

КАЗАНСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
МЕДИЦИНСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ



2025г.

Тема № 10

Половые клетки и  
оплодотворение

лекция

Тяпкина Оксана Викторовна

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

# ПЛАН

1. Строение и развитие половых клеток человека.
2. Основные механизмы оплодотворения и события, предшествующие оплодотворению.

# 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.

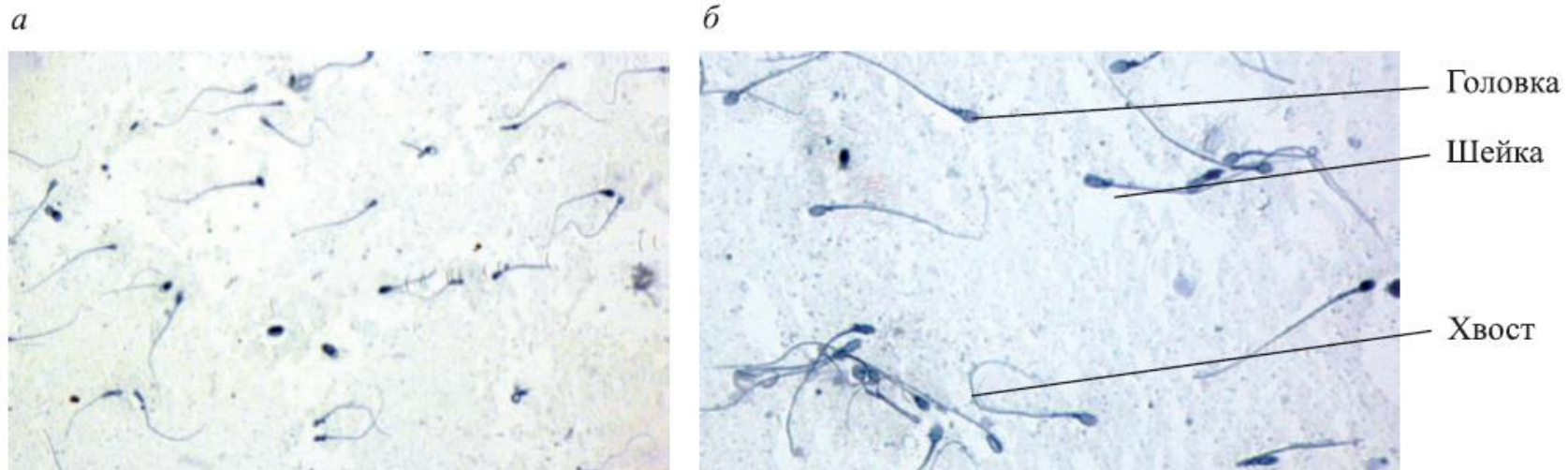
Протекает он в половых железах – **гонадах** (в **яичниках у самок** и в **семенниках у самцов**).

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

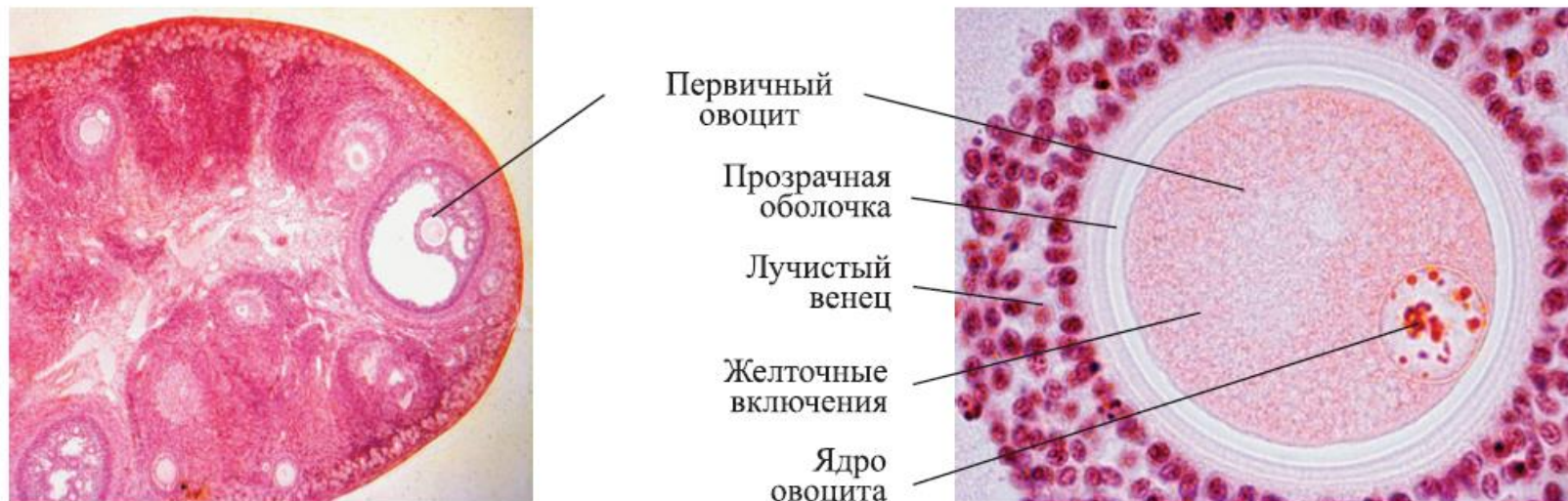
У особей мужского пола возникают мужские половые клетки (сперматозоиды), процесс образования которых называется ***сперматогенезом***.

Спермии человека (окраска железным гематоксилином):

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



Овоцит млекопитающего (окраска Г и Э): *а* – 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:

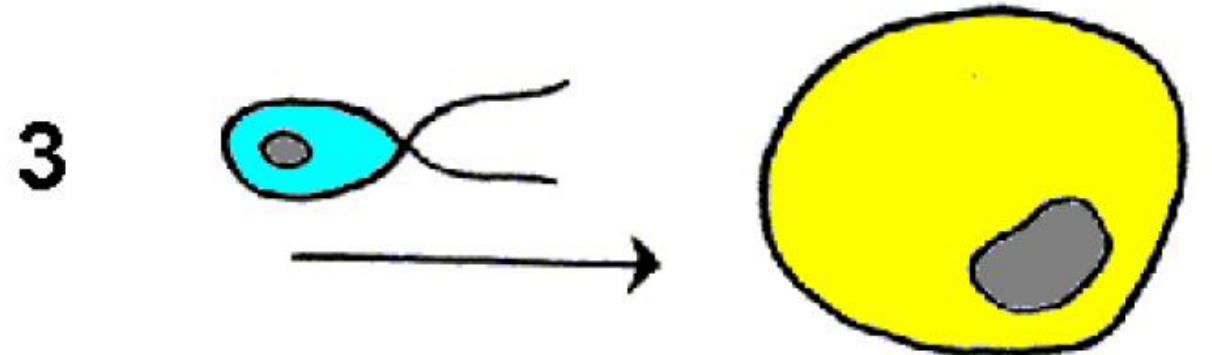
1 – ИЗОГАМИЯ



2 – АНИЗОГАМИЯ

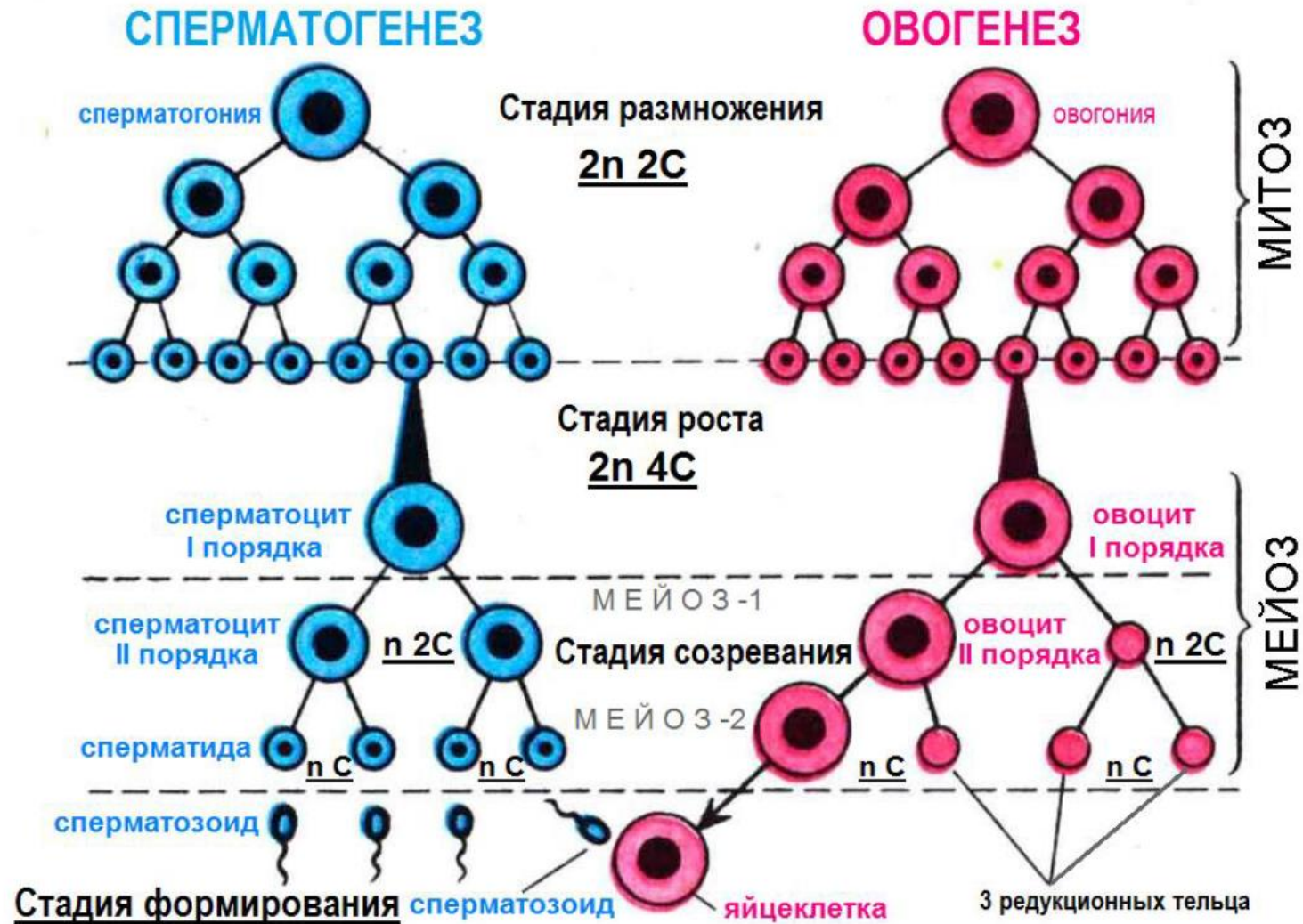


3 – ООГАМИЯ





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



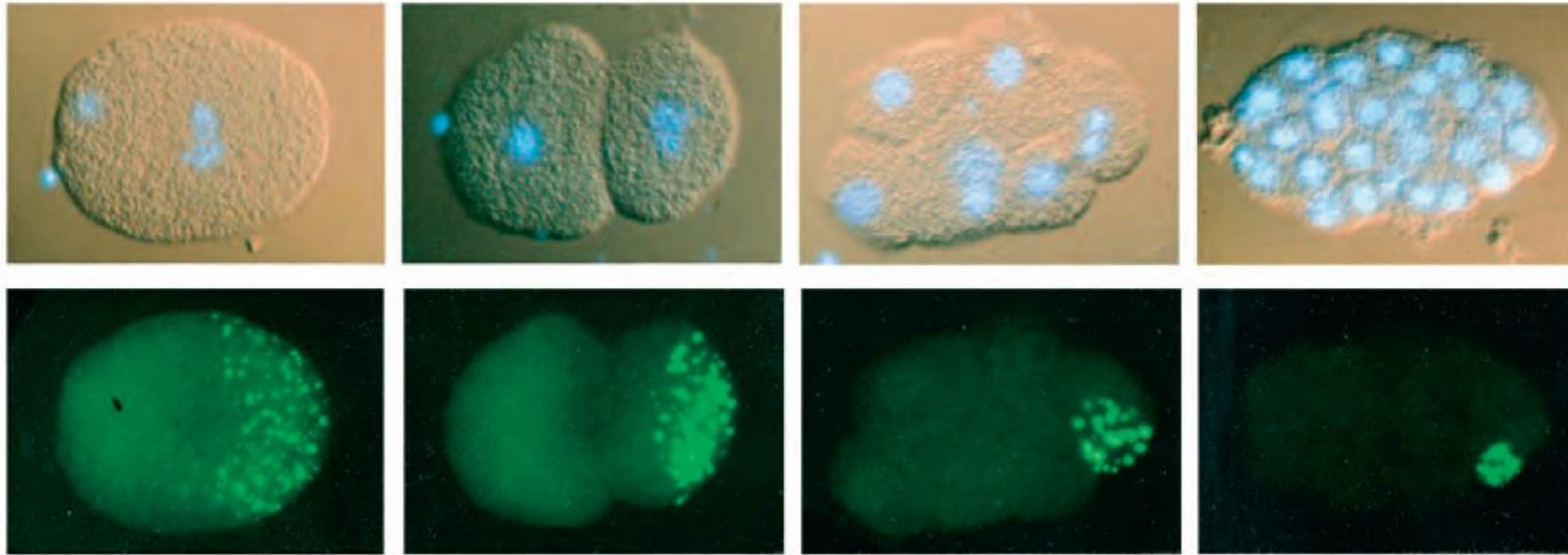


Биологический смысл, связанный с разным функциональным назначением мужских и женских гамет (помимо переноса генетической информации) включает:

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.

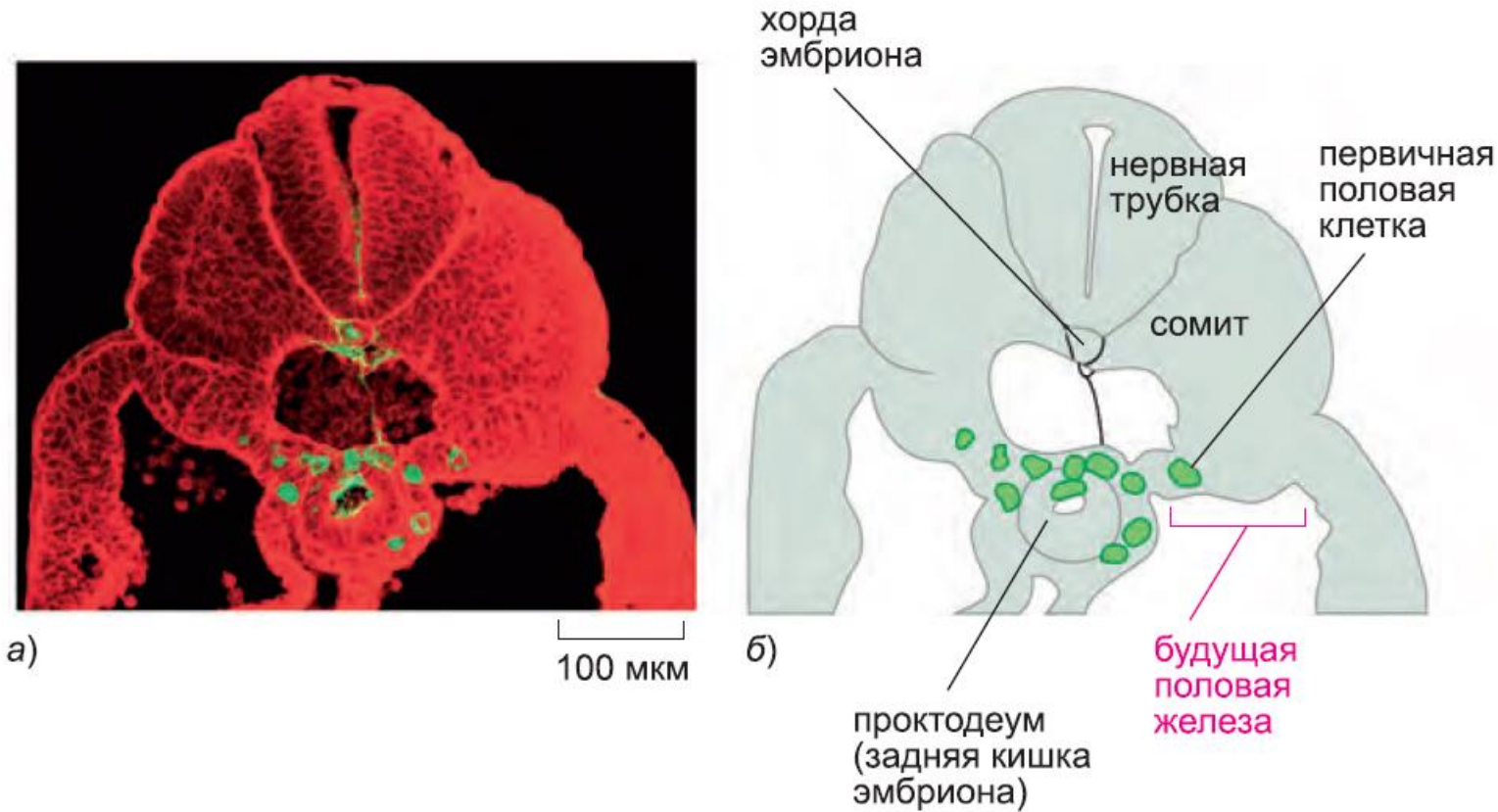
**Центральное событие в процессе гаметогенеза – редукция диплоидного набора хромосом (в ходе мейоза) и формирование гаплоидных гамет.**

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



На микрофотографиях вверху 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 вверху 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 иммунофлуоресценции. 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 свёрхспирализация 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).

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

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

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



яйцеклетка  
человека



яйцо  
курицы



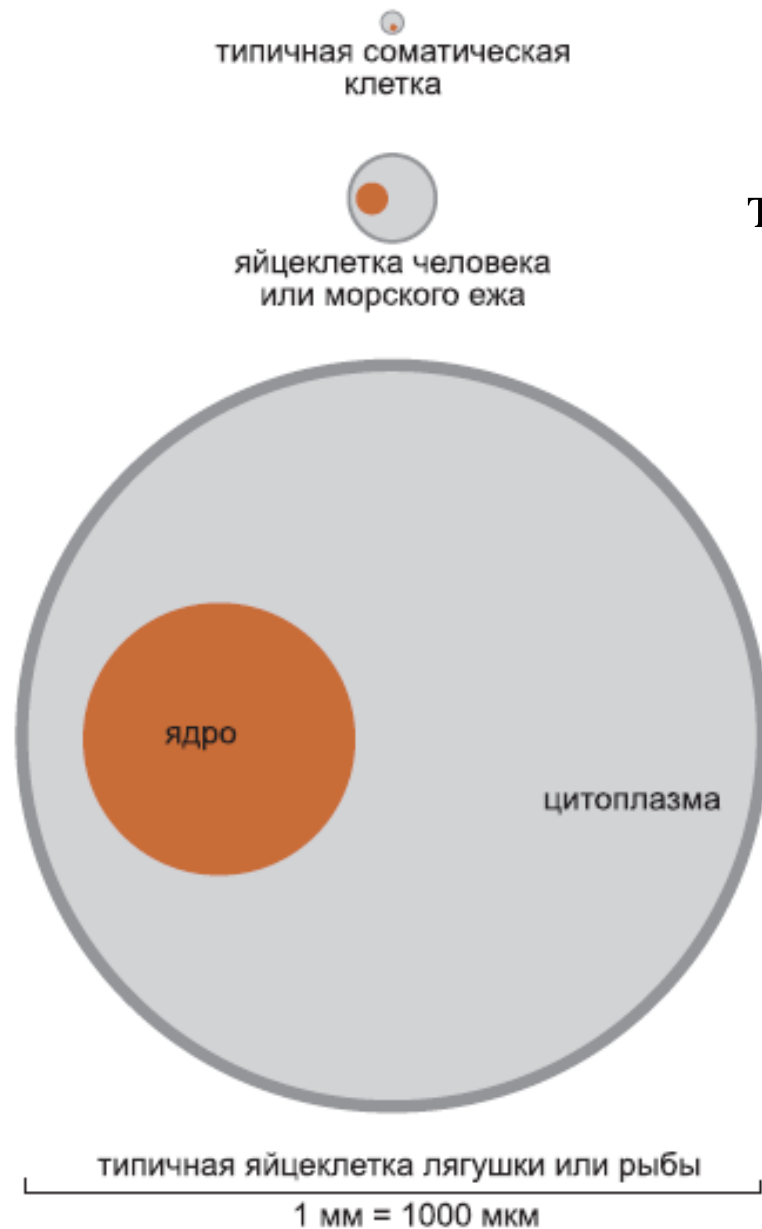
яйцо  
лягушки

## 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.

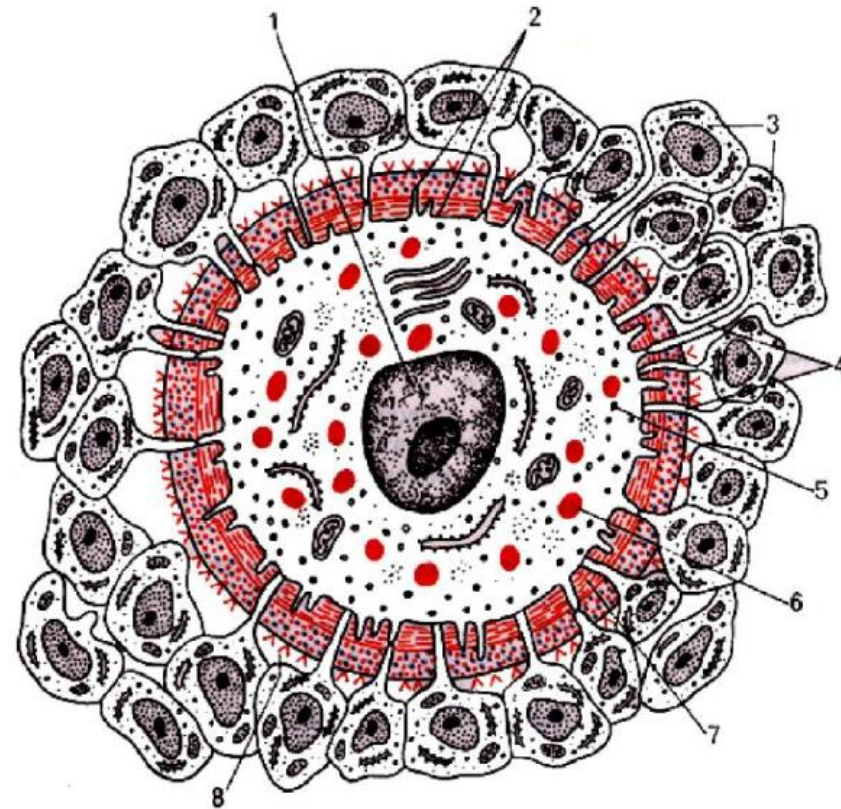
**Вторичная оболочка** состоит из фолликулярных клеток или выделяемых ими секретов.

**Третичная оболочка** формируется во время прохождения яйцеклетки по яйцеводам из веществ, секретируемых 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.

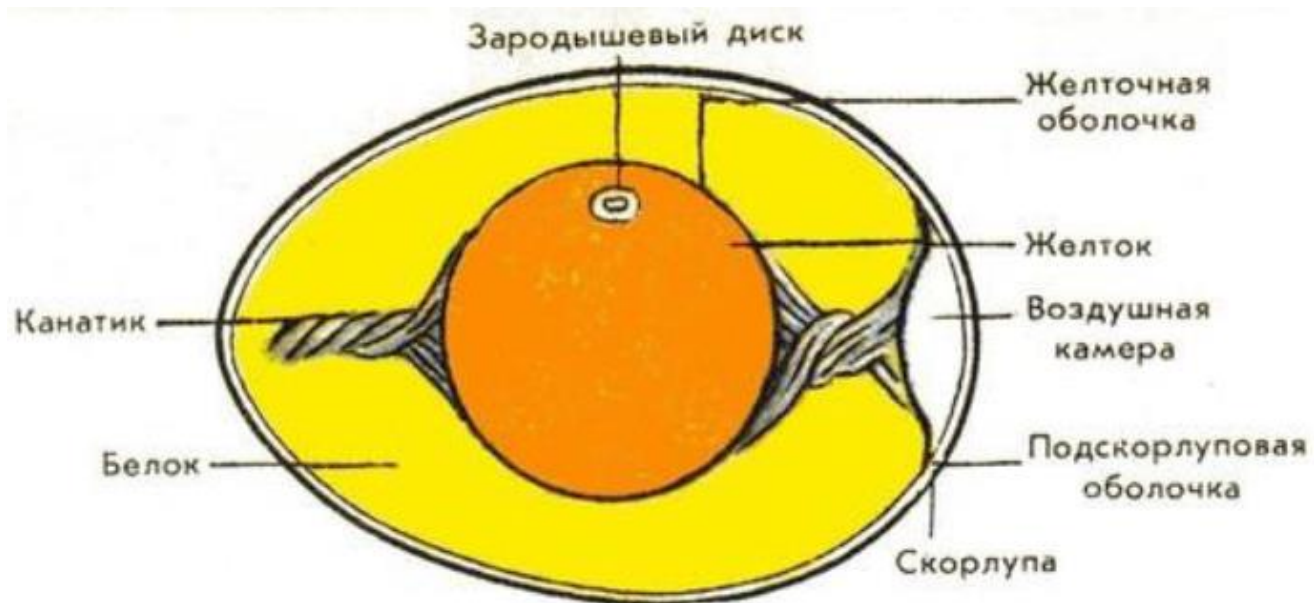


*Строение зрелой яйцеклетки:*

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

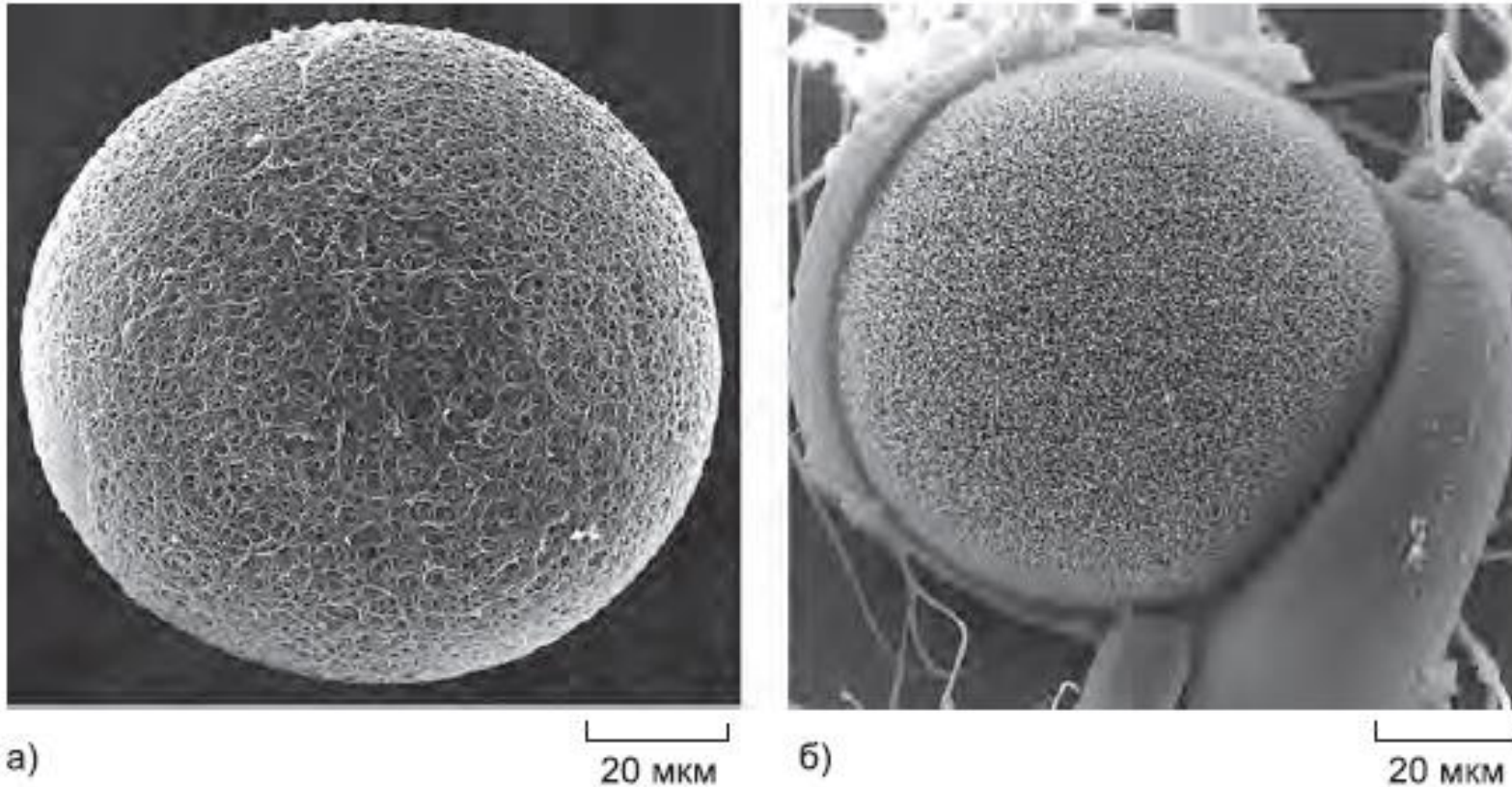


*Третичные оболочки у яиц птиц*





## Zona pellucida

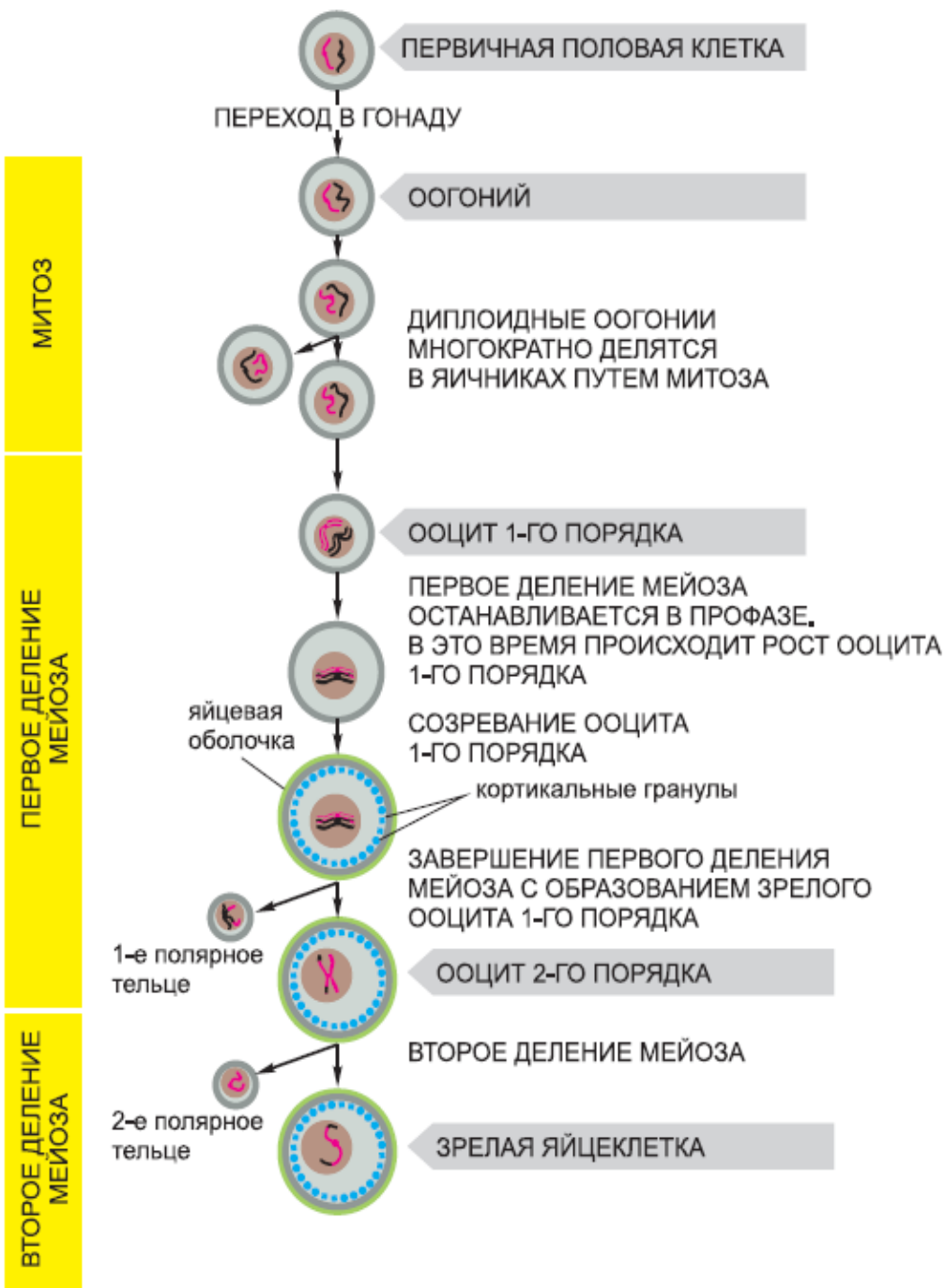


Микрофотографии яйцеклетки хомяка, полученные методом сканирующей электронной микроскопии.

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

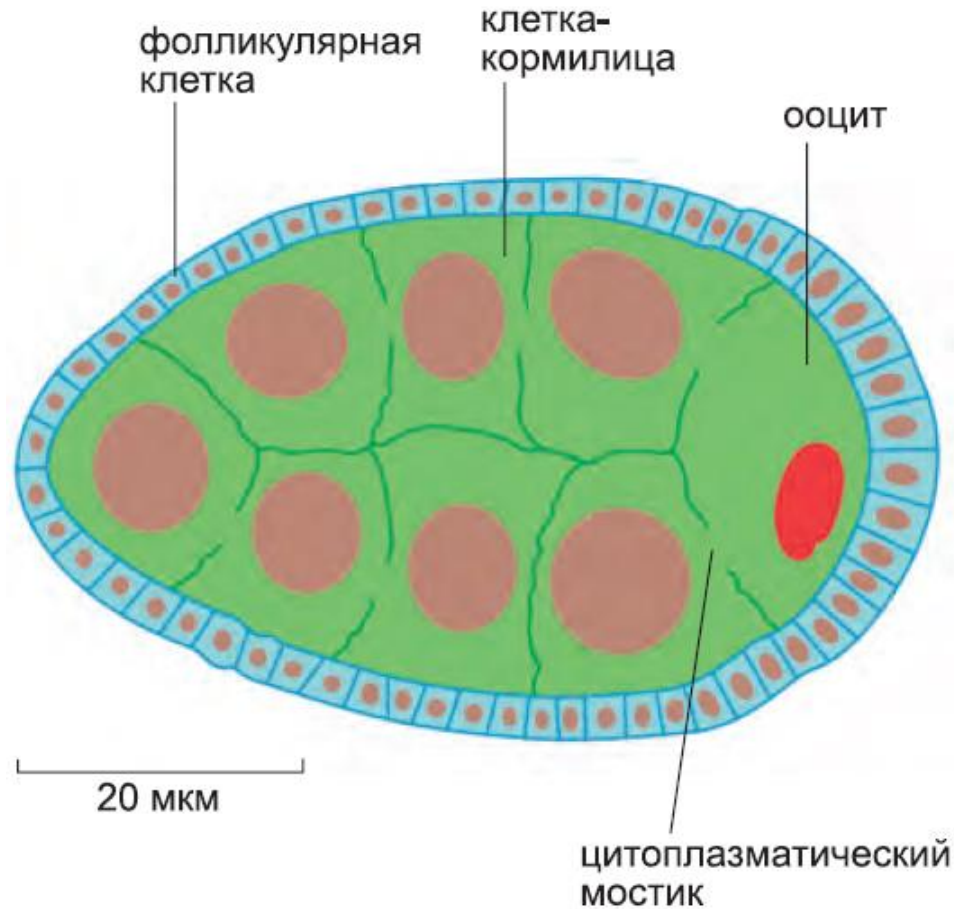
б) Под ней находится плазматическая мембрана, образующая многочисленные микроворсинки. *Zona pellucida* вырабатывается исключительно самим развивающимся ооцитом.

# 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

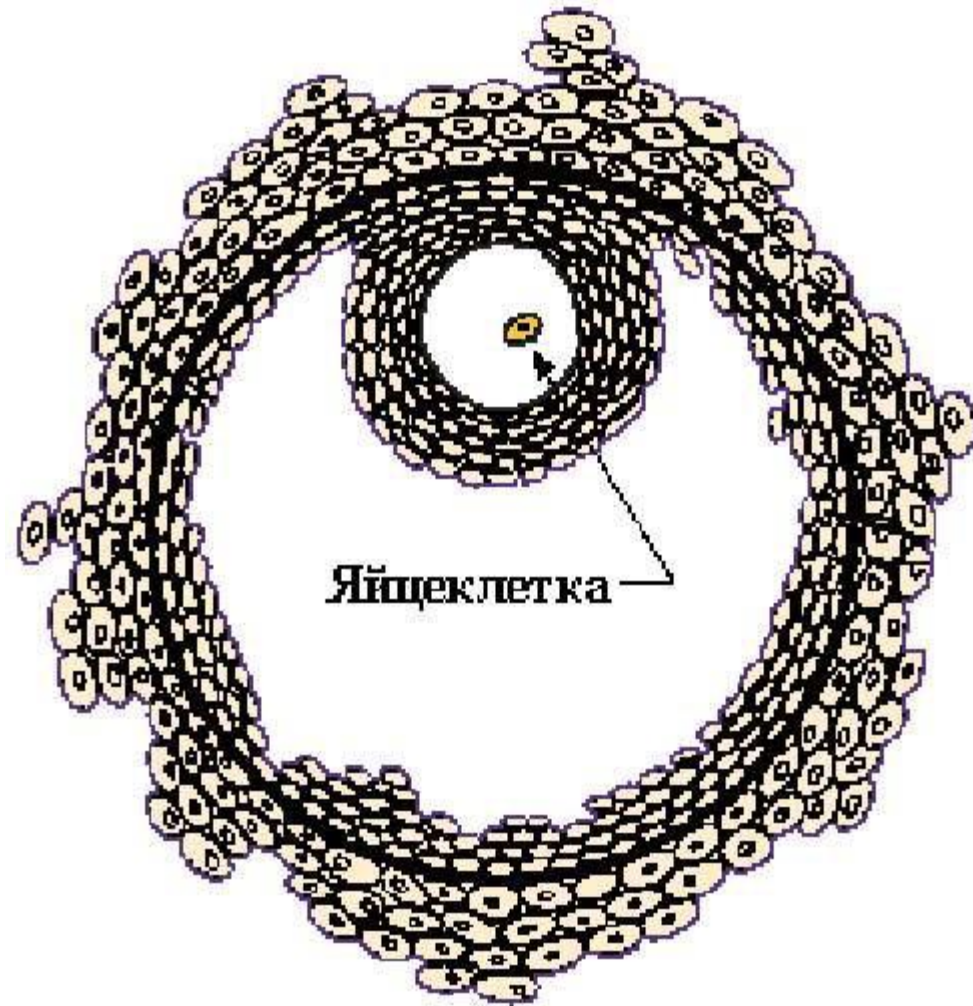


Из одного оогония развиваются 15 клеток-кормилиц и единственный ооцит (на рисунке в плоскость среза попадают лишь 7 клеток-кормилиц). Все эти клетки связаны между собой цитоплазматическими мостиками, образовавшимися в результате неполного деления. В конце концов клетки-кормилицы впрыскивают содержимое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



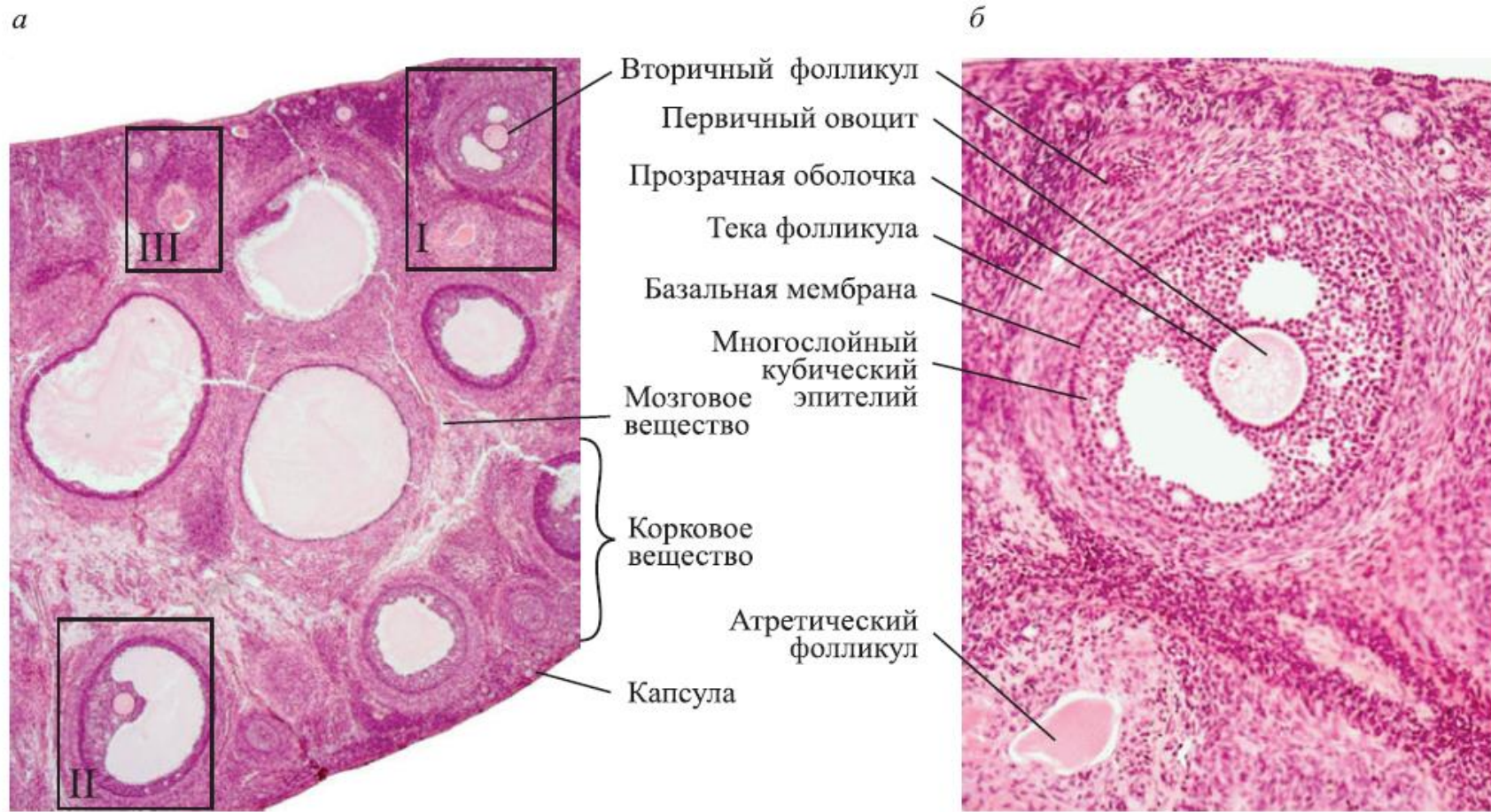
Яйцеклетка

Зрелый фолликул перед **овуляцией**



Яичник в поперечном разрезе (окраска Г и Э):

*а* – 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)

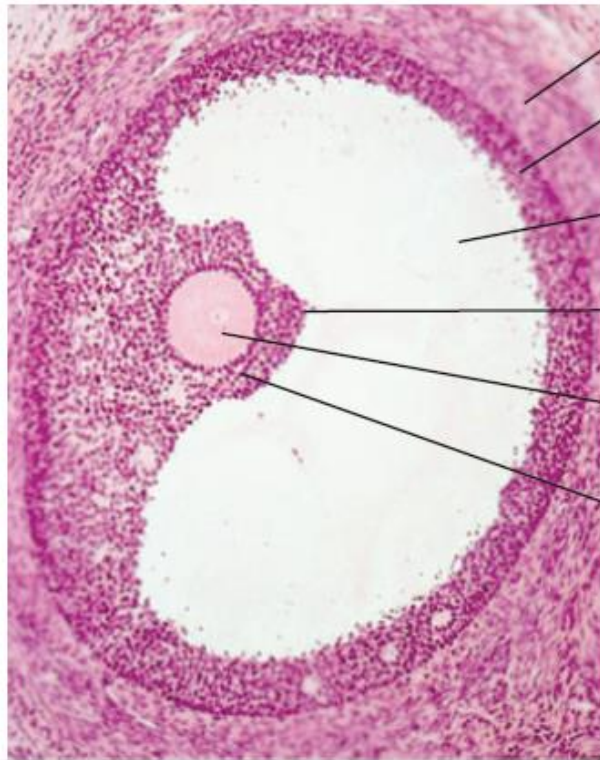


## Яичник в поперечном разрезе (окраска Г и Э):

*a* – участок яичника (ув. 25); *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)

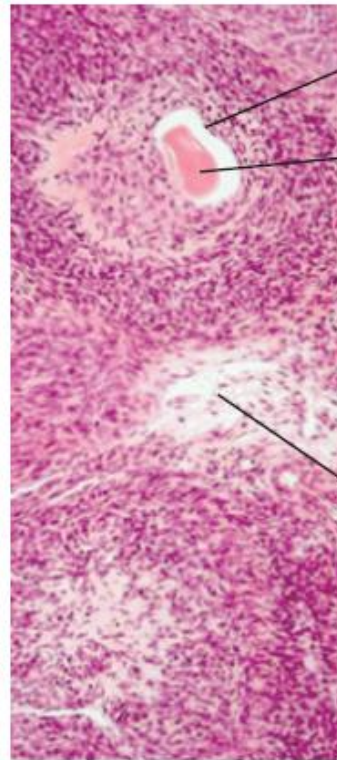
Гликопротеины (окраска по Шабдашу).  
Прозрачная оболочка (ув. 200)

*a*



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

*б*



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) (10 мкм) (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.

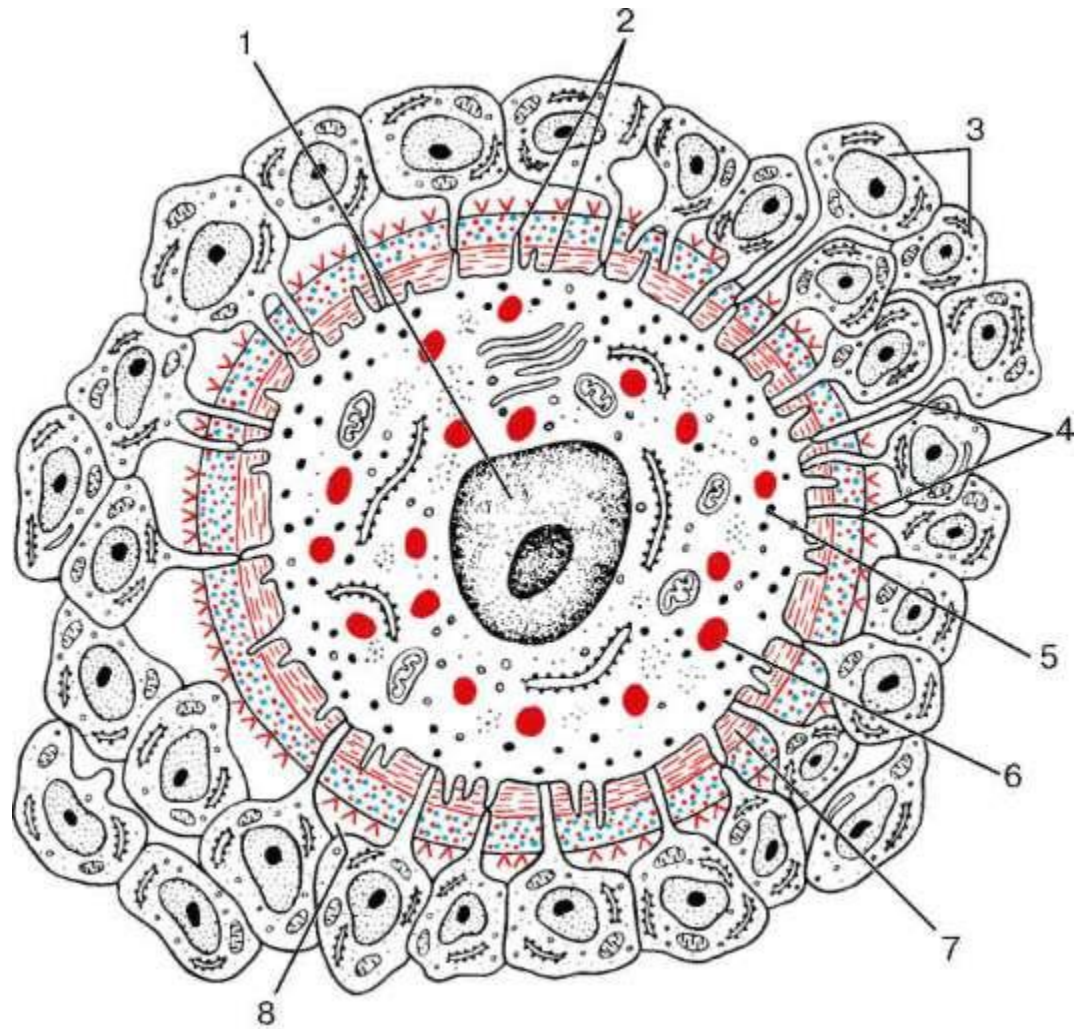
## Строение.

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;

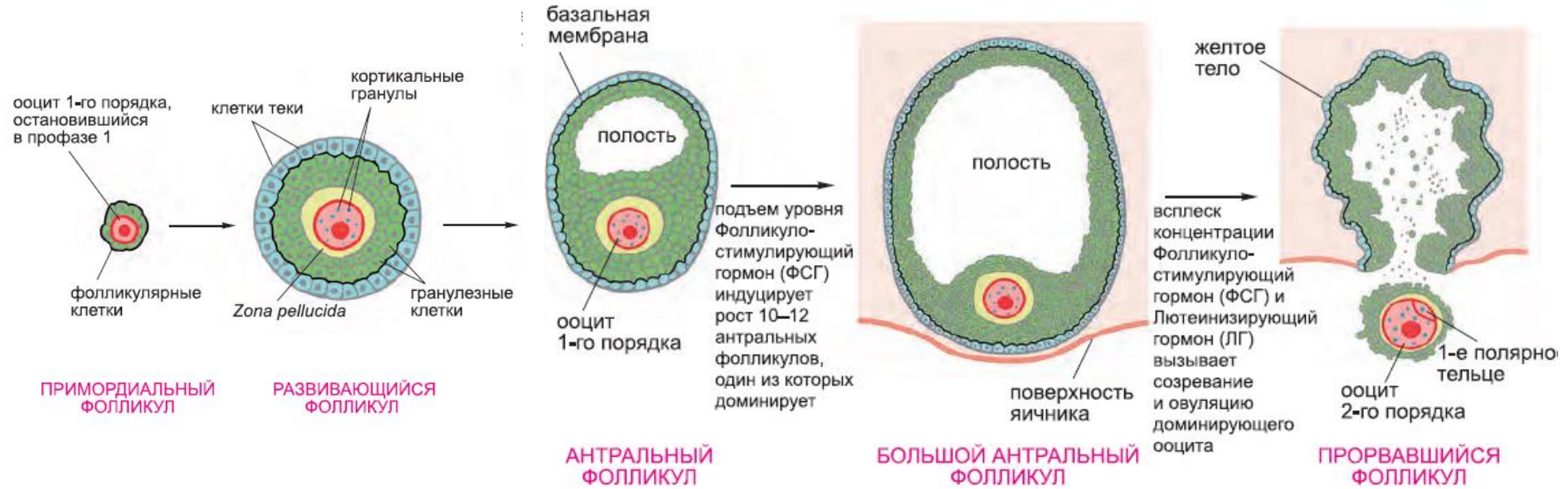
5 - кортикальные  
гранулы;

6 - желточные  
включения;

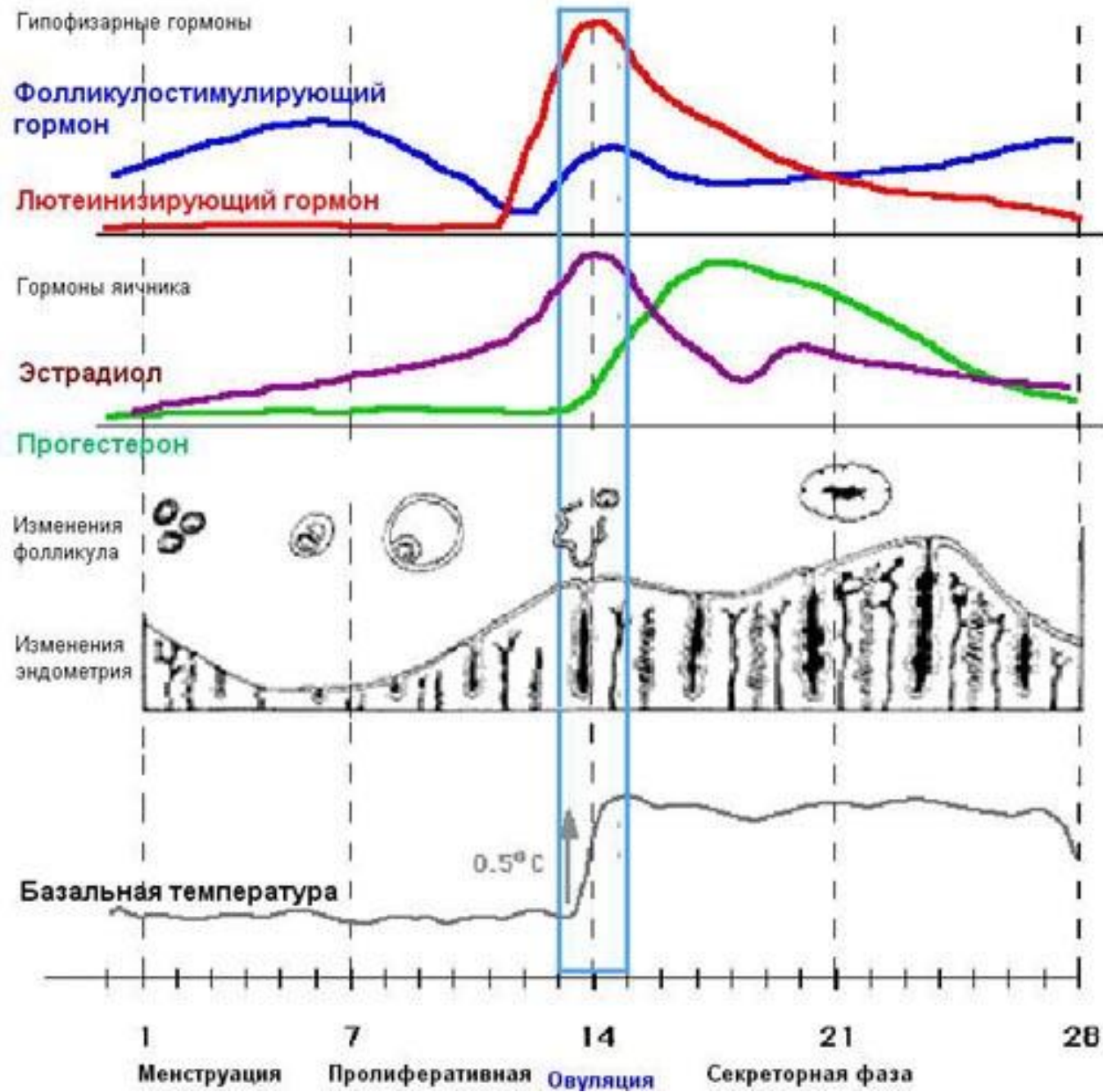
7 - прозрачная зона; 8 -  
рецептор Zp3



# 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 введён *К.Бэр*ом в 1827 г.

Типичный сперматозоид имеет (у млекопитающих):

головку;

шейку;

хвостик

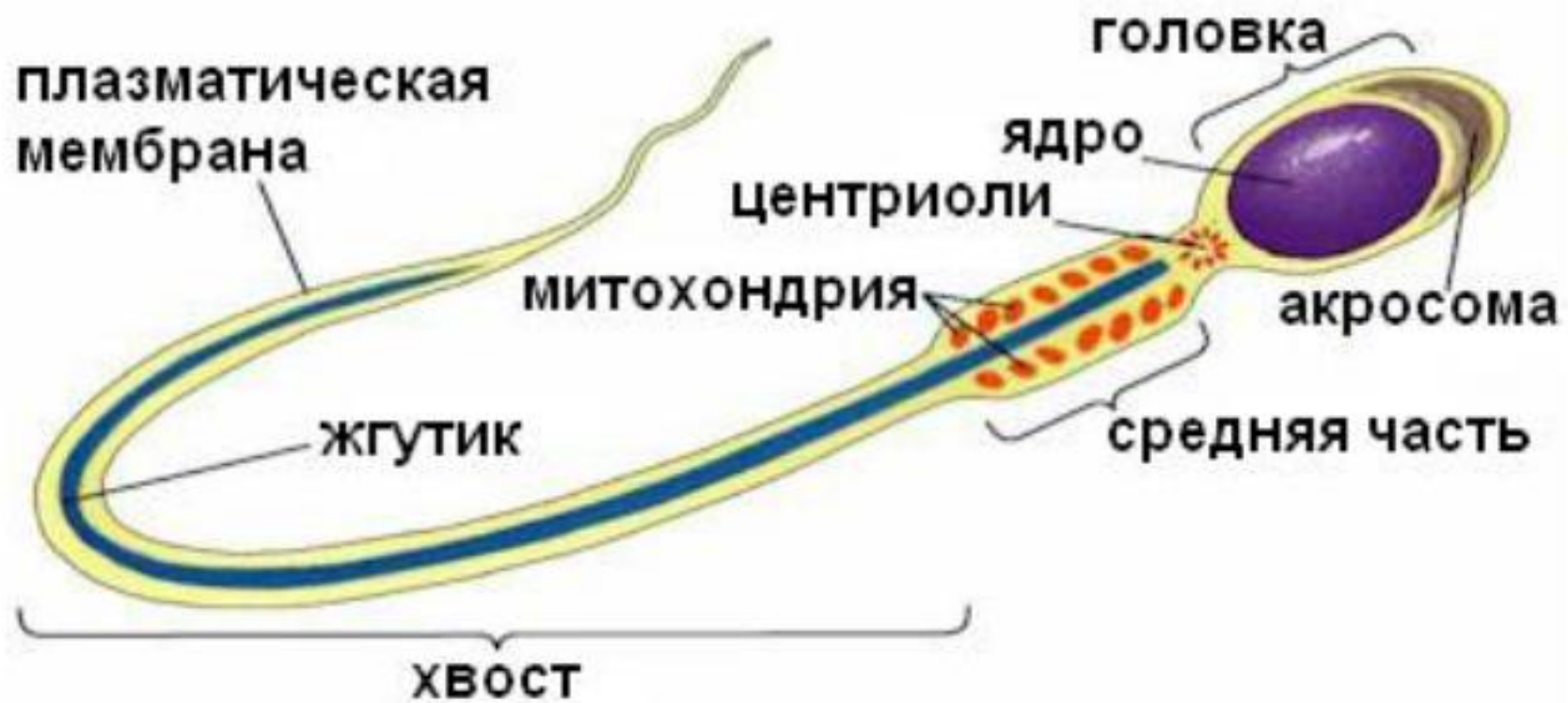
На переднем конце головки расположена **акросома**, состоящая из видоизмененного комплекса Гольджи. Ферменты акросомы растворяют оболочки яйцеклетки при оплодотворении. Основную массу головки занимает гаплоидное ядро и небольшое количество жидкокристаллической цитоплазмы.

В шейке находятся центриоль и спиральная нить, образованная митохондриями.

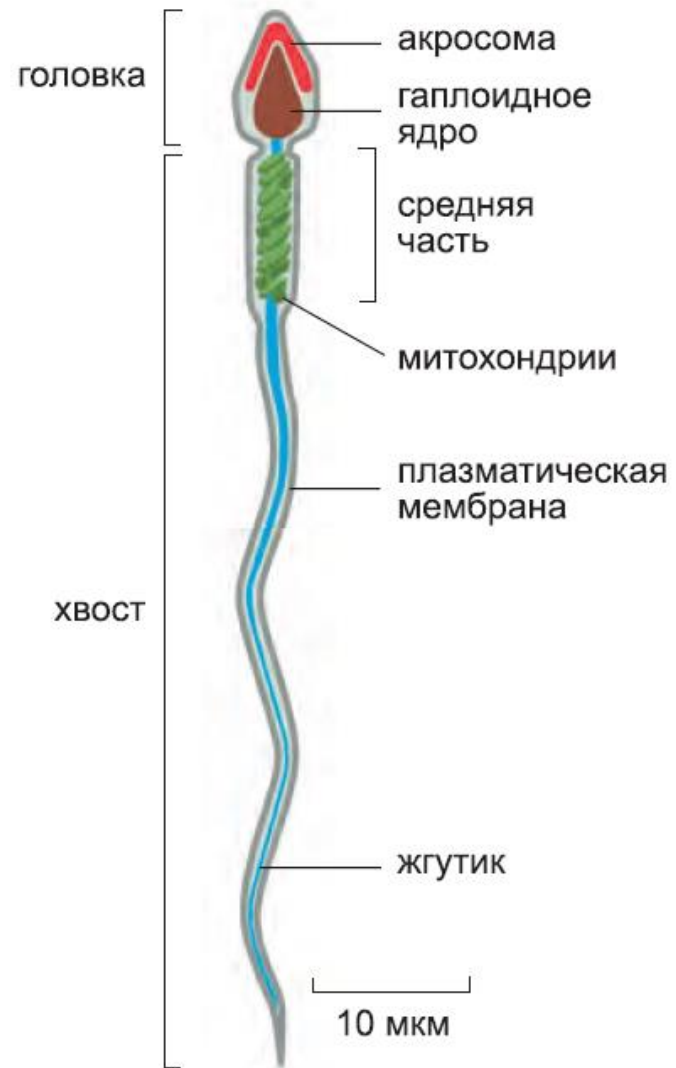
На заднем конце тела находится жгутик, обеспечивающий подвижность сперматозоида.

**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*



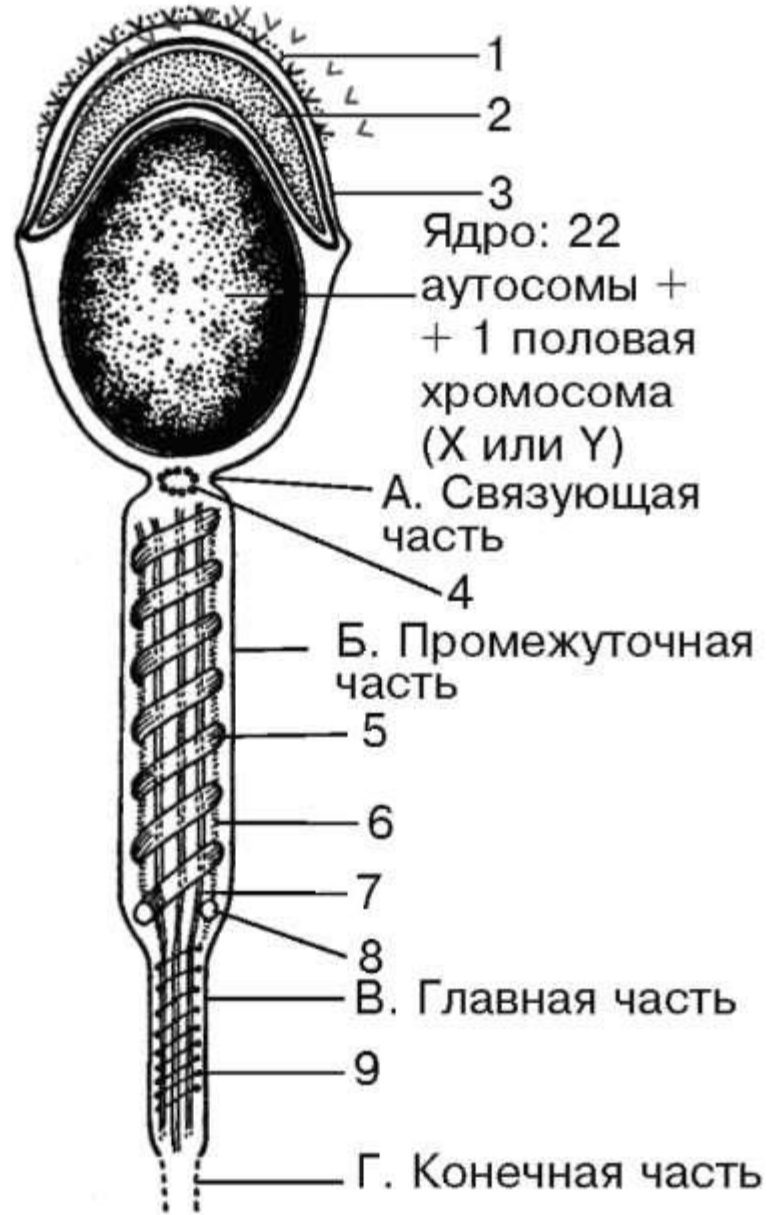
# Сперматозоид человека в продольном разрезе





I. Головка

II. Хвост А, Б, В, Г



Строение мужской  
половой клетки:

I - головка;

II - хвост. 1 - рецептор;

2 - акросома; 3 - «чехлик»; 4

- проксимальная

центриоль;

5 - митохондрия;

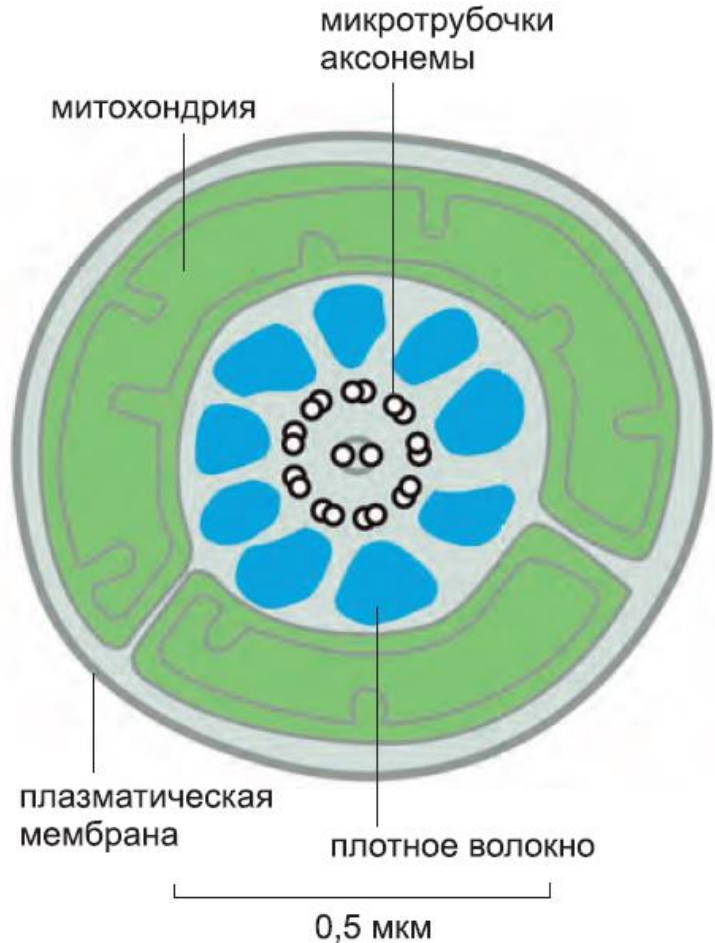
6 - слой упругих фибрилл;

7 - аксонема; 8 -

терминальное кольцо; 9 -

циркулярные фибриллы

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

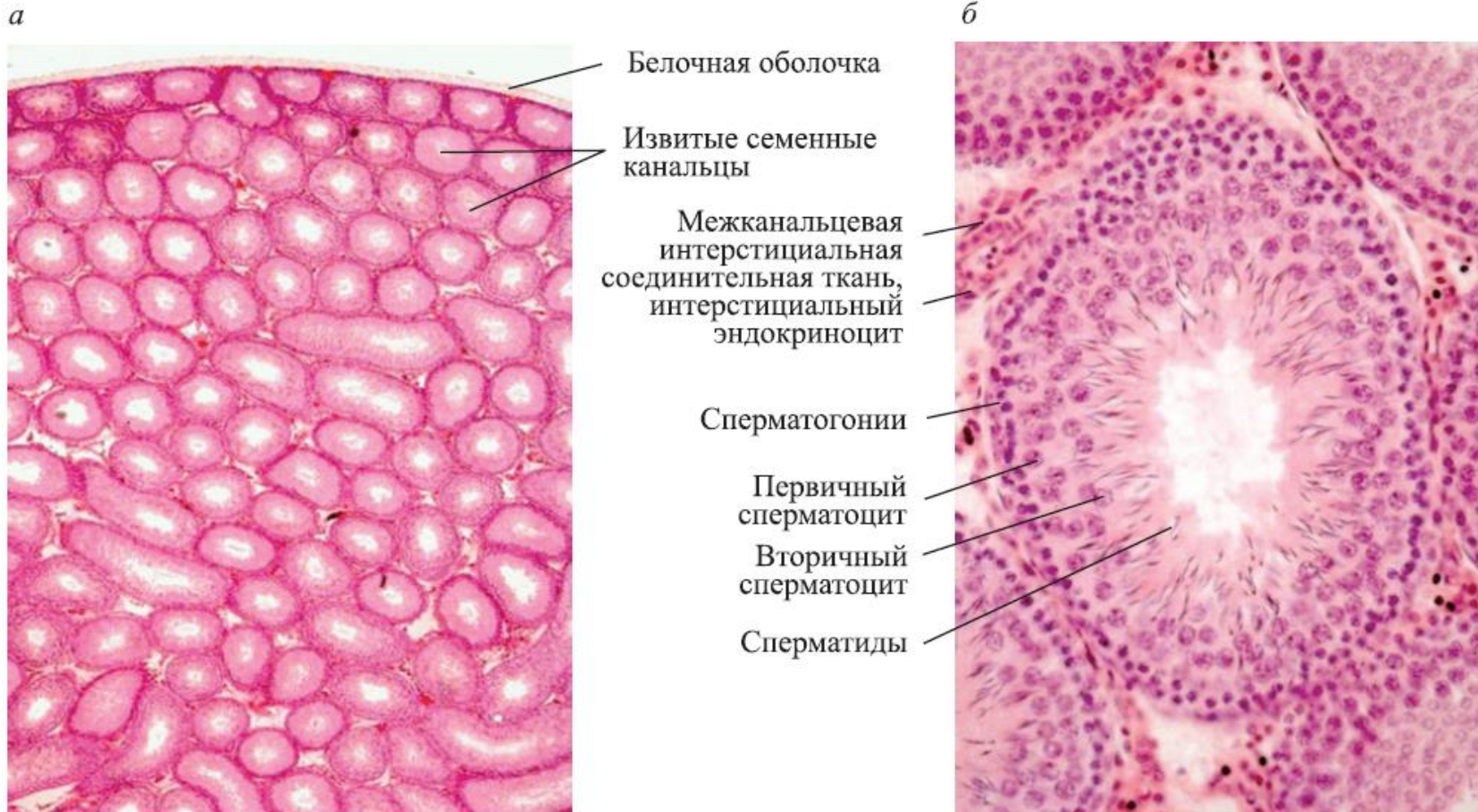


Жгутик состоит из аксонемы и девяти окружающих ее плотных волокон. Устройство аксонемы включает две одиночные микротрубочки, окруженные девятью двойными микротрубочками. Необычное расположение митохондрий (зеленый цвет) обеспечивает эффективную доставку АТФ, необходимого для движения жгутика; они образуют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

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

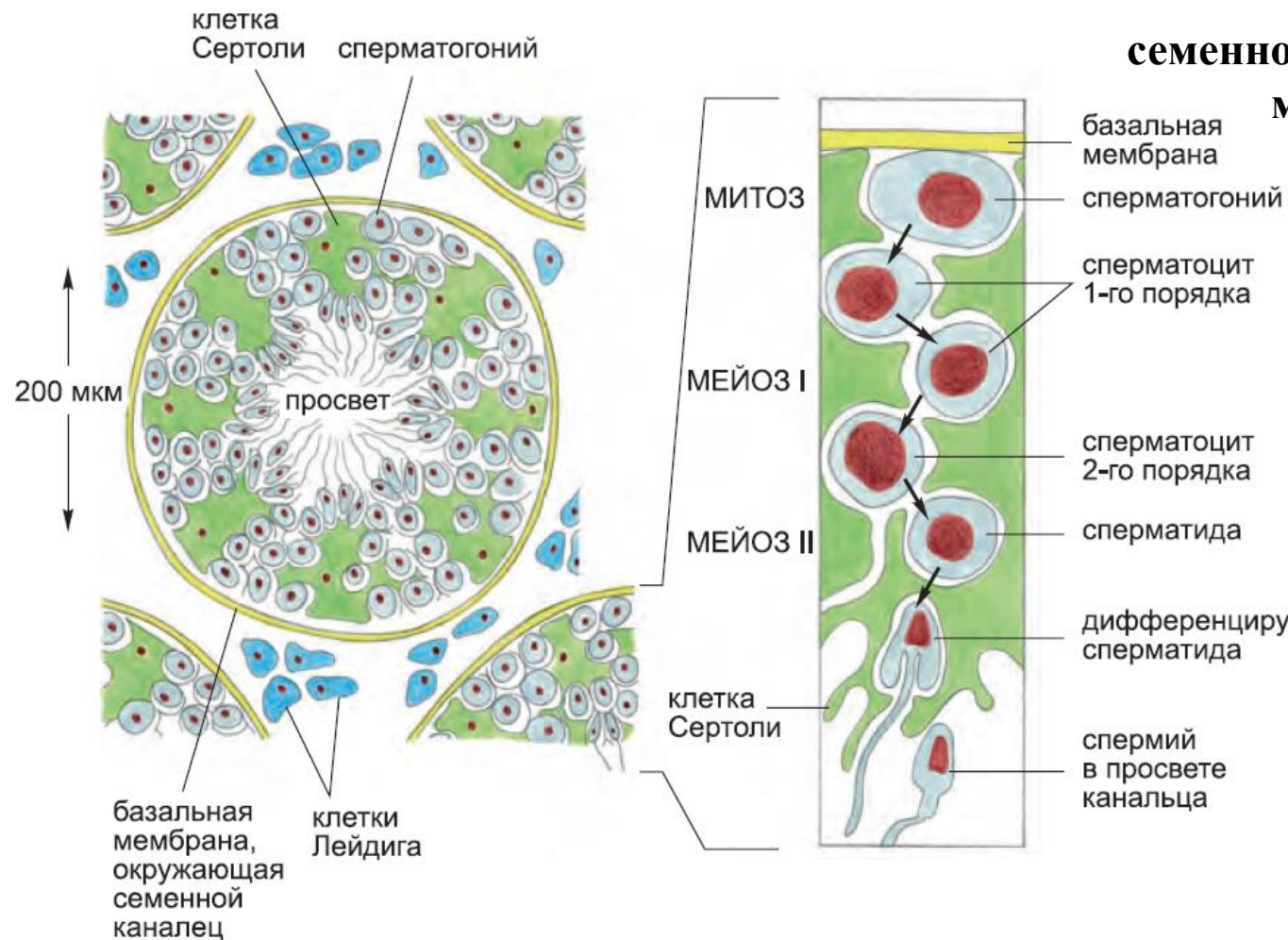
*a* – участок среза семенника (ув. 25);

*б* – извитой семенной каналец (ув. 400)



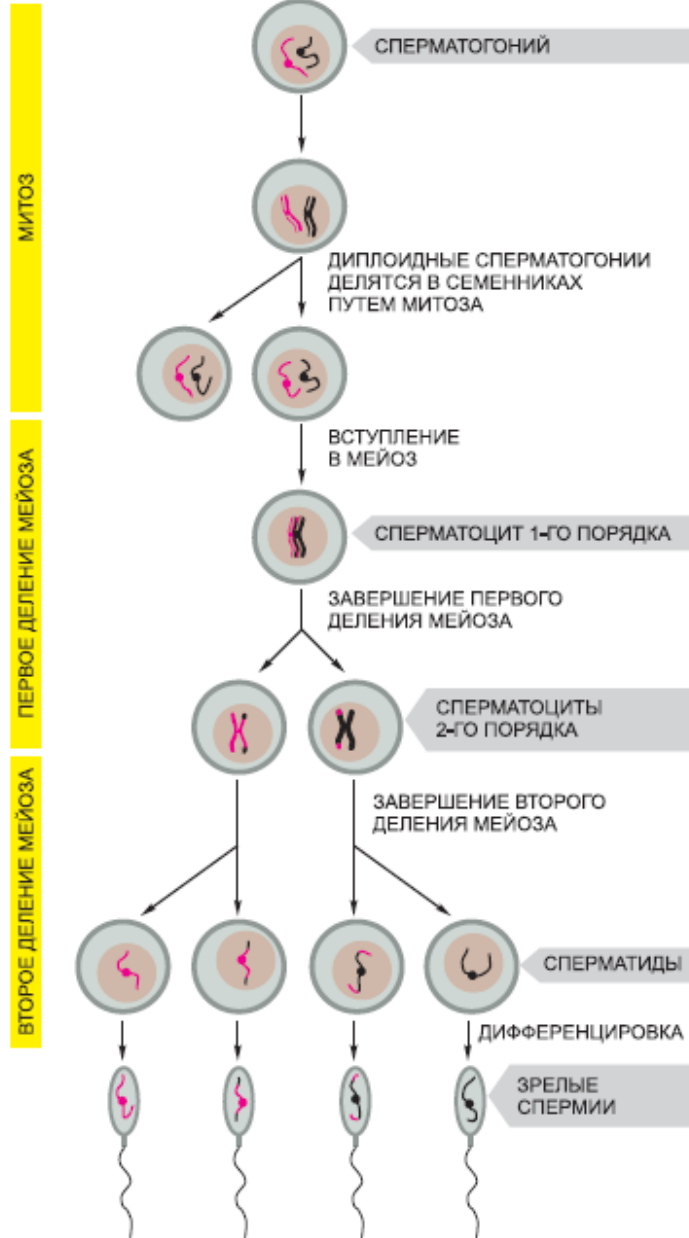


## Схема поперечного разреза семенного канальца семенника млекопитающего



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.

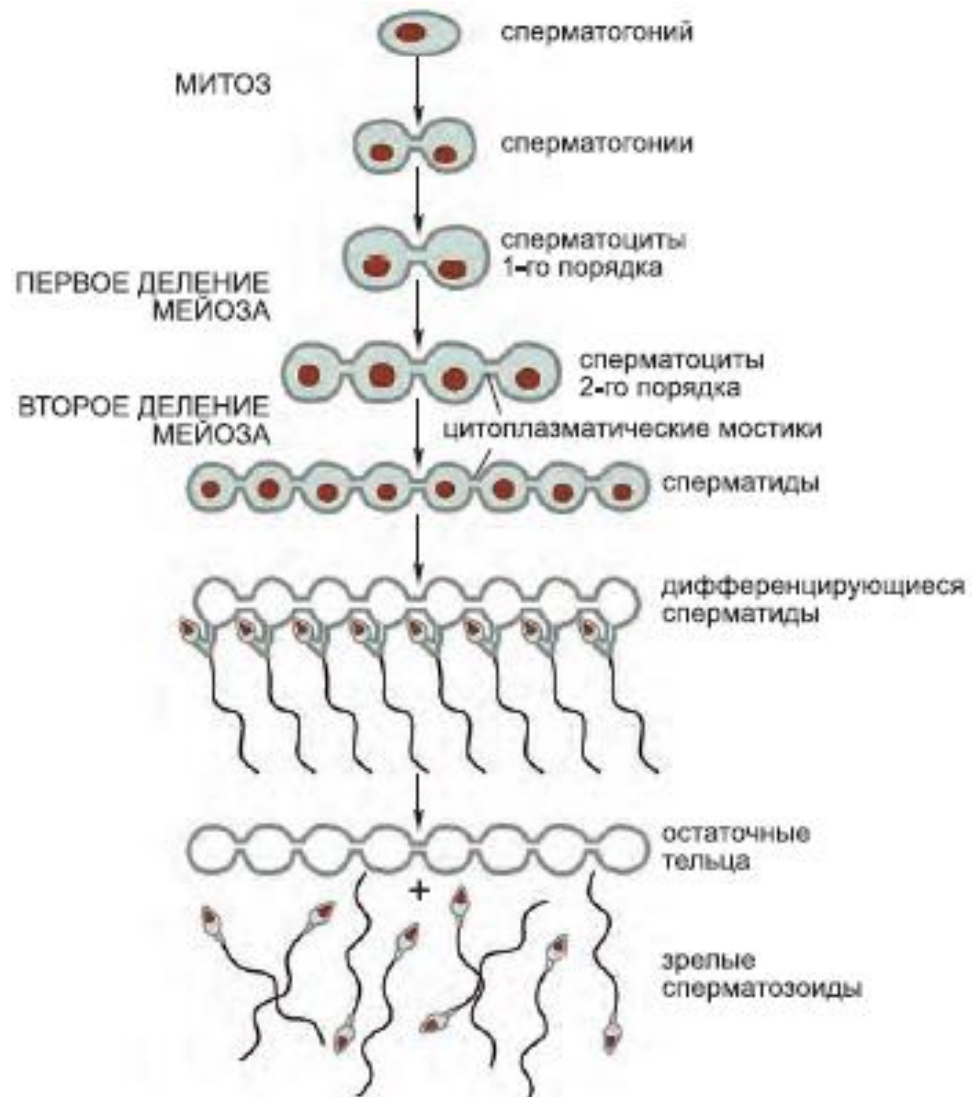
б) Вблизи базальной мембраны находятся сперматогонии делящиеся митозом. Некоторые из этих клеток приступают к мейозу, превращаясь в сперматоциты первого порядка. Затем они завершают первое деления мейоза и становятся сперматоцитами второго порядка. Последние в результате второго деления мейоза превращаются 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**

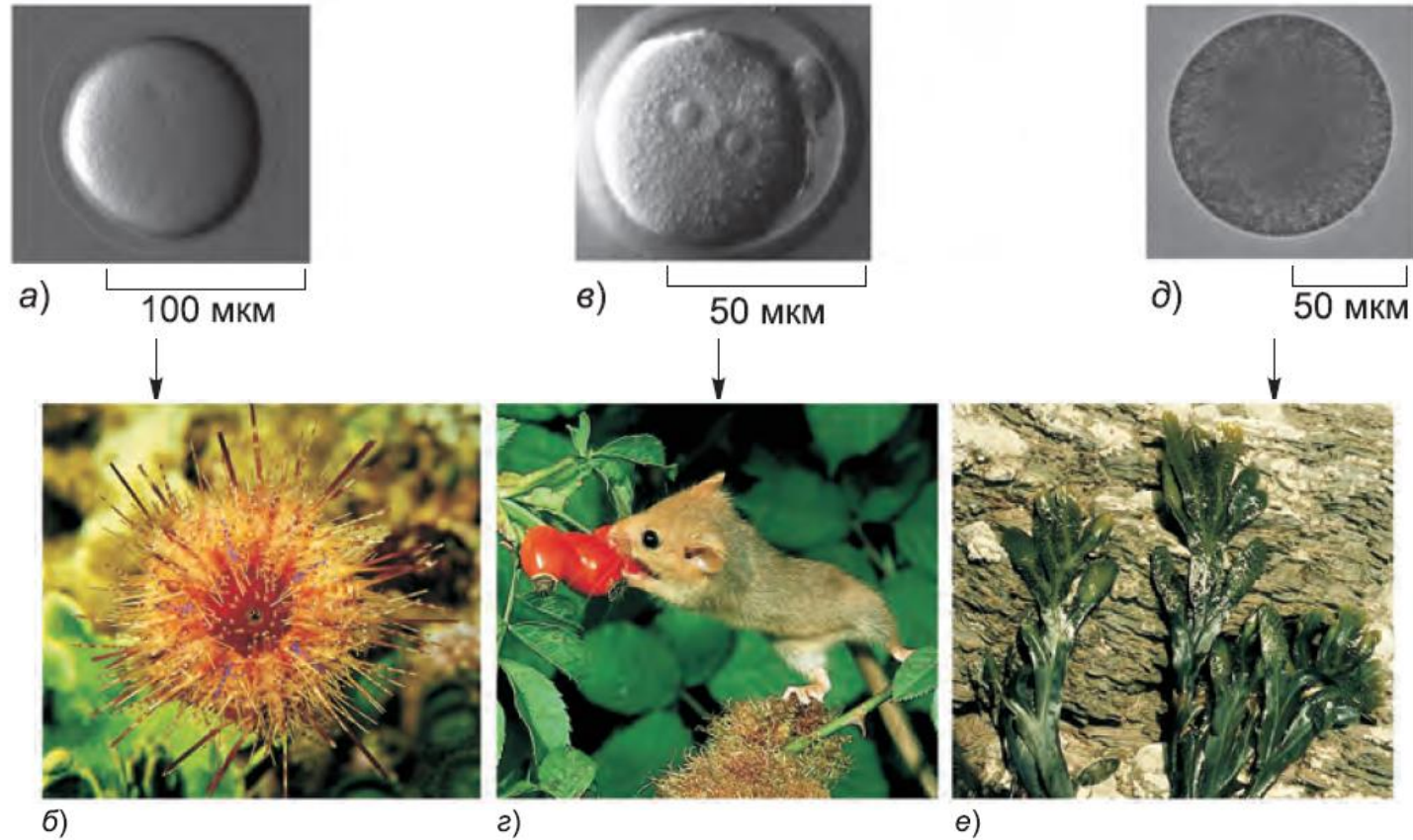
1. Митотическое деление овогоний заканчивается до рождения организма. Митоз сперматогоний начинается с периода полового созревания.
2. При овогенезе значительно выражена зона роста, при сперматогенезе зона роста почти не выражена.
3. При овогенезе первое деление мейоза останавливается в эмбриогенезе 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;

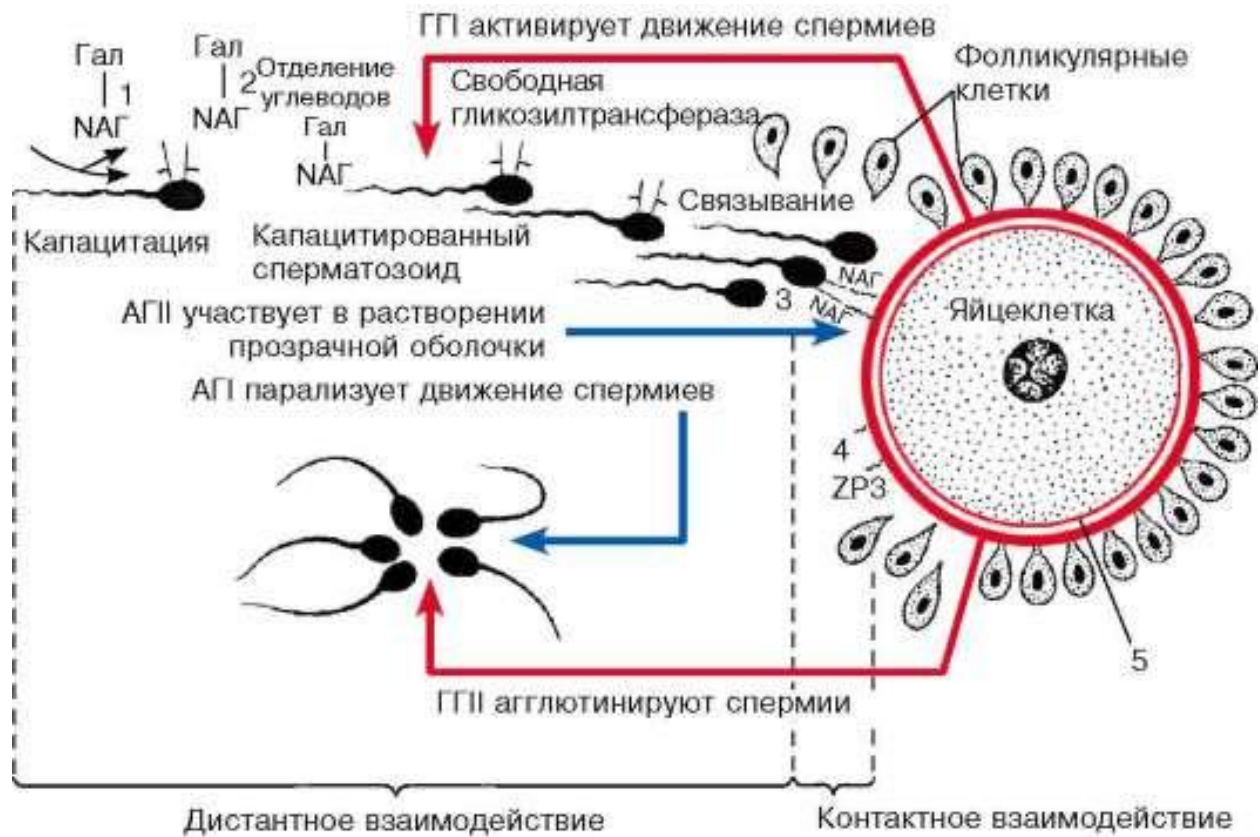
д, е) Яйцеклетка морской водоросли *Fucus* дает жизнь морской водоросли *Fucus*.

## 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:

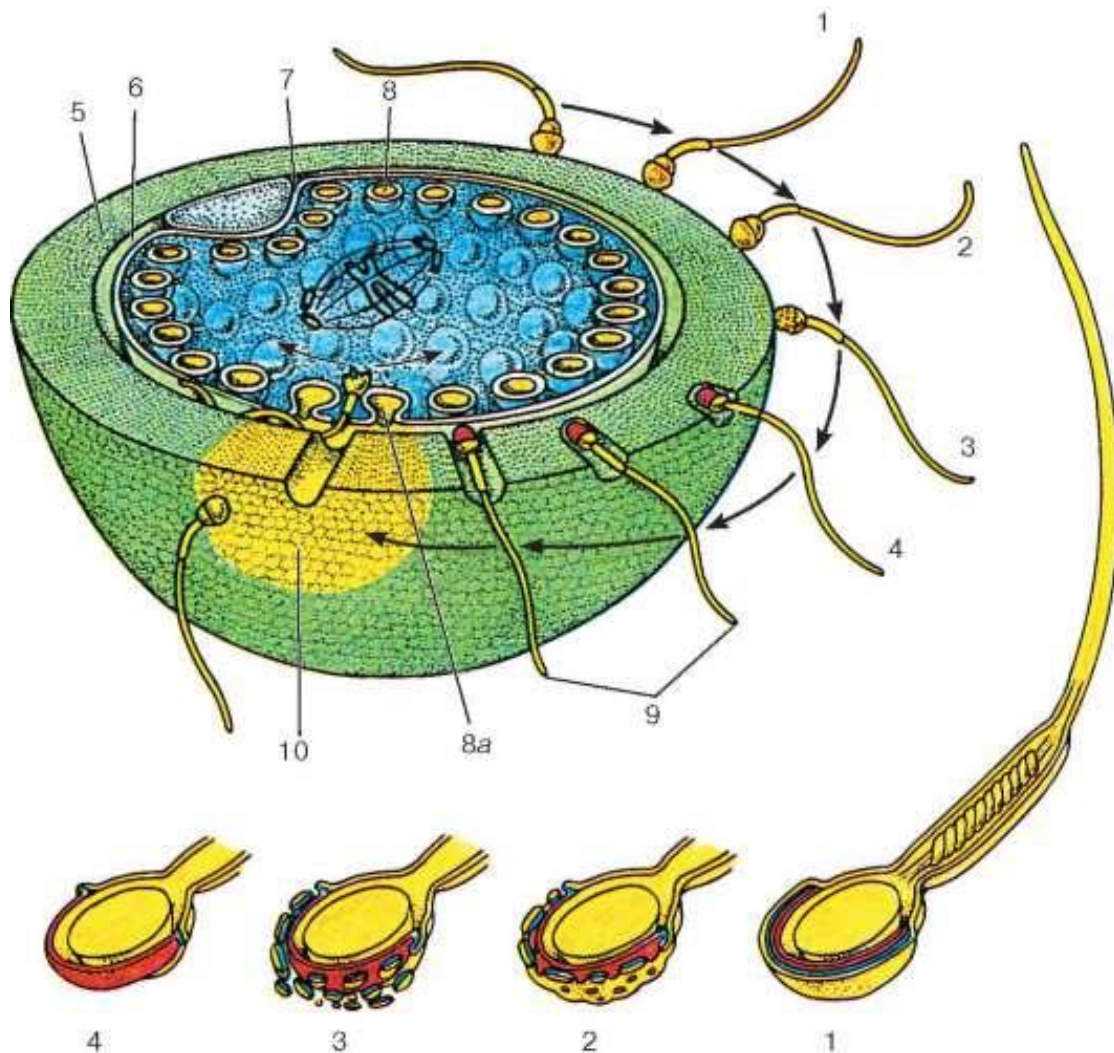
- 1) дистантное взаимодействие и сближение гамет;
- 2) контактное взаимодействие и активизация яйцеклетки;
- 3) проникновение сперматозоида в яйцеклетку и последующее слияние - сингамия.



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; NAG - N-ацетилглюкозамин





## Оплодотворение

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

6 - перивителлиновое пространство;

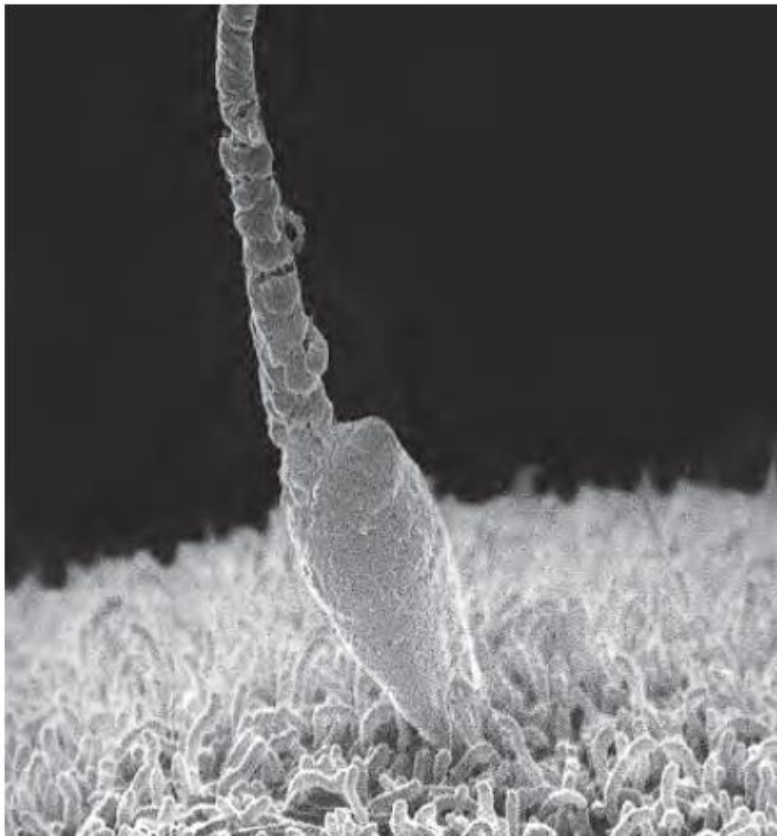
7 - плазматическая мембрана;

8 - кортикальная гранула;

8a - кортикальная реакция;

9 - проникновение спермия в яйцеклетку; 10 - зонная реакция

# Сперматозоид человека, связавшийся с поверхностью яйцеклетки хомяка: электронная микрофотография, полученная методом сканирующей электронной микроскопии

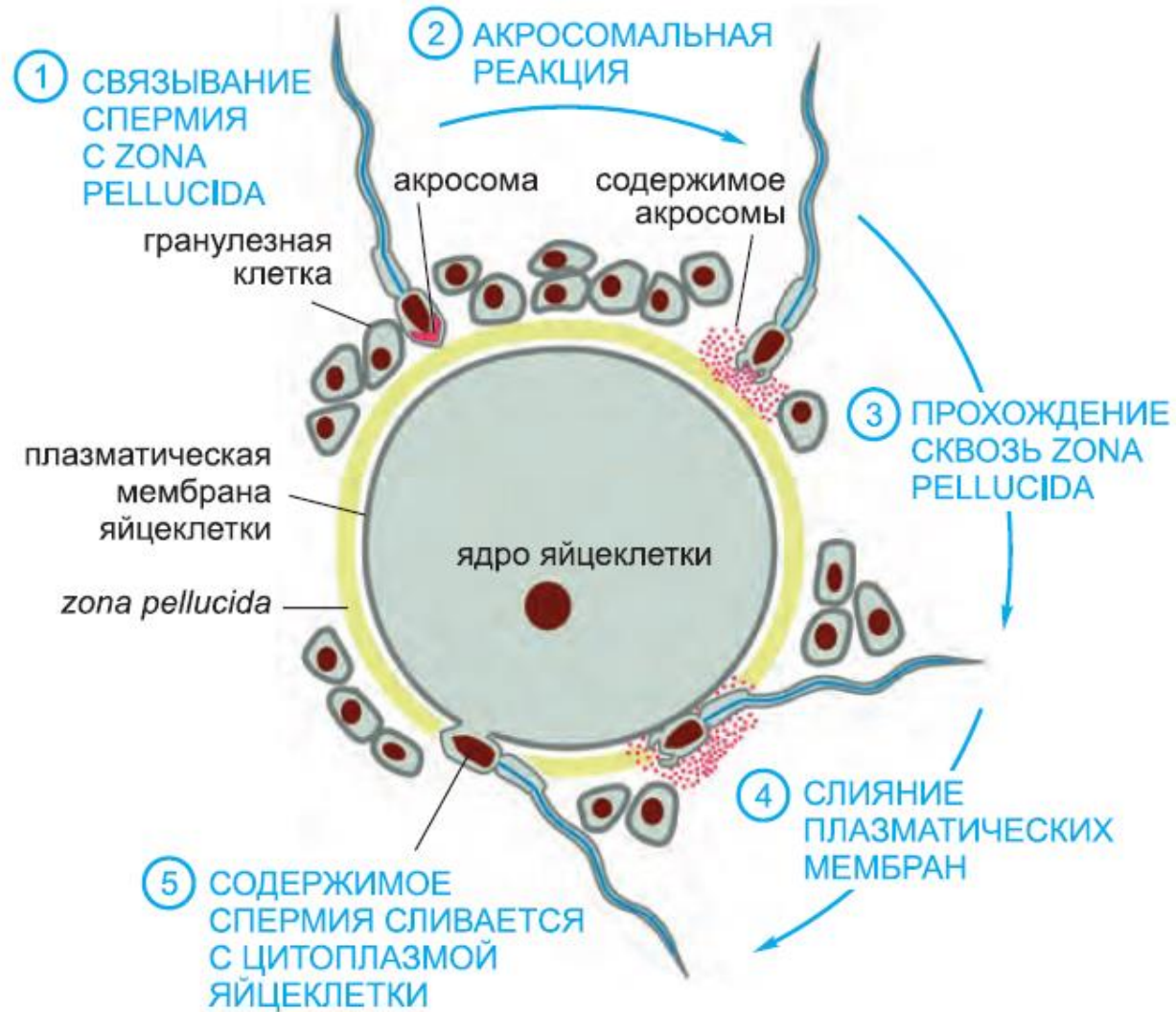


5 мкм

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

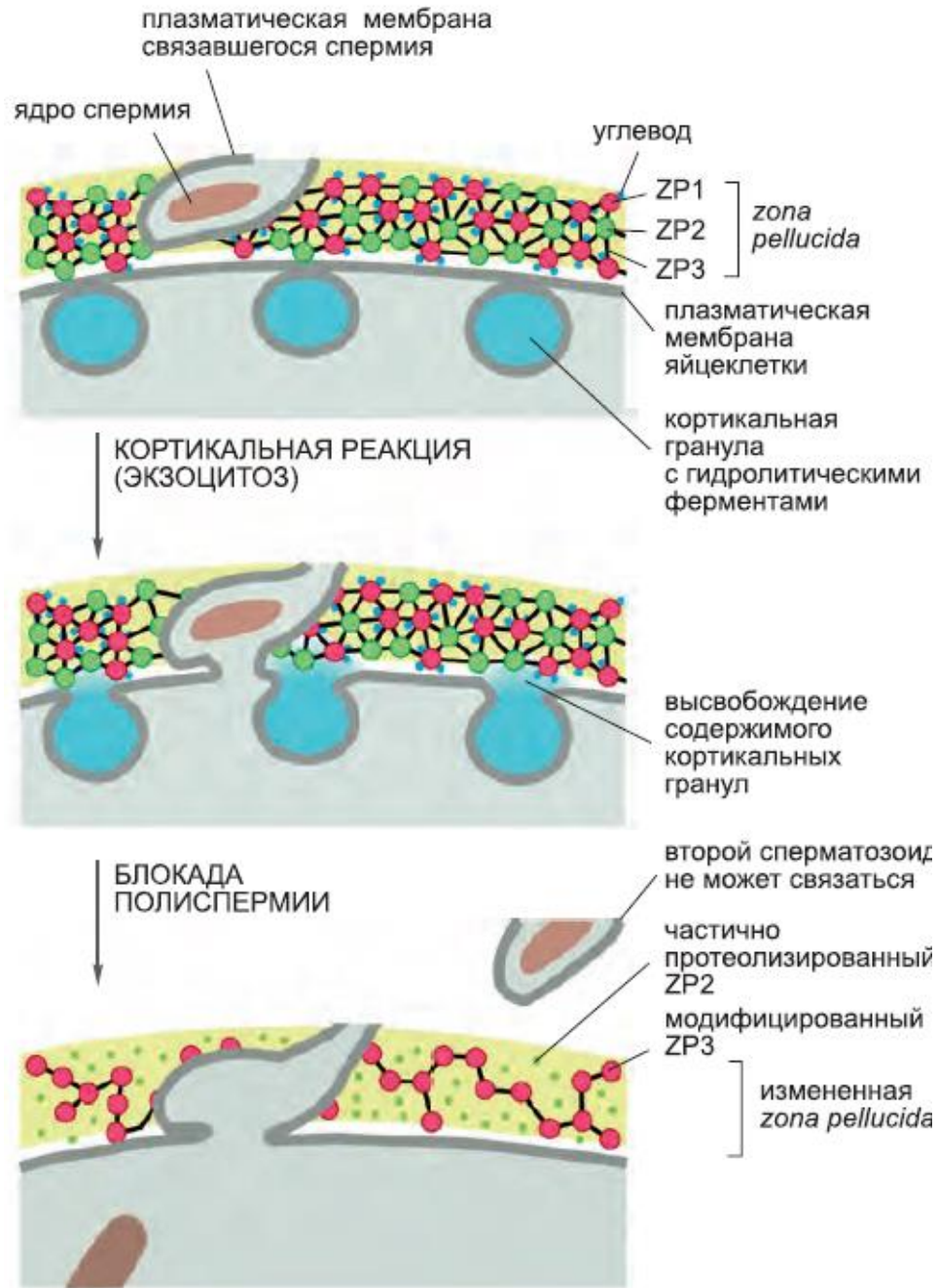
хомяка используют для определения мужского бесплодия; нормальным уровнем считают проникновение в 10–25 % яйцеклеток.

# Акросомальная реакция при оплодотворении



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

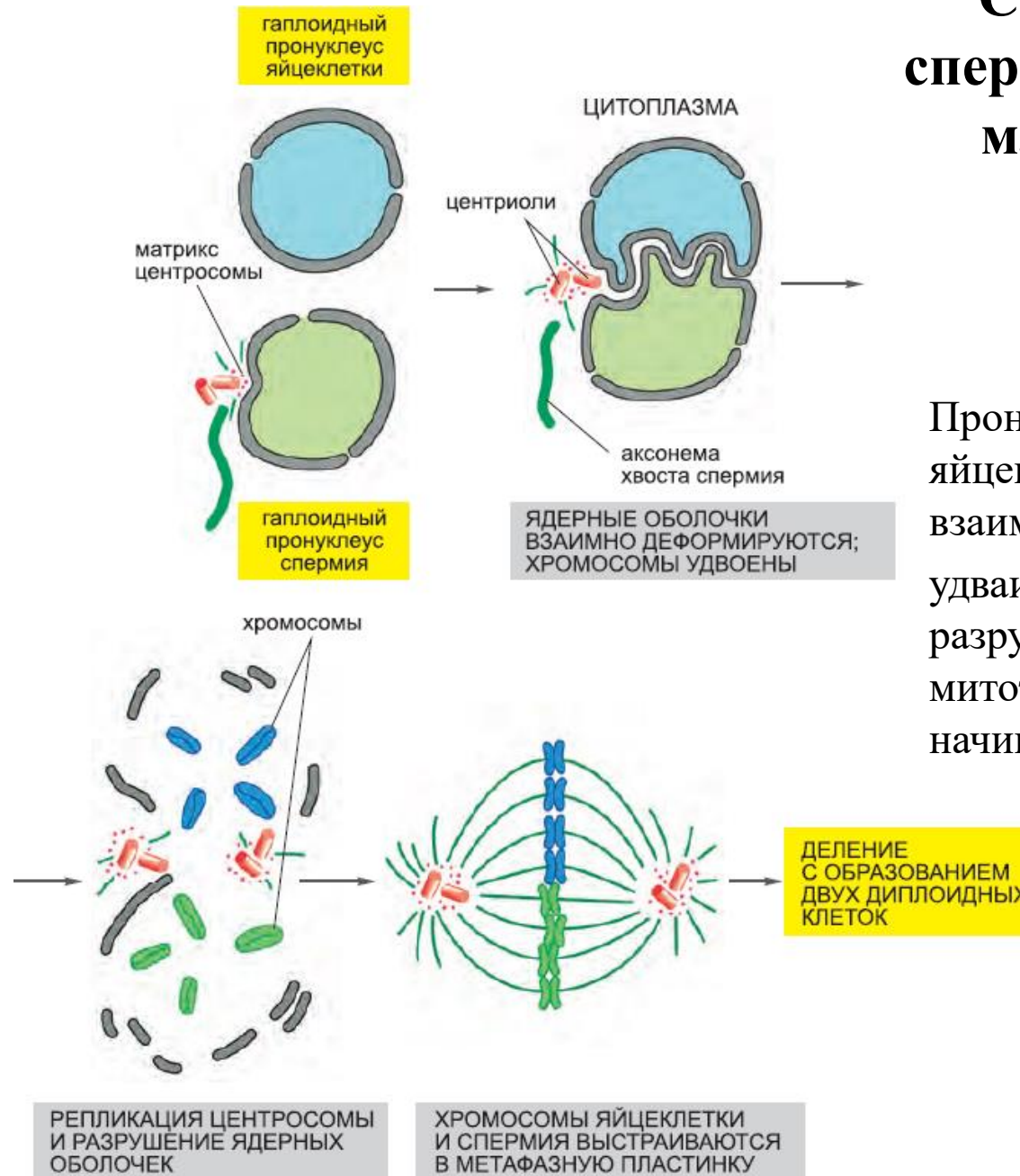
# Кортикальная реакция яйцеклетки мыши предотвращает проникновение в нее дополнительных спермиев. Схема.



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.



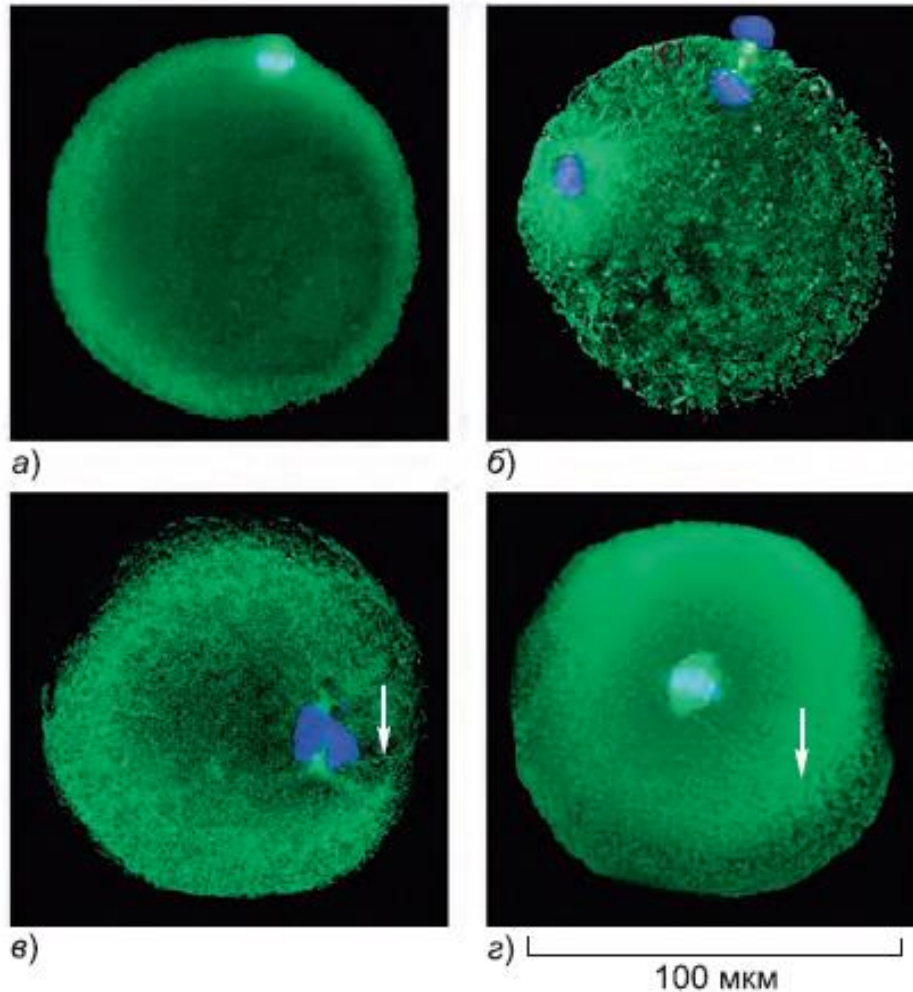
# Слияние пронуклеусов сперматозоида и яйцеклетки млекопитающих после оплодотворения



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.



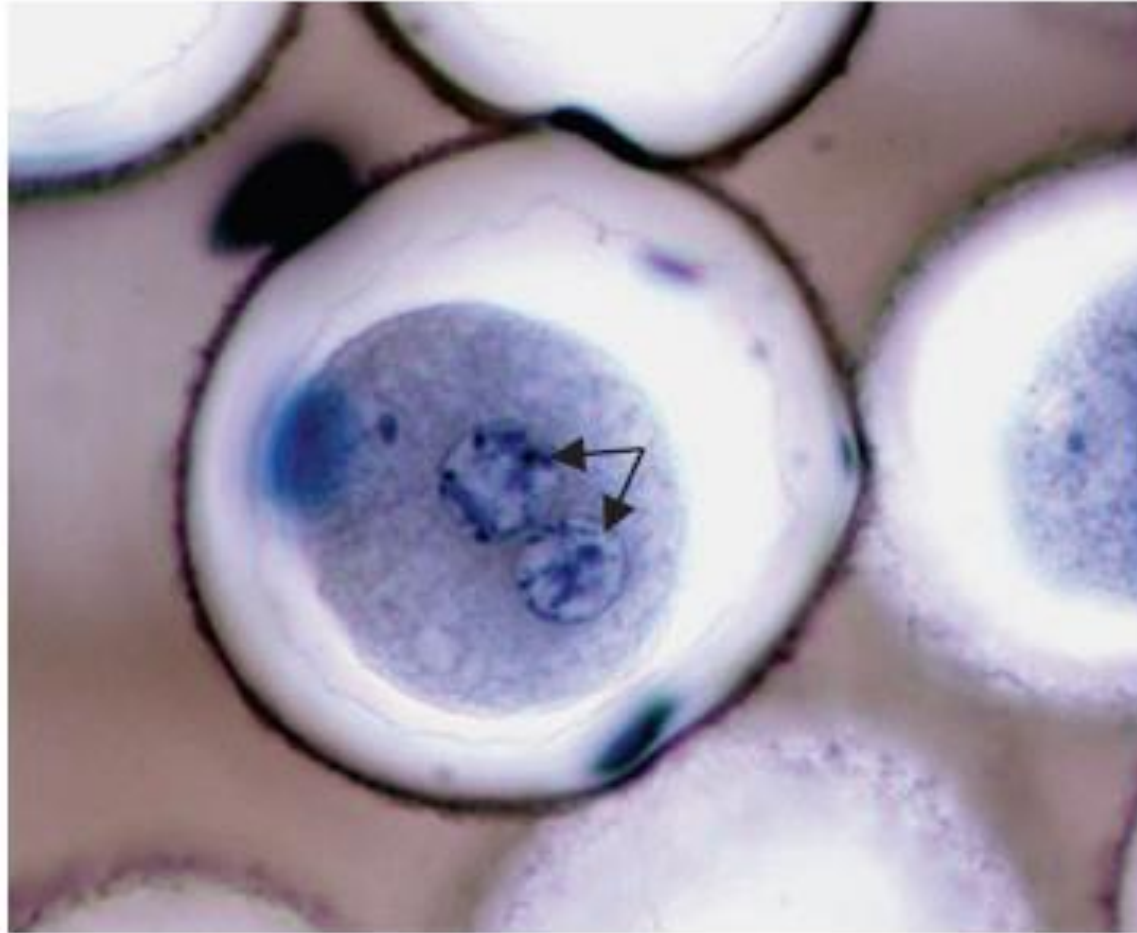
## На микрофотографиях показано сближение пронуклеусов яйцеклетки и сперматозоида человека после оплодотворения *in vitro*



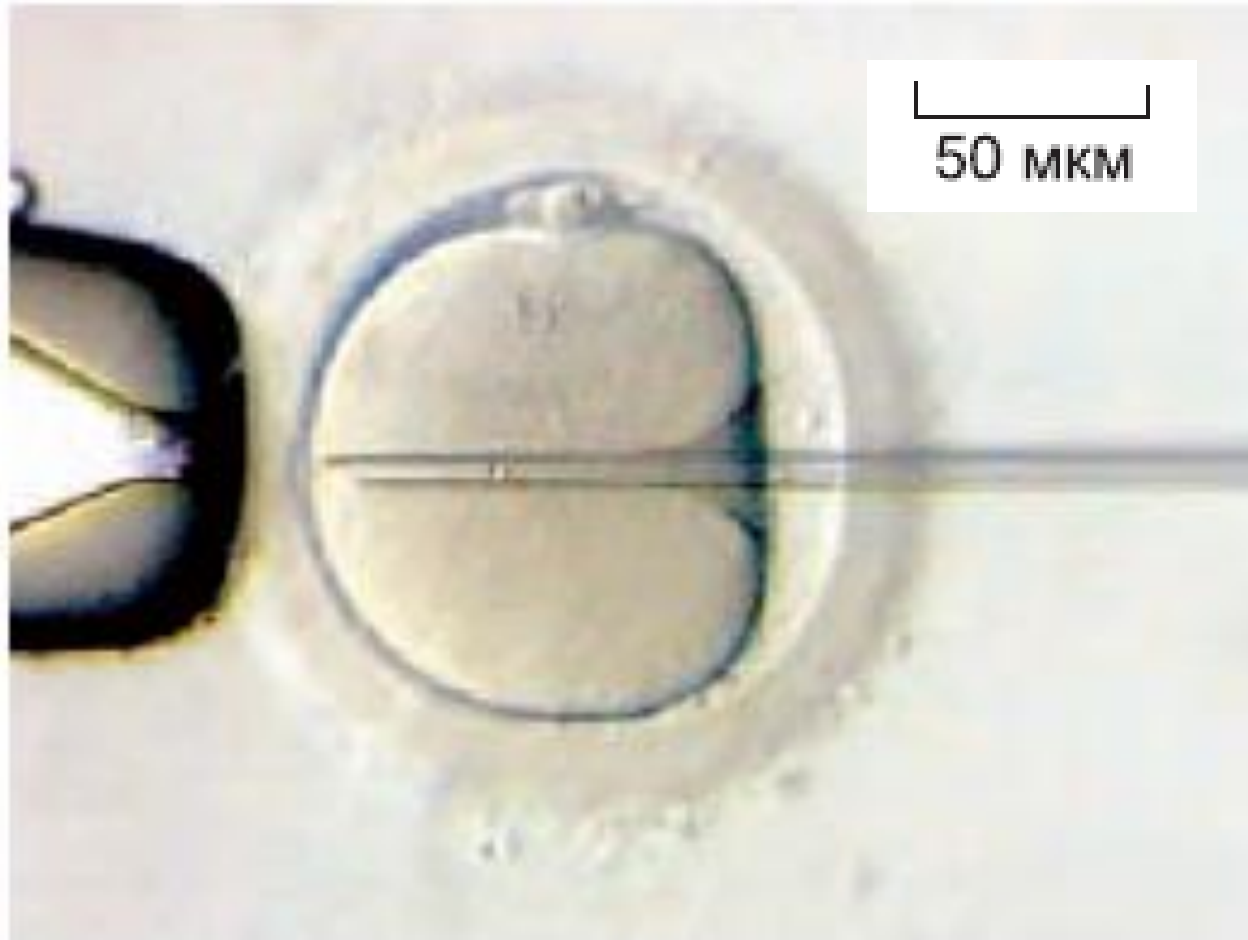
*а*) Мейотическое веретено зрелого неоплодотворенного вторичного ооцита. *б*) Оплодотворенная яйцеклетка, от которой отделяется второе полярное тельце, спустя 5 часов после слияния со сперматозоидом. Вокруг головки сперматозоида (слева) собираются микротрубочки. Пронуклеусы яйцеклетки и сперматозоида еще находятся далеко друг от друга. *в*) Два пронуклеуса сошлись. *г*) Через 16 часов после слияния пронуклеусов: centrosома, проникающая 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.

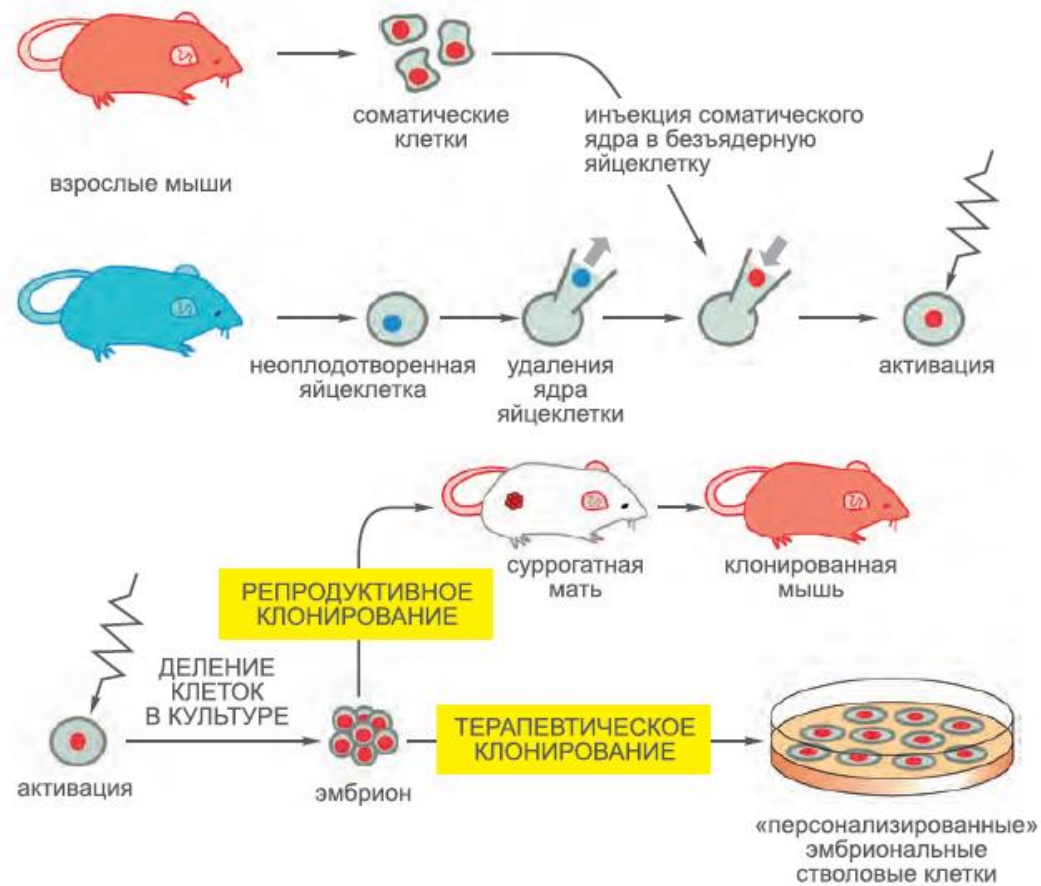
Оплодотворение. Синкарион (сблизившиеся мужской и женский пронуклеусы) (окраска железным гематоксилином) (ув. 400)



## 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!