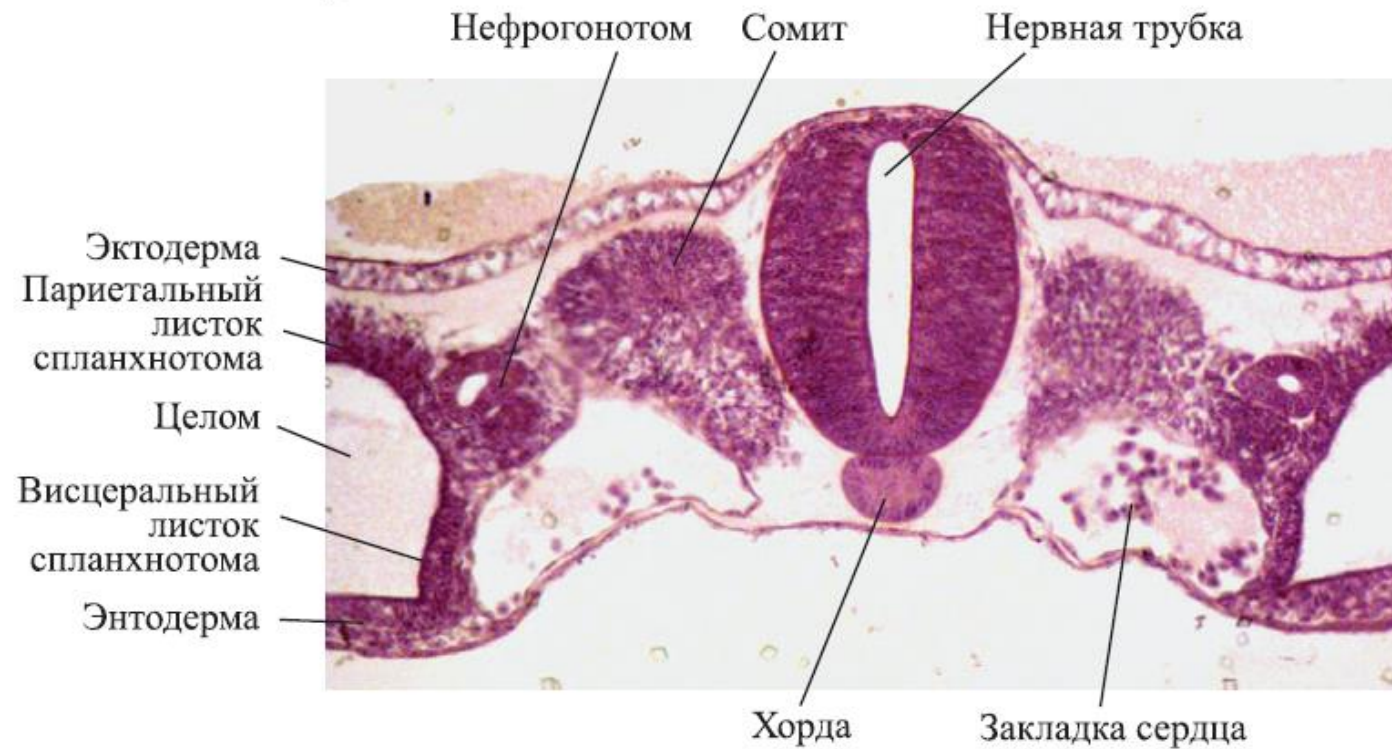
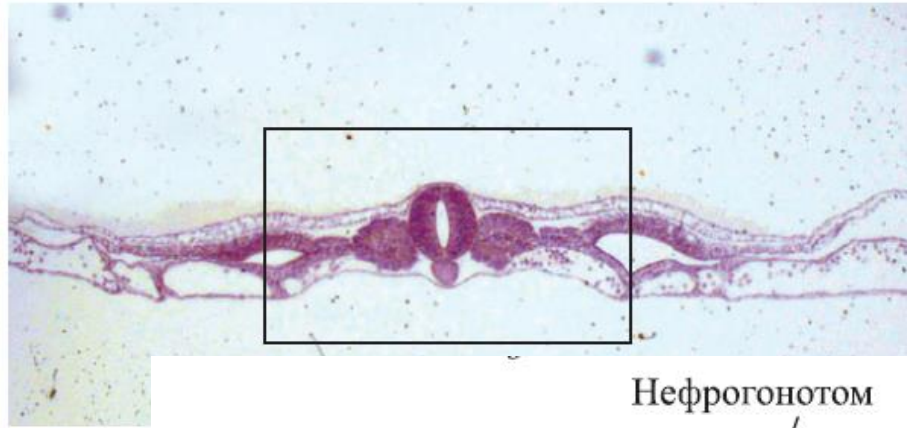
Селективное распространение и повторная сборка клеток при формировании тканей эмбриона ПОЗВОНОЧНЫХ ЖИВОТНЫХ

Некоторые клетки, изначально принадлежащие нервной трубке, изменяют свои адгезивные свойства и открепляются от эпителия, формируя нервный гребень на верхней поверхности нервной трубки. Затем эти клетки мигрируют по всему эмбриону и формируют множество типов тканей и разновидностей клеток. Здесь показан процесс дифференцировки клеток, формирующих две группы нервных клеток — два ганглия периферической нервной системы.

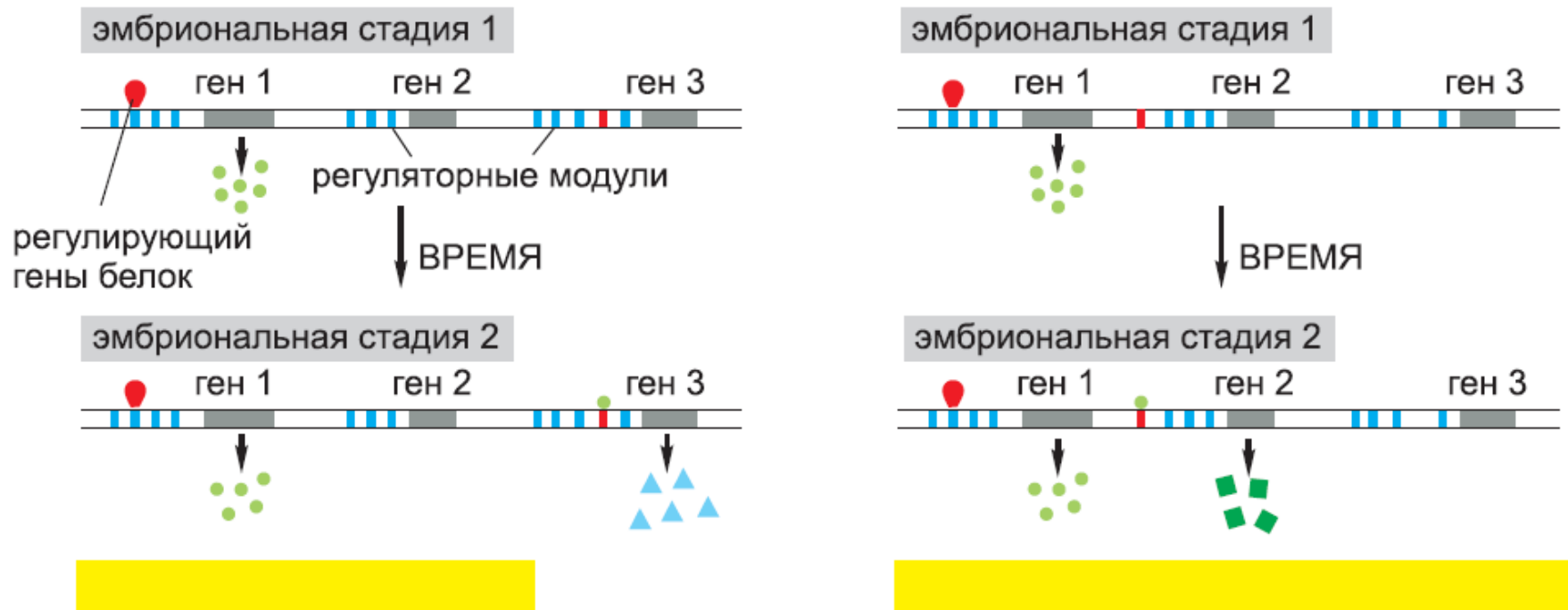
Некоторые из клеток нервного гребня становятся нейронами, входящими в состав ганглия, из других развиваются клетки-сателлиты (специализированные глиальные клетки), обмотанные вокруг нейрона. В основе всех этих архитектурных перестроек лежит смена характера экспрессии молекул клеточной адгезии.

Поперечный разрез зародыша на стадии трех зародышевых листков: *a* – трехслойный зародыш (ув. 40); *б* – его центральная часть (ув. 100)

a

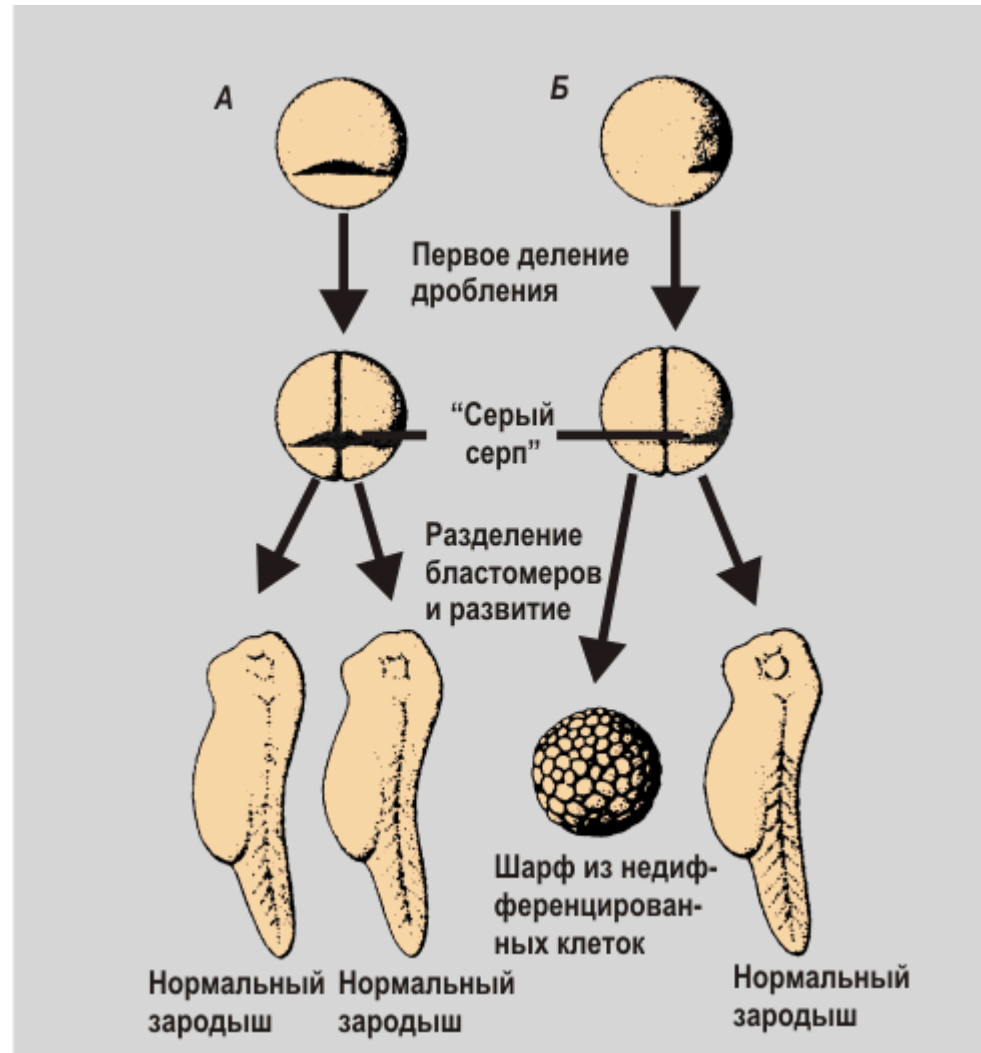


Как регуляторная ДНК задает последовательность картин экспрессии генов в ходе развития



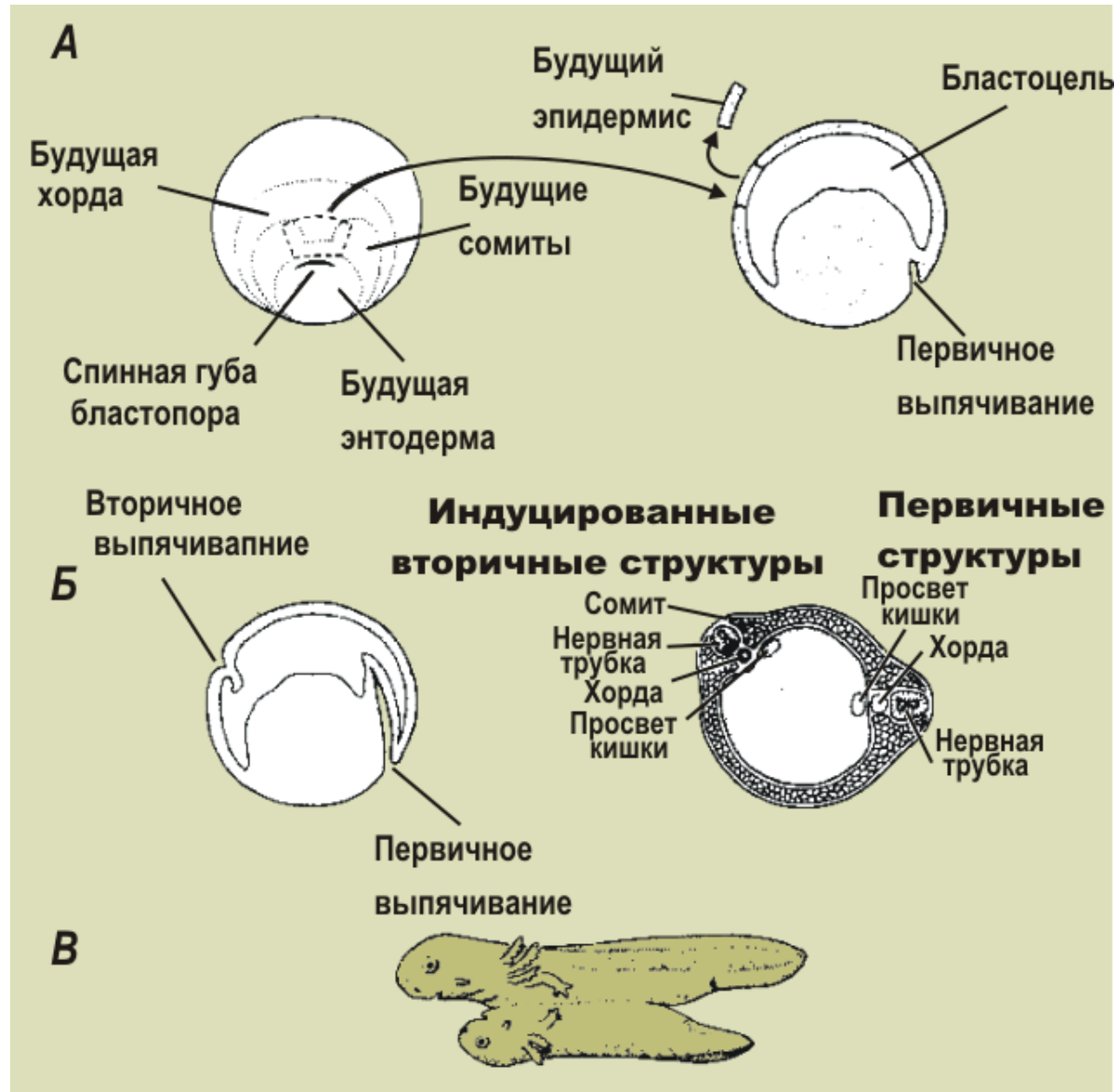
Геномы организмов А и В кодируют одинаковый набор белков, но имеют разную регуляторную ДНК. В нашей раскладке эти две клетки появляются в одном и том же состоянии и на 1-й стадии экспрессируют одни и те же белки, но из-за разного расположения регуляторных модулей на 2-й стадии переходят в сильно отличающиеся состояния.

Опыт с изменением плоскости первого деления дробления.



Пересадка хордомезодермы

Опыт Шемана и Мангольд по пересадке хордомезодермы

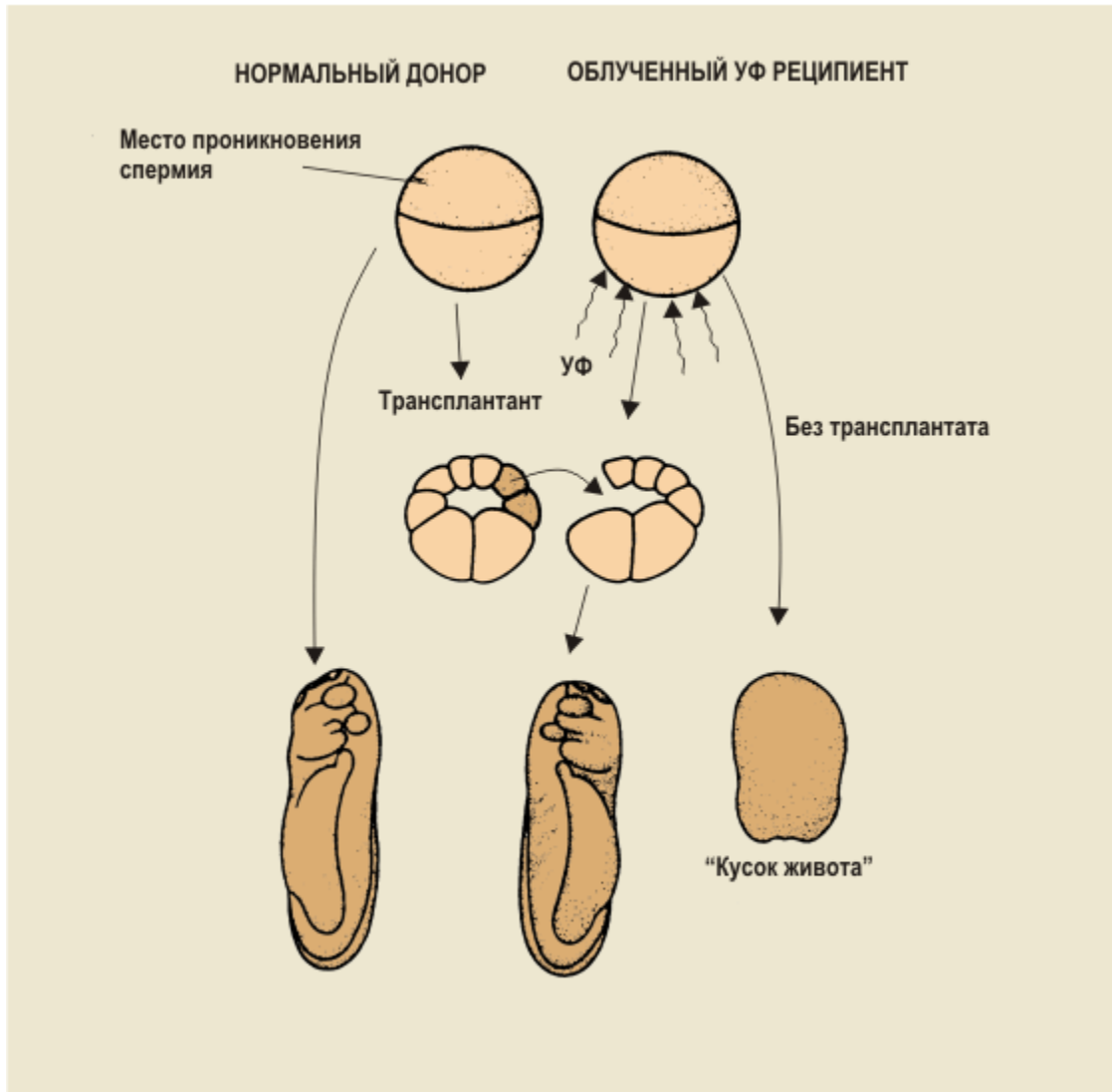


А - спинная губа бластопора, взятая у зародыша на стадии ранней гастролы, пересаживалась такому же зародышу в область, которая в норме должна стать брюшным эпидермисом;

Б - в месте пересадки формируется добавочная нервная трубка (в основном из клеток хозяина), также хорда и мезодерма;

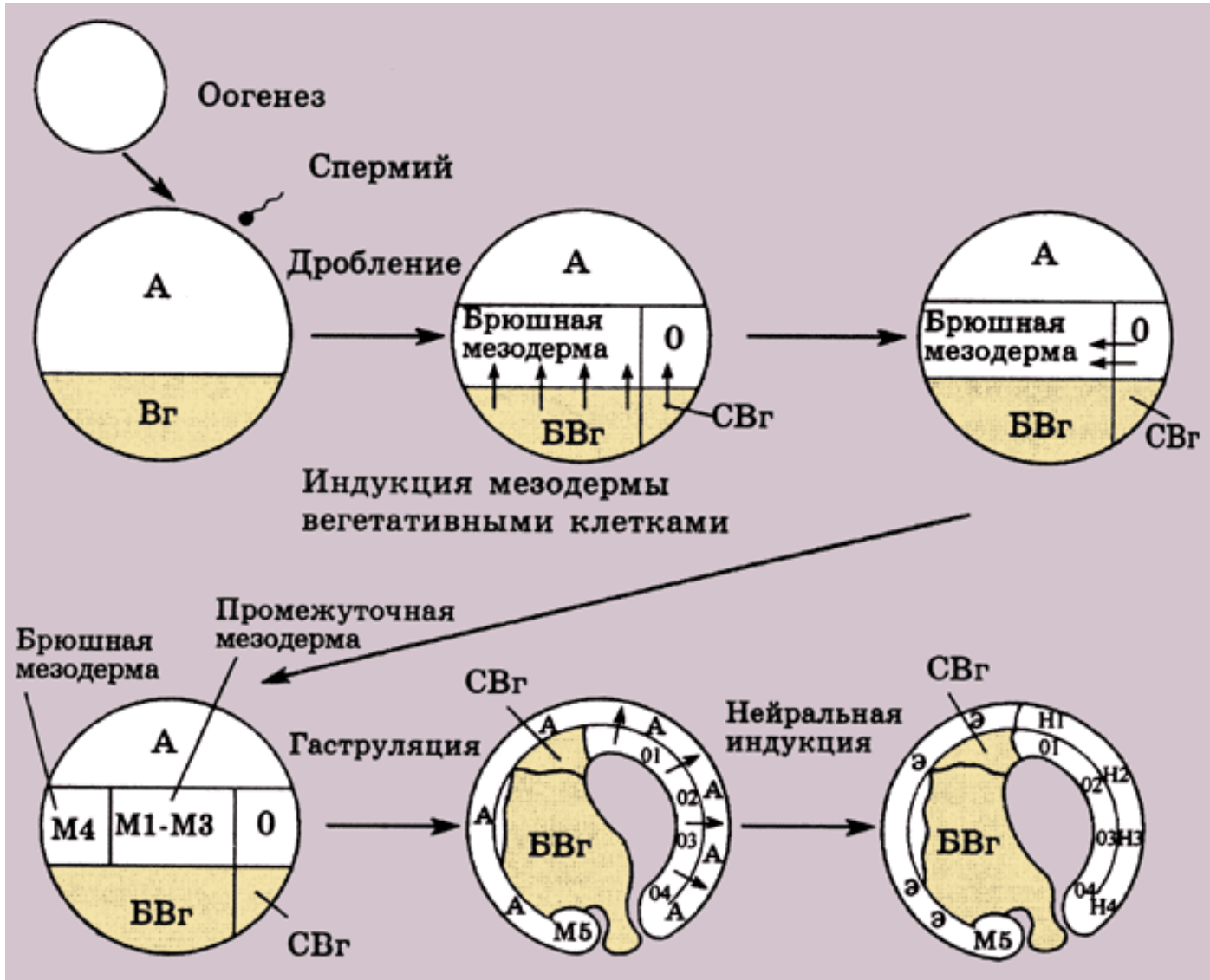
В - в результате формируется вторичный зародыш, соединенный с зародышем-хозяином.

Зародыш после пересадки вегетативных бластомеров



Зародыш, облученный ультрафиолетом, после пересадки ему вегетативных бластомеров донора развивается нормально.

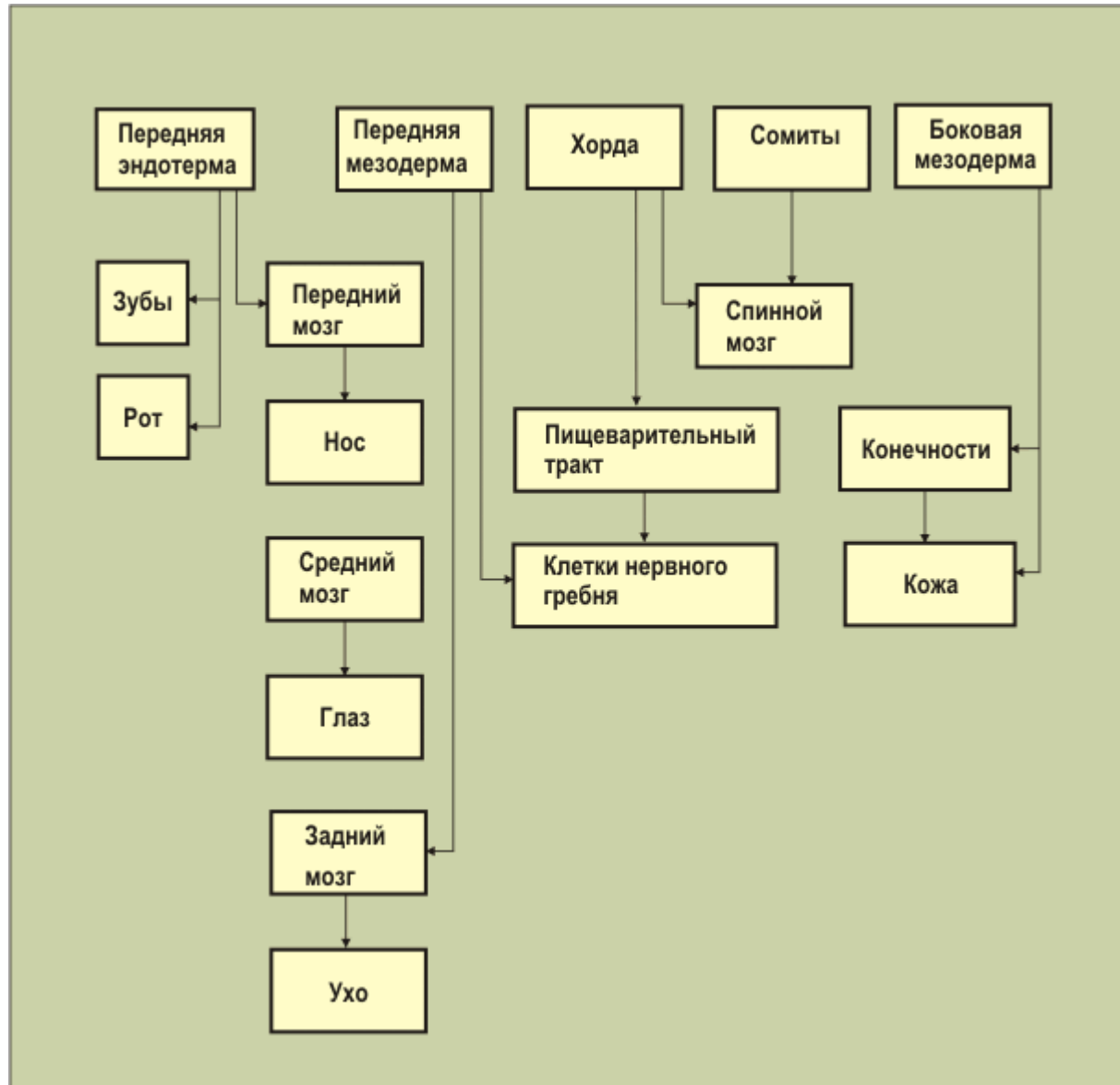
Индукция разных тканей брюшными и спинными частями вегетативной области яйцеклетки



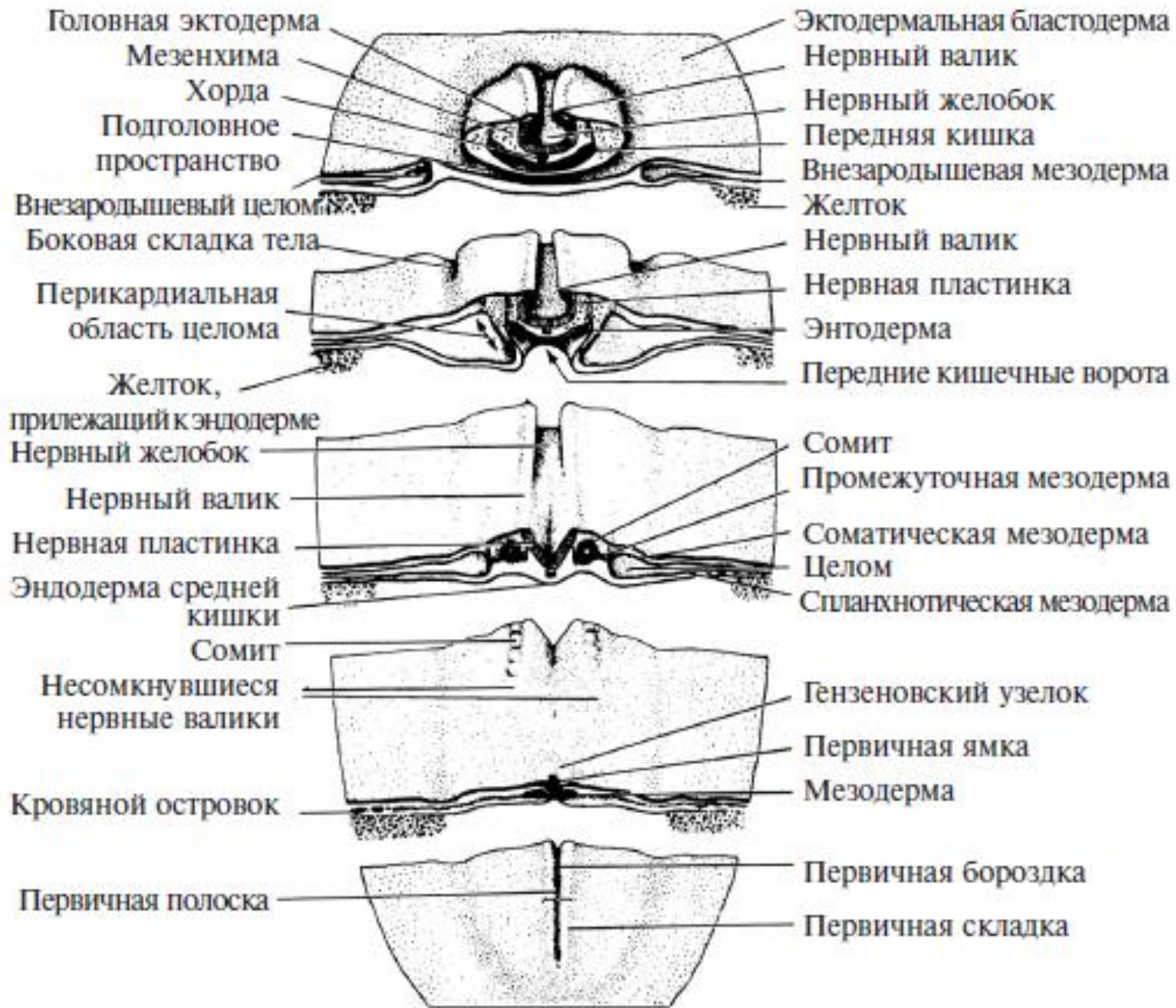
После оплодотворения происходит перераспределение цитоплазмы, которое подразделяет вегетативную область на спинную вегетативную (СВг) и брюшную вегетативную (БВг).

В период дробления осуществляется индукция мезодермы: Вг область индуцирует образование мезодермы. При гастрюляции клетки, лежащие над СВг областью (01-04), действуют на лежащие над ними эктодермальные клетки (А), которые превращаются в нейральные клетки (Н1-Н4). Эктодермальные клетки (А), которые не соприкасаются с областями 0, становятся эпидермисом (Э).

Схема индукционных взаимодействий у зародыша позвоночного

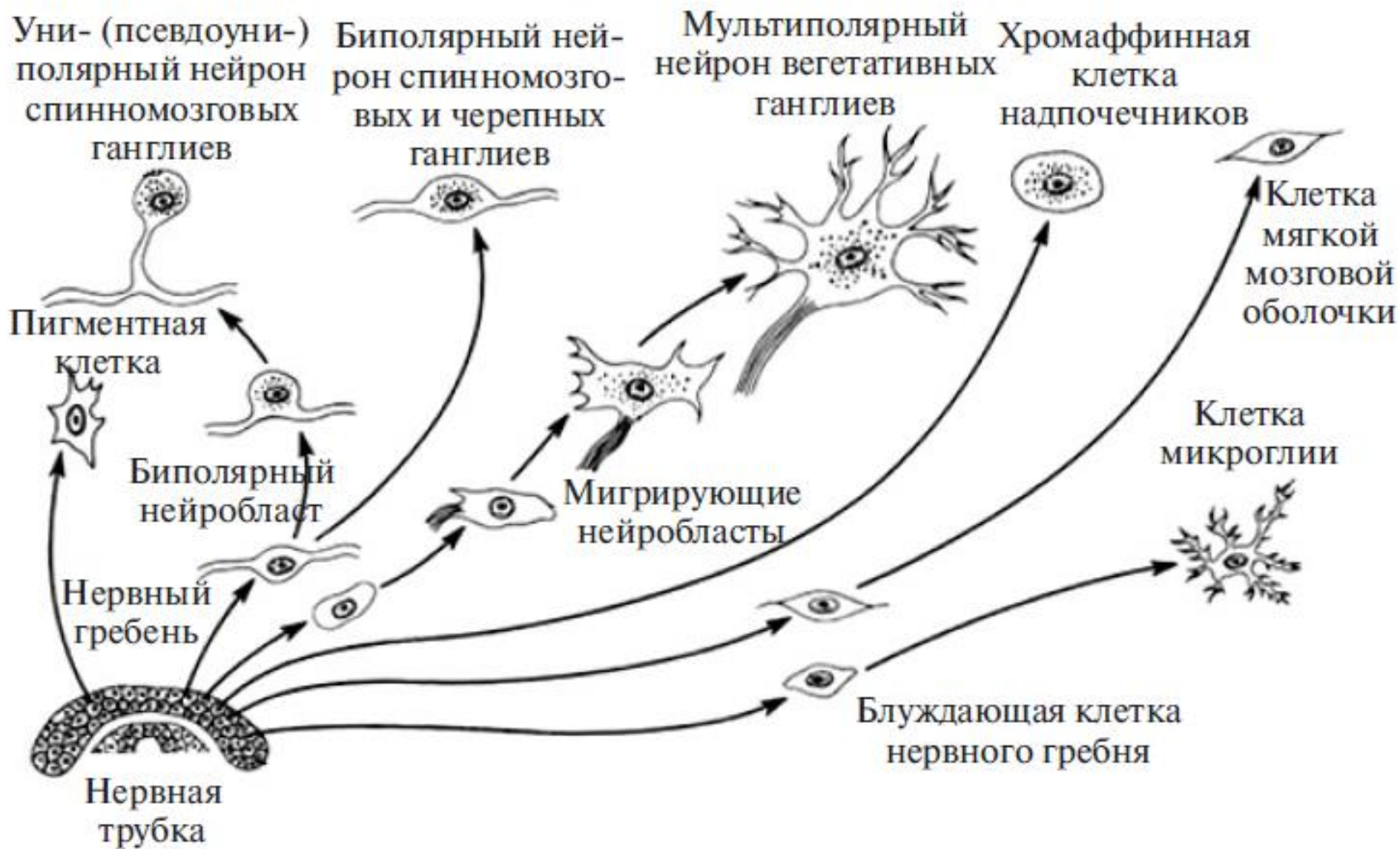


Стрелки направлены от индуктора к органам, которые образуются в результате индукции.



Нейруляция у зародыша курицы, 24 ч инкубации (по Гилберту, 1993).

Клетки нервной системы – производные нервного гребня





Спасибо за внимание!