

КАЗАНСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
МЕДИЦИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



2025г.

Тема 15

Половые клетки и оплодотворение

лекция

Нуруллин Лениз Фаритович

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

ПОЛОВЫЕ КЛЕТКИ

У низших животных половые клетки вырабатываются в течение всей жизни, у высших – в период половой активности.

Типы половых клеток:

Яйцеклетки.

Сперматозоиды

Гаметогенез – это процесс образования половых клеток.

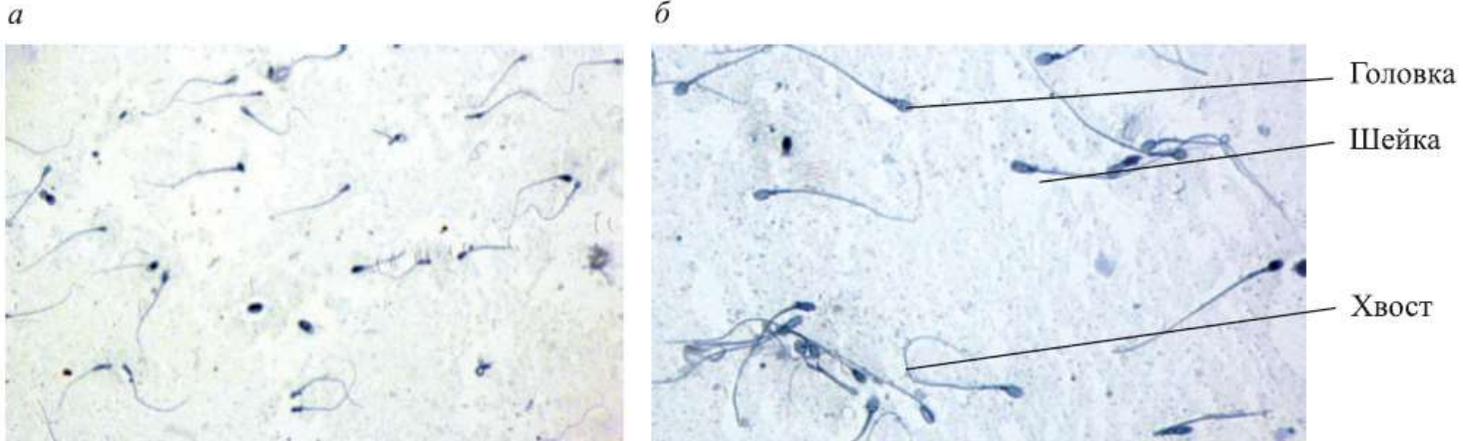
Протекает он в половых железах – **гонадах** (в **яичниках у самок** и в **семенниках у самцов**).

Гаметогенез в организме женской особи сводится к образованию женских половых клеток (яйцеклеток) и носит название **овогенеза**.

У особей мужского пола возникают мужские половые клетки (сперматозоиды), процесс образования которых называется **сперматогенезом**.

Спермии человека (окраска железным гематоксилином):

a – мазок спермы (ув. 100); *б* – сперматозоиды (ув. 400)



Овоцит млекопитающего (окраска Г и Э): *a* – часть среза яичника с третичным фолликулом (ув. 25); *б* – овоцит, окруженный оболочками (ув. 400)



ЭВОЛЮЦИЯ ПОЛОВЫХ КЛЕТОК

В процессе эволюции степень различия гамет нарастает. Различают 3 этапа эволюции половых клеток:

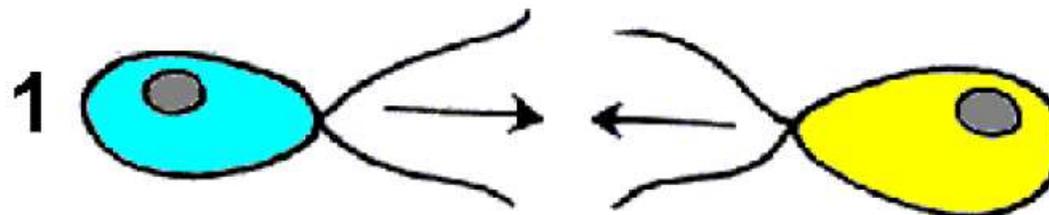
I этап. У гамет еще не наблюдается морфологической дифференцировки, т.е. имеет место **ИЗОГАМИЯ** (некоторые водоросли, простейшие и т.д.). Гаметы имеют одинаковые размеры, форму, обладают подвижностью.

II этап. **АНИЗОГАМИЯ** – гаметы дифференцируются на крупные и мелкие клетки (макро- и микрогаметы), обладающие подвижностью. Сливаются попарно могут как большая гамета с малой, так и малая с малой (никогда большая с большой).

III этап. **ООГАМИЯ** – гаметы резко различны. Большая гамета (яйцеклетка) становится неподвижна. Она во много раз крупнее, за счет лецитина. Мелкая гамета – сперматозоид – подвижная, по форме напоминает головастика.

Этапы эволюции гамет:

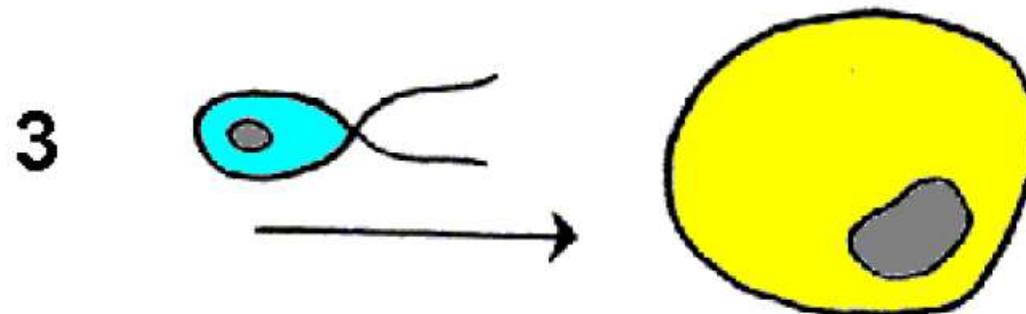
1 – ИЗОГАМИЯ



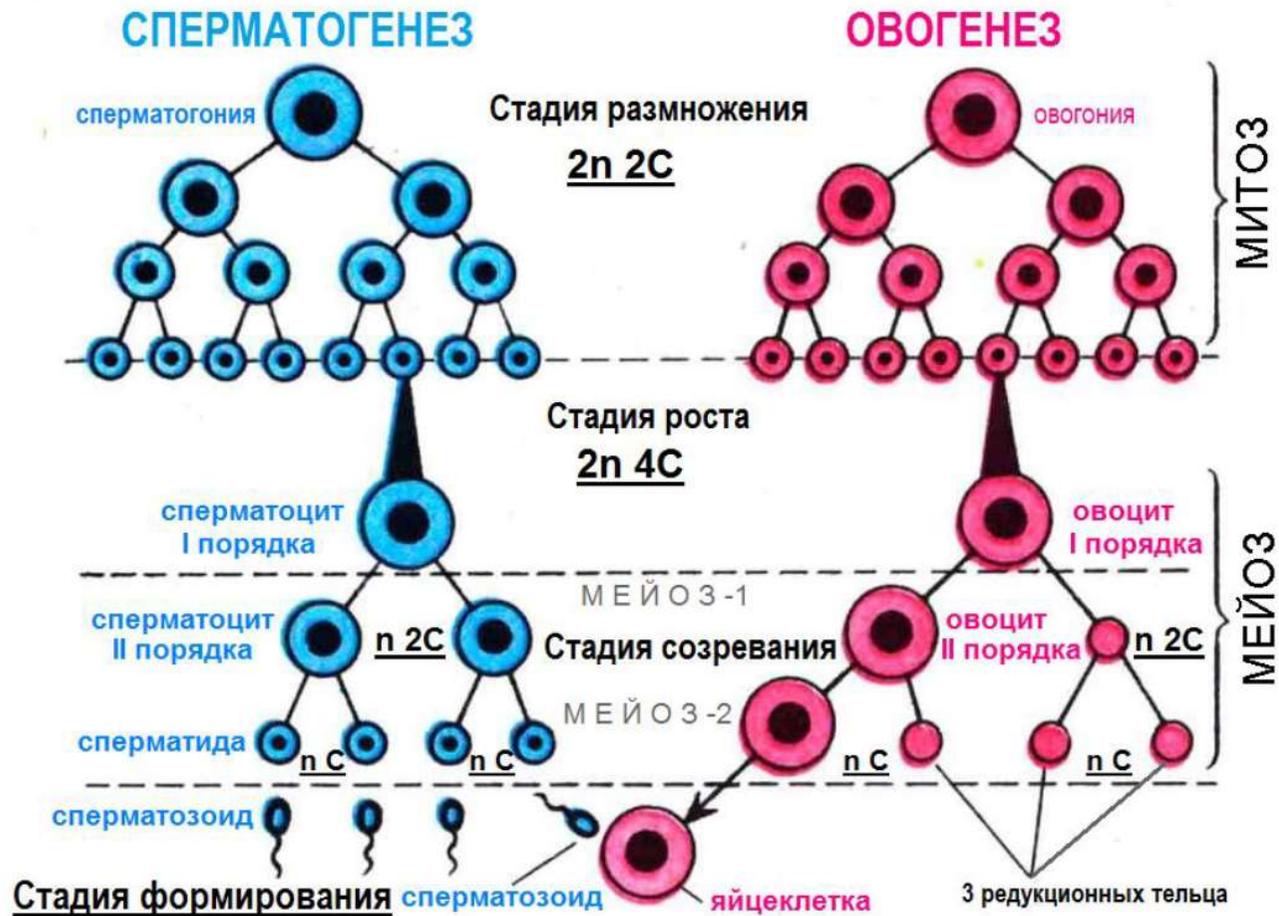
2 – АНИЗОГАМИЯ



3 – ООГАМИЯ



Гаметогенез – это последовательный процесс, который складывается из нескольких стадий – *размножения, роста, созревания клеток*. В процесс сперматогенеза включается также *стадия формирования*, которой нет при овогенезе.

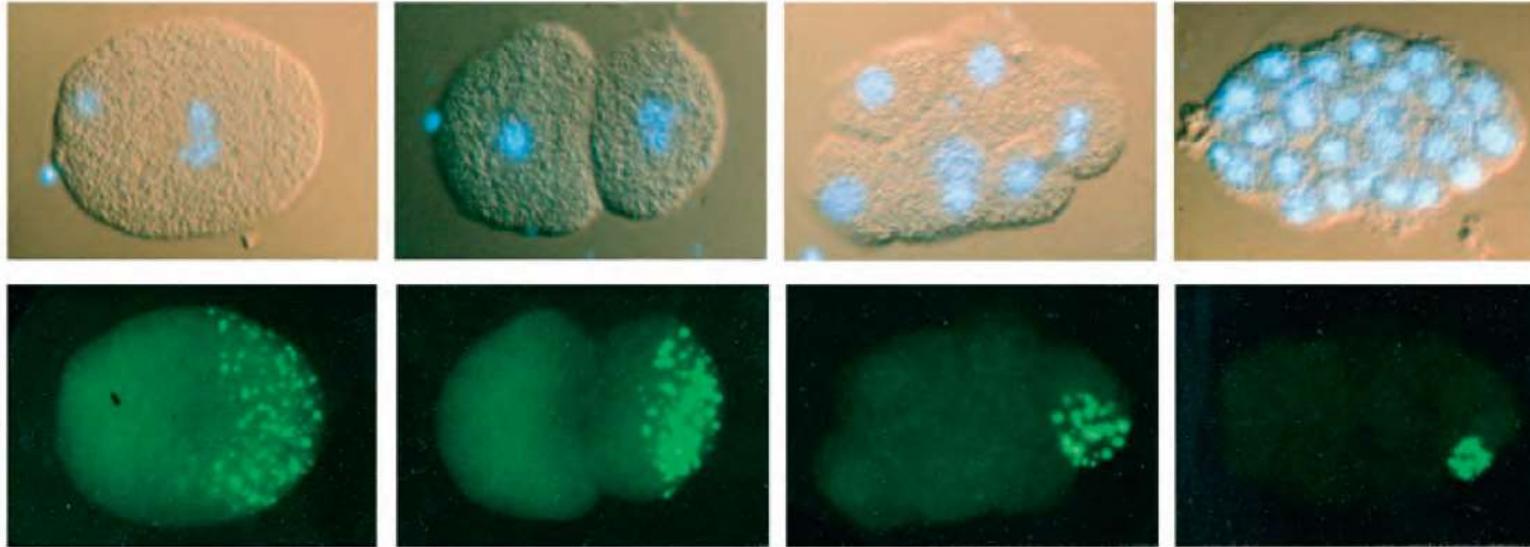


Биологический смысл, связанный с разным функциональным назначением мужских и женских гамет (помимо переноса генетической информации) включает:

1. Накопление в цитоплазме яйцеклетки большого количества запасных питательных веществ необходимо, так как на этой «базе» осуществляется развитие дочернего организма из оплодотворенного яйца.
2. Неравномерный цитокинез при овогенезе и обеспечивает формирование крупной яйцеклетки.
3. Функция же сперматозоидов заключается в нахождении яйцеклетки, проникновении в нее и доставке своего хромосомного набора. Их существование кратковременно, а поэтому нет необходимости в запасании большого количества веществ в цитоплазме. А поскольку сперматозоиды в массе гибнут в процессе поиска яйцеклетки, их образуется огромное количество.

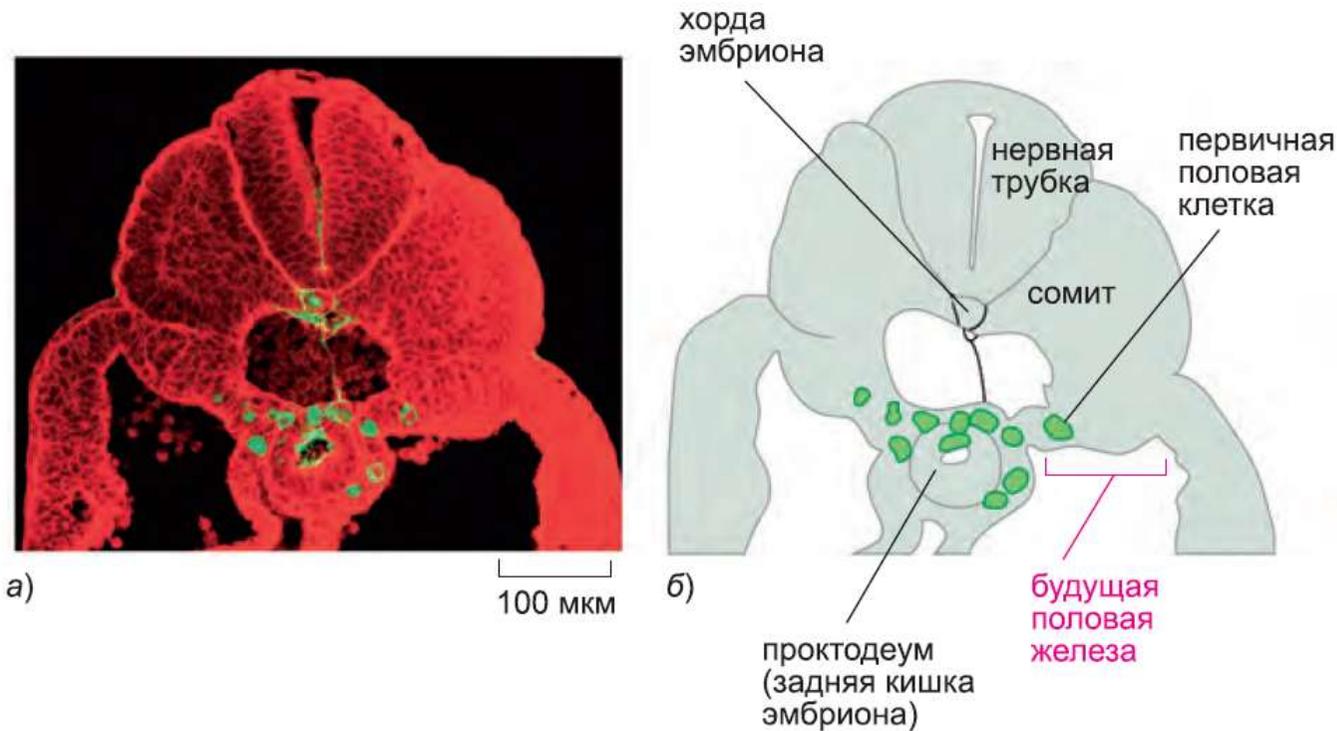
**Центральное событие в процессе гаметогенеза –
редукция диплоидного набора хромосом (в ходе мейоза) и
формирование гаплоидных гамет.**

Детерминанты клеток зародышевой линии у нематоды *C. elegans*.



На микрофотографиях сверху представлен ряд клеточных делений; ядра клеток окрашены *голубым*. Внизу — те же клетки, окрашенные (в *зеленый*) антителами к небольшим гранулам (так называемым Р-гранулам), служащим детерминантами клеток зародышевой линии. Р-гранулы состоят из РНК и белка; они равномерно распределены по цитоплазме неоплодотворенной яйцеклетки (не показано). После оплодотворения гранулы скапливаются на одном из полюсов зиготы (вверху и внизу слева). При каждом делении они переходят в одну из дочерних клеток. На фотографиях сверху и внизу справа гранулы сосредоточены в клетке — она и будет предшественником клеток зародышевой линии.

Миграция первичных половых клеток (ППК) млекопитающих.



а) Микрофотография среза эмбриона мыши на ранних стадиях развития, сделанная методом иммуофлуоресценции. Мигрирующие ППК окрашены с помощью моноклональных антител (зеленый цвет), специфически связывающихся с этими клетками на данном этапе эмбриогенеза. Остальные клетки окрашены с помощью лектина в красный цвет; лектин связывается с сиаловой кислотой, присутствующей на поверхности всех клеток. б) Схема расположения тканей на микрофотографии.

СТАДИИ ГАМЕТОГЕНЕЗА

1. Стадия размножения. Клетки, из которых в последующем образуются мужские и женские гаметы, называются **сперматогониями** и **овогониями** соответственно. Несут диплоидный набор хромосом $2n, 2C$. На этой стадии первичные половые клетки – *гаметогонии*, многократно делятся *митозом*, в результате чего их количество существенно возрастает.

Сперматогонии размножаются в течение всего репродуктивного периода в мужском организме. Размножение овогоний происходит главным образом в эмбриональном периоде. В яичниках у организмов женского пола процесс размножения овогоний наиболее интенсивно протекает между 2 и 5 месяцами внутриутробного развития. **Генетическая формула клеток в стадии размножения соответствует $2n, 2C$.**

СТАДИИ ГАМЕТОГЕНЕЗА

2. Стадия роста. Клетки увеличиваются в размерах и превращаются в **сперматоциты** и **овоциты-I порядка** (последние достигают особенно больших размеров в связи с накоплением питательных веществ в виде желтка и белковых гранул). Эта стадия соответствует **интерфазе-1 мейоза**. Важное событие этого периода – **редупликация молекул ДНК** при неизменном количестве хромосом.

Они приобретают двунитчатую структуру: **генетическая формула клеток в этот период $2n,4C$** .

К концу 7 месяца большая часть овоцитов-I порядка переходит в профазу-1 мейоза.

СТАДИИ ГАМЕТОГЕНЕЗА

3. Стадия созревания. Происходят два последовательных деления – **редукционное (мейоз-1)** и **эквационное (мейоз-2)**, которые вместе составляют мейоз.

После первого деления (мейоза-1) образуются **сперматоциты-II порядка** и **овоцит-II порядка** (с генетической формулой $n,2C$).

После второго деления (мейоза-2) – **сперматиды** и **зрелая яйцеклетка** с тремя редукционными тельцами (с формулой n,C), которые погибают и в процессе размножения не участвуют. Так сохраняется максимальное количество желтка в яйцеклетках.

Таким образом, в результате стадии созревания один сперматоцит-I порядка (с формулой $2n,4C$) дает **четыре сперматиды (с формулой n,C)**, а один овоцит-I порядка (с формулой $2n,4C$) образует **одну зрелую яйцеклетку (с формулой n,C)** и **три редукционных тельца**.

СТАДИИ ГАМЕТОГЕНЕЗА

4. Стадия формирования, или спермиогенеза (только при сперматогенезе). В результате этого процесса каждая незрелая сперматида превращается в **зрелый сперматозоид** (с формулой **n,C**), приобретая все структуры, ему свойственные.

Ядро сперматиды уплотняется, происходит сверхспирализация хромосом, которые становятся функционально инертными. Комплекс Гольджи перемещается к одному из полюсов ядра, формируя **акросому**. К другому полюсу ядра устремляются центриоли, причем одна из них принимает участие в формировании жгутика. Вокруг жгутика спирально закручивается одна митохондрия. Почти вся цитоплазма сперматиды отторгается, поэтому головка сперматозоида ее почти не содержит.

Яйцеклетка – высокоспециализированная гаплоидная женская половая клетка, содержащая питательные вещества, необходимые для развития зародыша.

Выделяют разные типы яйцеклеток в зависимости от количества желтка и его распределения в цитоплазме:

Изолецитальные, алецитальные – лецитина мало и он равномерно распределен по цитоплазме (яйцо иглокожих, млекопитающих, ланцетников).

Телolecитальные – содержат большое количество лецитина, сосредоточенного на одном из полюсов – **вегетативном**. Противоположный полюс, содержащий ядро и цитоплазму без лецитина, называется **анимальным**.

Различают резко телolecитальные – у птиц и некоторых рептилий, умеренно телolecитальные – у земноводных.

Центролецитальные – желток находится в центре клетки, а цитоплазма расположена на периферии (яйца насекомых)



яйцеклетка
человека



яйцо
курицы



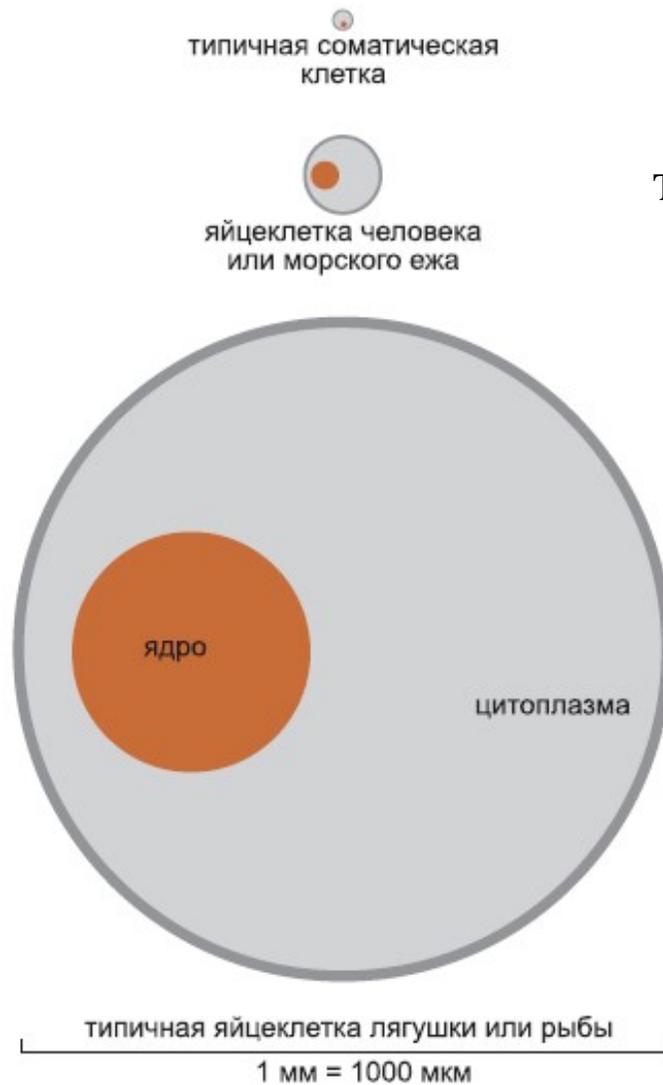
яйцо
лягушки

Яйцеклетки трех видов животных в натуральную величину

Диаметр яйцеклетки человека составляет
0,1 мм.

В курином яйце яйцеклеткой является
желток.

Относительные размеры различных яйцеклеток и типичной соматической клетки



Яйцеклетки покрыты оболочками, которые по происхождению бывают первичными, вторичными, третичными.

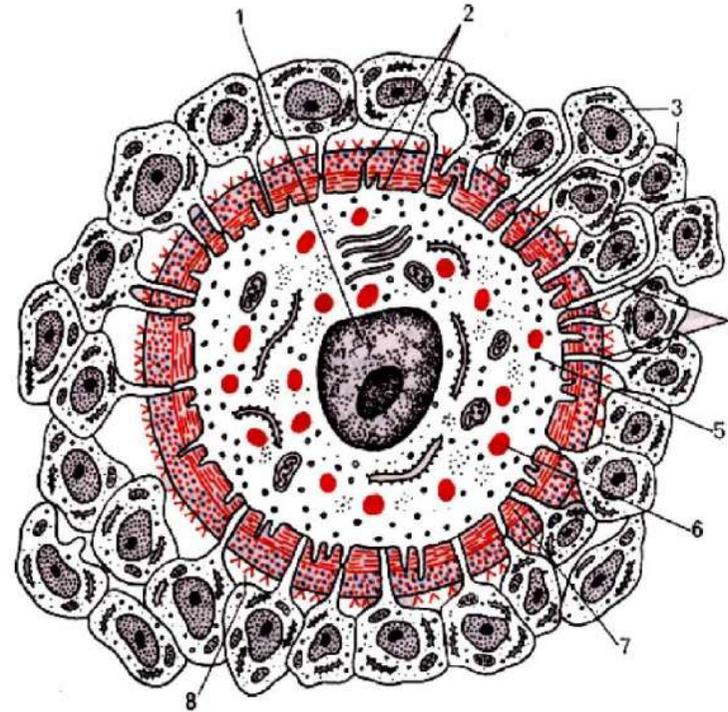
Первичная оболочка образуется из поверхностного слоя еще незрелой половой клетки (овоцита). Эта оболочка пронизана микроворсинками и отростками фолликулярных клеток, прилегающих к поверхности яйцеклетки. По этим структурам в овоцит поступают питательные вещества.

Вторичная оболочка состоит из фолликулярных клеток или выделяемых ими секретов.

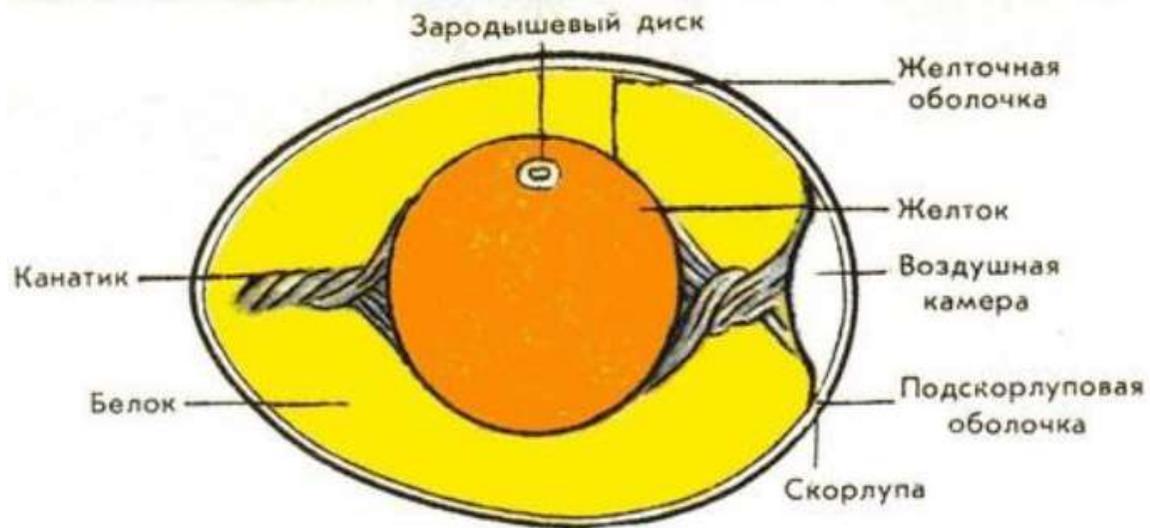
Третичная оболочка формируется во время прохождения яйцеклетки по яйцеводам из веществ, секретиромых железами стенок яйцеводов. Третичными оболочками являются, например, белковая, подскорлуповая и скорлуповая оболочка яиц птиц. Яйцеклетки не всех видов животных обладают всеми тремя оболочками. Яйцеклетки млекопитающих третичной оболочки не имеют.

Строение зрелой яйцеклетки:

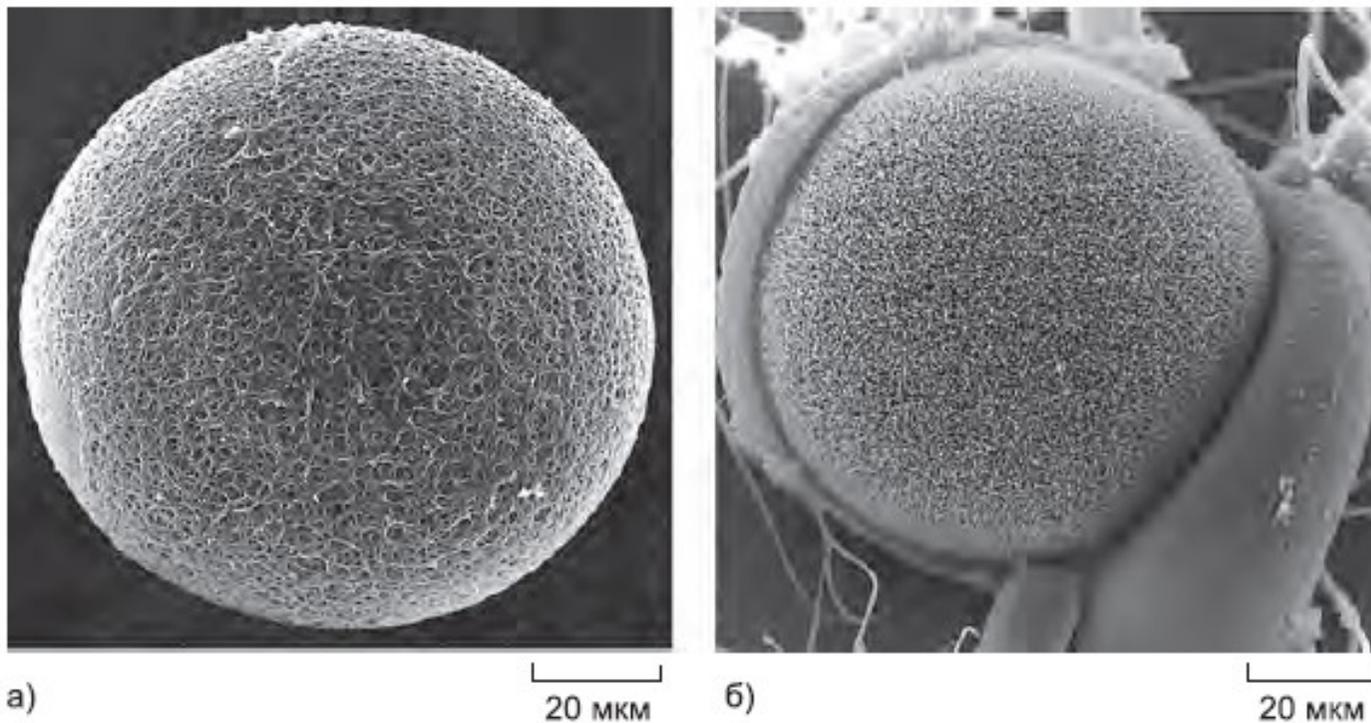
- 1 – ядро; 2 – цитолемма;
- 3 – фолликулярный эпителий;
- 4 – лучистый венец;
- 5 – кортикальные гранулы;
- 6 – желточные включения;
- 7 – блестящая зона;
- 8 – рецептор.



Трехслойные оболочки у яиц птиц



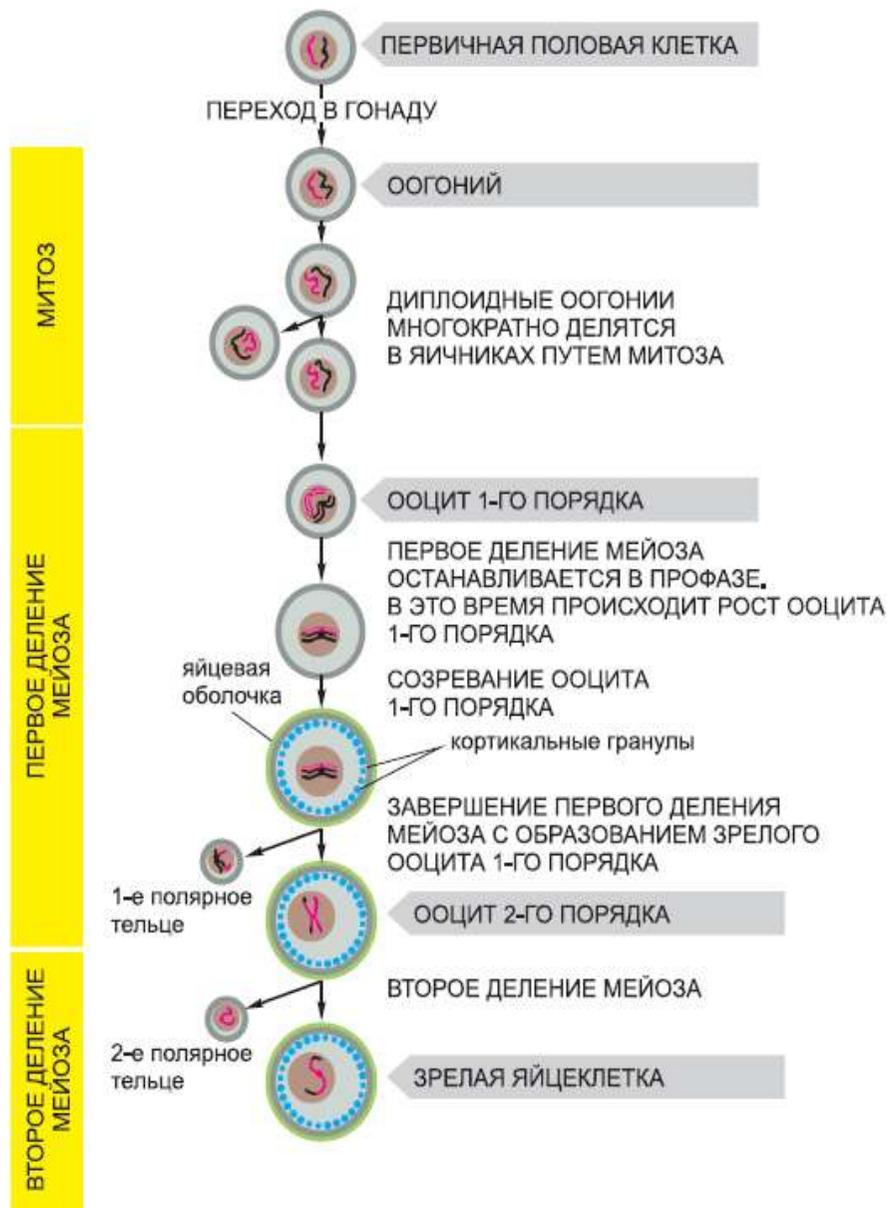
Zona pellucida



Микрофотографии яйцеклетки хомяка, полученные методом сканирующей электронной микроскопии.

а) Сверху яйцеклетку покрывает *zona pellucida*, с которой связываются головки сперматозоидов.

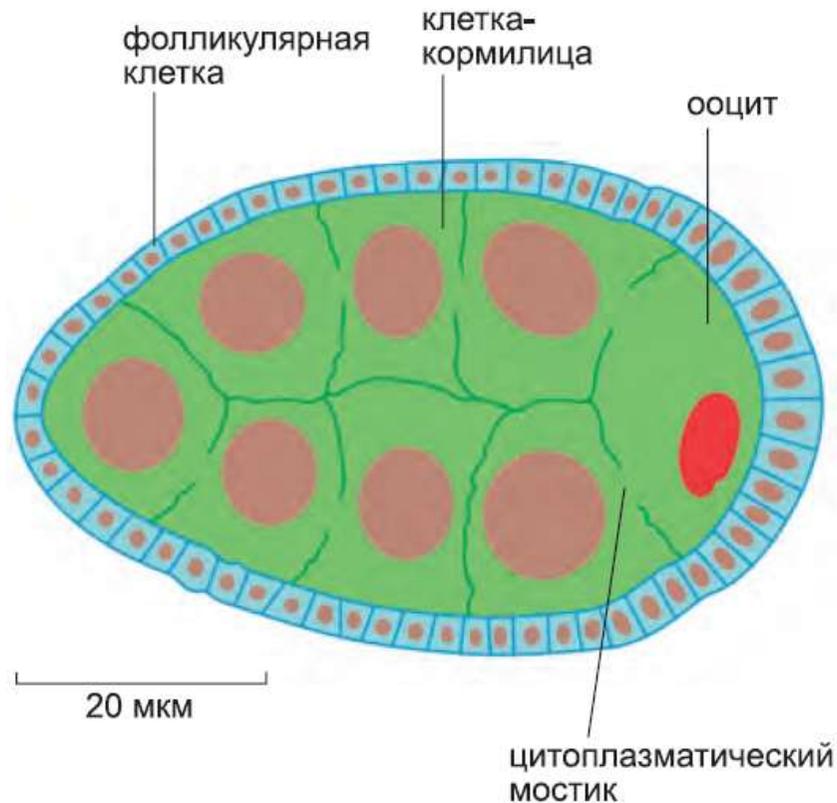
б) Под ней находится плазматическая мембрана, образующая многочисленные микроворсинки. *Zona pellucida* вырабатывается исключительно самим развивающимся ооцитом.



Стадии оогенеза

Из первичных половых клеток, мигрирующих в яичник на ранней стадии эмбриогенеза, развиваются оогонии. Показана для простоты лишь одна пара гомологичных хромосом. После ряда митотических делений оогонии приступают к первому делению мейоза, и на этой стадии их называют уже ооцитами первого порядка. У млекопитающих ооциты первого порядка формируются очень рано и остаются на стадии профазы I (у человека это происходит между 3-м и 8-м месяцами эмбрионального развития) до тех пор, пока самка не достигнет половой зрелости. После этого под влиянием гормонов периодически созревает небольшое число ооцитов, которые завершают первое деление мейоза и превращаются в ооциты второго порядка. Последние претерпевают второе деление мейоза и становятся зрелыми яйцеклетками. Стадия, на которой яйцеклетка выходит из яичника и оплодотворяется, у разных животных различна. У большинства позвоночных созревание ооцитов приостанавливается на стадии метафазы II, и ооцит второго порядка завершает мейоз лишь после оплодотворения. Все полярные тельца в конечном счете дегенерируют. У большинства животных развивающийся ооцит окружают специализированные вспомогательные клетки, обслуживающие и питающие его.

Клетки-кормилицы и фолликулярные клетки, связанные с ооцитом дрозофилы

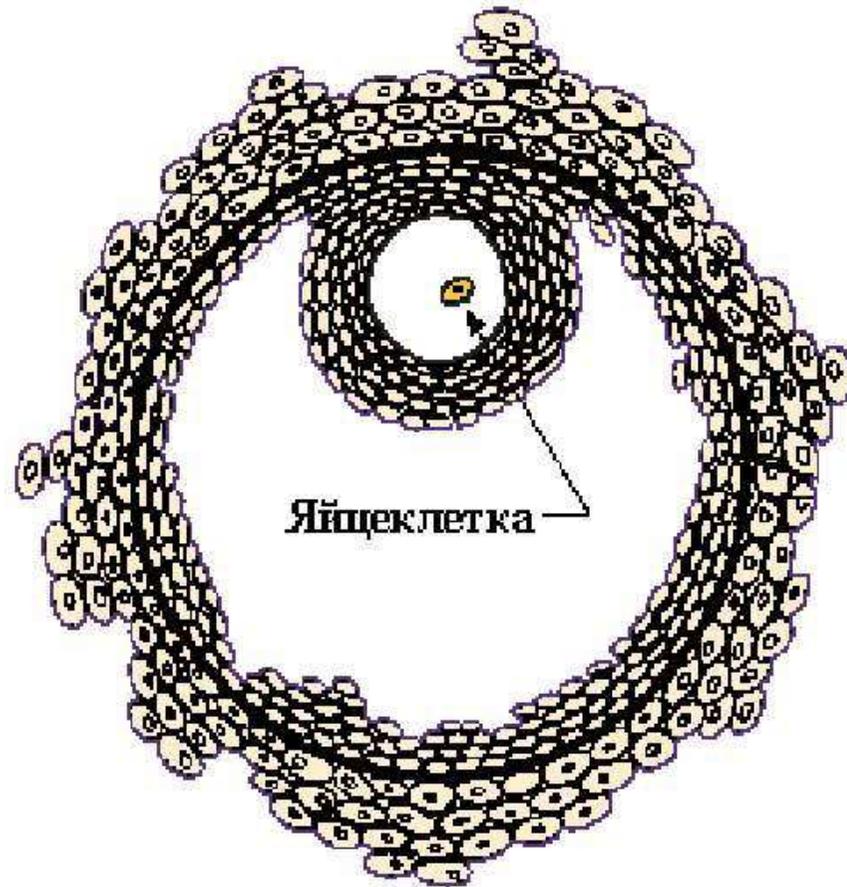


Из одного оогония развиваются 15 клеток-кормилиц и единственный ооцит (на рисунке в плоскость среза попадают лишь 7 клеток-кормилиц). Все эти клетки связаны между собой цитоплазматическими мостиками, образовавшимися в результате неполного деления. В конце концов клетки-кормилицы впрыскивают содержимое своей цитоплазмы в развивающийся ооцит и погибают. Фолликулярные клетки развиваются независимо из клеток мезодермы.

Женские половые клетки

Яйцеклетки, или *овоциты* (от лат. *ovum* - яйцо), созревают в неизмеримо меньшем количестве, чем сперматозоиды. У женщины в течение полового цикла (24-28 дней) созревает, как правило, одна яйцеклетка. Таким образом, за детородный период образуются около 400 яйцеклеток.

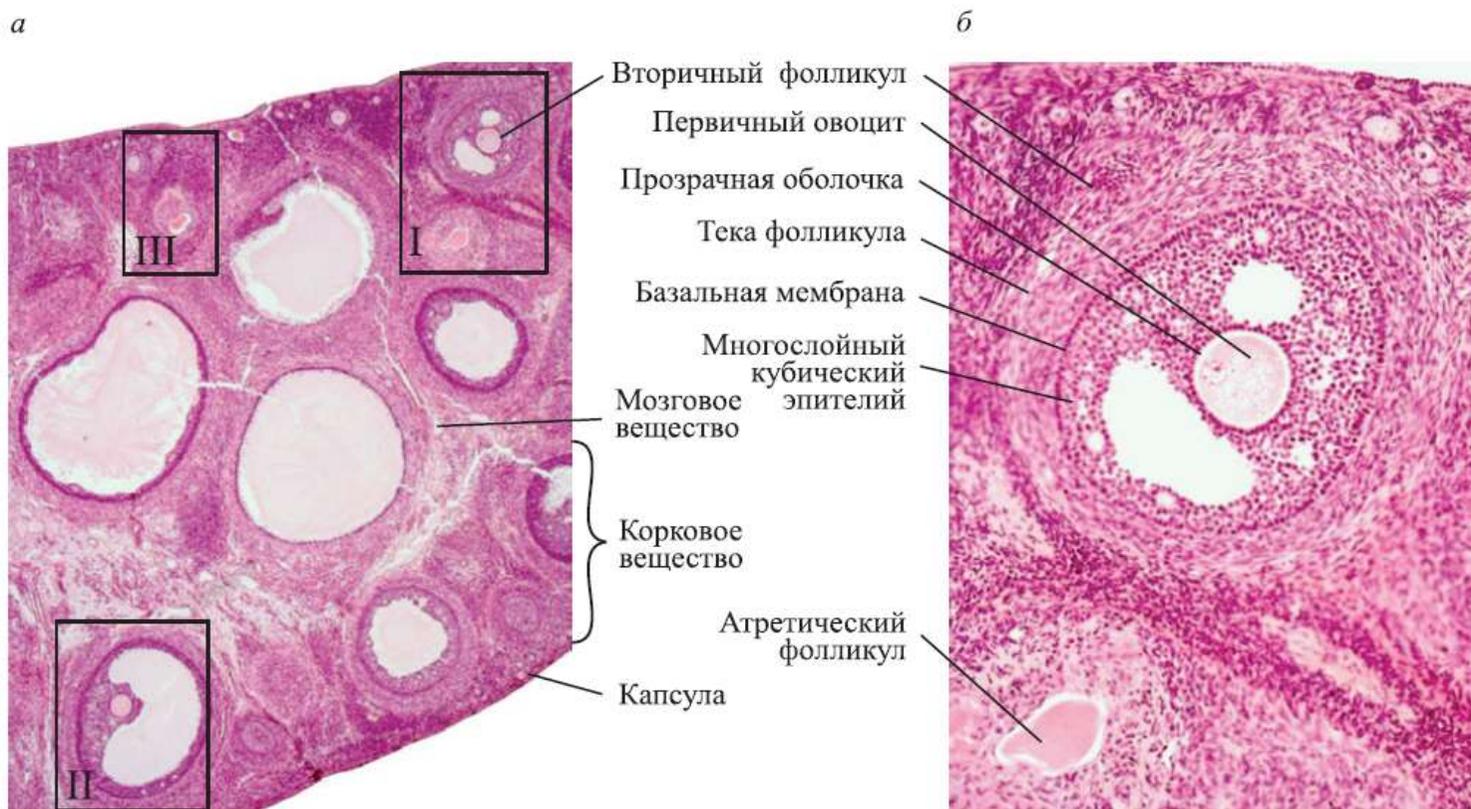
Выход овоцита из яичника называется овуляцией. Вышедший из яичника овоцит окружен венцом фолликулярных клеток, число которых достигает 3-4 тыс. Яйцеклетка имеет шаровидную форму, больший, чем у спермия, объем цитоплазмы, не обладает способностью самостоятельно передвигаться.



Зрелый фолликул перед **овуляцией**

Яичник в поперечном разрезе (окраска Г и Э):

a – участок яичника (ув. 25); *б* – фрагмент I: вторичный и атретический фолликулы (ув. 200); *в* – фрагмент II: третичный фолликул (ув. 200); *г* – фрагмент III: атретический фолликул и беловатое тело (ув. 200)

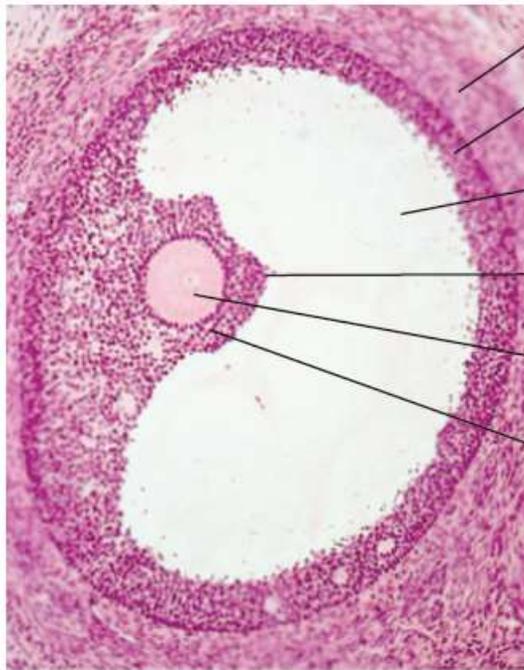


Яичник в поперечном разрезе (окраска Г и Э):

a – участок яичника (ув. 25); *b* – фрагмент I: вторичный и атретический фолликулы (ув. 200); *в* – фрагмент II: третичный фолликул (ув. 200); *г* – фрагмент III: атретический фолликул и беловатое тело (ув. 200)

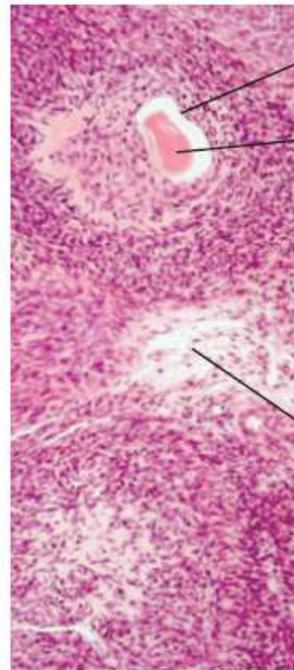
Гликопротеины (окраска по Шабадашу).
Прозрачная оболочка (ув. 200)

a



Тека
Гранулеза
(зернистый
слой)
Полость
фолликула
Яйценосный
бугорок
Первичный
овоцит
Лучистый
венец

b

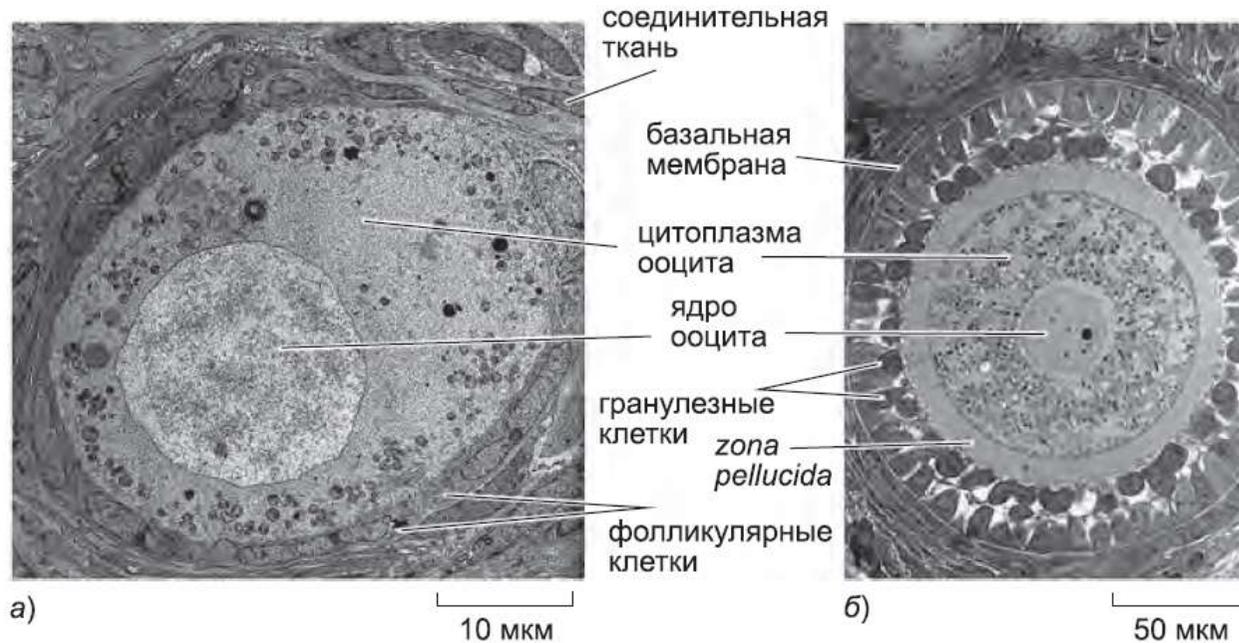


Атретический
фолликул
Сморщенная
прозрачная
оболочка
овоцита
атретического
фолликула
Беловатое
тело



Прозрачная
оболочка
овоцита
вторичного
фолликула

Электронные микрофотографии развивающихся ооцитов первого порядка в яичнике крольчихи



а) (болочка) и кортикальные гранулы еще не сформировались, и ооцит покрывает лишь один слой уплощенных фолликулярных клеток.

б) Более зрелый ооцит первого порядка; он гораздо больше ооцита, изображенного на микрофотографии (а), поэтому увеличение уменьшено в шесть раз. У этого ооцита уже есть толстая *zona pellucida*, и его окружают фолликулярные клетки (теперь они называются гранулезными), а также базальная мембрана, отделяющая ооцит от других клеток яичника. Гранулезные клетки соединены друг с другом и с ооцитом посредством щелевых контактов.

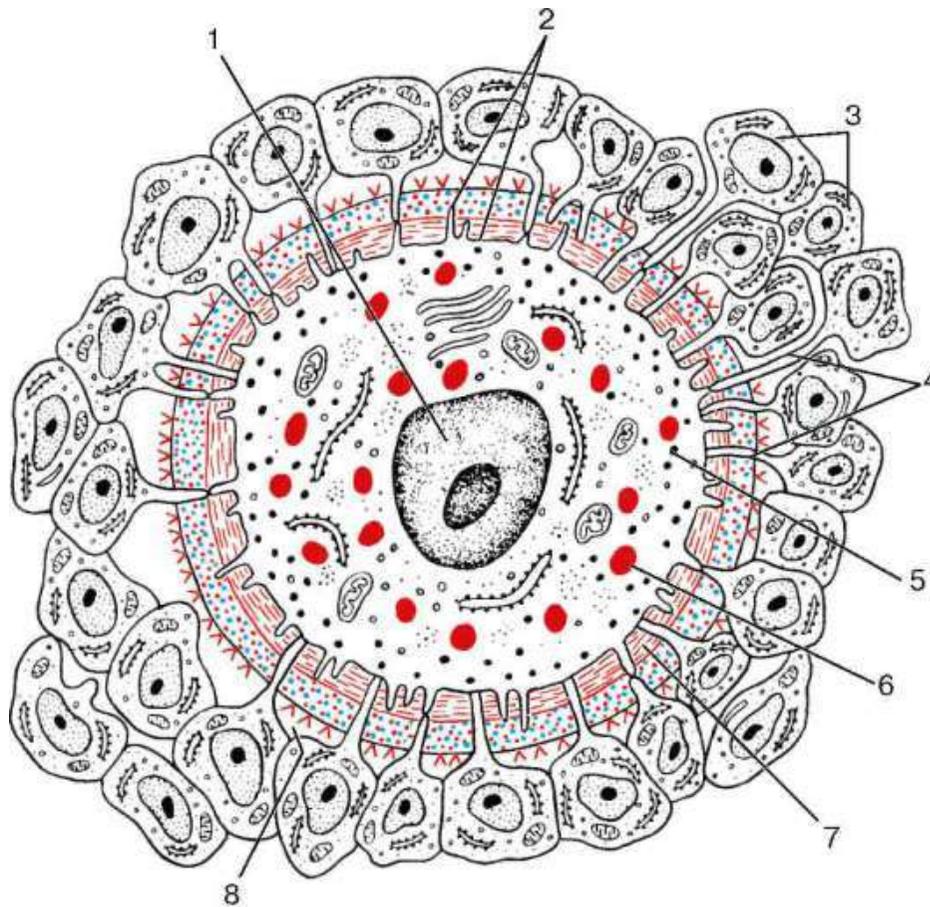
Строение.

Яйцеклетка человека имеет диаметр около 130 мкм. К плазмолемме прилежат прозрачная (блестящая) зона (*zona pellucida* - Zp) и далее слой фолликулярных эпителиоцитов.

Ядро женской половой клетки имеет гаплоидный набор хромосом с X-половой хромосомой, хорошо выраженное ядрышко, в оболочке ядра много поровых комплексов. В период роста овоцита в ядре происходят интенсивные процессы синтеза иРНК, рРНК.

Яйцеклетка человека вторично изолецитального типа (как и у других млекопитающих животных) содержит небольшое количество желточных гранул, расположенных более или менее равномерно.

У человека наличие малого количества желтка в яйцеклетке обусловлено развитием зародыша в организме матери.



Строение женской
половой клетки:

1 - ядро;

2 - плазмолемма;

3 - фолликулярный
эпителий;

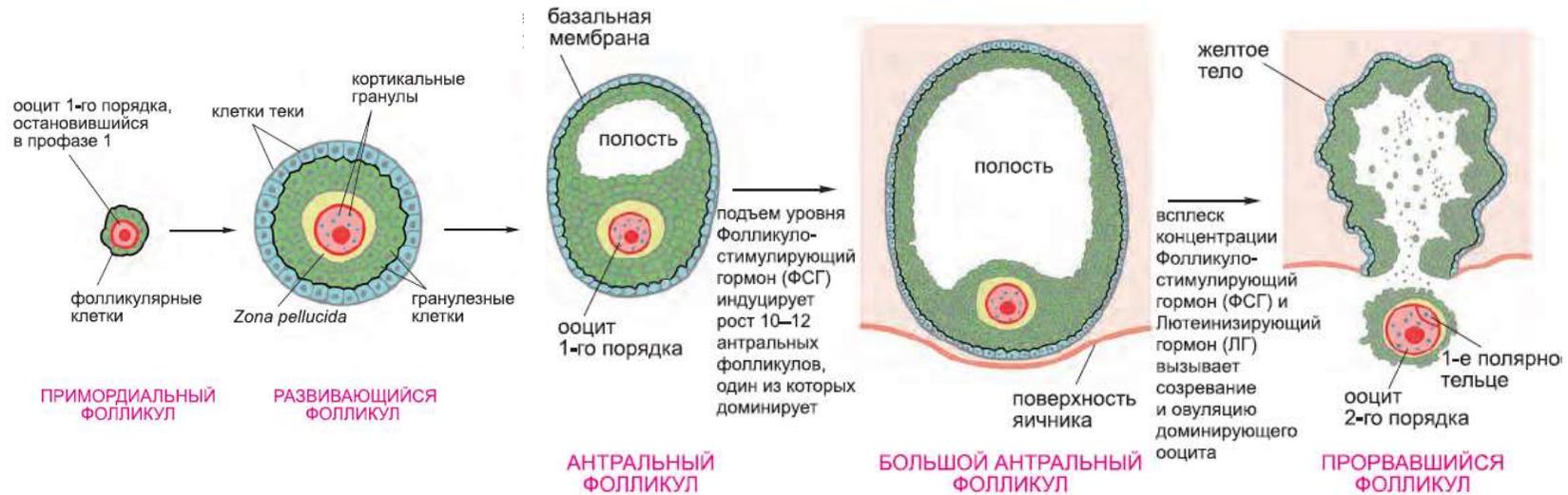
4 - лучистый венец;

5 - кортикальные
гранулы;

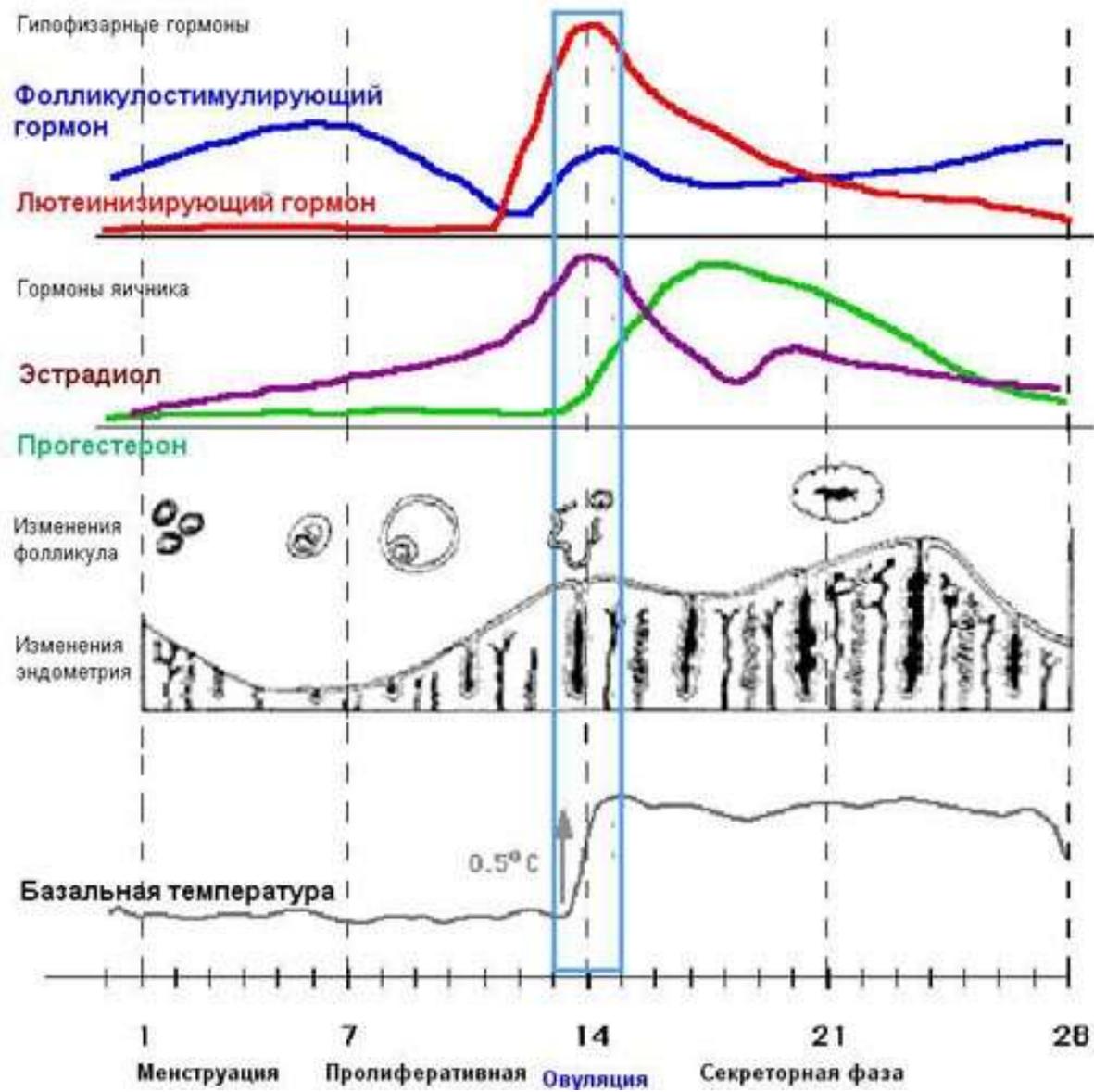
6 - желточные
включения;

7 - прозрачная зона; 8 -
рецептор Zp3

Стадии развития ооцита человека



На протяжении почти всего развития ооцит окружен гранулезными клетками (показаны зеленым), отделенными от внешнего слоя клеток теки (голубой цвет) базальной мембраной (черная линия). После овуляции пустой фолликул трансформируется в эндокринную железу — желтое тело, вырабатывающее прогестерон, который способствует подготовке матки к возможной беременности. Если оплодотворения не происходит, желтое тело рассасывается, а выстилка матки отслаивается и выходит наружу при менструации.



Сперматозоиды – мужские половые клетки. Обнаружены в сперме млекопитающих в 1677 г. *А.Левенгуком*. Термин введен *К.Бэр* в 1827 г.

Типичный сперматозоид имеет (у млекопитающих):

головку;

шейку;

хвостик

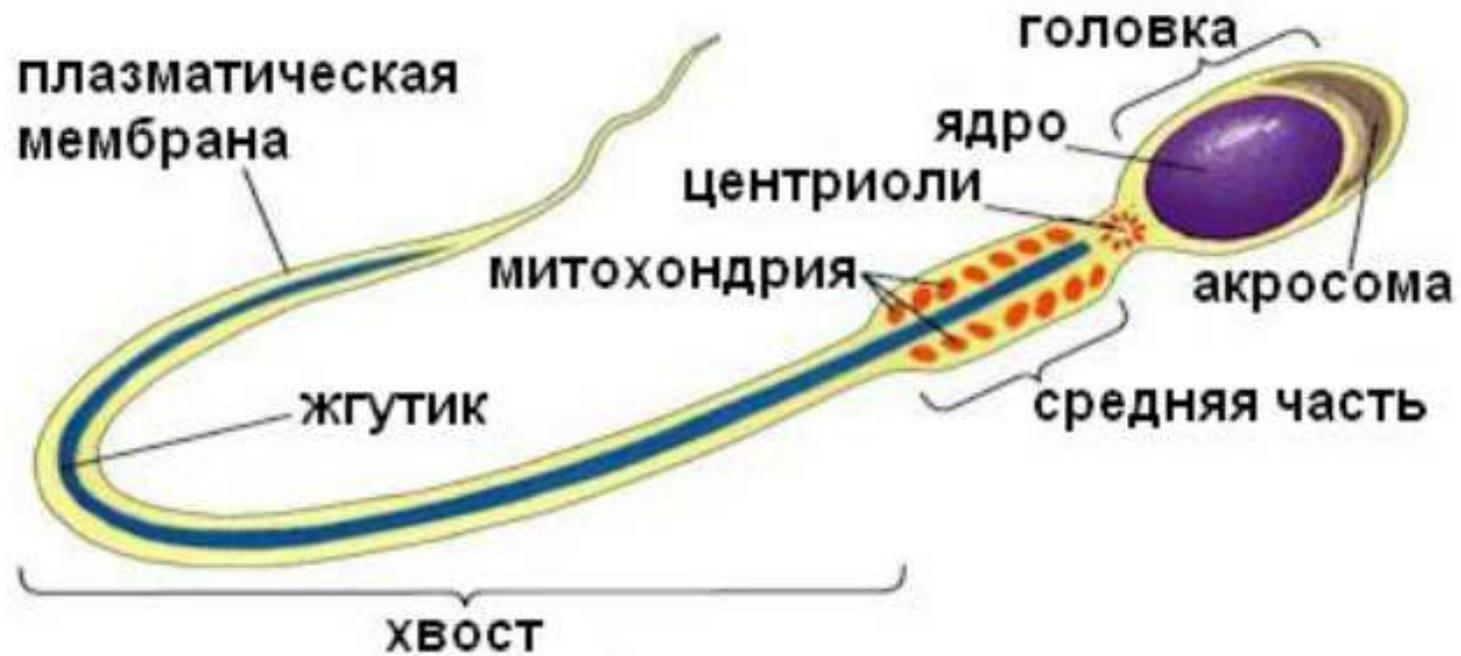
На переднем конце головки расположена **акросома**, состоящая из видоизмененного комплекса Гольджи. Ферменты акросомы растворяют оболочки яйцеклетки при оплодотворении. Основную массу головки занимает гаплоидное ядро и небольшое количество жидкокристаллической цитоплазмы.

В шейке находятся центриоль и спиральная нить, образованная митохондриями.

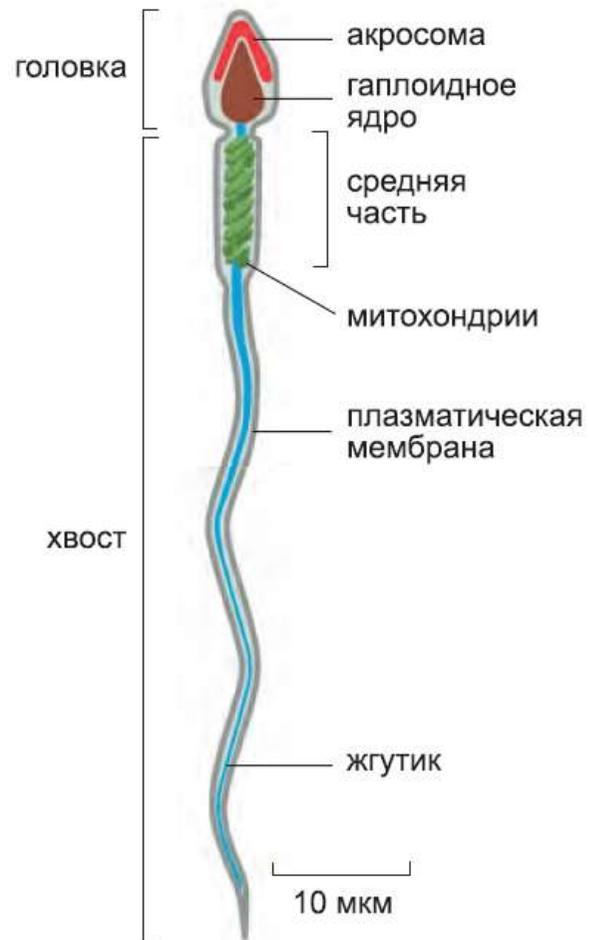
На заднем конце тела находится жгутик, обеспечивающий подвижность сперматозоида.

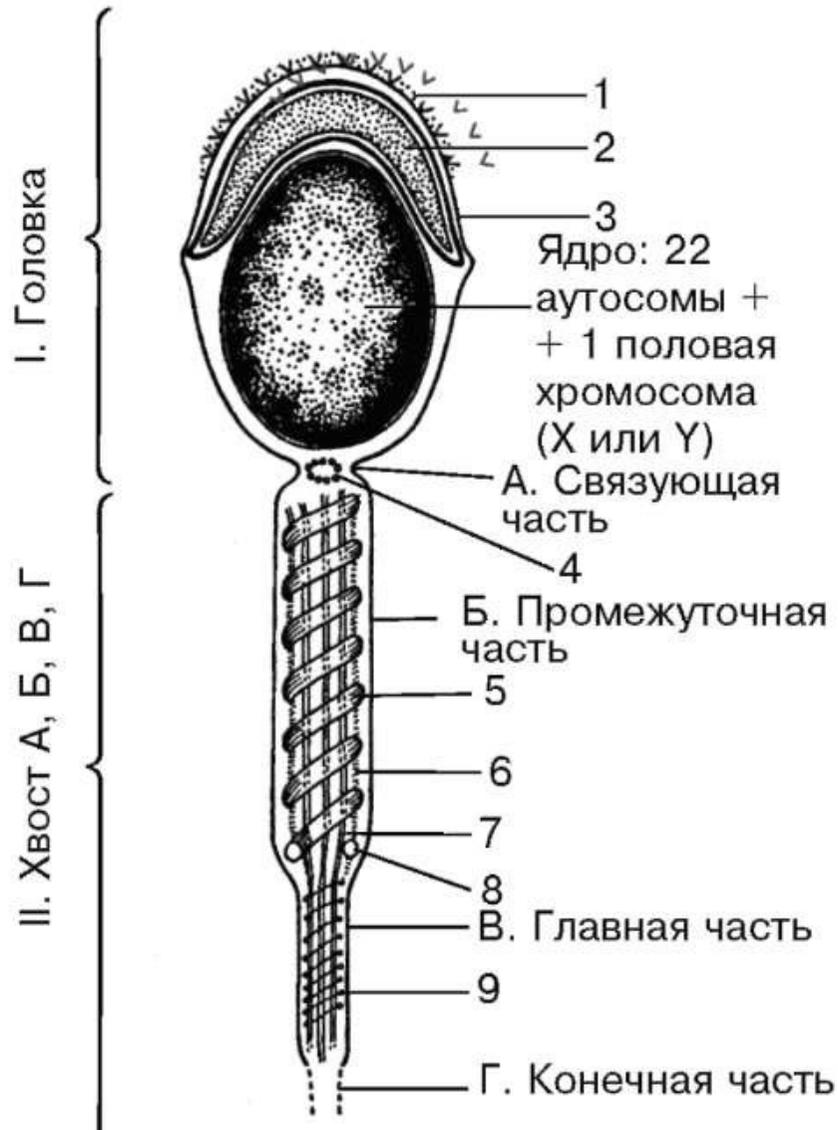
Строение. Мужские половые клетки человека - *сперматозоиды*, или *спермии*, длиной около 70 мкм, имеют головку и хвост. Плазмолемма сперматозоида в области головки содержит рецептор, с помощью которого происходит взаимодействие с яйцеклеткой.

Строение сперматозоида



Сперматозоид человека в продольном разрезе

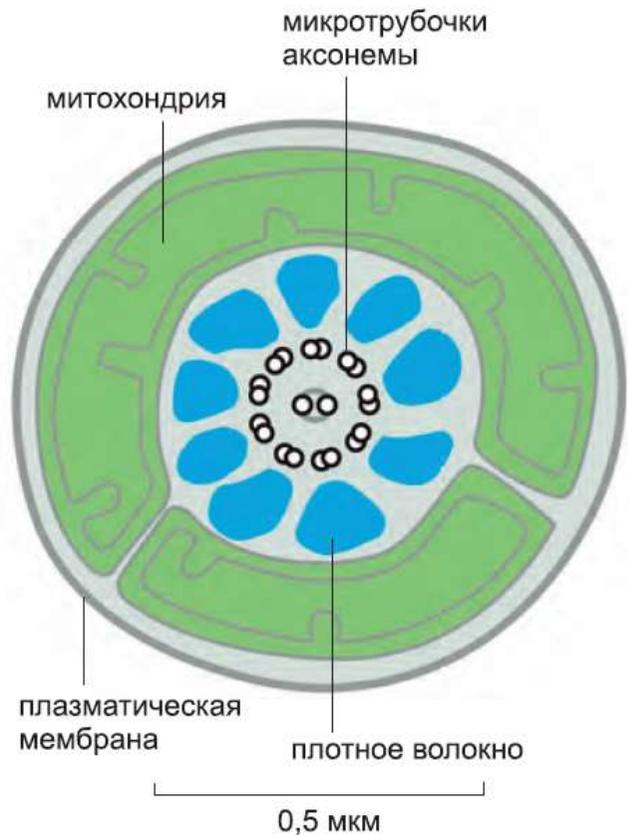




Строение мужской половой клетки:

I - головка;
 II - хвост. 1 - рецептор;
 2 - акросома; 3 - «чехлик»; 4
 - проксимальная
 центриоль;
 5 - митохондрия;
 6 - слой упругих фибрилл;
 7 - аксонема; 8 -
 терминальное кольцо; 9 -
 циркулярные фибриллы

Средняя часть сперматозоида млекопитающего в поперечном разрезе (по данным электронной микроскопии)



Жгутик состоит из аксонемы и девяти окружающих ее плотных волокон. Устройство аксонемы включает две одиночные микротрубочки, окруженные девятью двойными микротрубочками. Необычное расположение митохондрий (зеленый цвет) обеспечивает эффективную доставку АТФ, необходимого для движения жгутика; они образуют спираль вокруг аксонемы.

Поперечный срез извитых канальцев яичка (окраска Г и Э):

a – участок среза семенника (ув. 25);

б – извитой семенной каналец (ув. 400)

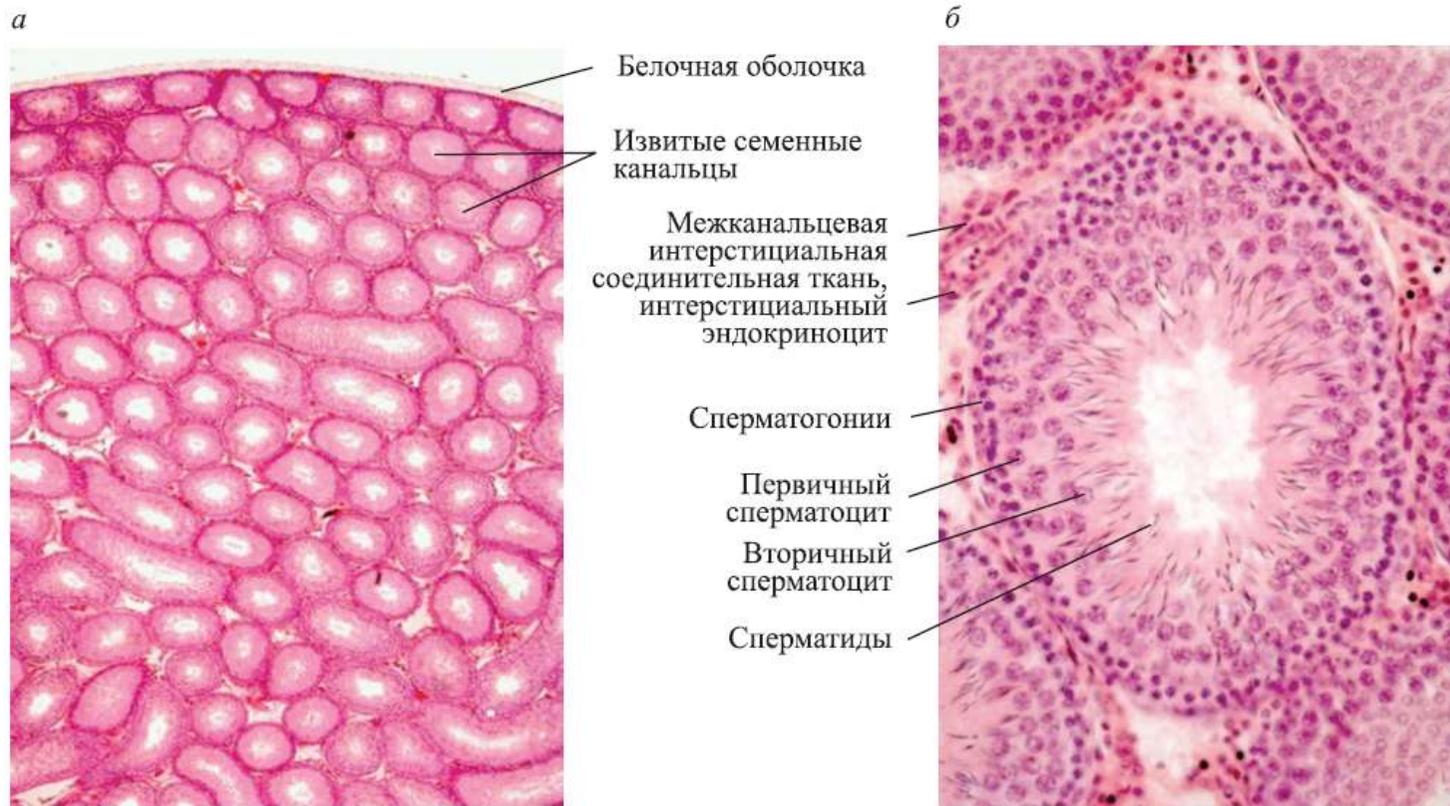
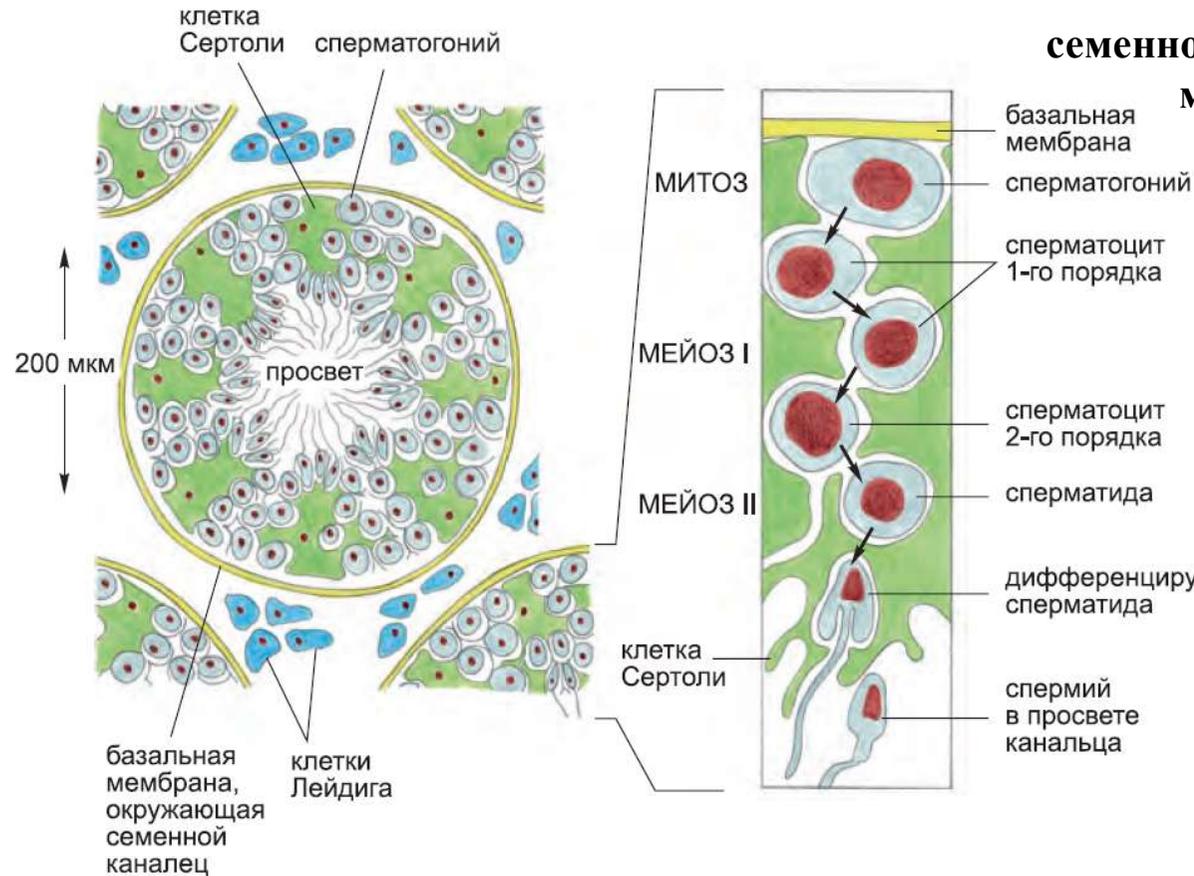


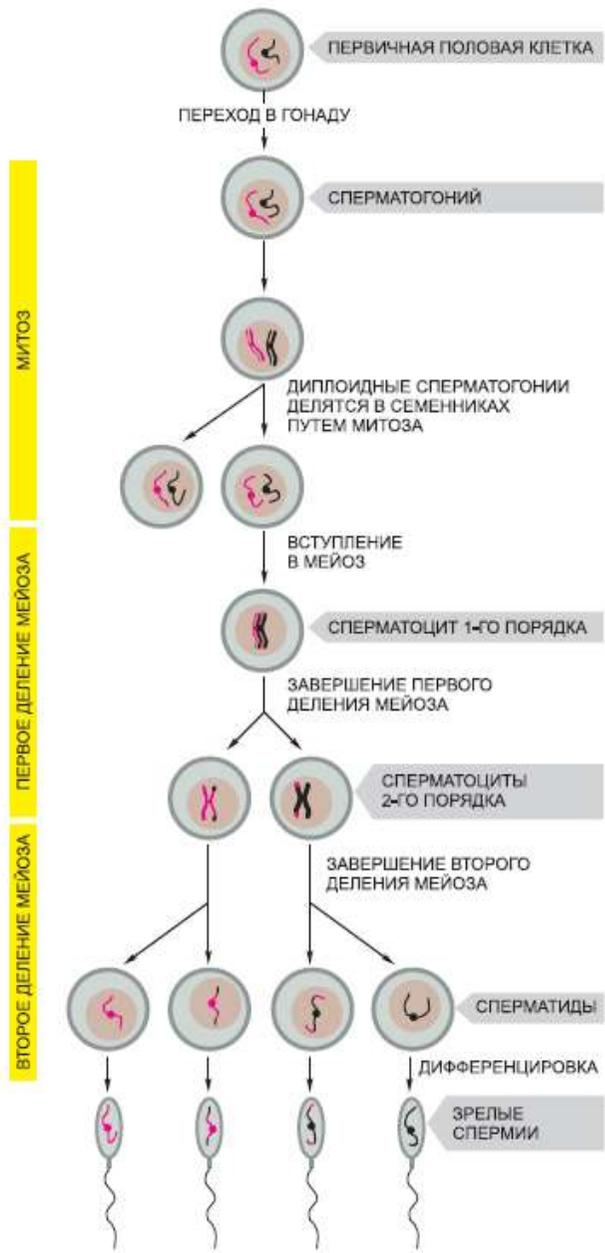
Схема поперечного разреза семенного канальца семенника



млекопитающего

а) Сперматогенез связан с клетками Сертоли, направляющих дифференцировку мужских половых клеток. Это крупные клетки, занимающие пространство от базальной мембраны до просвета семенного канальца. Обеспечивают выживание сперматогониев аналогичны фолликулярным клеткам яичника. Клетки Лейдига располагаются в промежутках между семенными канальцами, выделяют тестостерон.

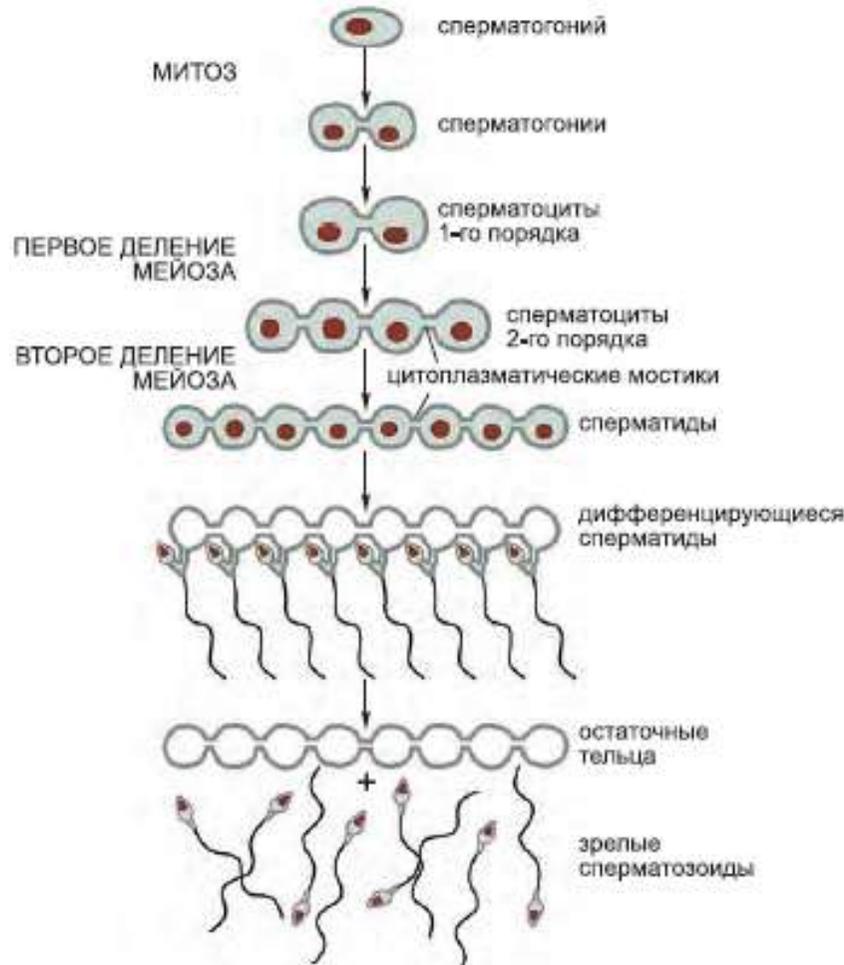
б) Вблизи базальной мембраны находятся сперматогонии делящиеся митозом. Некоторые из этих клеток приступают к мейозу, превращаясь в сперматоциты первого порядка. Затем они завершают первое деления мейоза и становятся сперматоцитами второго порядка. Последние в результате второго деления митоза превращаются в сперматиды, а те — в сперматозоиды (спермии), которые в конце концов выходят в просвет канальца. Завершение сперматоцитом мейоза и превращение его в сперматиду занимает у человека около 24 дней, и еще 5 недель требуется на превращение сперматиды в сперматозоид.



Различные стадии сперматогенеза

Сперматогонии развиваются из первичных половых клеток, мигрирующих в семенники на ранней стадии эмбрионального развития. Когда животное достигает половой зрелости, сперматогонии начинают быстро размножаться, причем некоторая часть их потомков сохраняет способность к непрерывным неограниченным делениям (сперматогонии типа стволовых клеток), а другая часть (созревающие сперматогонии) после ограниченного числа последовательных митозов приступает к мейозу, превращаясь в сперматоциты первого порядка. После завершения второго деления мейоза сперматоциты первого порядка превращаются в гаплоидные сперматиды, дифференцирующиеся в зрелые сперматозоиды.

Цитоплазматические мостики между развивающимися мужскими половыми клетками и их предшественниками



Потомки одного сперматогония связаны друг с другом цитоплазматическими мостиками вплоть до полного созревания. На рисунке для простоты мостиками соединены лишь две клетки, вступающие в мейоз и дающие в итоге восемь связанных гаплоидных сперматид. На самом деле мостики могут соединять намного больше клеток. В процессе дифференцировки большая часть цитоплазмы (так называемые остаточные тельца) оказывается невостребованной и фагоцитируется клетками Сертоли.

Различия сперматогенеза и оогенеза

Сперматогенез отличается от оогенеза в нескольких отношениях:

- 1) после полового созревания в мейоз непрерывно вступают новые клетки;
- 2) из каждой приступившей к мейозу клетки образуется не одна, а четыре зрелые гаметы;
- 3) зрелые сперматозоиды формируются после завершения мейоза в ходе сложного процесса клеточной дифференцировки;
- 4) при созревании сперматозоидов происходит примерно в два раза больше клеточных делений, чем при формировании яйцеклетки. Так, например, у мышей зиготу от зрелого сперматозоида отделяют в среднем 56 делений, а от зрелой яйцеклетки — примерно 27.

ОСОБЕННОСТИ ГАМЕТОГЕНЕЗА У ЧЕЛОВЕКА

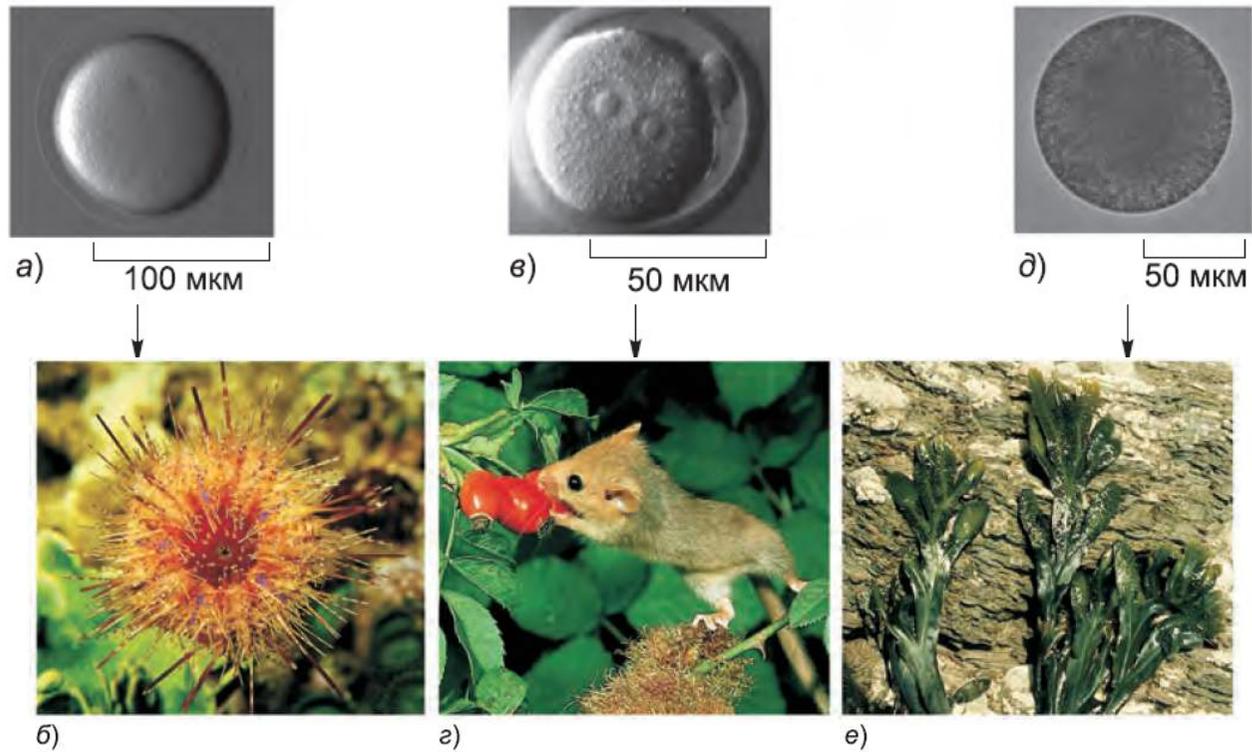
1. Митотическое деление овогоний заканчивается до рождения организма. Митоз сперматогоний начинается с периода полового созревания.
2. При овогенезе значительно выражена зона роста, при сперматогенезе зона роста почти не выражена.
3. При овогенезе первое деление мейоза останавливается в эмбриогенезе на стадии диакинеза профазы до полового созревания. Второе деление мейоза останавливается на стадии метафазы в репродуктивном возрасте женщины и завершается после оплодотворения.
4. В овогенезе период формирования отсутствует, при сперматогенезе стадия формирования характерна.

Родившаяся девочка имеет в яичниках около 30 000 овоцитов-I порядка, достигают зрелости 300-600 (примерно по 13 клеток в год).

За период половой жизни мужской организм продуцирует до 500 млрд. сперматозоидов (несколько миллиардов на один овоцит-II порядка).

В настоящее время последние стадии овогенеза воспроизводятся вне организма и дают возможность «зачатия» в пробирке. На стадии 8-16 бластомеров зародыш переносится в матку женщины-реципиента.

Наследственная информация в оплодотворенной яйцеклетке определяет природу целого многоклеточного организма



а, б) Яйцеклетка морского ежа дает начало морскому ежу;

в, г) Яйцеклетка мыши порождает мышь;

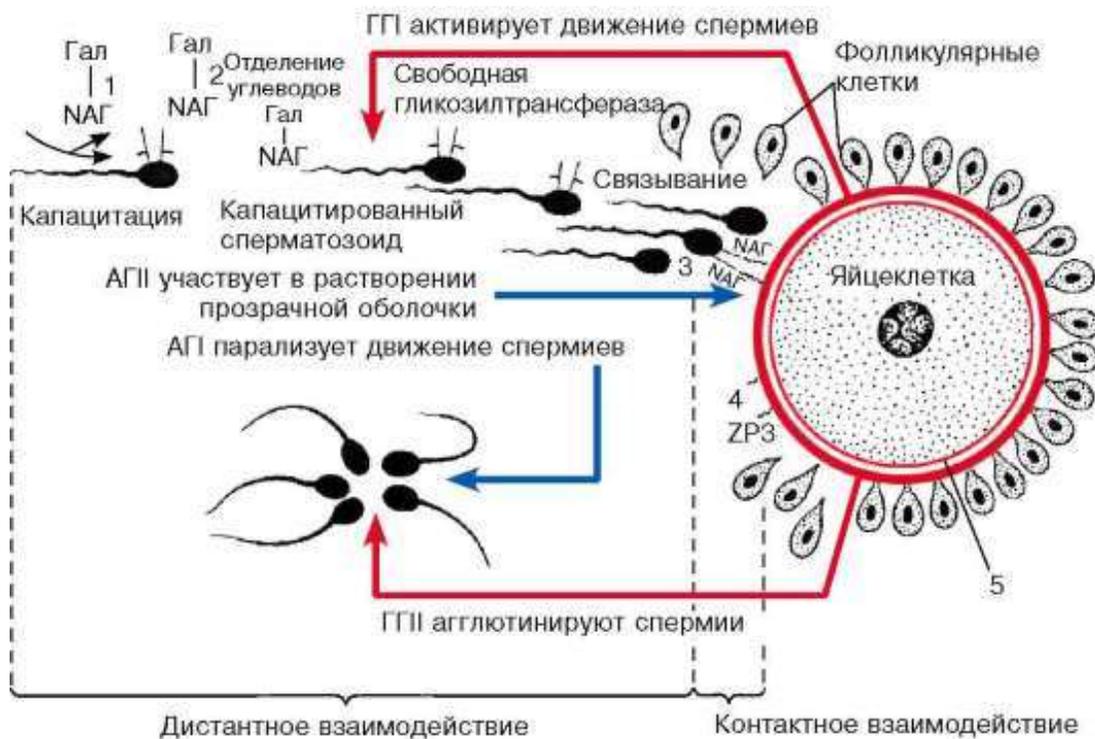
д, е) Яйцеклетка морской водоросли *Fucus* дает жизнь морской водоросли *Fucus*.

Оплодотворение и образование зиготы

Оплодотворение (*fertilisatio*) - слияние мужской и женской половых клеток, в результате чего восстанавливается диплоидный набор хромосом, характерный для данного вида животных, и возникает качественно новая клетка - зигота (оплодотворенная яйцеклетка, или одноклеточный зародыш).

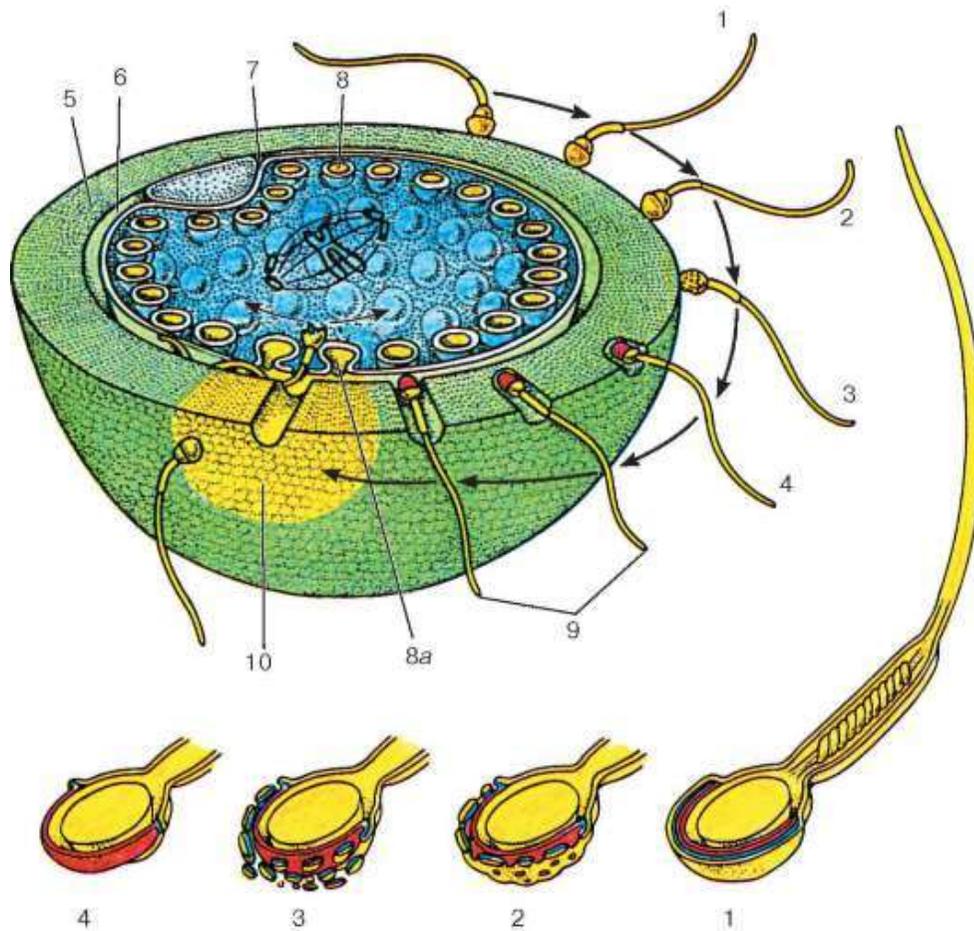
В процессе оплодотворения различают три фазы:

- 1) дистантное взаимодействие и сближение гамет;
- 2) контактное взаимодействие и активизация яйцеклетки;
- 3) проникновение сперматозоида в яйцеклетку и последующее слияние - сингамия.



Дистантное и контактное взаимодействие спермиев и яйцеклетки:

- 1 - сперматозоид и его рецепторы на головке;
- 2 - отделение углеводов с поверхности головки при капацитации;
- 3 - связывание рецепторов сперматозоида с рецепторами яйцеклетки;
- 4 - Zp3 (третья фракция гликопротеинов прозрачной зоны);
- 5 - плазмолемма яйцеклетки; ГП_I, ГП_{II} - гиногамоны; АГ_I, АГ_{II} - андрогамоны; Гал - гликозилтрансфераза; NAAG - N-ацетилглюкозамин



Оплодотворение

1-4 - стадии акросомной реакции; 5 - *zona pellucida* (прозрачная зона);

6 - перивителлиновое пространство;

7 - плазматическая мембрана;

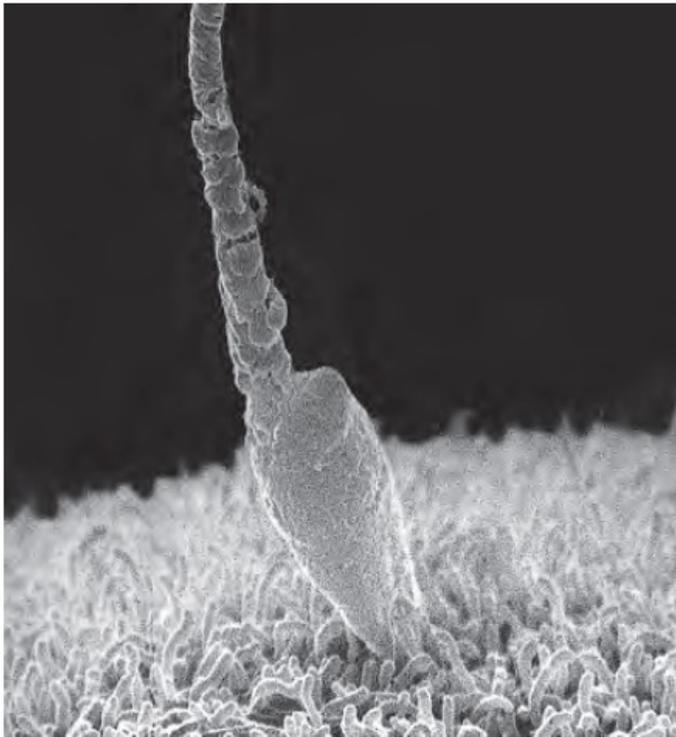
8 - кортикальная гранула;

8a - кортикальная реакция;

9 - проникновение спермия в

яйцеклетку; 10 - зонная реакция

**Сперматозоид человека, связавшийся с поверхностью
яйцеклетки хомьяка: электронная микрофотография,
полученная методом сканирующей электронной микроскопии**

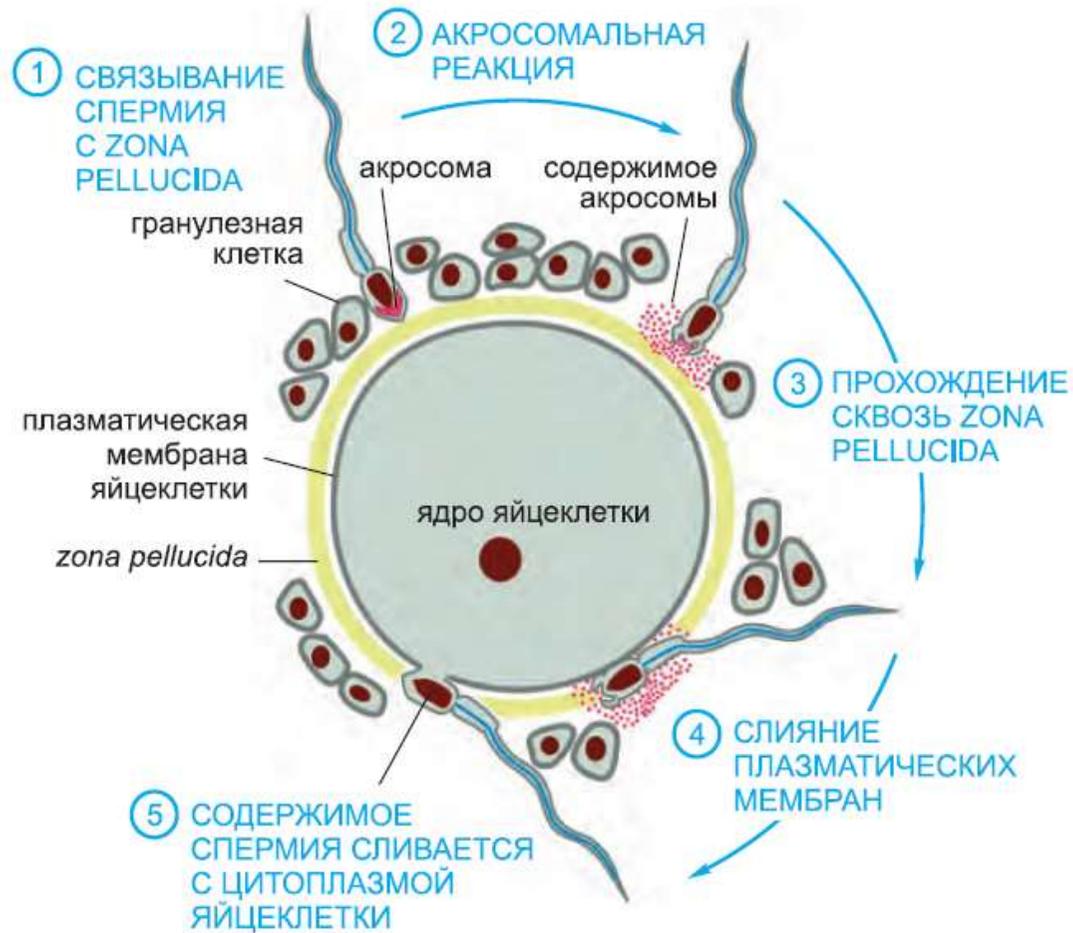


5 мкм

Zona pellucida яйцеклетки удалена, и видна плазматическая мембрана со множеством микроворсинок. Тест на способность сперматозоидов проникать в яйцеклетки

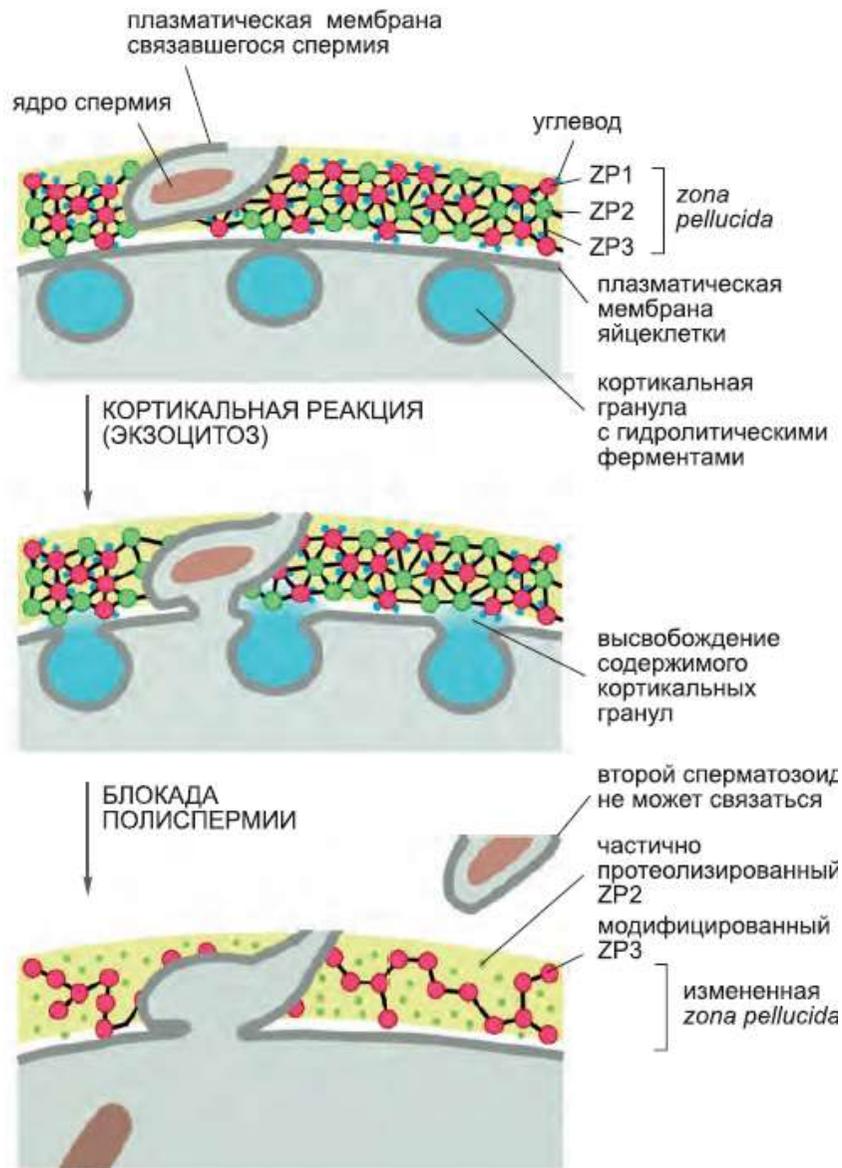
хомьяка используют для определения мужского бесплодия; нормальным уровнем считают проникновение в 10–25 % яйцеклеток.

Акрсомальная реакция при оплодотворении



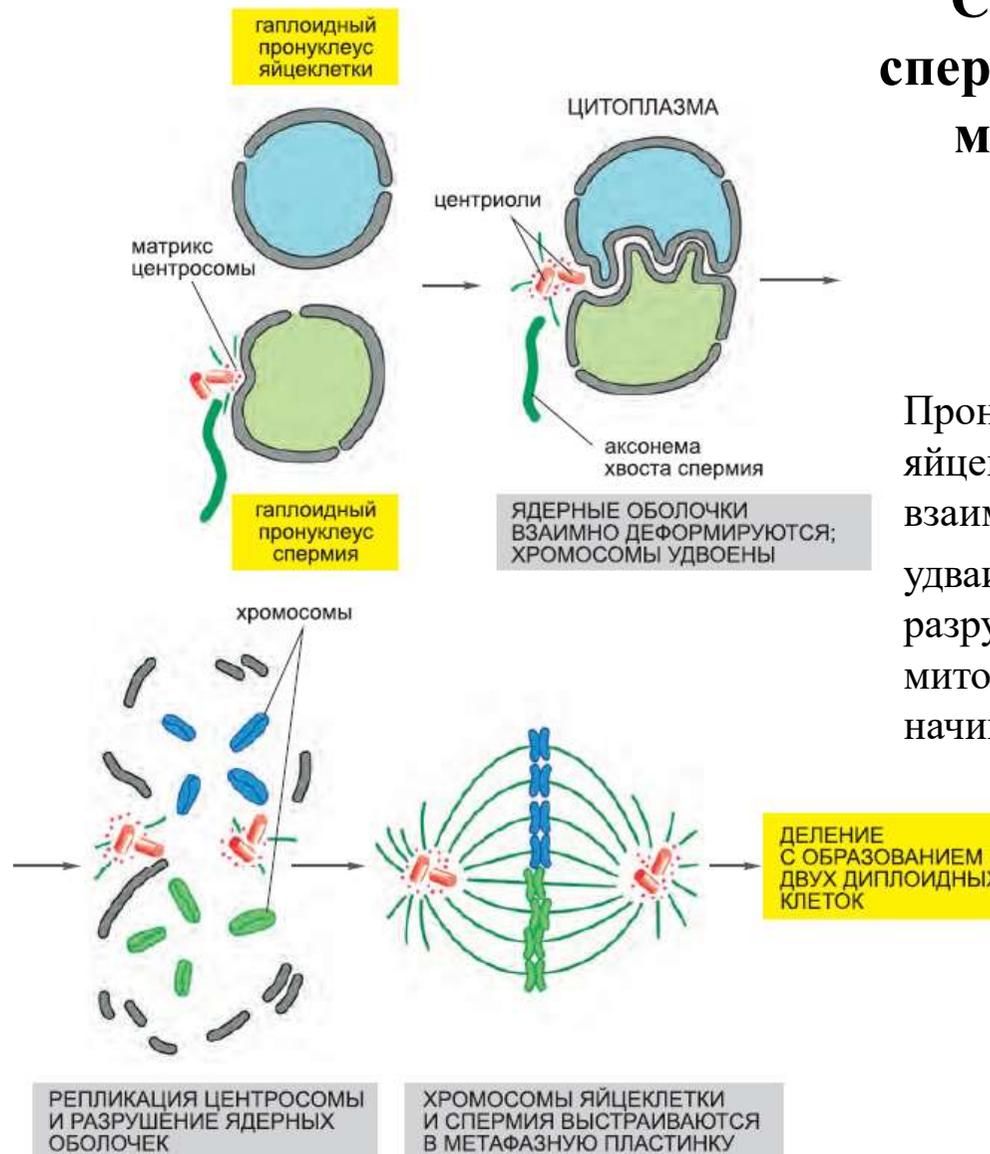
У мышей *zona pellucida* имеет около 6 мкм в толщину; сперматозоид проходит сквозь нее со скоростью примерно 1 мкм/мин.

Кортикальная реакция яйцеклетки мыши предотвращает проникновение в нее дополнительных спермиев. Схема.



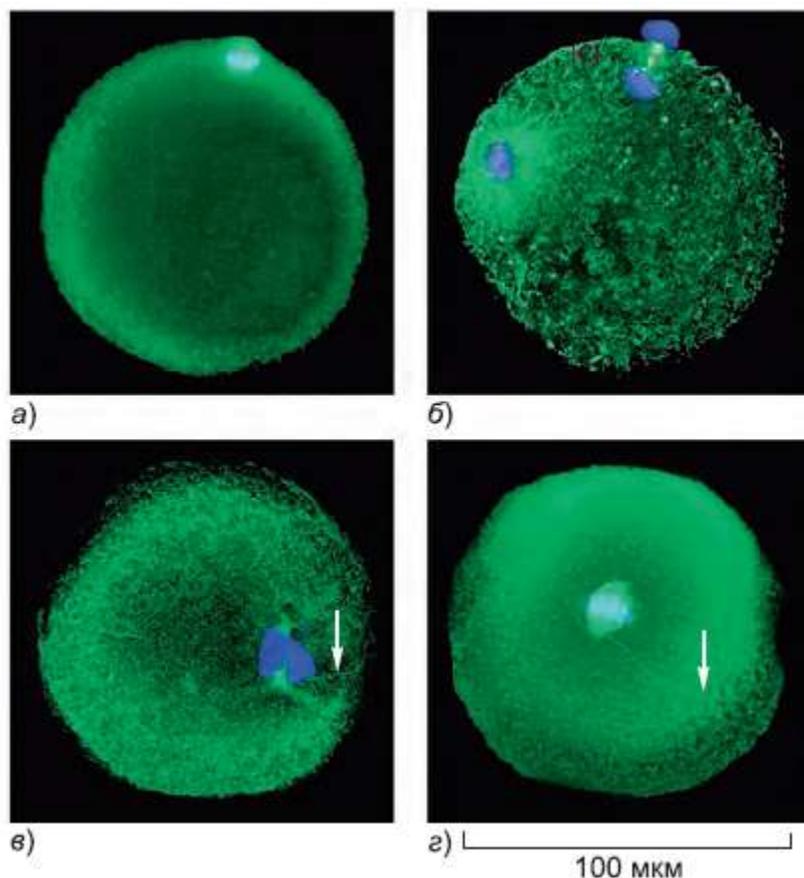
Вышедшее наружу содержимое кортикальных гранул переводит ZP3 в инактивированную форму, с которой сперматозоид не может связаться. При этом также разрезается ZP2, что приводит к полной непроницаемости *zona pellucida* для спермиев. Эти изменения делают полиспермию невозможной.

Слияние пронуклеусов сперматозоида и яйцеклетки млекопитающих после оплодотворения



Пронуклеусы сходятся к центру яйцеклетки, и их ядерные оболочки взаимно деформируются. Центросома удваивается, ядерные оболочки разрушаются, хромосомы встраиваются в митотическое веретено, и зигота начинает свое первое деление.

На микрофотографиях показано сближение пронуклеусов яйцеклетки и сперматозоида человека после оплодотворения *in vitro*



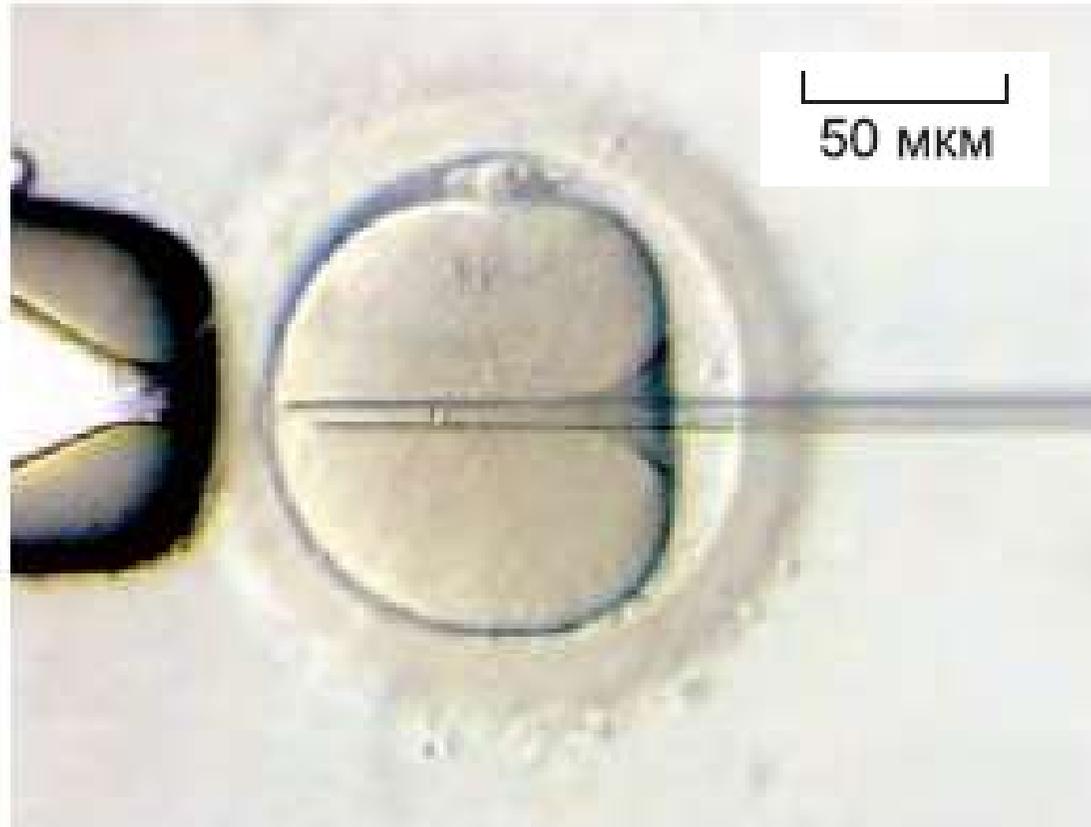
а) Мейотическое веретено зрелого неоплодотворенного вторичного ооцита. б) Оплодотворенная яйцеклетка, от которой отделяется второе полярное тельце, спустя 5 часов после слияния со сперматозоидом. Вокруг головки сперматозоида (слева) собираются микротрубочки. Пронуклеусы яйцеклетки и сперматозоида еще находятся далеко друг от друга. в) Два пронуклеуса сошлись. г) Через 16 часов после слияния пронуклеусов: centrosома, проникшая в яйцеклетку вместе со сперматозоидом, удвоилась, и дочерние centrosомы образовали биполярное митотическое веретено. Хромосомы обоих пронуклеусов выстроились в метафазную пластинку. Как отмечено стрелками на (в) и (г), хвост сперматозоида все еще связан с одной из centrosом.

Микрофотографии выполнены с использованием метода иммунофлуоресценции. Микротрубочки веретена окрашены зеленым с помощью антител к тубулину, ДНК — синим, с помощью специфического красителя на ДНК.

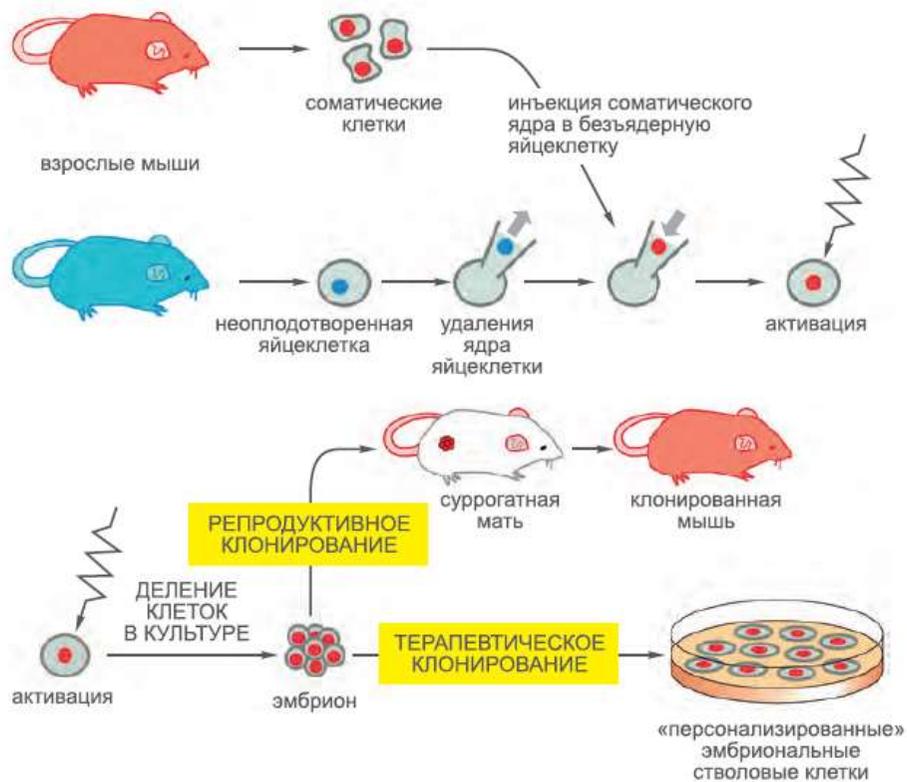
Оплодотворение. Синкарион (сблизившиеся мужской и женский пронуклеусы) (окраска железным гематоксилином) (ув. 400)



Внутрицитоплазматическая инъекция сперматозоида



Фотография со светового микроскопа. Вторичный ооцит человека удерживается с помощью присасывающей пипетки (слева); в него с помощью стеклянной иглы вводится один человеческий сперматозоид. *Zona pellucida* окружает яйцеклетку и полярное тельце.



Различие между репродуктивным клонированием и приготовлением «персональных» эмбриональных стволовых клеток

В обоих случаях сначала получают эмбрион, выращенный из яйцеклетки, ядро которой удаляют (или разрушают) и заменяют ядром соматической клетки клонируемого животного. Реконструированную таким образом яйцеклетку активируют электрическим импульсом, после чего она начинает делиться.

При *репродуктивном клонировании* эмбрион имплантируется в матку суррогатной матери, в утробе которой и развивается клонированное животное. При изготовлении эмбриональных стволовых клеток (иногда этот метод называют *терапевтическим клонированием*) эмбрион используют для получения культуры стволовых клеток. Затем эти клетки могут быть превращены в специализированные клетки и использованы для лечения пациента, который был донором ядра для эмбриона. Поскольку специализированные клетки, выращенные из этих стволовых клеток, генетически идентичны клеткам донора, иммунологического отторжения не происходит.



Спасибо за внимание!