

Точка отсчета

Некоторые аспекты эмбриологии.



Живые организмы, населяющие нашу планету, поражают своим разнообразием. Это и растения, превращающие энергию солнечного света в питательные вещества, и высшие животные с мозгом, способным производить неисчислимое множество операций в секунду. Это микроскопические бактерии и гигантские млекопитающие животные, ползающие по дну ракообразные и парящие в облаках птицы... Но еще удивительней, что большинство этих, таких не похожих друг на друга организмов начинают свое развитие – **онтогенез** – с одних и тех же первых шагов, одной и той же единственной клетки.

До определенного этапа развития все живые организмы на Земле размножались делением. Деление – это крайне простой и быстрый способ, при котором из одной клетки получаются две совершенно идентичные дочерние. Однако с усложнением структуры живых организмов стали появляться и более прогрессивные способы размножения. Одним из важнейших достижений биологической эволюции стал **половой процесс**.

В половом процессе участвуют репродуктивные клетки – **гаметы**. Каждая из них имеет одинарный набор хромосом, и при слиянии двух гамет объединяется генетический материал обоих родителей. Достигнутое таким образом генетическое разнообразие позволяет получить потомков с комбинацией свойств, что в свою очередь предоставляет материал для эволюции.

Какие бывают формы полового процесса ?

Формами полового процесса являются *конъюгация* и *копуляция*.

Конъюгация – форма полового процесса, при которой **оплодотворение происходит путем взаимного обмена клеточными ядрами**, перемещающимися из одной клетки в другую по цитоплазматическому мостику, образуемому двумя особями. При конъюгации обычно не происходит увеличения количества особей, но происходит обмен генетическим материалом между клетками, что обеспечивает рекомбинацию наследственных свойств. Конъюгация типична для *ресничных простейших* (например, *инфузорий*), некоторых *водорослей* (*спирогиры*).

Копуляция (гаметогамия) – форма полового процесса в

более привычном смысле, **при которой две различающиеся по полу клетки (гаметы) сливаются и образуют зиготу**. При этом ядра гамет образуют одно ядро зиготы.

Различают следующие формы гаметогамии: *изогамия*, *анизогамия* и *оогамия*.

При *изогамии* образуются подвижные, морфологически одинаковые гаметы, однако физиологически они различаются на «мужскую» и «женскую». *Изогамия* встречается у многих *водорослей*.

При *анизогамии* (гетерогамии) формируются подвижные, различающиеся морфологически и физиологически гаметы. Такой тип полового процесса также характерен для многих *водорослей*.

В случае *оогамии* гаметы сильно отличаются друг от друга. Женская гамета – крупная неподвижная **яйцеклетка**, содержащая большой запас питательных веществ.

Мужские гаметы – **сперматозоиды** – мелкие, чаще всего подвижные клетки, которые перемещаются с помощью одного или нескольких жгутиков. *Оогамия* характерна для *животных*, *высших растений* и многих *грибов*.

Оогамия может осуществляться **внутри женского орга-**

низма или вне его (обычно в водной среде).

? Как формируется яйцеклетка

«В ходе оогенеза (развития яйцеклетки) яйцеклетка накапливает все необходимое для начальных этапов развития зародыша. Обычно при этом она сильно увеличивается в размерах, становясь во много раз крупнее типичных соматических клеток. Представьте себе, что грибождевик вырос до размеров Исаакиевского собора. Это примерно отражает соотношение размеров обычных соматических клеток и крупных яйцеклеток» [3].

Размеры яйцеклеток как таковых могут сильно различаться: яйцеклетка мыши имеет диаметр около 0,06 мм, в то время как диаметр яйца африканского страуса может достигать 15-18 см. Человеческая яйцеклетка имеет диаметр примерно 130 мкм и весит 1,15 нанограмм.

Желток обычно распределяется в яйцеклетке неравномерно, большая его часть скапливается в одном ее полушарии. В другое полушарие, в свободную от желтка цитоплазму, смещается ядро. Так у яйцеклетки возникают два полюса: вегетативный – «растительный» и анимальный – «животный». У вегетативного полюса сосредоточен желток; у анимального полюса, где находится ядро, происходят деления и выделяются редукционные тельца. В отличие от сперматогенеза, где образующиеся в ходе мейоза клетки равноценны друг другу, при формировании женских половых клеток результатом мейоза является одна готовая к оплодотворению яйцеклетка и три редукционных тельца, которые со временем дегенерируют. Почти вся цитоплазма достается ооциту, и таким образом сохраняется накопленный объем питательных веществ.

Как происходит процесс оплодотворения ?

При достижении сперматозоидами яйцеклеток происходит процесс оплодотворения. Для этого содержимому сперматозоида необходимо преодолеть *zona pellucida* (блестящую оболочку) – гликопротеиновую оболочку вокруг яйцеклетки. Для этого в сперматозоиде есть специальный органoid – акросома. Происходит акросомная реакция: из акросомы освобождаются ферменты, которые расщепляют молекулы блестящей оболочкой, позволяющие сперматозоидам преодолеть этот барьер.

леть этот барьер.

В дальнейшем в блестящей оболочке запускаются биохимические механизмы, препятствующие полиспермии, то есть проникновению в яйцеклетку еще одного сперматозоида.

Проникшее в цитоплазму яйцеклетки ядро сперматозоида набухает, достигает величины ядра яйцеклетки. Ядра сближаются и сливаются. Этот момент и есть собственно оплодотворение. В результате из двух гамет образуется одна диплоидная зигота, т. е. восстанавливается двойной набор хромосом.



Человеческая яйцеклетка



Содержимое птичьего яйца.

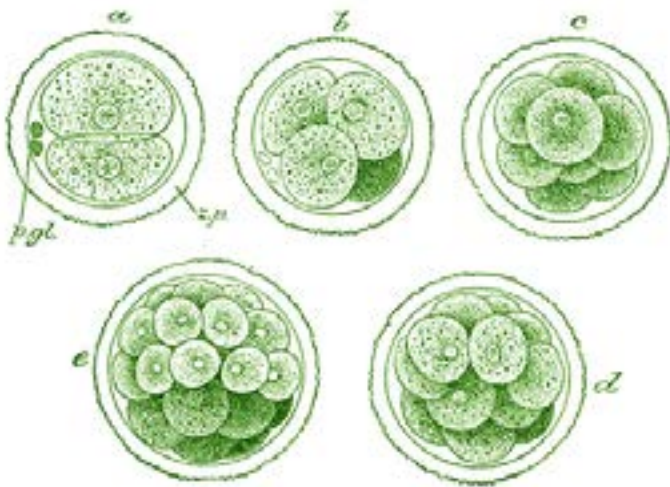
Что происходит в самом начале эмбрионального развития ?

Первый период эмбрионального развития – **дробление**. Дробление присутствует в онтогенезе всех **многоклеточных животных**.

Дробление основано на **митотическом делении клеток**.

Митоз – это один из фундаментальных процессов онтогенеза. Биологическое значение митоза состоит в строго одинаковом распределении хромосом между дочерними ядрами, что обеспечивает образование генетически идентичных дочерних клеток и сохраняет преемственность в ряду клеточных поколений.

Вначале зигота делится на две клетки (у млекопитающих примерно через 30 часов после оплодотворения). Затем яйцо продолжает делиться на все более мелкие клетки – **бластомеры**. При этом масса зародыша и его объем не меняются, поскольку каждый следующий этап приводит к уменьшению размеров самих бластомеров. На этом этапе эмбрион называется **морулой**.



Дробление: эмбрион млекопитающего. z.p. — zona pellucida, p.gl. — полярные тельца, а — двухклеточная стадия, b — четырёхклеточная стадия, c — восьмиклеточная стадия, d, e — морула

На этом этапе бластомеры еще не образуют клеточных контактов и не способны к самостоятельному формированию единого зародыша. Клетки раннего эмбриона вместе удерживает блестящая оболочка.

По окончании дробления бластомеры удаляются в радиальном направлении от центра яйца и располагаются в виде сферического слоя клеток, окружающих собой центральную полость – **бластоцель**. Эта полость заполнена жидкостью, отличающейся по химическому составу от окружающей среды. Бластоцель увеличивает площадь поверхности эмбриона, улучшая его способность усваивать питательные вещества и кислород. Такой эмбрион называется **бластулой**.

Таким образом, окончательный результат дробления яйца – это бластула, многоклеточный зародыш, имеющий один слой клеток. Этот слой по своему гистологическому (тканевому) характеру представляет собой эпителий и в дальнейшем дает начало зародышевым пластам.

У многих низших животных, живущих в воде, такие бластулы уже покидают желточную оболочку яйца и свободно плавают, вращаясь, при помощи мерцательных ресничек. Однако дробление у млекопитающих (а значит, и у человека) имеет свои особенности. Во-первых, уже после 1-2 делений активизируется собственный геном зародыша. (Тогда как у других живых организмов на этом этапе транскрибируются только запасенные в яйцеклетке материнские мРНК).

Во-вторых, формирование бластулы предшествует формированию шарообразной структуры – **бластоцисты**.

На этом этапе происходит самая первая дифференцировка клеток.

Что такое дифференцировка клеток ?

Дифференцировка клеток – процесс реализации генетически обусловленной программы формирования специализированного фенотипа клеток, отражающего их способность к тем или иным профильным функциям. Дифференцировка меняет функцию клетки, ее размер, форму и метаболическую активность.

Общее название для всех клеток, еще не достигших окончательного уровня специализации, – **стволовые клетки**. Степень дифференцированности клетки (ее «потенция к развитию») называется **потентностью**. Клетки, способные дифференцироваться в любую клетку взрослого организма, называют **плюрипотентными**. Плюрипотентными являются, например, клетки внутренней клеточной массы бластоцисты мле-

копитающих. Для обозначения культивируемых *in vitro* плюрипотентных клеток, получаемых из внутренней клеточной массы бластоцисты, используется термин «эмбриональные стволовые клетки».

Плюрипотентные клетки способны к дифференцировке во все типы клеток взрослого организма, которых насчитывается около 220. Ввиду пластичности и потенциально неограниченного потенциала самообновления эмбриональные стволовые клетки можно использовать для замещения поврежденных тканей.

Зигота и бластомеры являются *тотипотентными*, так как они могут дифференцироваться в любую клетку, в том числе и в экстраэмбриональные ткани.

Лишь небольшое количество клеток во взрослом организме сохраняет мультипотентность. Они используются в процессе естественного обновления клеток крови, кожи и др., а также для замещения поврежденных тканей. Так как эти клетки обладают двумя основными функциями стволовых клеток – способностью обновляться, поддерживая мультипотентность, и способностью дифференцироваться, их называют взрослыми стволовыми клетками.

Итак, у млекопитающих первая дифференцировка клеток происходит уже на стадии бластоцисты.

Бластоциста состоит из двух клеточных популяций: *трофобласта* и *эмбриобласта* (внутренней клеточной массы). Трофобласт формирует внешний слой эмбриона – полый шар или пузырек и в дальнейшем обеспечивает имплантацию эмбриона в матку. Эмбриобласт формирует внутренний слой бластоцисты, располагается внутри трофобластического пузырька в виде скопления клеток у одного из полюсов шара (внутренняя клеточная масса).

Эмбриобласт дает начало собственно телу плода, а также структурам *внезародышевых органов* (желточному мешку, аллантоису, амниону, серозе).

Зачем нужны зародышевые оболочки ?

У высших позвоночных животных, в том числе и у человека, уже на стадии бластулы наблюдается появление дополнительных зародышевых оболочек – *серозы*, *амниона* и *аллантоиса*, обеспе-

чивающих защиту развивающегося зародыша от высыхания и различного рода воздействий среды.

Амнион и *сероза* образуют амниотическую полость. Полость заполнена жидкостью – водным раствором белков, сахаров, минеральных солей и гормонов. Количество этой жидкости у шестимесячного зародыша человека достигает 2 л. В ней зародыш находится как бы в маленьком водоеме, условия среды которого относительно постоянны. Эволюционно зародышевые оболочки возникли для обеспечения возможности развития эмбриона в воздушной среде (в отличие от предковых водных форм).

Аллантоис – это зачаток мочевого мешка. У пресмыкающихся и птиц в нем накапливаются продукты жизнедеятельности зародыша до выупливания из яйца. У зародыша человека он не достигает больших размеров и исчезает на третьем месяце эмбрионального развития.

У высших млекопитающих (включая человека) зародышевые оболочки играют еще одну важную функцию: они участвуют в образовании особого органа – *плаценты*. Поэтому эти животные называются *плацентарными*.



Зачем нужна плацента

У большинства таксонов следующие стадии онтогенеза проходят вне материнского организма – в яйце или икре. Но у плацентарных млекопитающих этот процесс происходит внутри. Для этого эмбрион должен покинуть яйцеклетку и имплантироваться в специальный орган – *матку*.

Пока бластоциста находится в яйцеклетке, ее защищает *блестящая оболочка*. Процесс освобождения от нее называется *хэтчинг* – «вылупление». После хэтчинга функции наружной оболочки берет на себя трофобласт.

Трофобласт и аллантоис образуют ворсинки, которые, соединившись, становятся новой структурой – *хорионом*.

Ворсинки хориона внедряются в *эндометрий* – *внутреннюю слизистую оболочку матки*, обильно снабженную кровеносными сосудами. В то же время эндометрий продолжает утолщаться под влиянием гормона *прогестерона* и в итоге окружает бластоцисту со всех сторон. Процесс имплантации происходит при тесном химическом и физическом взаимодействии

бластоцисты и эндометрия. При этом клетки трофобласта образуют активный барьер между тканями матери и эмбриона, что препятствует отторжению плода. Это позволяет продлить сроки внутриутробного развития и получить более развитого детеныша.

Сросшиеся друг с другом хорион и разрыхленный эндометрий образуют **плаценту**. Плацента выполняет *трофическую (питательную), выделительную, газообменную, гормональную и защитную функции*.

Теперь, когда зародыш надежно помещен в матку, он может продолжать свое развитие.

Следующий этап онтогенеза – **гастроуляция**.

Что происходит с зародышем на стадии гастроуляции



На этом этапе происходят направленные перемещения и дифференцировка клеток, которая впоследствии приведет к развитию тканей и органов зародыша. У многих групп животных именно на стадии гастроуляции появляются первые структурные и функциональные различия между отдельными клетками и частями зародыша.

В результате перемещений клеток из бластулы образуется двух- или трехслойный зародыш – **гастроула**. У млекопитающих первой стадией гастроуляции является бластула, а затем уже гастроула.

Гастроула *одноклеточных животных*, а также *губок и кишечнополостных (медузы, кораллы)* разделена на пласты клеток (зародышевые листки) – **эктодерму** и **энтодерму**. У остальных *многоклеточных* между этими пластами есть еще один – **мезодерма**.

У разных групп животных одни и те же зародышевые листки дают начало одним и тем же системам органов и тканям.

Эктодерма (др.-греч. ἔκτος – наружный и δέρμα – кожа) формируется из внешнего слоя зародышевых клеток.

У *позвоночных (а значит, и у человека)* эктодерма состоит из трех частей: из *внешней эктодермы, нервного гребня и нервной трубки*. Нервный гребень и нервная трубка также известны как *нейроэктодерма*. Иногда стадию их образования называют *нейрула (нейруляция)*. Ниже мы подробнее расскажем, что происходит на стадии нейруляции.

Из эктодермы образуется не только *нервная система*, но и *органы чувств, эпителий кожи, эмаль зубов*.

Энтодерма формируется из внутреннего слоя зародышевых клеток.

У *первичноротых (моллюски, членистоногие, кольчатые черви и др.)* энтодерма выстилает *полость первичной кишки*, из нее образуется *средняя кишка* и все ее *добавочные железы*.

У *вторичноротых (иглокожие, хордовые и др.)* образует *внутренний слой кишечной трубки*.

Различие между *первичноротыми* и *вторичноротыми* животными закладывается именно на стадии гастроулы, когда у зародыша образуется **бластопор** – первичный рот.

Бластопор (от др.-греч. βλαστός – росток и др.-греч. πόρος – проход, отверстие) – **отверстие, посредством которого полость первичной кишки зародыша сообщается с окружающей средой**. У большинства животных бластопор закладывается на вегетативном полюсе.

У *первичноротых животных* бластопор превращается в рот или образует рот и анальное отверстие.

У *вторичноротых* первичный рот превращается в анальное отверстие, а настоящий рот образуется независимо в передней части тела.

У *позвоночных* из эктодермы развивается *слизистая оболочка всего кишечника* и связанные с ним *железы (печень, поджелудочная железа и др.)*. У рыб, кроме того – *плавательный пузырь* и *внутренние жабры*, а у высших позвоночных (включая человека) – *легкие*.

Мезодерма – это средний зародышевый листок у многоклеточных животных (кроме губок и кишечнополостных). Она располагается между эктодермой и энтодермой.

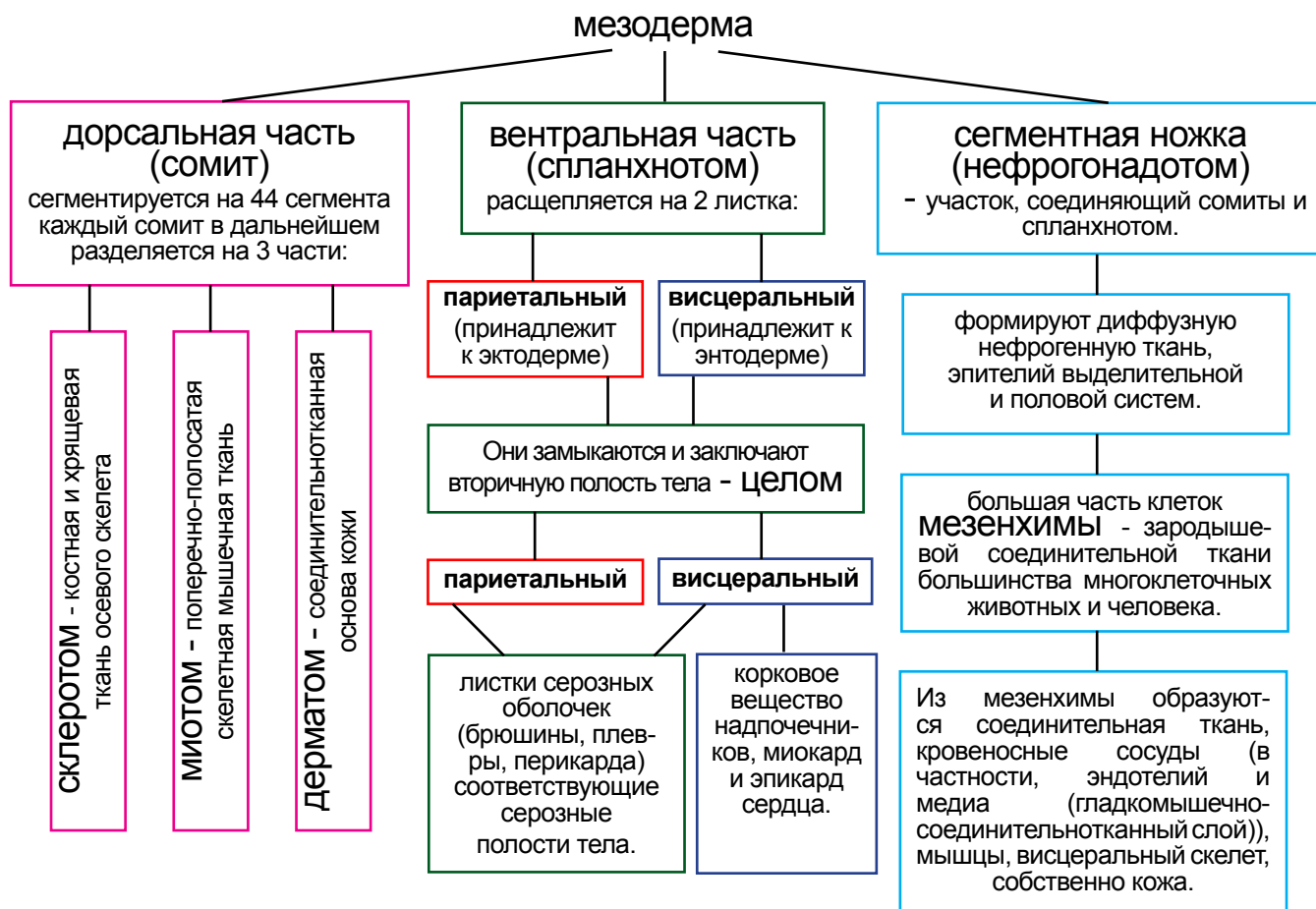
Мезодерма дифференцируется на 3 части (см. схему 1).

Как образуется нервная система



У хордовых животных (включая и человека) следующим очень важным этапом онтогенеза является **нейруляция**. Этот этап заключается в образовании *нервной пластинки* и замыкании ее в *нервную трубку*.

Нервная пластинка – это **зачаток центральной нервной системы, который образуется из эктодермы**. В процессе развития края



нервной пластинки начинают сближаться. Внутри образуется *нервный желобок*, а по краям – *нервный валик*, который впоследствии образует *нервный гребень*.

Клетки нервного гребня обладают развитой способностью мигрировать в организме и развиваются в весьма разнообразные структуры. Это многие *ганглии нервной системы*, *хрящи лицевого черепа*, *клетки надпочечников*, *перегородка в сердце между аортой и легочным стволом* и др.

Когда края нервной пластинки смыкаются, образуется нервная трубка.

Вскоре после образования в нервной трубке выделить три слоя:

- **эпендимный** – внутренний слой, содержащий зачаточные клетки
- **мантийная зона** – содержит мигрирующие клетки, выселяющиеся из эпендимного слоя.
- **наружная краевая зона** – слой, где образуются нервные волокна.

Выселившиеся из эпендимного слоя клетки становятся **нейробластами**.

Нейробласты – зародышевые нервные клетки, которые в процессе развития превращаются в зрелые нервные клетки – *нейроны*.

Клетки нервной трубки активно делятся на полюсах, и нервная трубка в поперечном разрезе приобретает форму песочных часов. Один из концов впоследствии становится *головным мозгом*.

Таким образом, нервная система у позвоночных, включая человека, закладывается очень рано. И если во время нейруляции произойдут какие-либо сбои, детеныш (а также человеческий ребенок) может родиться с серьезными пороками ЦНС.

Зародыш на стадии нейруляции называется **нейрула**. Вот какую роль играют на этом этапе три слоя зародышевых клеток:

- **эктодерма** образует нервную пластинку и покровный эпителий.

- мезодерма образует зачаток хорды.
- энтодерма подрастает к спинной стороне зародыша и, окружая гастроцель, образует кишечник.

В конечной стадии нейруляции у зародыша можно различить передний и задний отделы тела.

Для животных, у которых не происходит нейруляция (беспозвоночных), этап активной дифференциации клеток и первичного формирования внутренних органов называется *органогенез*.

Таким образом, из единственной клетки – *зиготы* – путем сложнейших биологических механизмов образуется многоклеточный организм со всем разнообразием тканей и органов. Этот процесс изучает такой раздел биологии, как **эмбриология**.

Данные эмбриологии важны не только сами по себе. Они дают новые сведения о развитии жизни на Земле, о филогенетическом родстве живых организмов. Многие биологические таксоны получили свое название именно в связи с особенностями эмбрионального развития: амниоты, плацентарные, первичноротые и т.д. Кроме того, данные эмбриологии позволяют развиваться репродукционной медицине и дарить счастье материнства в тех случаях, когда женщина не может забеременеть естественным путем.

Сегодня многие женщины в мире прибегают к таким медицинским технологиям, как ЭКО и ИКСИ. В этом случае часть этапов эмбрионального развития происходит вне женского организма – в пробирке.

Но в любом случае начало новой жизни вот уже миллионы лет происходит одинаково.

Крошечная оплодотворенная клетка зигота – это точка отсчета, с которой начинается путь каждого из нас.

Литература

1. Белоусов Л. В. Основы общей эмбриологии. (3-е изд., переработ. и дополн.) – М.: Изд-во МГУ-Наука, 2005.
2. <http://www.sbio.info/page.php?id=25>
3. http://medbiol.ru/medbiol/genetic_sk/0007bc7c.htm#000624cc.htm