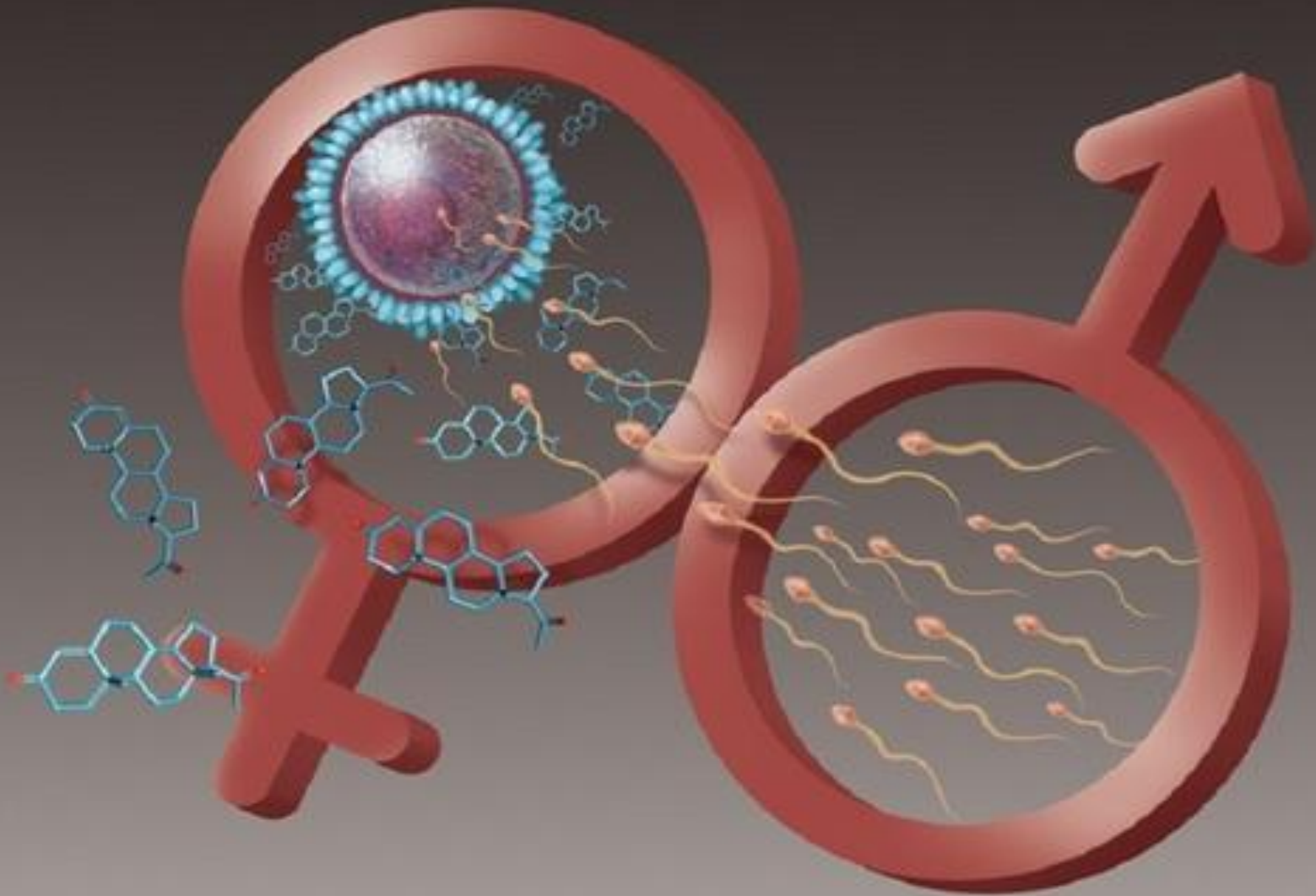


БИОЛОГИЯ РАЗВИТИЯ



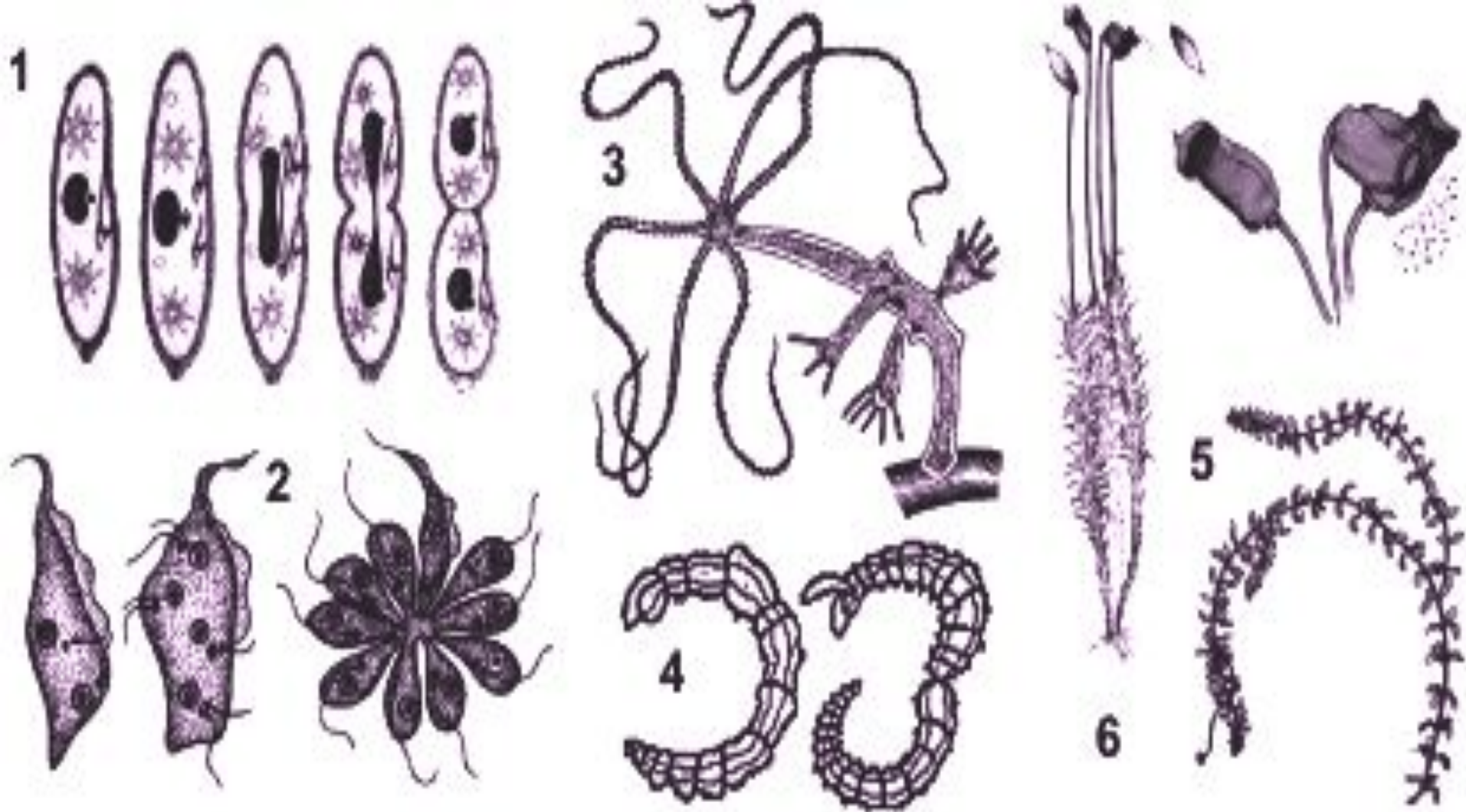
Лекцию подготовила к. б. н. СМЕРНОВА С.Н.

Актуальность темы:



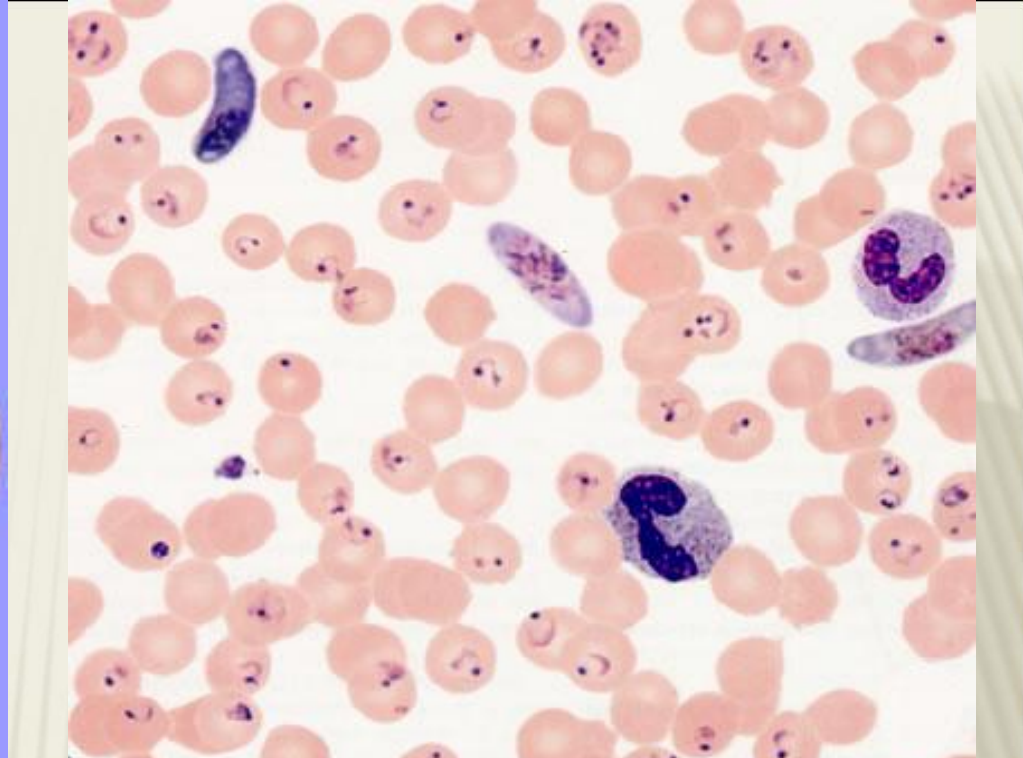
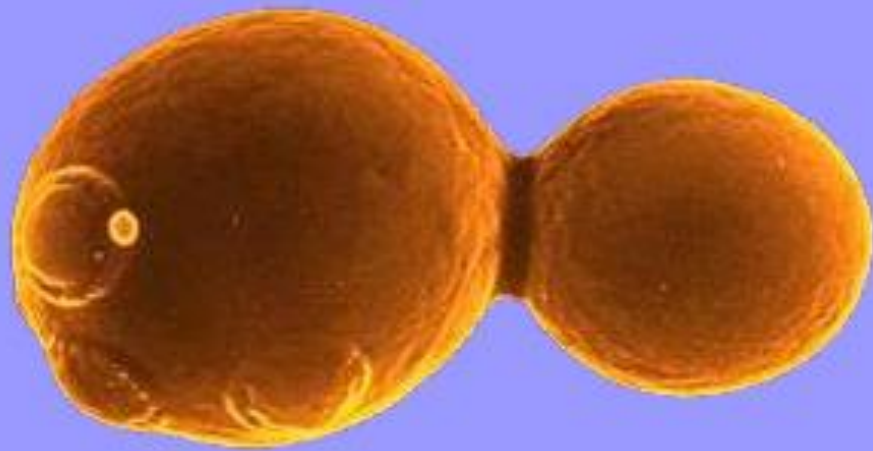
Размножение, или репродукция – воспроизведение себе подобных. Способность к размножению – неотъемлимая часть живого. Благодаря размножению сохраняются все биологические виды и сама жизнь. В процессе эволюции возникли различные формы размножения, которые можно объединить в два типа: **половое и бесполое.**

- **Бесполое размножение** – происходит без образования гамет, в нем участвует лишь один организм. При бесполом размножении обычно образуются генетически идентичные потомки, а единственным источником генетической изменчивости являются случайные мутации.
- **Половое размножение** – происходит слияние двух гамет с образованием зиготы, из которой развивается новый организм. Половое размножение ведет к генетической изменчивости. Генетическая изменчивость выгодна виду, т.к. поставляет сырье для естественного отбора, а следовательно, и для эволюции.



Бесполое размножение:

1 – деление; 2 – шизогония; 3 – почкование; 4 – фрагментация;
 5 – вегетативное размножение; 6 – спорообразование.



**бесполое
размножение**



Половое размножение

Формы размножения

одноклеточные

- копуляция -

(слияние половых форм)

- конъюгация

(обмен генетическим материалом)

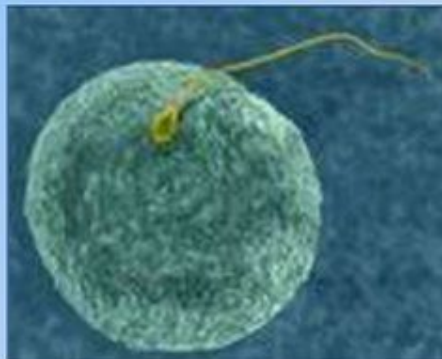
многоклеточные

- с оплодотворением

- без оплодотворения

партеногенез

гиногенез

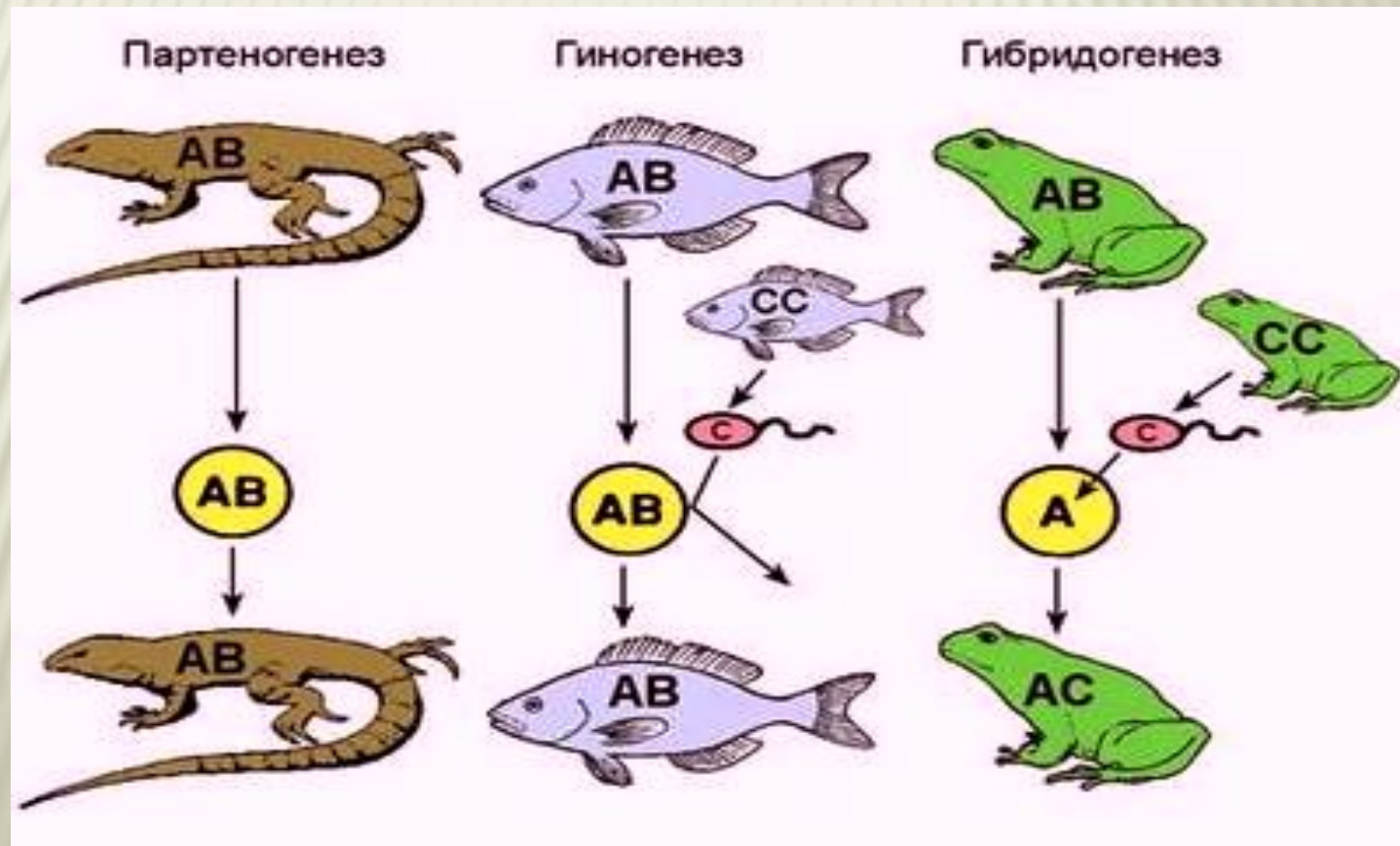


Формы партеногенеза

- **Гиногенез** (от греч. *gune* — женщина и ...генез), способ развития яйцеклетки и образования зародыша, при котором после проникновения в нее сперматозоида их ядра не сливаются и в развитии участвует только ядро яйцеклетки (**серебристый карась, некоторые тритоны**).
- **Андрогенез** (от греч. *aner*, род. п. *andros* — мужчина и ...генез), «мужской партеногенез», развитие яйца (после проникновения в него сперматозоида) только с мужским ядром. Наблюдается обычно в случае гибели женского ядра до оплодотворения (**тутовый шелкопряд**).
- **Педогенез** (от греч. *pais*, род. п. *paidos* — дитя и ...генез) (детское размножение), форма партеногенеза, при которой неоплодотворенные яйцеклетки, дающие начало новому поколению, развиваются еще в теле личинок. Известны у ряда беспозвоночных (**некоторые мух**,



ГИБРИДОГЕНЕЗ (гибридогенное видообразование), возникновение нового вида организмов при скрещивании двух предковых (обычно близкородственных) видов. Такие гибридные особи обычно не способны при скрещивании давать потомство, что связано с нарушениями распределения хромосом в половых клетках (гаметах) во время редукционного клеточного деления (мейоза). Формы организмов, возникшие путём гибридогенеза, сохраняются, только если они способны к бесполому размножению (агамные виды) или к партеногенезу (партеновиды).



Половое размножение

Преимущества:

1. Начало новому организму (**гибриду**) дают два родительских организма
2. Идет обмен генетической информацией
3. Дает разнообразие потомства

Эволюционное значение - разнообразие потомства - материал для естественного отбора.

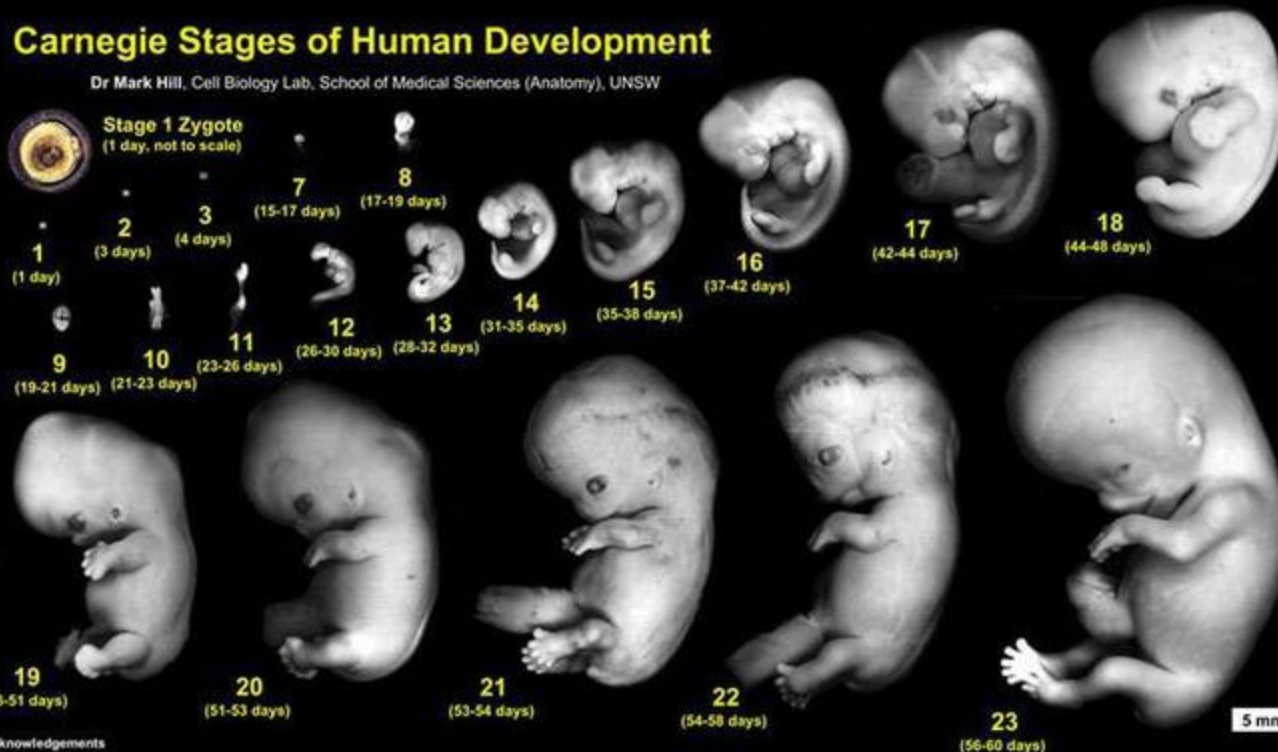


В организме человека из одной зиготы в результате митотических циклов образуется $2^{47} = 10^{14}$ клеток



Carnegie Stages of Human Development

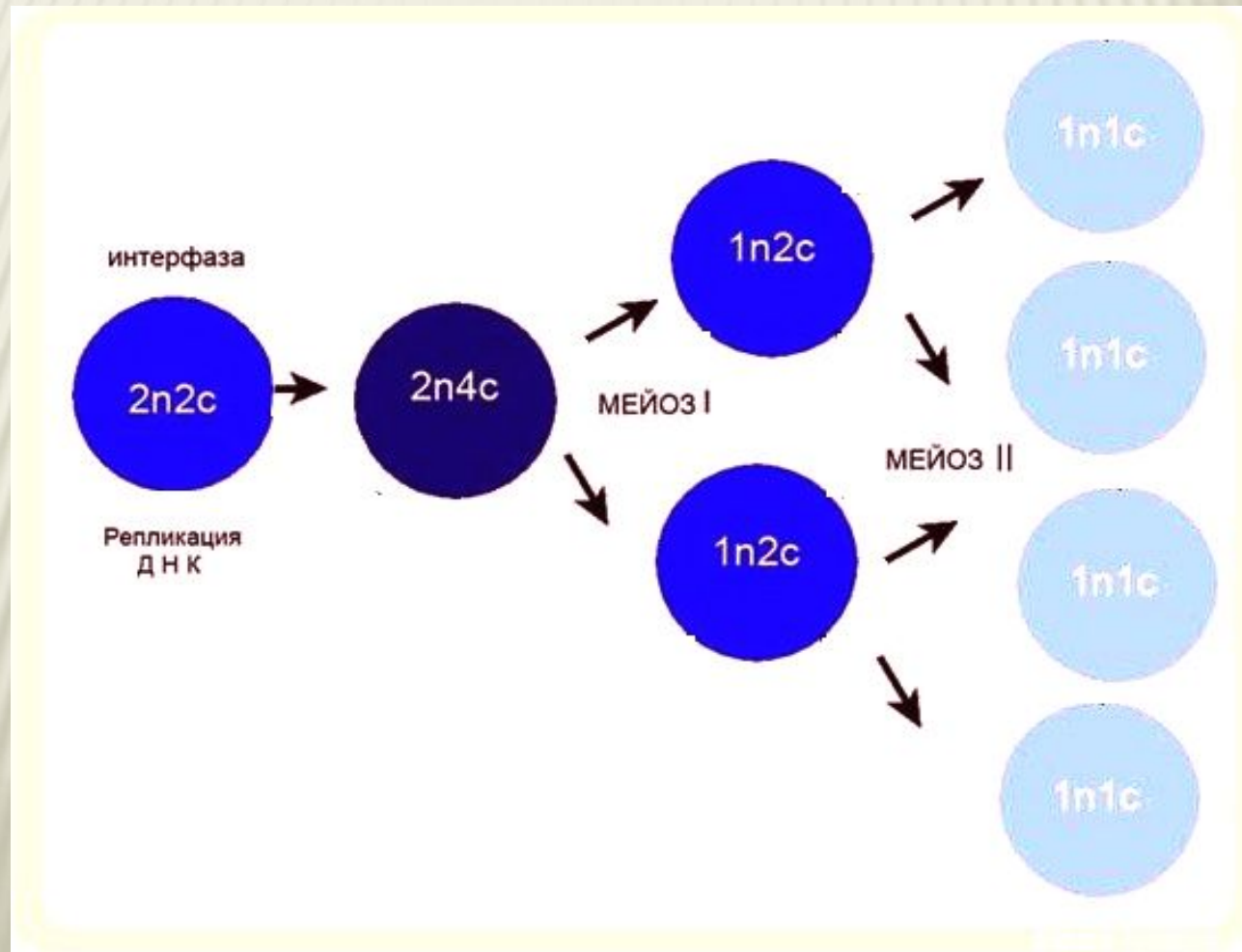
Dr Mark Hill, Cell Biology Lab, School of Medical Sciences (Anatomy), UNSW



Мейоз (от греч. “meiosis” – уменьшение) – особый способ деления эукариотических клеток, в результате которого происходят редукция (уменьшение) числа хромосом и переход клеток из диплоидного состояния в гаплоидное.

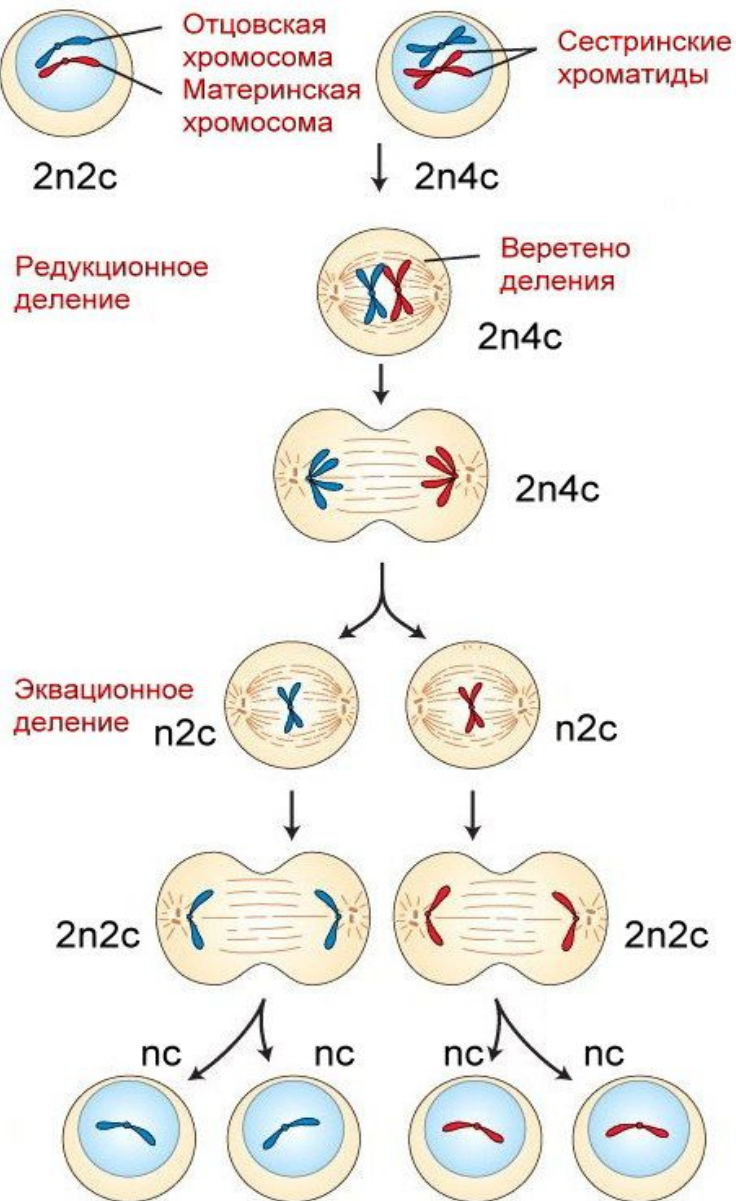
Мейоз – это особый тип дифференцировки, специализации клеток, который приводит к образованию половых клеток.

Мейоз состоит из двух последовательных делений, которым предшествует однократная редупликация ДНК.



Первое деление мейоза (редукционное)

Мейоз

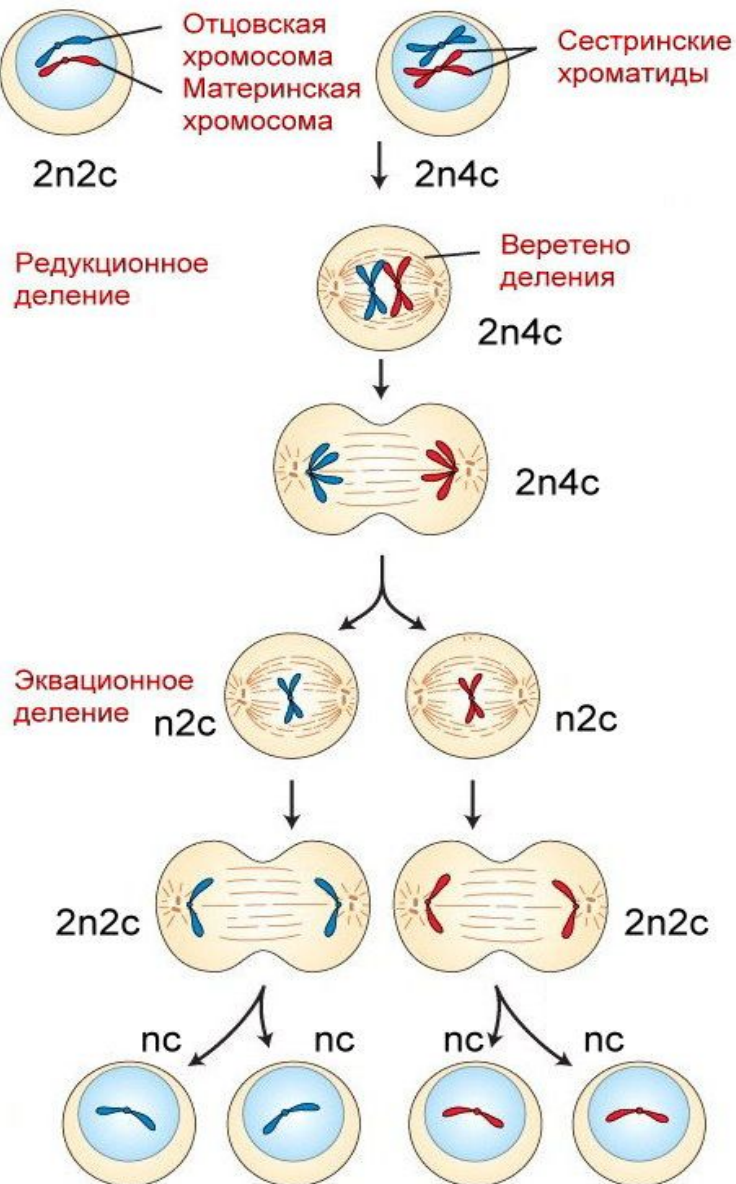


Мейоз — это особый вид деления клетки, при котором число хромосом в дочерних клетках становится гаплоидным. Это необходимо для сохранения постоянства числа хромосом при половом размножении.

Для примера рассмотрим созревание половых клеток у человека. В каждой клетке человеческого тела диплоидный набор хромосом ($2n$) составляет 46. Следовательно, при образовании яйцеклеток и сперматозоидов необходим особый тип деления клеток, при котором в дочерних клетках будет гаплоидный набор хромосом. Такой тип деления, во время которого из одной диплоидной ($2n$) клетки образуются четыре гаплоидные (n), и получил название мейоза.

Первое деление мейоза (редукционное)

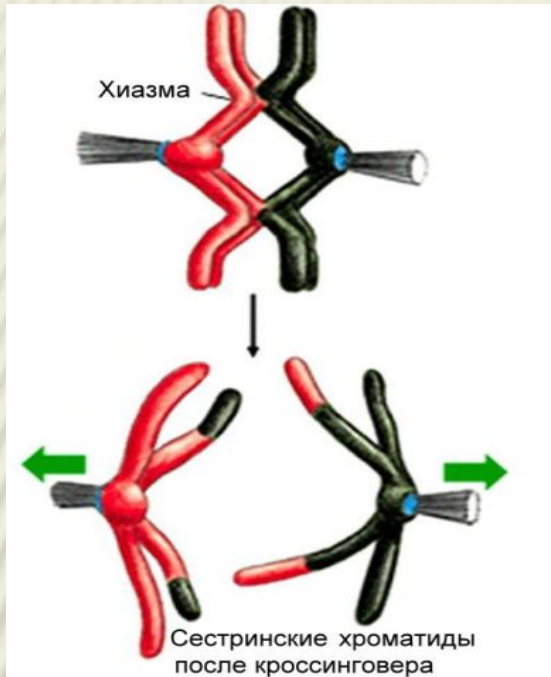
Мейоз



Мейоз представляет собой два следующих одно за другим деления генетического материала и цитоплазмы, перед которыми **репликация происходит только один раз**. Энергия и вещества, необходимые для обоих делений мейоза, накапливаются во время интерфазы I, при этом интерфаза II практически отсутствует.

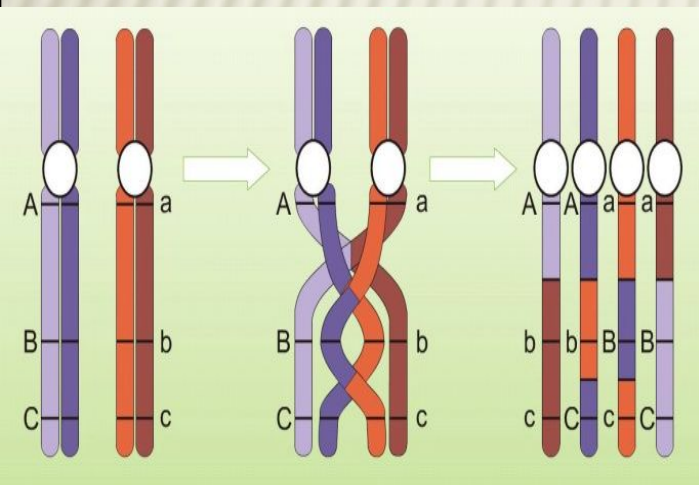
Во время первого деления мейоза (**редукционного**) к полюсам клетки расходятся гомологичные хромосомы, каждая из которых состоит из двух хроматид: у человека — 23 к одному полюсу и 23 к другому. В профазу I ($2n4c$) происходит **конъюгация** хромосом, т. е. каждая хромосома «находит» гомологичную себе и сближается с ней.

Первое деление мейоза (редукционное)



Во время этого контакта между отцовской и материнской хромосомами может происходить обмен идентичными участками. Это явление получило название **кроссинговера**.

Пару конъюгирующих хромосом называют **бивалентом**. Биваленты продолжают укорачиваться и утолщаться. Каждый бивалент образован четырьмя хроматидами. Поэтому его называют **тетрадой**.



Важнейшим событием является **кроссинговер** — обмен участками хромосом. Кроссинговер приводит к первой во время мейоза рекомбинации генов. В конце профазы I исчезают ядерная оболочка и ядрышко.

Первое деление мейоза (редукционное)



Профаза 1 ($2n4c$)

Самая продолжительная и сложная фаза мейоза. Состоит из ряда последовательных стадий.

Лептотена ($2n$; $4c$). Стадия тонких нитей. Хромосомы слабо конденсированы. Они уже двуххроматидные, но настолько сближены, что имеют вид длинных одиночных тонких нитей. Теломеры хромосом прикреплены к ядерной мембране с помощью особых структур — *прикрепительных дисков*.

Зиготена ($2n$; $4c$). Стадия сливающихся нитей. Гомологичные хромосомы начинают притягиваться друг к другу сходными участками и конъюгируют. *Конъюгацией* называют процесс тесного сближения гомологичных хромосом. (Процесс конъюгации также называют *синапсисом*.)

Первое деление мейоза (редукционное)



Полагают, что каждый ген приходит в соприкосновение с гомологичным ему геном другой хромосомы. Пару конъюгирующих хромосом называют **бивалентом**, или **тетрадой** – четыре хроматиды удерживаются вместе, количество бивалентов равно гаплоидному набору хромосом.

Пахитена ($2n$; $4c$). Стадия толстых нитей. Процесс спирализации хромосом продолжается, причем в гомологичных хромосомах он происходит синхронно. Становится хорошо заметно, что хромосомы двуххроматидные. В пахитене наблюдается особенно тесный контакт между хроматидами. Важнейшим событием пахитены является **кроссинговер** — обмен участками гомологичных хромосом.

Первое деление мейоза (редукционное)

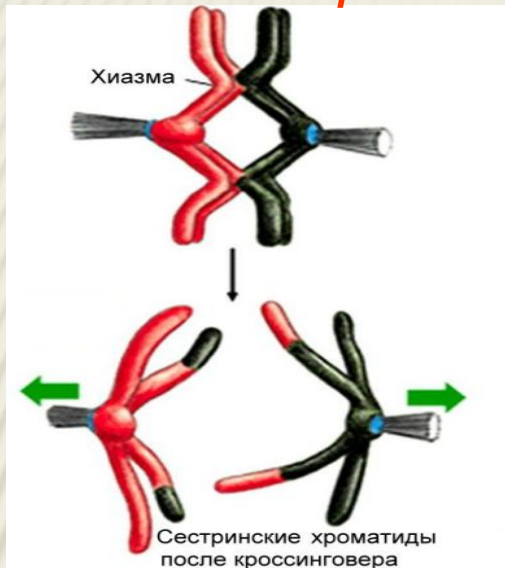


Кроссинговер приводит к первой во время мейоза рекомбинации генов.

Диплотена ($2n$; $4c$). Хромосомы в бивалентах перекручиваются и начинают отталкиваться друг от друга. Процесс отталкивания начинается в области центромеры и распространяется по всей длине бивалентов. Однако они все еще остаются связанными друг с другом в некоторых точках. Их называют *хиазмы*. Эти точки появляются в местах кроссинговера. В ходе гаметогенеза у человека может образовываться до 50 хиазм.

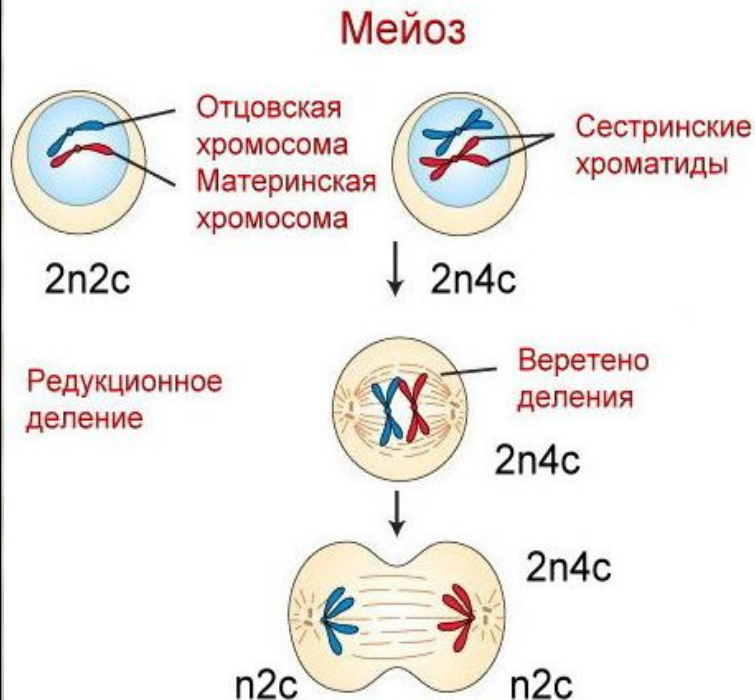
Диакинез ($2n$; $4c$). Хромосомы сильно укорачиваются и утолщаются за счет максимальной спирализации хроматид, а затем отделяются от ядерной оболочки. Происходит сползание хиазм к концам хроматид.

Первое деление мейоза (редукционное)



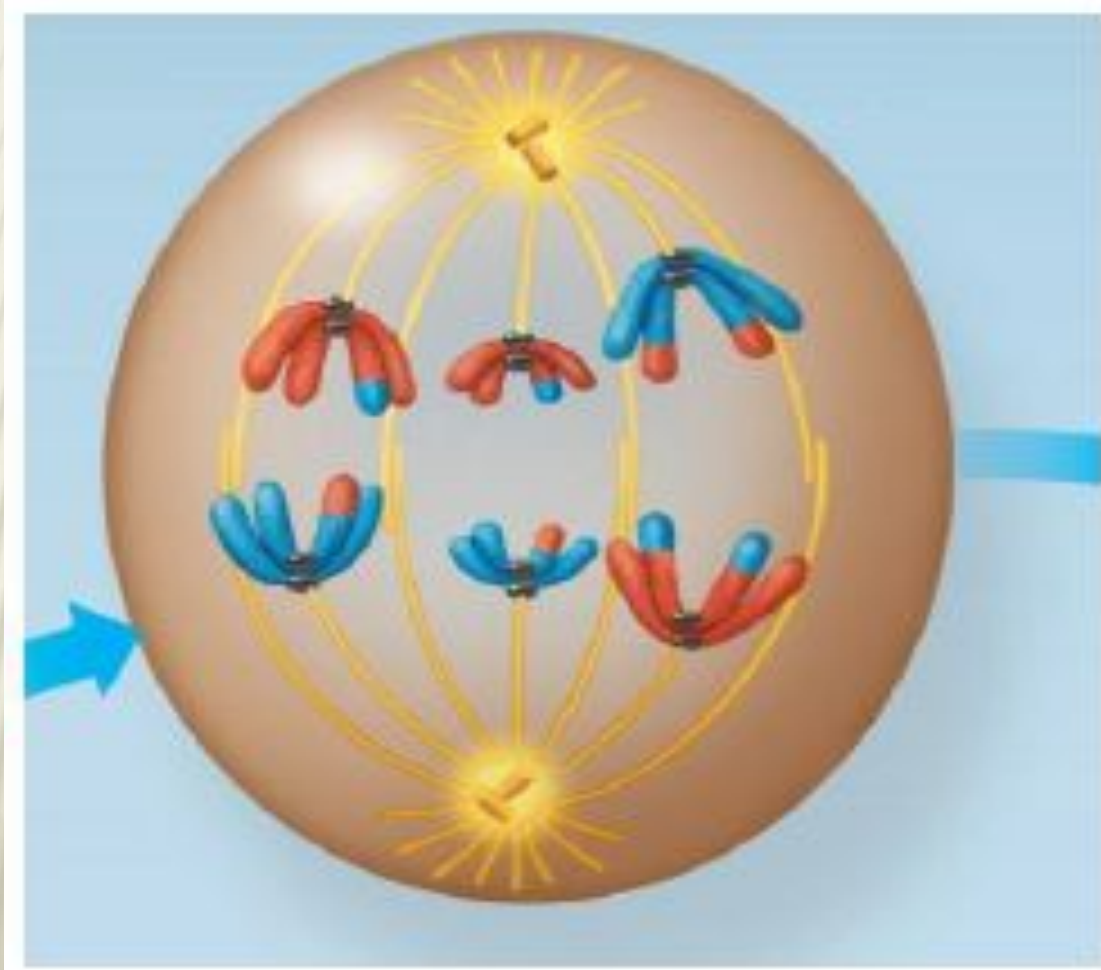
Биваленты перемещаются в экваториальную плоскость образуя метафазную пластинку ($2n4c$). Центриоли (если они есть) перемещаются к полюсам клетки, и формируется веретено деления.

Метафаза I ($2n4c$). Заканчивается формирование веретена деления. Спирализация хромосом максимальна. Биваленты располагаются в плоскости экватора. Расположение бивалентов в экваториальной плоскости равновероятное и случайное, то есть каждая из отцовских и материнских хромосом может быть повернута в сторону того или другого полюса. Это создает предпосылки для второй за время мейоза рекомбинации генов. Нити веретена прикрепляются к центромерам хромосом.



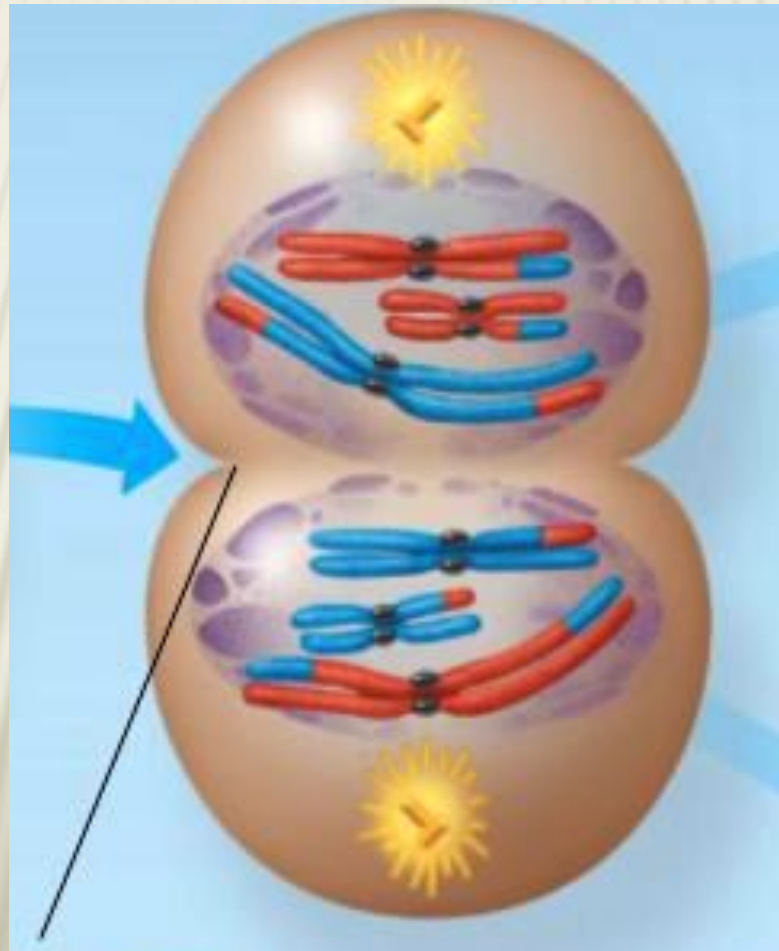
Анафаза 1

Имеющиеся у каждого бивалента две центромеры еще не делятся, но сестринские хроматиды уже не примыкают одна к другой. Нити веретена тянут центромеры, каждая из которых связана с двумя хроматидами, к противоположным полюсам веретена. В результате хромосомы разделяются на два гаплоидных набора, попадающих в дочерние клетки.



Телофаза 1

Расхождение гомологичных центромер и связанных с ними хроматид к противоположным полюсам означает завершение первого деления мейоза. Число хромосом в одном наборе стало вдвое меньше, но находящиеся на каждом полюсе хромосомы состоят из двух хроматид. Вследствие кроссинговера при образовании хиазм эти хроматиды генетически неидентичны, и при втором делении мейоза им предстоит разойтись.



Подведем итоги:

Мейоз:

Особый вид деления клеток, при котором число хромосом в дочерних клетках уменьшается в два раза.

Конъюгация:

Процесс тесного сближения гомологичных хромосом в профазу I.

Перекрест хромосом, кроссинговер:

Во время конъюгации в гомологичных хромосомах могут происходить поперечные разрывы и хромосомы обмениваются одинаковыми участками. Это явление получило название перекрест хромосом, или кроссинговер.

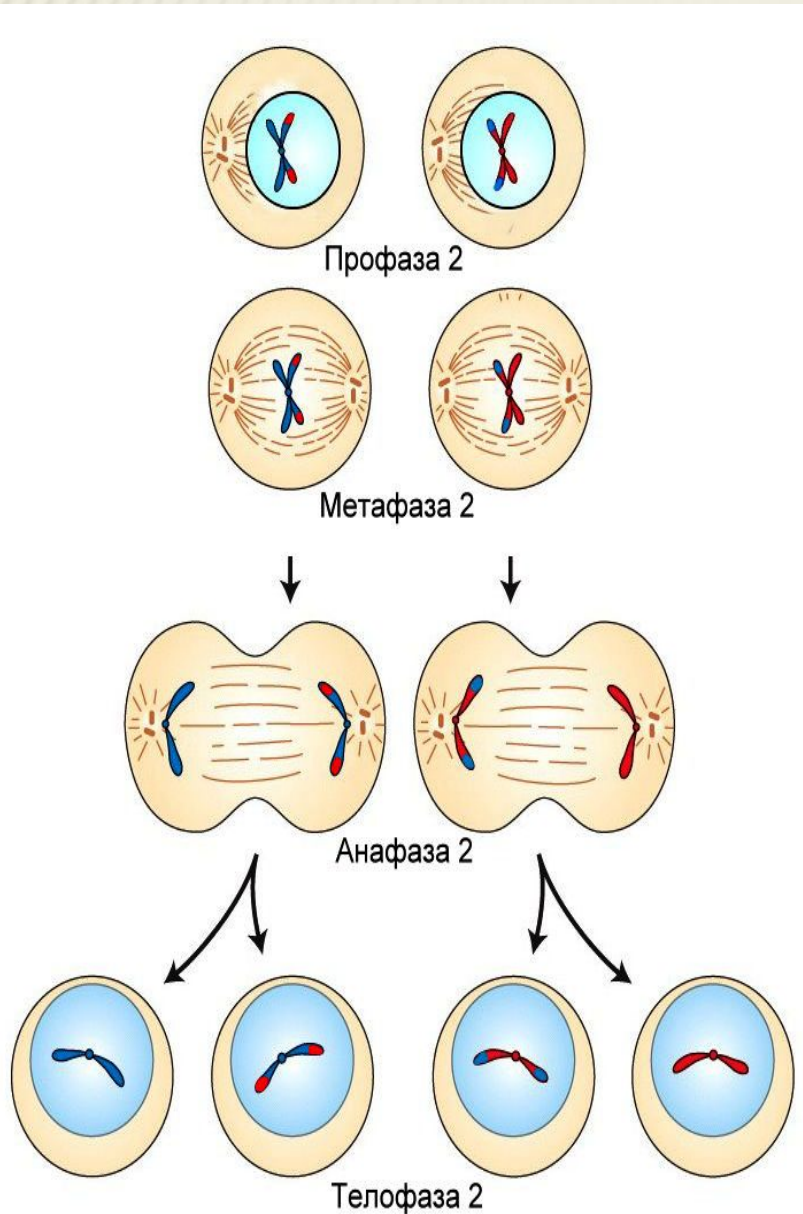
Набор хромосом в клетках после 1-го деления мейоза:

Образуются две клетки с гаплоидным набором хромосом, но хромосомы из двух хроматид.

Когда в первом делении мейоза происходит рекомбинация генетического материала?

Во время профазы I, при перекресте хромосом, и во время анафазы I, когда к каждому полюсу отходит гаплоидный, но случайный набор отцовских и материнских хромосом.

Второе деление мейоза (эквационное)



Второе деление мейоза (эквационное) включает также профазу, метафазу, анафазу и телофазу. Она протекает так же, как обычный митоз.

Интерфаза II ($n2c$). Репликации ДНК не происходит.

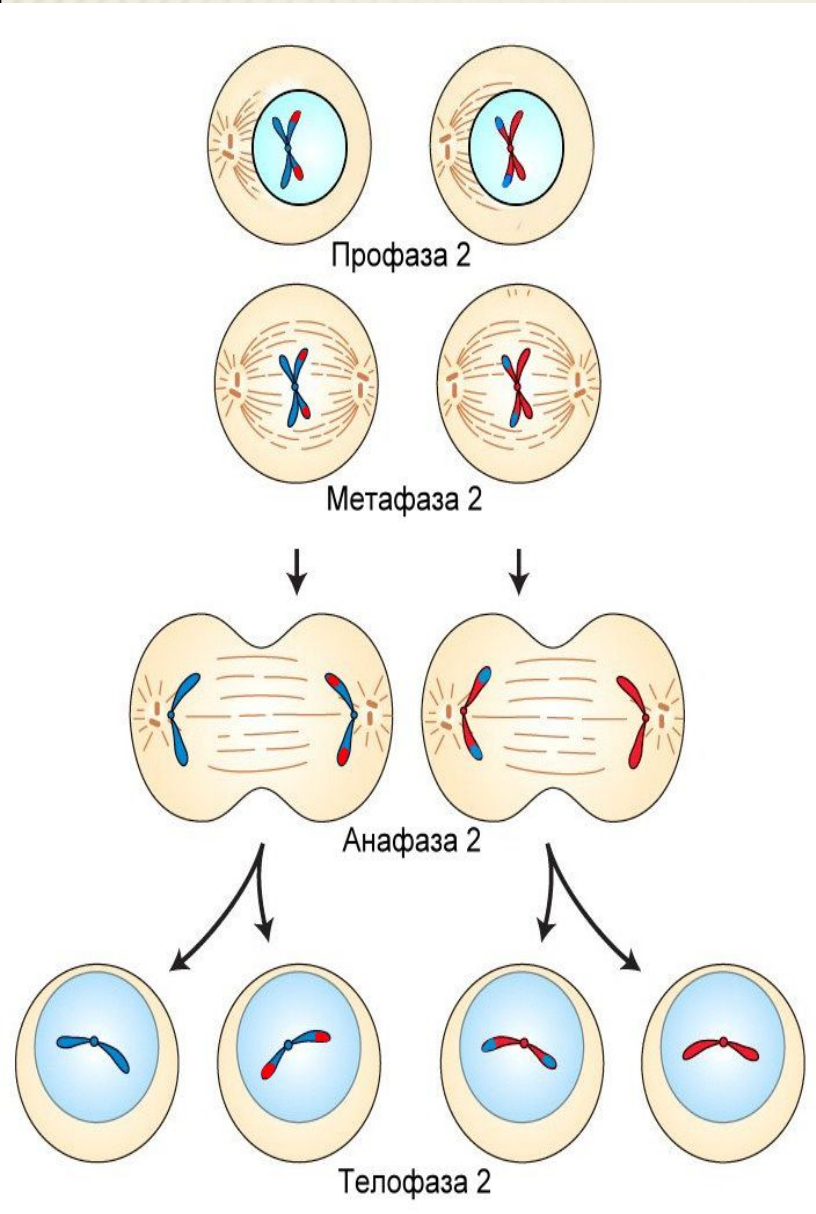
Профаза II ($n2c$). Хромосомы спирализуются, ядерная мембрана и ядрышки разрушаются, центриоли, если они есть, перемещаются к полюсам клетки, формируется веретено деления.

Метафаза II ($n2c$). Формируются метафазная пластинка и веретено деления, нити веретена деления прикрепляются к центромерам.

Второе деление мейоза (эквационное)

Анафаза II ($2n2c$). Центромеры хромосом делятся, хроматиды становятся самостоятельными хромосомами, и нити веретена деления растягивают их к полюсам клетки. Число хромосом в клетке становится диплоидным, но на каждом полюсе формируется гаплоидный набор.

Поскольку в метафазе II хроматиды хромосом располагаются в плоскости экватора случайно, **в анафазе происходит третья рекомбинация генетического материала клетки**, так как в результате кроссинговера хроматиды стали отличаться друг от друга и к полюсам отходят дочерние хроматиды, но отличные друг от друга.

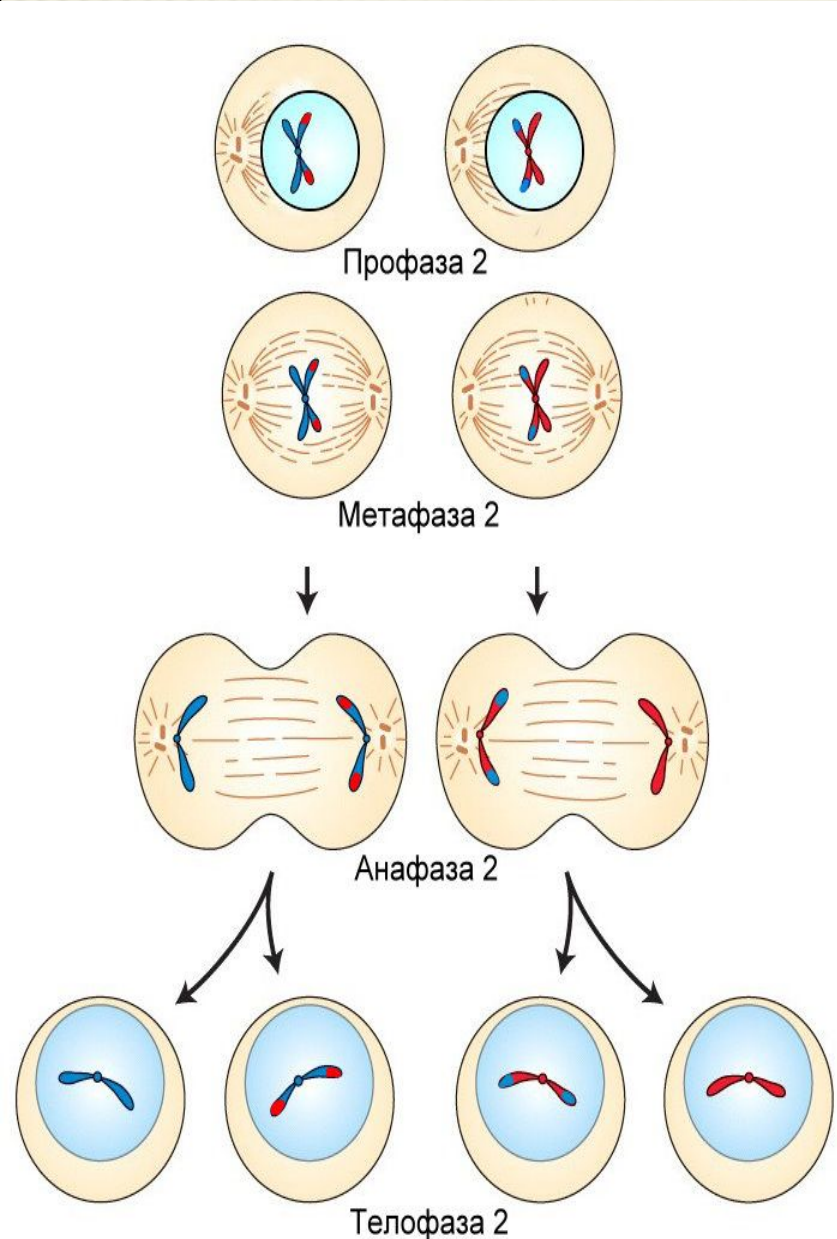


Второе деление мейоза (эквационное)

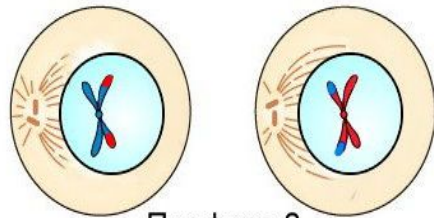
Телофаза II (нс). Нити веретена деления исчезают, хромосомы деспирализуются, вокруг них восстанавливается ядерная оболочка, делится цитоплазма.

В результате мейоза из одной диплоидной клетки ($2n$) образуется четыре гаплоидных (n). Очень важное значение имеет кроссинговер. Он увеличивает генетическое разнообразие половых клеток, так как в результате этого процесса образуются хромосомы, несущие гены и отца, и матери.

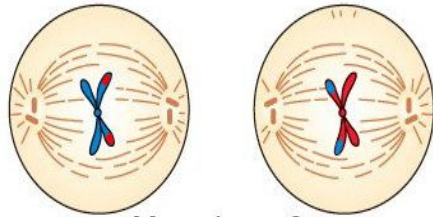
Таким образом, мейоз лежит в основе комбинативной изменчивости.



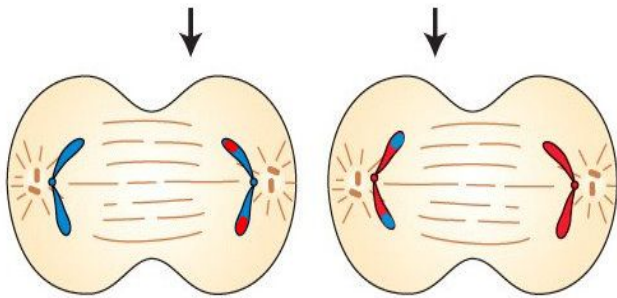
Подведем итоги:



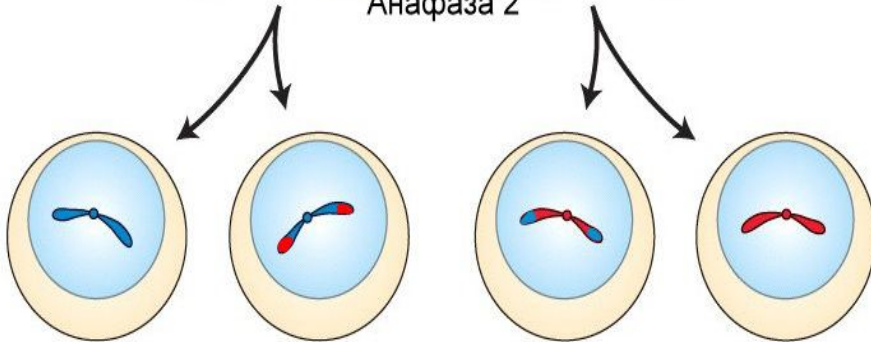
Профаза 2



Метафаза 2



Анафаза 2



Телофаза 2

Какой набор хромосом и ДНК у клеток перед вторым делением мейоза?

$n2c$

Какой набор хромосом и ДНК у клеток в различные периоды второго деления мейоза:

профазу 2,

метафазу 2,

анафазу 2,

телофазу 2?

$n2c$

$n2c$

$2n2c$

nc

Подведем итоги:

Когда во время второго деления мейоза происходит рекомбинация генетического материала? Ответ поясните.

Во время анафазы II, к полюсам отходят сестринские хроматиды, неодинаковые после кроссинговера.

Во время мейоза трижды происходит рекомбинация генетического материала. Когда?

Во время профазы I, в результате кроссинговера, во время анафазы I, при случайном расхождении отцовских и материнских хромосом к разным полюсам клетки и во время анафазы II.

В чем биологическое значение мейоза?

В результате мейоза происходит редукция хромосомного набора, что сохраняет неизменным хромосомный набор организма, мейоз лежит в основе комбинативной изменчивости.

Амитоз

Деление клетки

Митотический цикл клетки

Митоз

интерфаза:

- пресинтетический
- синтетический (удвоение ДНК)
- постсинтетический

Мейоз

Спирализация хромосом

Профаза

Спирализация хромосом,
конъюгация, перекрест

Метафазная пластинка,
веретено деления

Метафаза

Метафазная пластинка из
гомологичных хромосом

Расхождение *хроматид*

Анафаза

Расхождение *хромосом*

Две клетки (2п)

Телофаза

Две клетки (1п2с)

Второе деление

Соматические
клетки

Профаза, метафаза,
анафаза, телофаза

4 клетки (1п1с)

Гаметы

Постоянство числа
хромосом во всех
клетках организма

Постоянство видового набора
хромосом при размножении

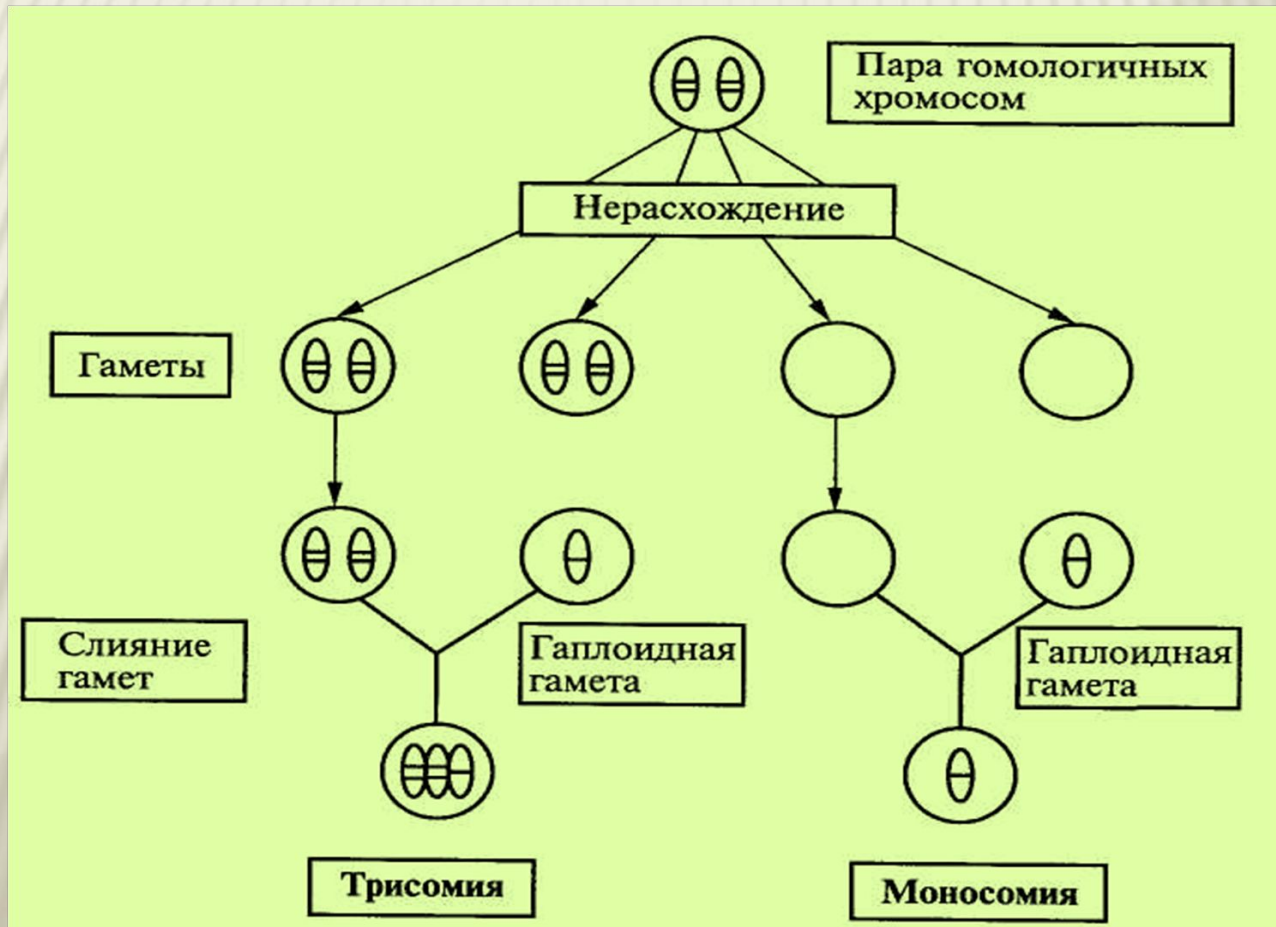
MyShared

МЕХАНИЗМЫ РЕКОМБИНАЦИИ ГЕНОВ И ХРОМОСОМ

- Результат **случайного распределения** разных материнских и отцовских гомологов между дочерними клетками при первом делении мейоза (8 млн. комбинаций)
- **Кроссинговер** в профазе I мейоза (у человека в каждой паре гомологичных хромосом кроссинговер происходит в среднем в 2-3 точках)

Нарушения мейоза

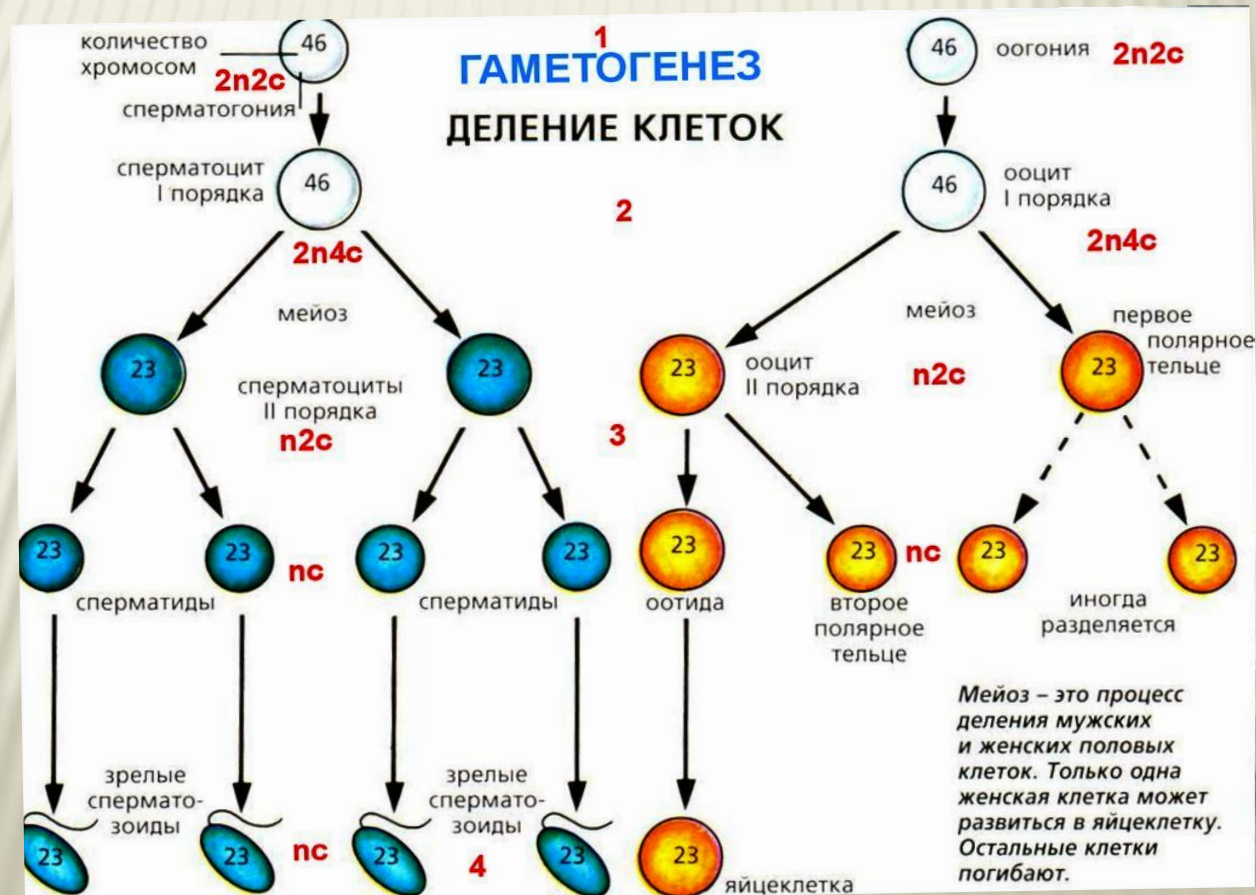
- Образование гамет с набором хромосом, нехарактерным для данного вида (в результате нерасхождения хромосом, из таких гамет формируются неполноценные эмбрионы, большая часть погибает).
- Образование гамет с хромосомами измененной структуры.



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.

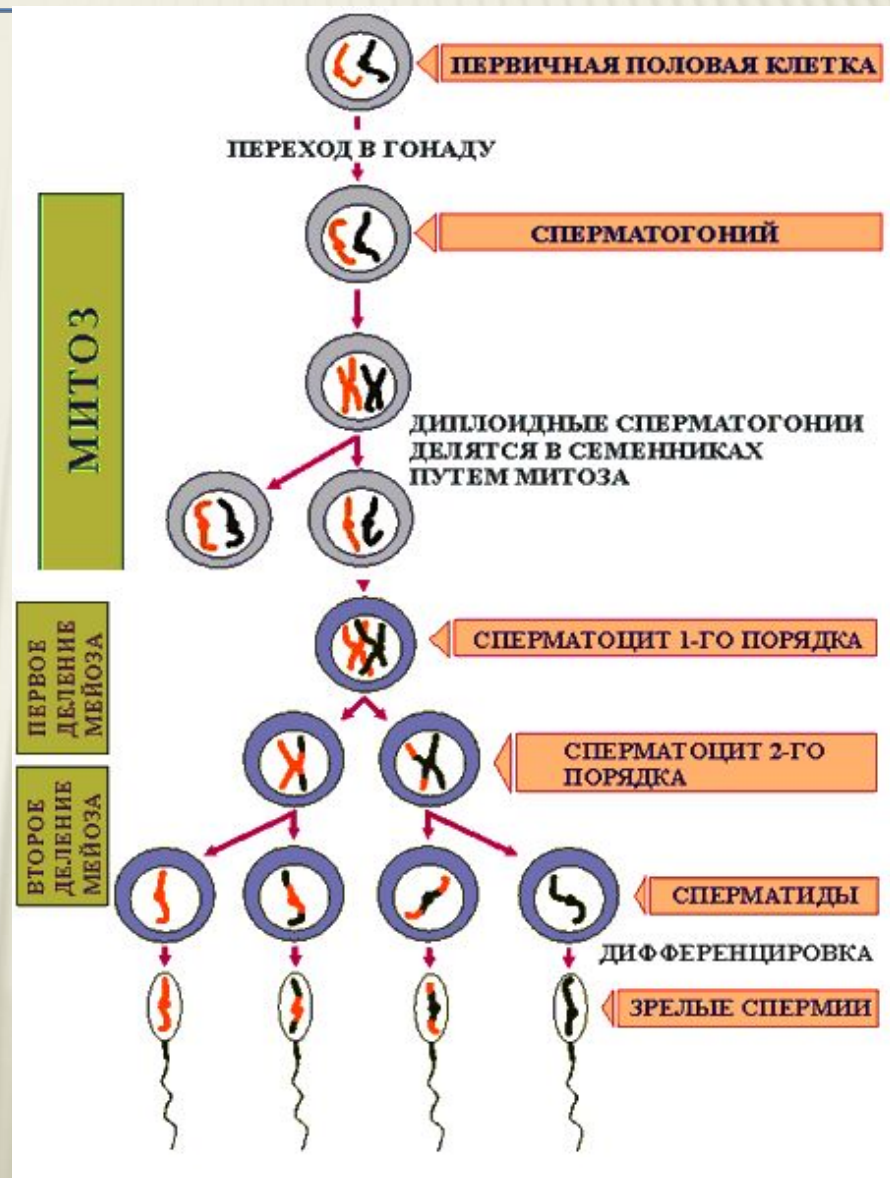
Гаметогенез – это последовательный процесс, который складывается из нескольких стадий – размножения, роста, созревания клеток. В процесс сперматогенеза включается также стадия формирования, которой нет при овогенезе.



СПЕРМАТОГЕНЕЗ

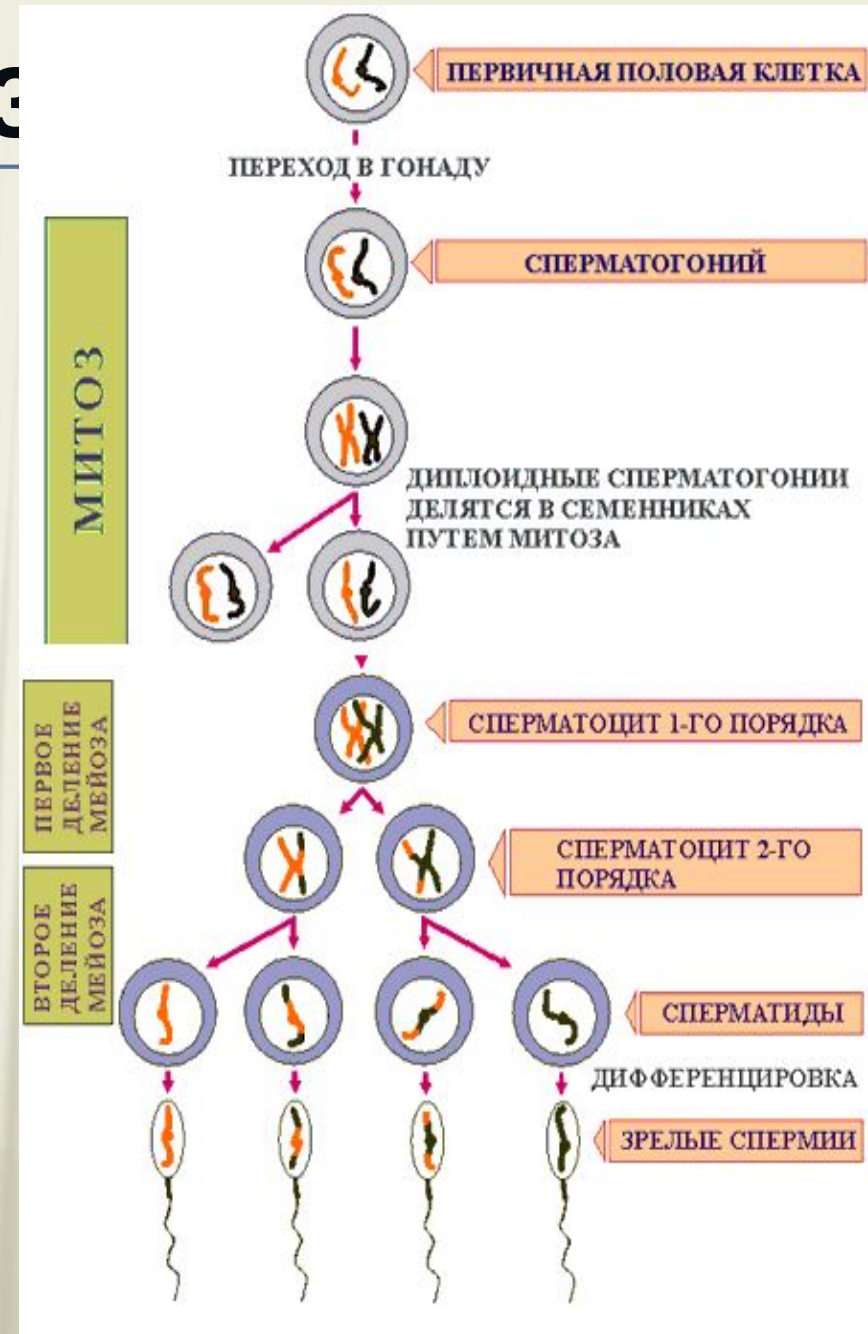
Сперматогенез осуществляется в семенниках и подразделяется на четыре фазы:

- 1) размножения,
- 2) роста,
- 3) созревания,
- 4) формирования.



СПЕРМАТОГЕНЕЗ

Во время **фазы размножения** диплоидные сперматогонии многократно делятся митозом. Часть образовавшихся *сперматогониев* может подвергаться повторным митотическим делениям, в результате чего образуются такие же клетки сперматогонии. Другая часть прекращает делиться и увеличивается в размерах, вступая в следующую фазу сперматогенеза — **фазу роста**.



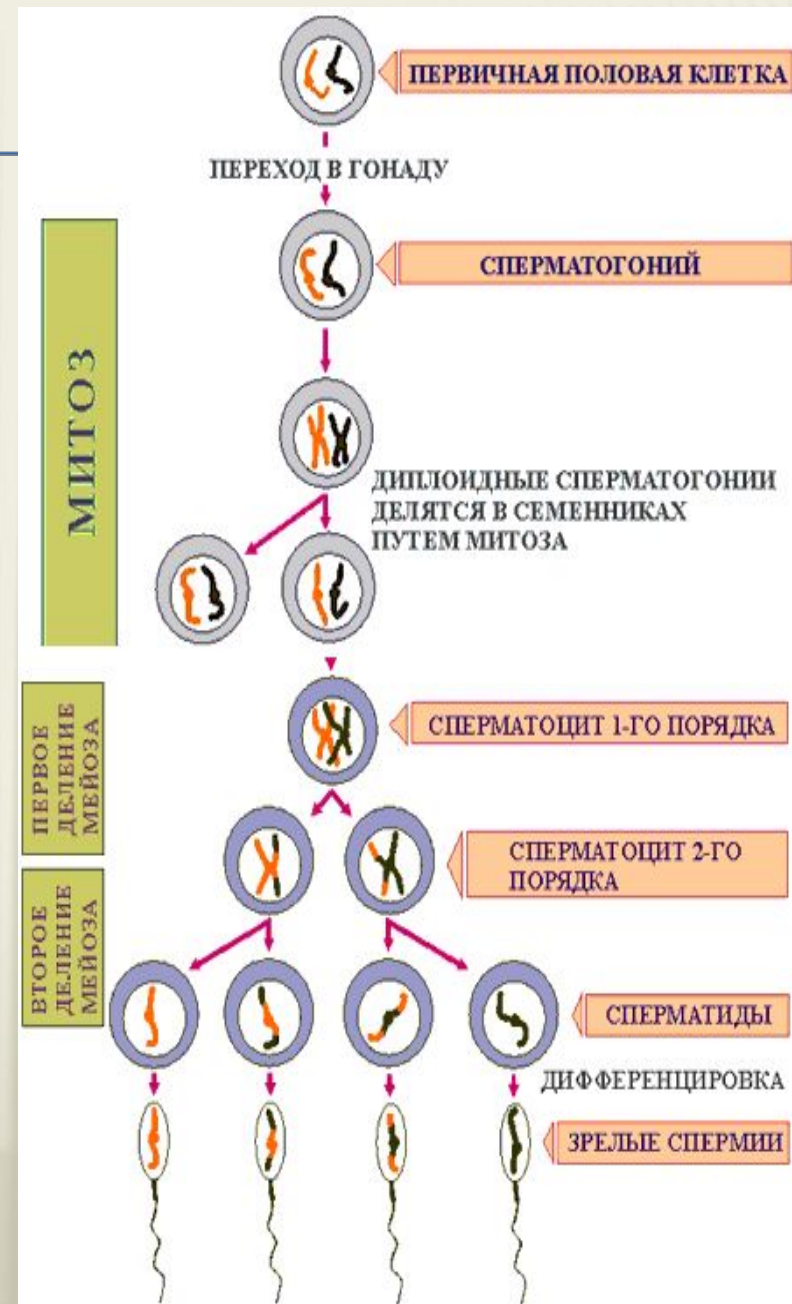
СПЕРМАТОГЕНЕЗ

Фаза роста соответствует интерфазе

1 мейоза, т.е. во время нее происходит подготовка клеток к мейозу. *Главным событием фазы роста является репликация ДНК.*

Во время **фазы созревания** клетки делятся мейозом; во время первого деления мейоза они называются **сперматоцитами 1-го порядка**, во время второго - **сперматоцитами 2-го порядка**. **Из одного сперматоцита 1-го порядка возникают четыре гаплоидные сперматиды.**

Фаза формирования характеризуется тем, что первично шаровидные сперматиды подвергаются ряду сложных преобразований, в результате которых образуются сперматозоиды. В нем участвуют все элементы ядра и цитоплазмы.

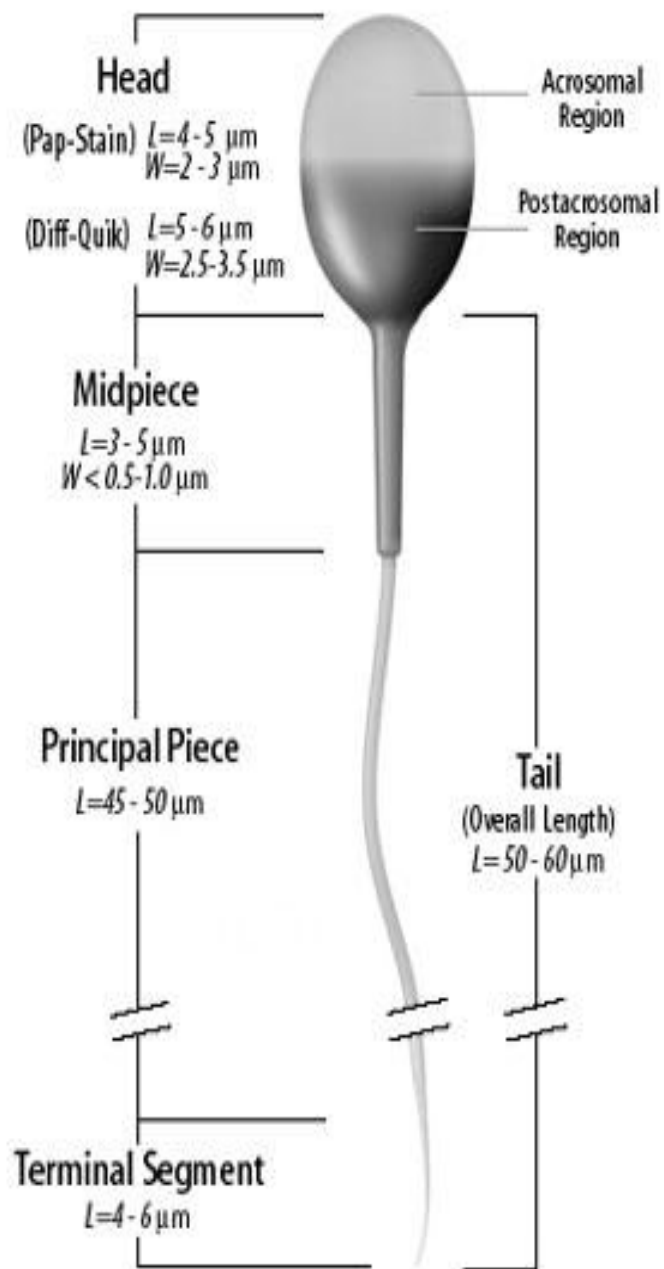


Сперматогенез у человека

У человека сперматогенез начинается в период полового созревания; срок формирования сперматозоида — три месяца, т.е. каждые три месяца сперматозоиды обновляются. Сперматогенез происходит непрерывно и синхронно в миллионах клеток.

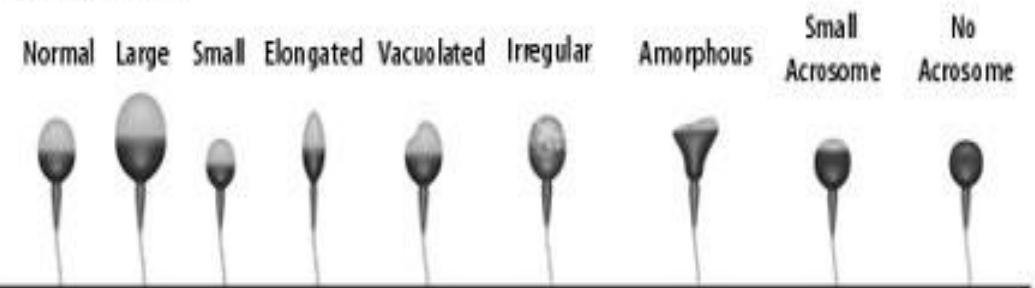


Скорость движения сперматозоидов приблизительно составляет от 0,1 мм в секунду до 30 см в час. Считается, что после полового акта активные сперматозоиды способны достичь маточной трубы практически через 1-2 часа. Для того чтобы быть активными, сперматозоидам необходим простатический сок. Его вырабатывает секреторный половой орган мужчины — простата.

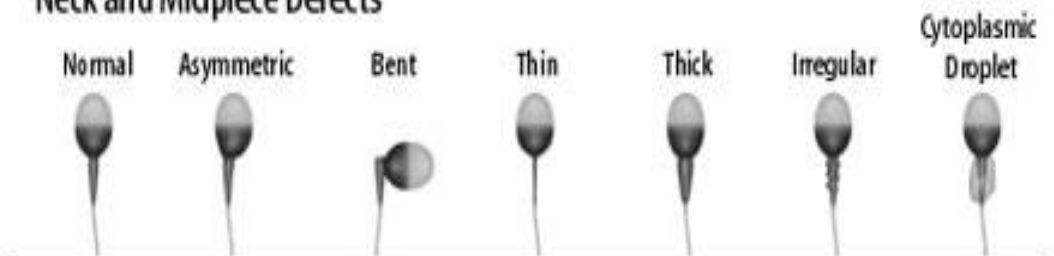


NORMAL SPERM

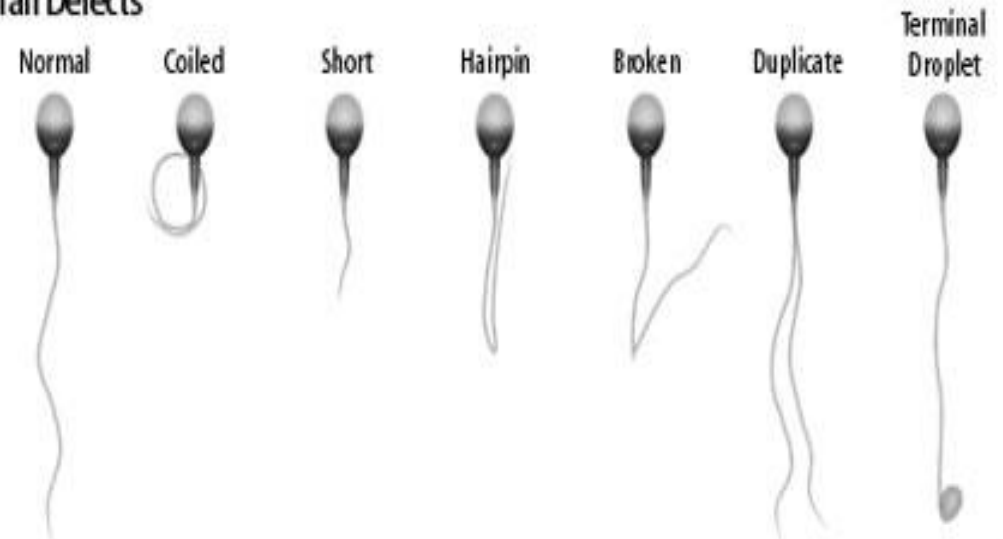
Head Defects



Neck and Midpiece Defects



Tail Defects



ABNORMAL SPERM



CONCRETE
EASY

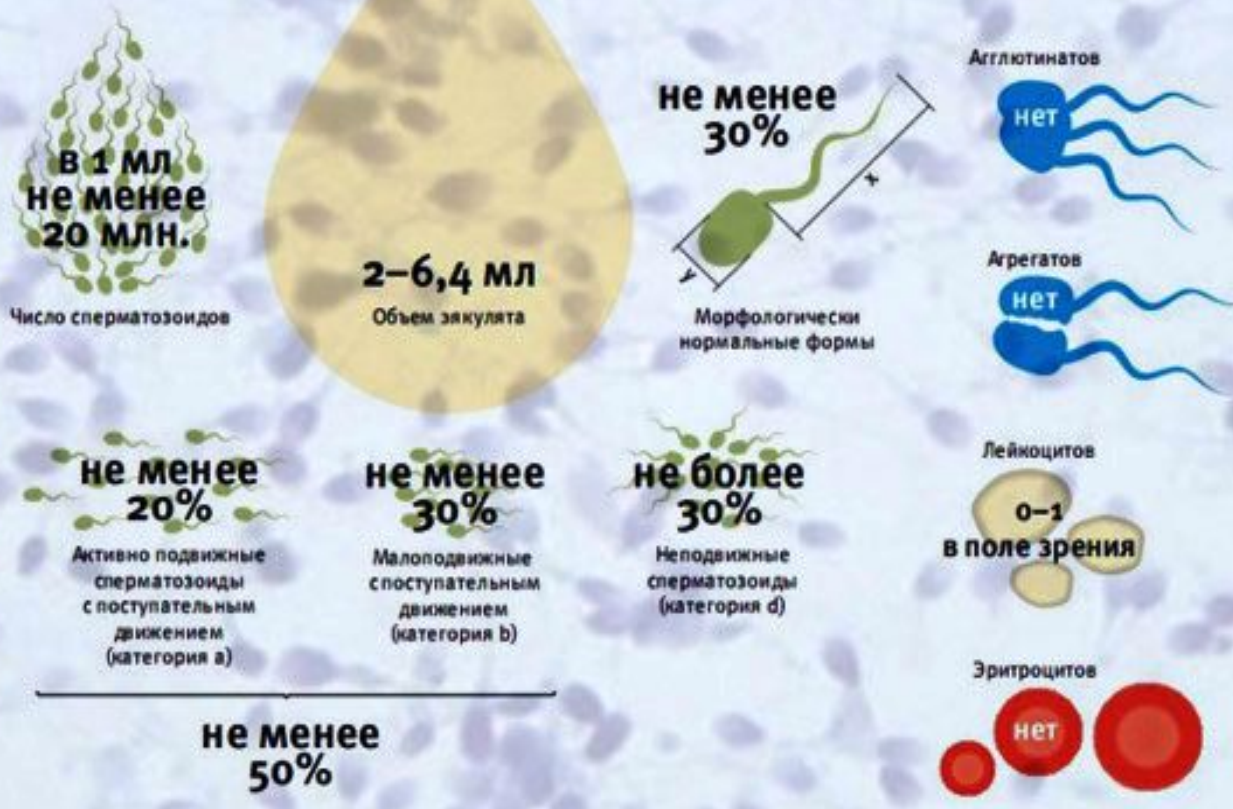
Морфология сперматозоидов



Норма

Аномальные формы

СПЕРМОГРАММА ЗДОРОВОГО МУЖЧИНЫ (нормы ВОЗ)



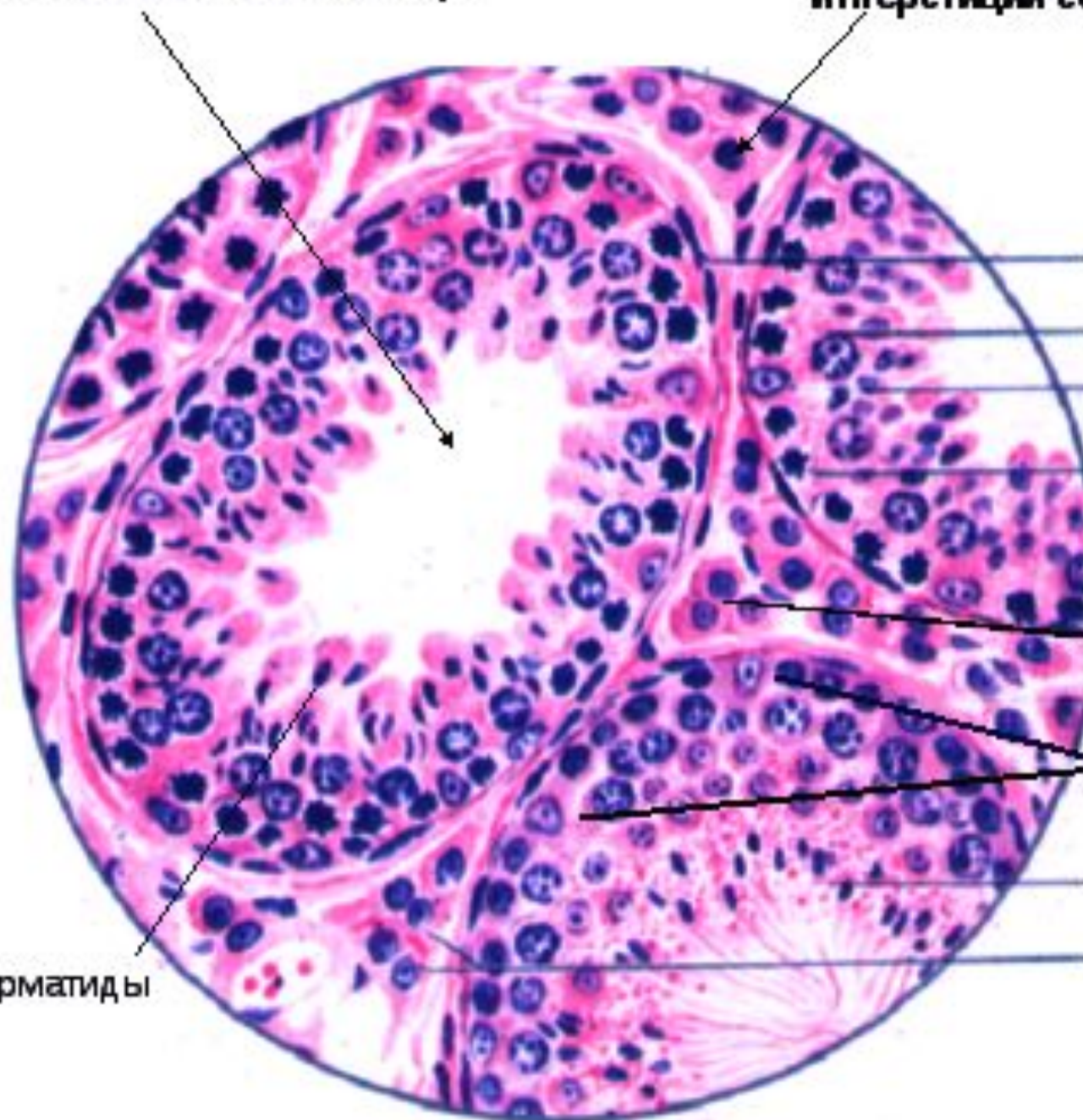
Свойствами мужского эякулята ученые интересовались издавна — имеются сведения об исследовании спермы, проведенном еще в XVII веке, в ходе которого было выявлено, что подвижность сперматозоидов у мужчин отличается, у некоторых она может быть снижена, а у других — и вовсе отсутствовать. Первые методики количественного анализа спермы были разработаны в первой трети XX века.

Спермограмма представляет собой объективный метод лабораторной диагностики, позволяющий максимально точно оценить оплодотворяющую способность мужчины, проанализировав эякулят по ряду важнейших параметров. Только спермограмма способна ответить на вопрос о возможном мужском бесплодии и о наличии урологических заболеваний.

Семенные извитые каналы

Интерстиций семенника

Сперматиды



Миоидные клетки

Сперматоциты 1 порядка

Сперматоциты 2 порядка

Сперматогонии

Клетки Лейдига

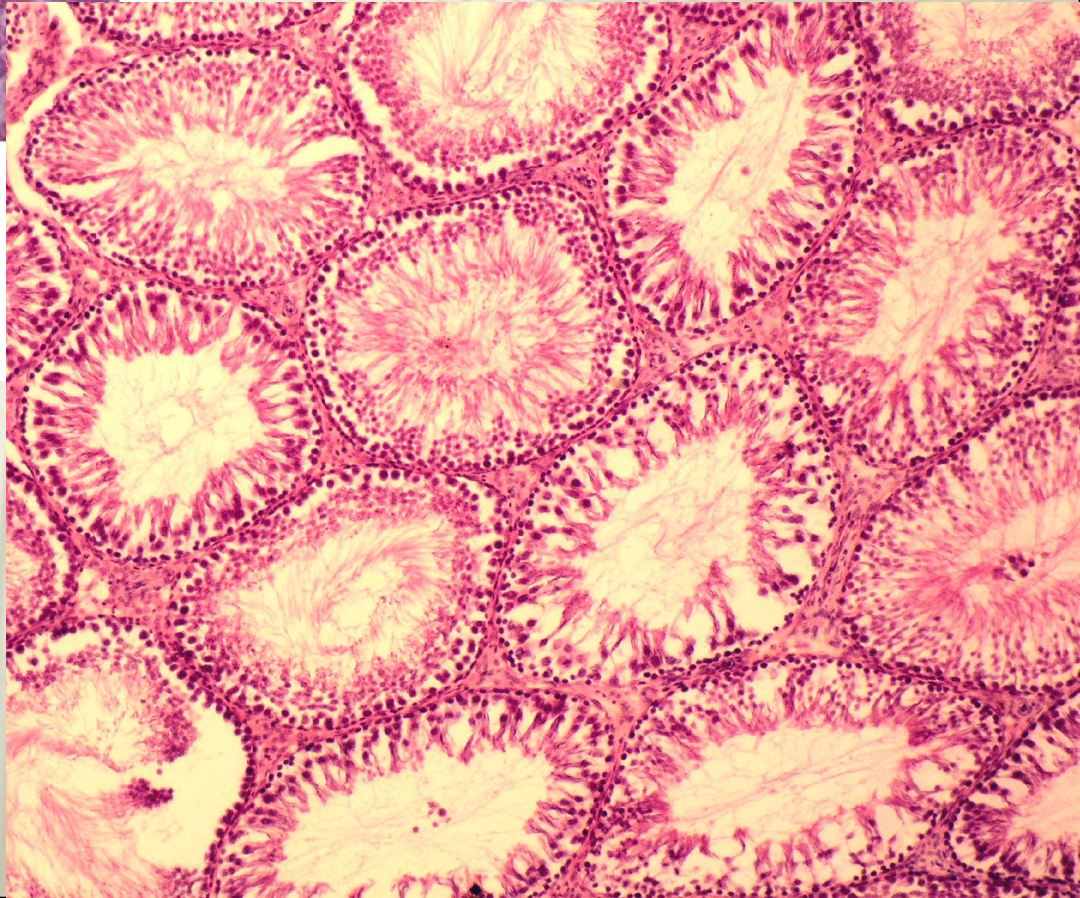
Сустентоциты

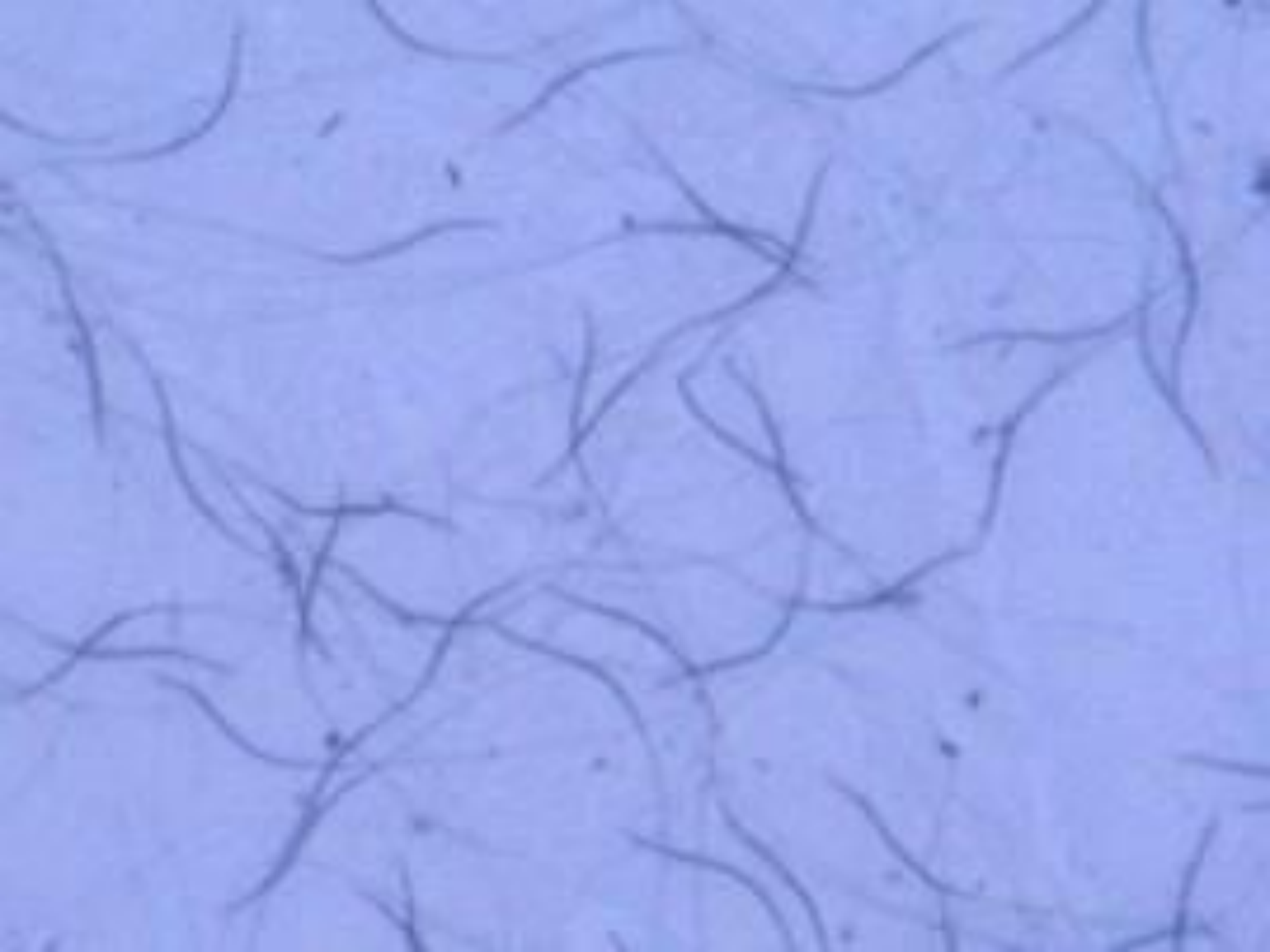
Сперматозоиды

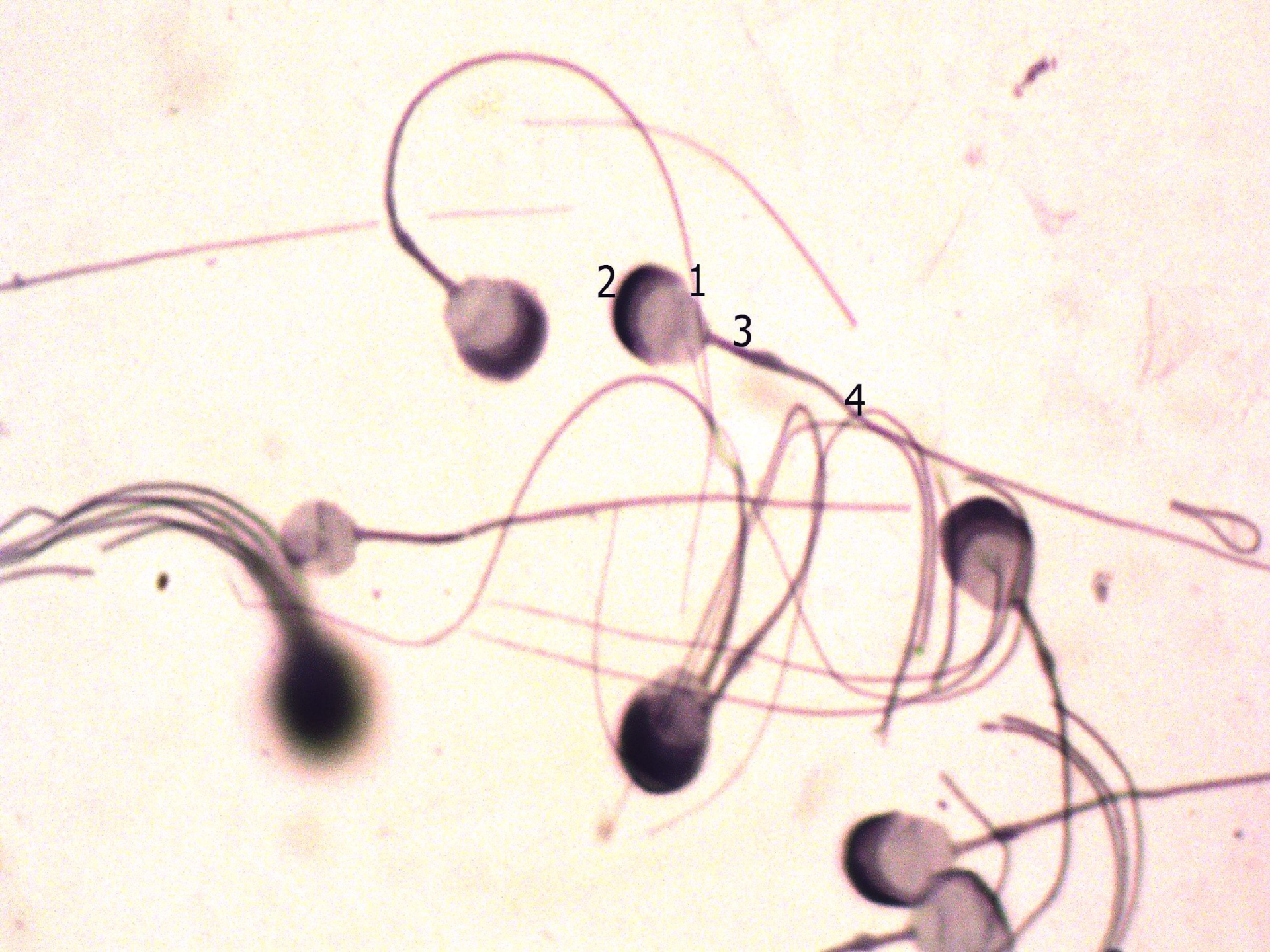
Клетки Лейдига



- 1 – кровеносный сосуд;
- 2 – интерстициальные клетки Лейдига;
- 3 – клетки Сертоли;
- 4 – сперматогонии;
- 5 – сперматоциты;
- 6 – сперматиды;
- 7 – сперматозоиды







ОВОГЕНЕЗ

РАЗМНОЖЕНИЕ

рост

созревание

Направительные тельца - nC

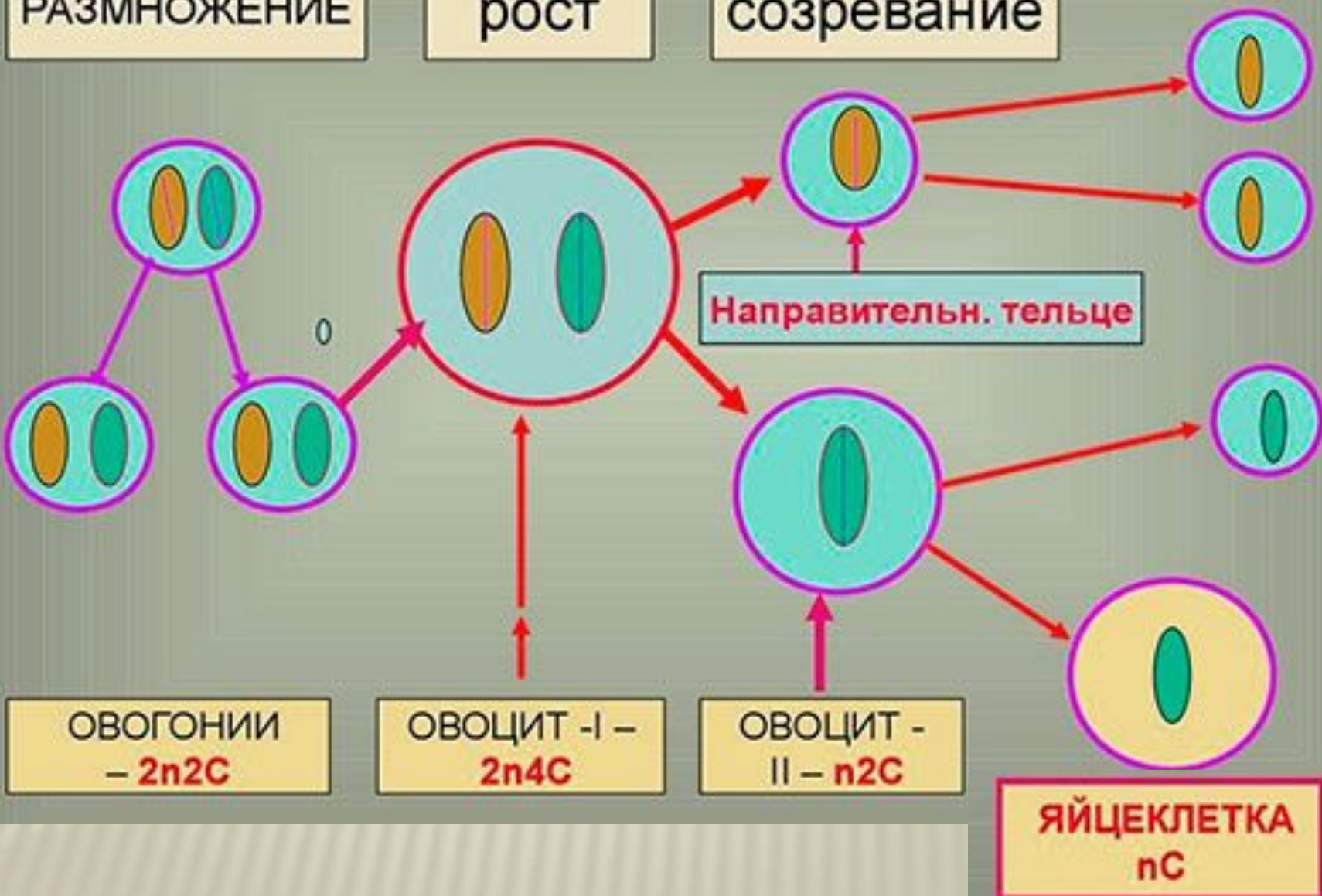
Направительн. тельце

ОВОГОНИИ
– $2n2C$

ОВОЦИТ - I –
 $2n4C$

ОВОЦИТ - II – $n2C$

ЯЙЦЕКЛЕТКА
 nC



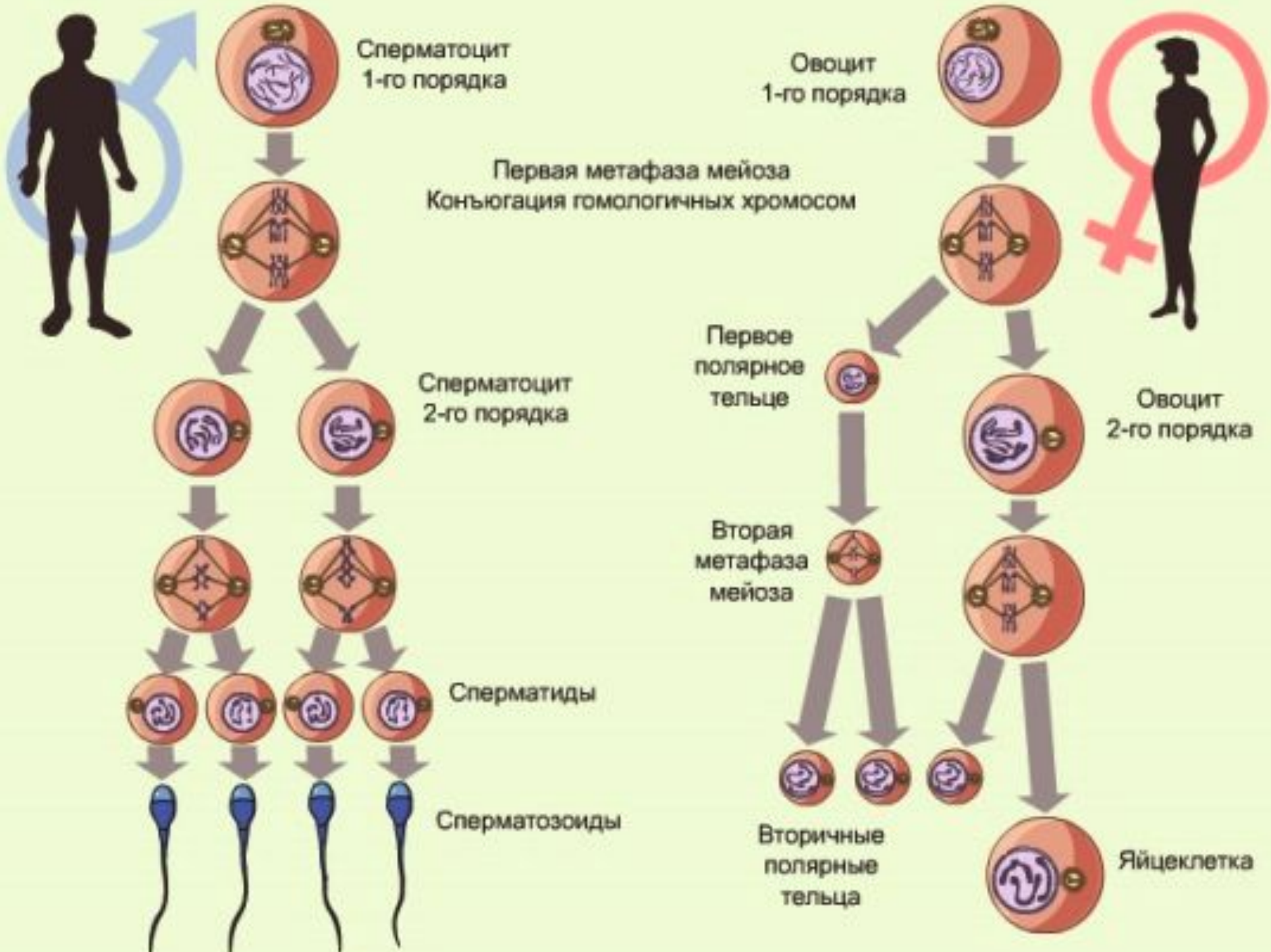
ОВОГЕНЕЗ

Во время **фазы размножения** диплоидные овогонии многократно делятся митозом.

Фаза роста соответствует интерфазе 1 мейоза, т.е. во время нее происходит подготовка клеток к мейозу: клетки значительно увеличиваются в размерах вследствие накопления питательных веществ. **Главным событием фазы роста является репликация ДНК.**

Во время **фазы созревания** клетки делятся мейозом. Во время первого деления мейоза они называются **овоцитами 1-го порядка**. В результате первого мейотического деления возникают две дочерние клетки: мелкая, называемая первым **полярным тельцем**, и более крупная — **овоцит 2-го порядка**. Во время второго мейотического деления овоцит 2-го порядка делится с образованием яйцеклетки и второго полярного тельца, а первое полярное тельце — с образованием третьего и четвертого полярных телец.

Таким образом, в результате мейоза из одного овоцита 1-го порядка образуются одна яйцеклетка и три полярных тельца.

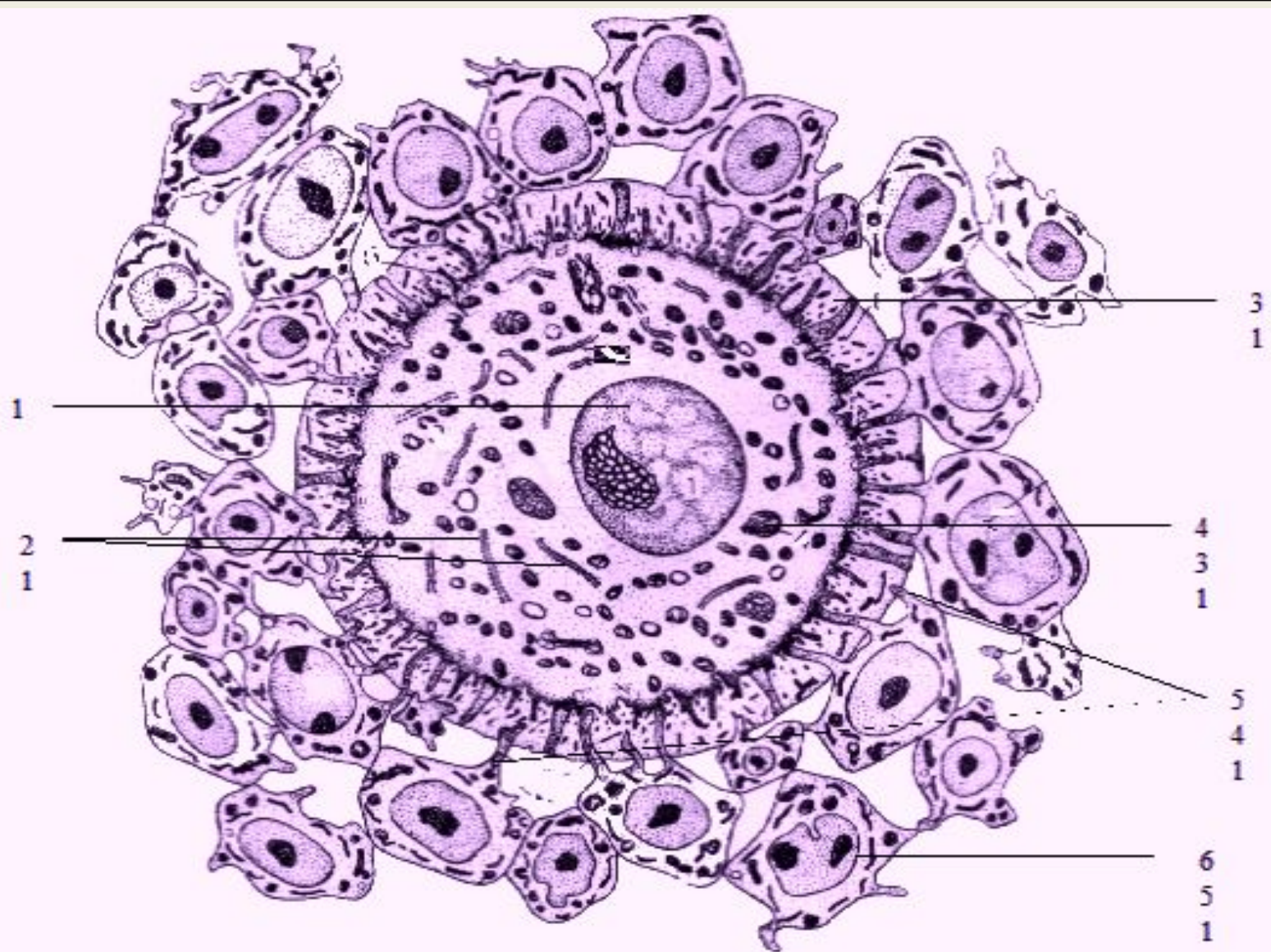


СТРОЕНИЕ ЯЙЦЕКЛЕТОК

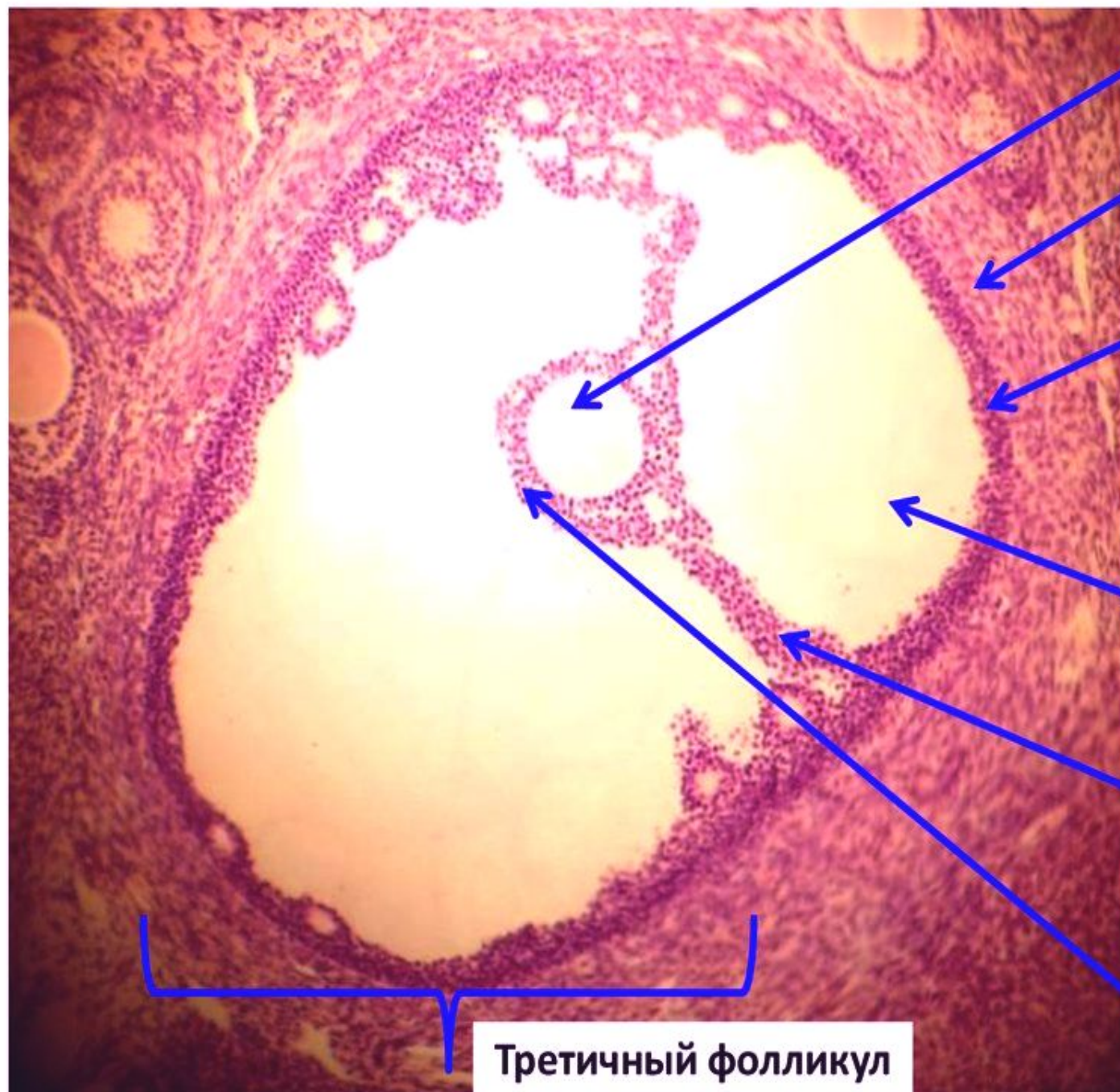
Форма яйцеклеток обычно округлая.

Размеры яйцеклеток колеблются в широких пределах — от нескольких десятков микрометров до нескольких сантиметров (яйцеклетка человека — около 120 мкм).

К особенностям строения яйцеклеток относятся: наличие оболочек, располагающихся поверх плазматической мембраны и наличие в цитоплазме запасных питательных веществ.



1 -ядро; 2 — овоплазма; 3 — прозрачная оболочка; 4 — желточные включения; 5 — отростки фолликулярных клеток; 6 — фолликулярные клетки (лучистый венец).



Ооцит

Тека

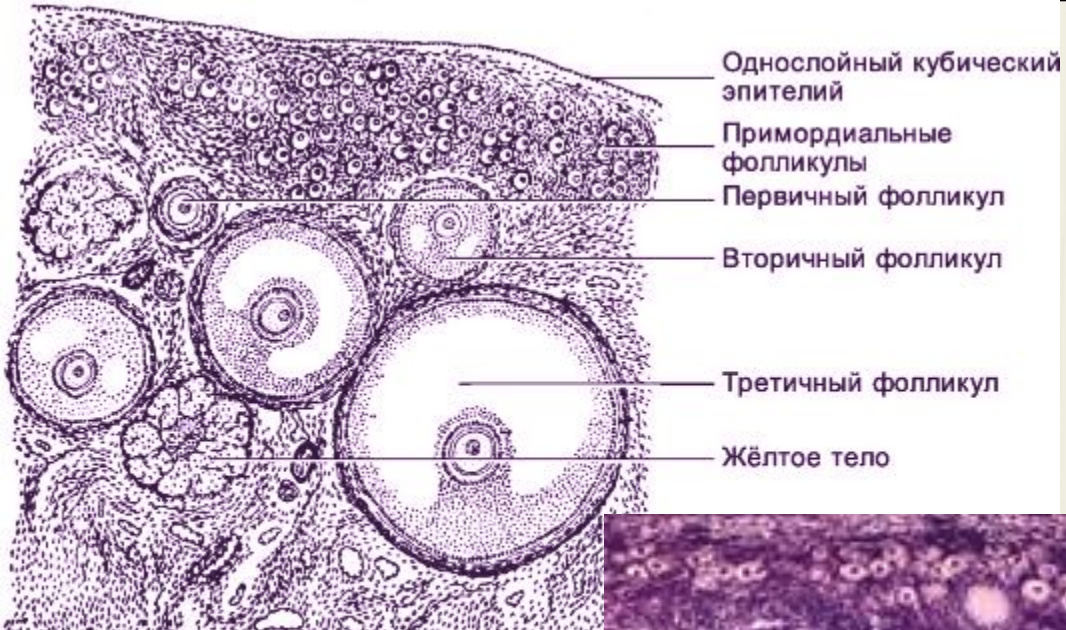
Фолликулярные
клетки

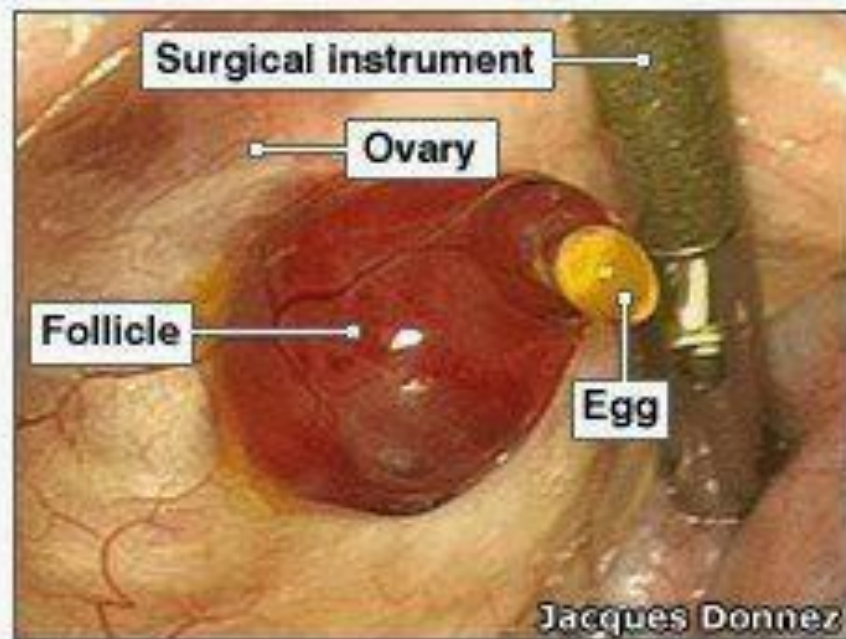
Полость Граафова
пузырька

Яйценосный
бугорок

Третичный фолликул

Лучистый венец





Яйцеклетка беззубки (окраска гематоксилин –эозином)

Препарат представляет собой срез яичника беззубки.

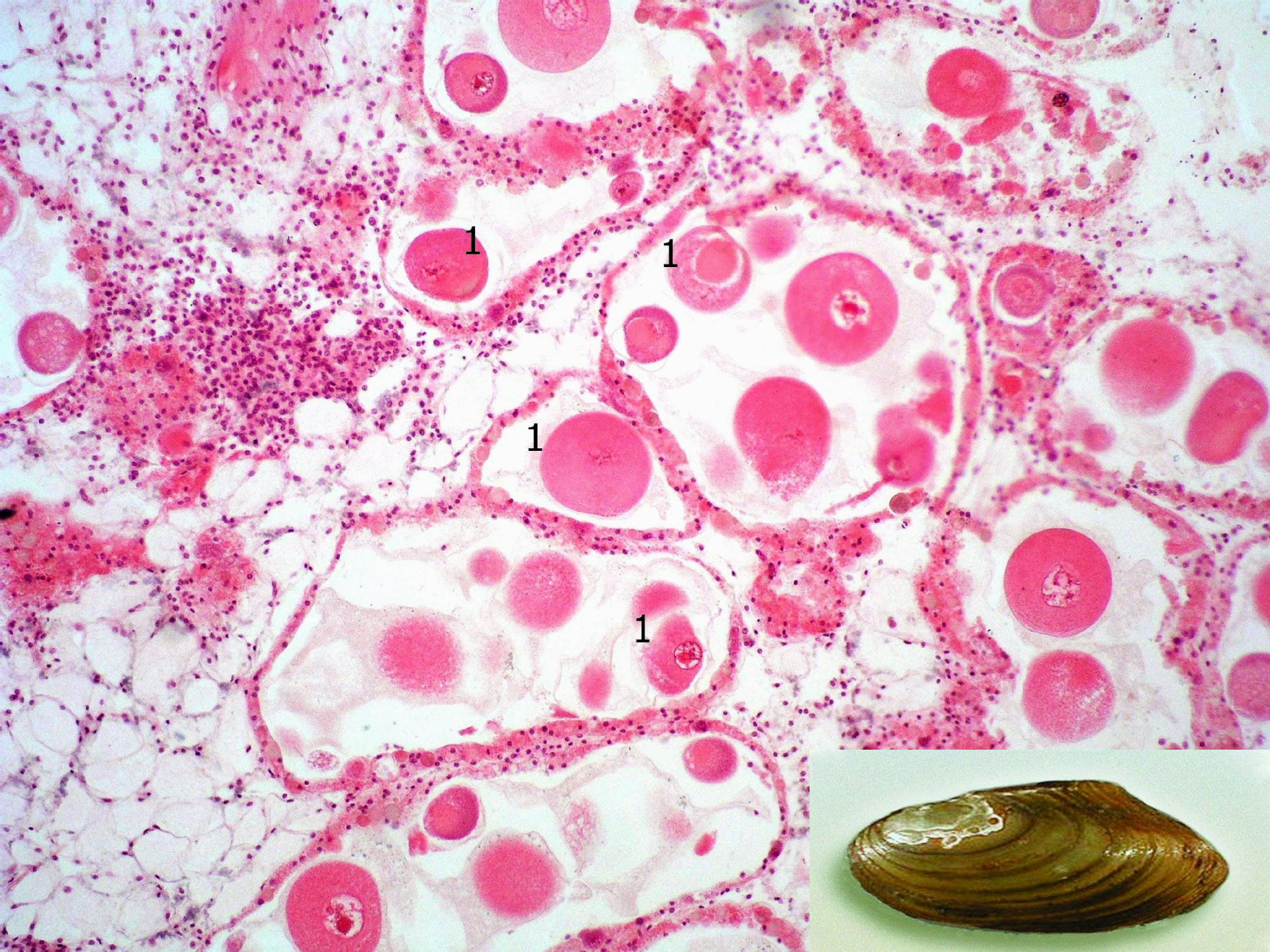
При малом увеличении микроскопа в яичнике фолликулы с крупными, шарообразной формы яйцеклетки. Они относятся к изолецитальному типу, а тип гаметогенеза - солитарный.

При большом увеличении. Фолликулы имеют относительно толстую стенку из желточных клеток цилиндрической формы с компактным ядром, цитоплазмой красноватого цвета. Среди этих клеток находятся ооциты первого порядка. В период большого роста ооцит увеличивается в размерах и продвигается к просвету фолликула, цитоплазма его становится оксифильной. На большом увеличении у ооцита видна тонкая первичная оболочка.

Вторичная оболочка имеет вид вуали со складками. Цитоплазма содержит зерна желтка. В кортикальном слое наблюдается фиолетовый оттенок - здесь отмечается скопление органоидов, обеспечивающих синтез необходимых компонентов.



- 1 – оболочка;
- 2 - цитоплазма ;
- 3 - хроматин ;
- 4 –ядрышко;
- 5 –эпителиальная клетка



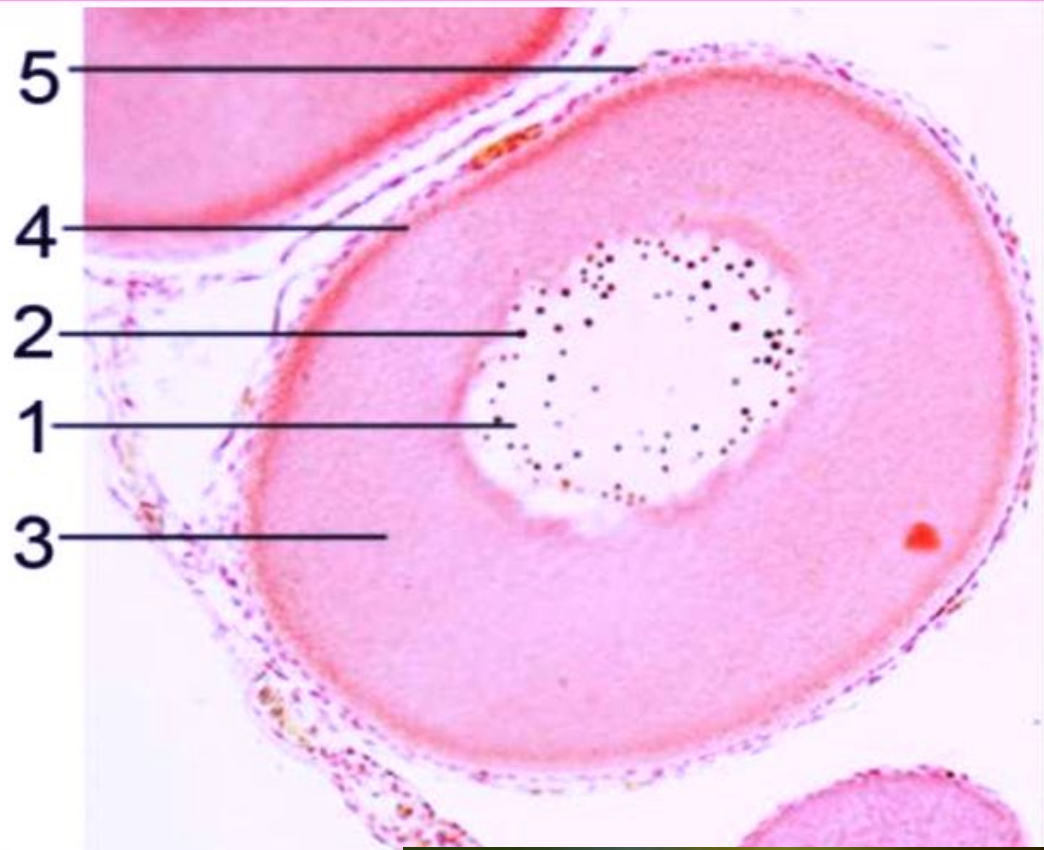
1 – ядро;

2 – амплифицированные
ядрышки;

3 – цитоплазма с
включениями
(оксифильная);

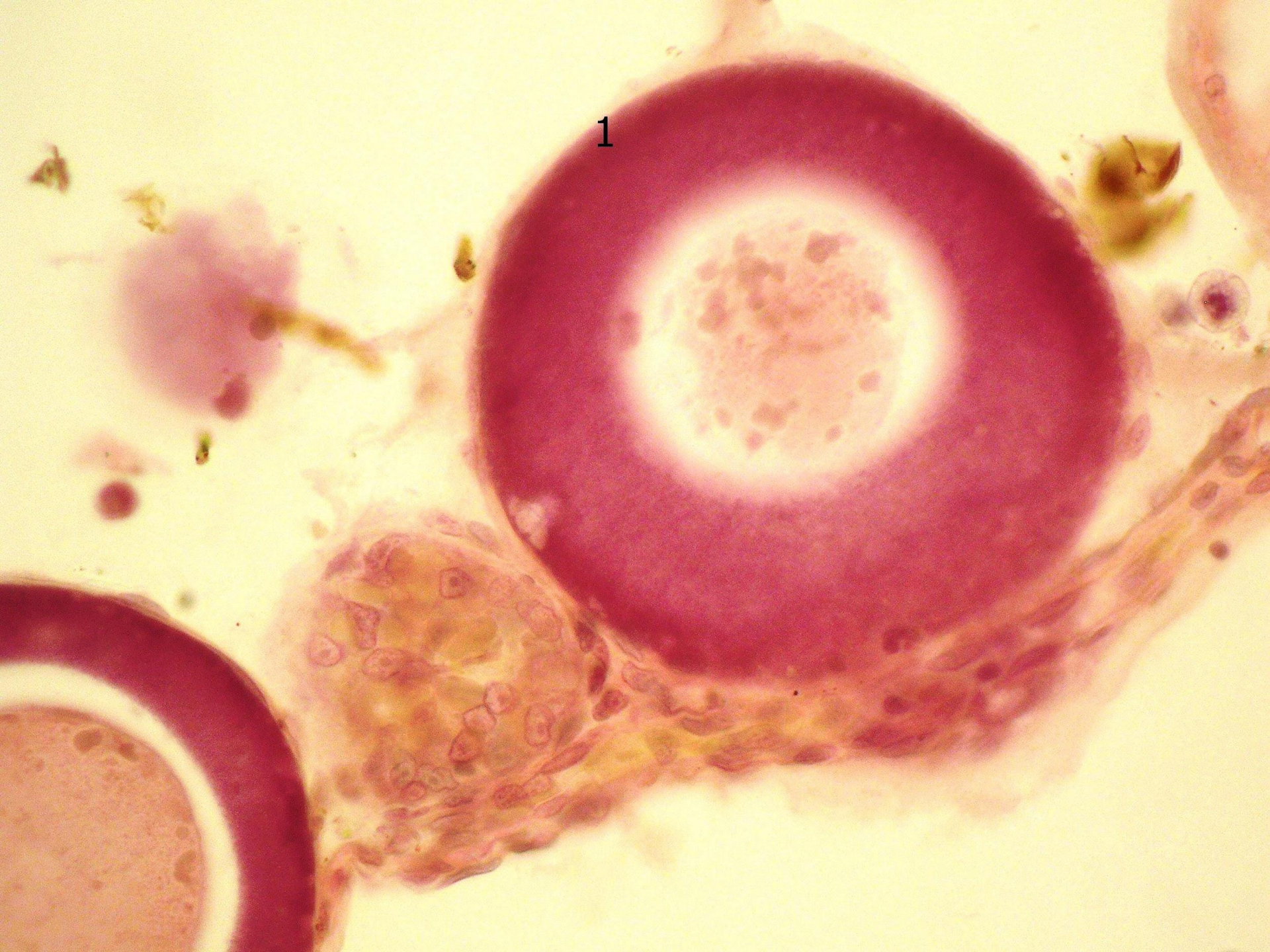
4 – желточная оболочка;

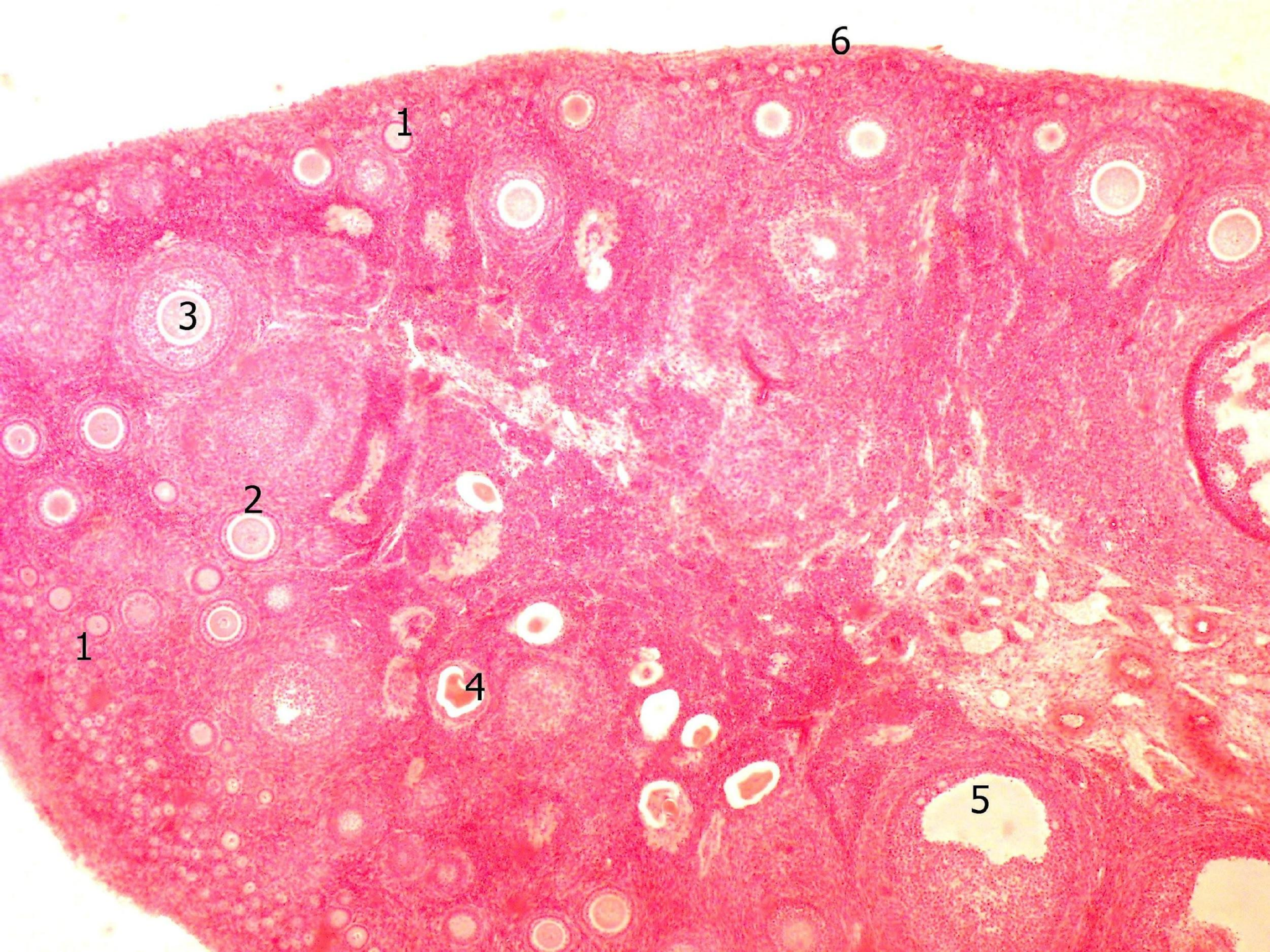
5 – фолликулярные клетки.

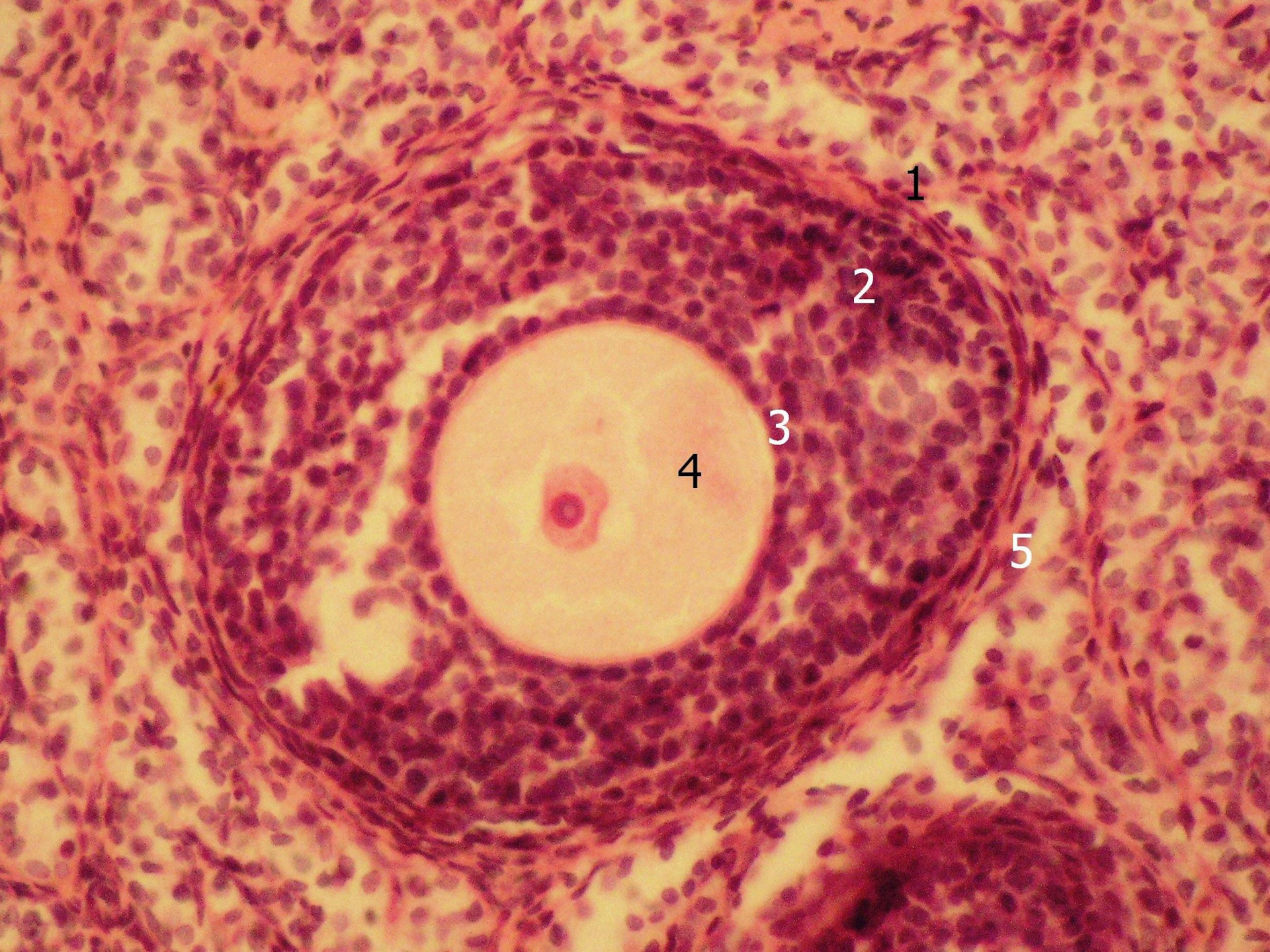


Яйцеклетка лягушки (яйцо)



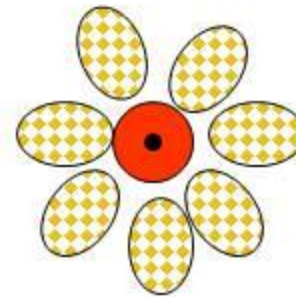






Типы яйцеклеток

- **Алецитальная** – желтка нет – он в желточных клетках
- **Олиголецитальная** – желтка мало
- **Мезолецитальная** – желтка среднее количество
- **Полилецитальная** – очень много желтка



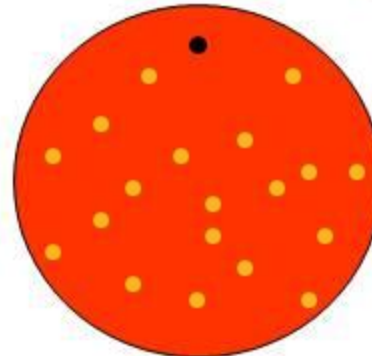
плоские черви



ланцетник, плацентарные млекопитающие



амфибии, некоторые рыбы



некоторые рыбы, рептилии, птицы, яйцекладущие млекопитающие

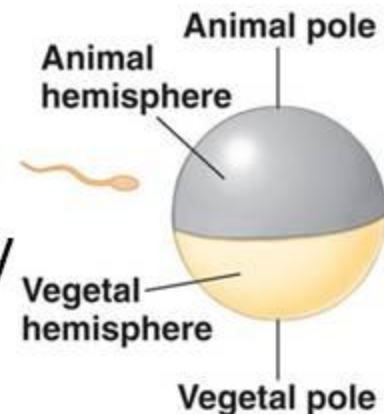
По расположению желтка яйцеклетки бывают

- **Изо- (гомо-) лецитальные** – желток распределен равномерно



ланцетник,
человек

- **Телолецитальные** – желток смещен к вегетативному полюсу

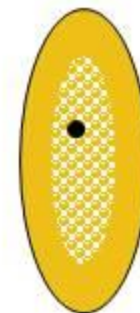


умеренно
телолецитальные
- лягушка

резко
телолецитальные
- птица

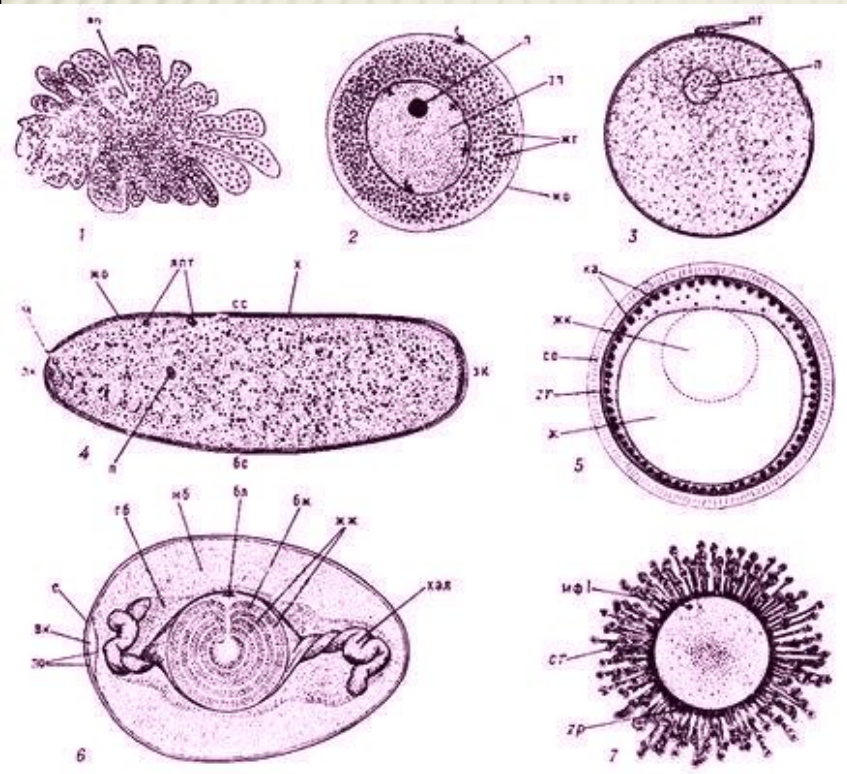
- **Центролецитальные** – желток в центре

насекомые



В связи с накоплением питательных веществ, у яйцеклеток появляется полярность. Противоположные полюсы называются **вегетативным** и **анимальным**. Поляризация проявляется в том, что происходит изменение местоположения ядра в клетке (оно смещается в сторону анимального полюса), а также в особенностях распределения цитоплазматических включений (во многих яйцах количество желтка возрастает от анимального к вегетативному полюсу).

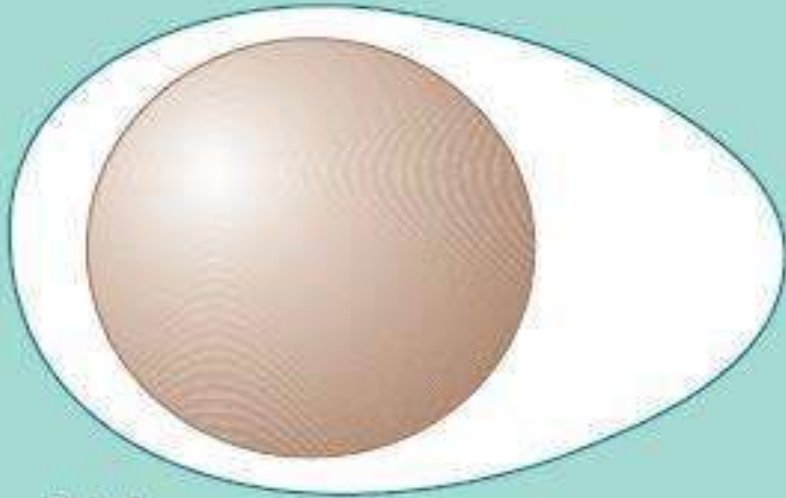
Яйцеклетка человека была открыта в 1827 году К.М. Бэр.



Строение яйца у гидры (1), кольчатого червя из рода *Urechis* (2), морского ежа (3), дрозифилы (4, яйцо вскоре после оплодотворения), окуня (5), курицы (6), человека (7)

Eggs ($\times 2.8$)

Sperm ($\times 602$)



chicken



frog



fish



human



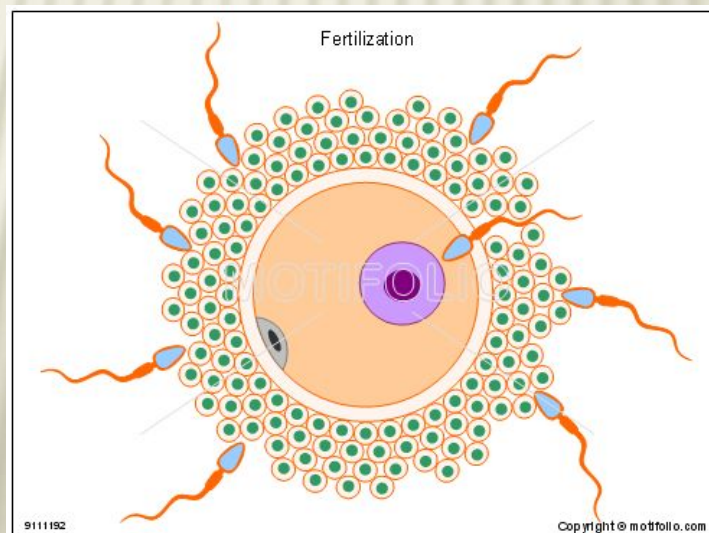
rat



Оплодотворение — слияние сперматозоида с яйцеклеткой, завершающееся объединением их ядер в единое ядро оплодотворенного яйца (зиготу). У подавляющего большинства животных при нормальном развитии именно оплодотворение служит толчком к выходу яйцеклетки из анабиотического состояния, в котором она находится на последнем этапе стадии созревания.

Оплодотворение осуществляет две разные функции:

- **половую** — включает передачу генов от родителей потомкам;
- **репродуктивную** — включает инициацию в цитоплазме яйца тех реакций, которые позволяют продолжать развитие и создание нового организма.



Важная роль в процессе оплодотворения принадлежит сперматозоиду, он необходим для:

- активации яйца, побуждения его к началу развития (данная функция не специфична: в качестве активирующего фактора сперматозоид может быть заменен рядом физических или механических агентов, например при партеногенезе);
- внесения в яйцеклетку генетического материала отца.

Существует несколько принципов классификации процесса оплодотворения: по месту проникновения сперматозоида в яйцеклетку:

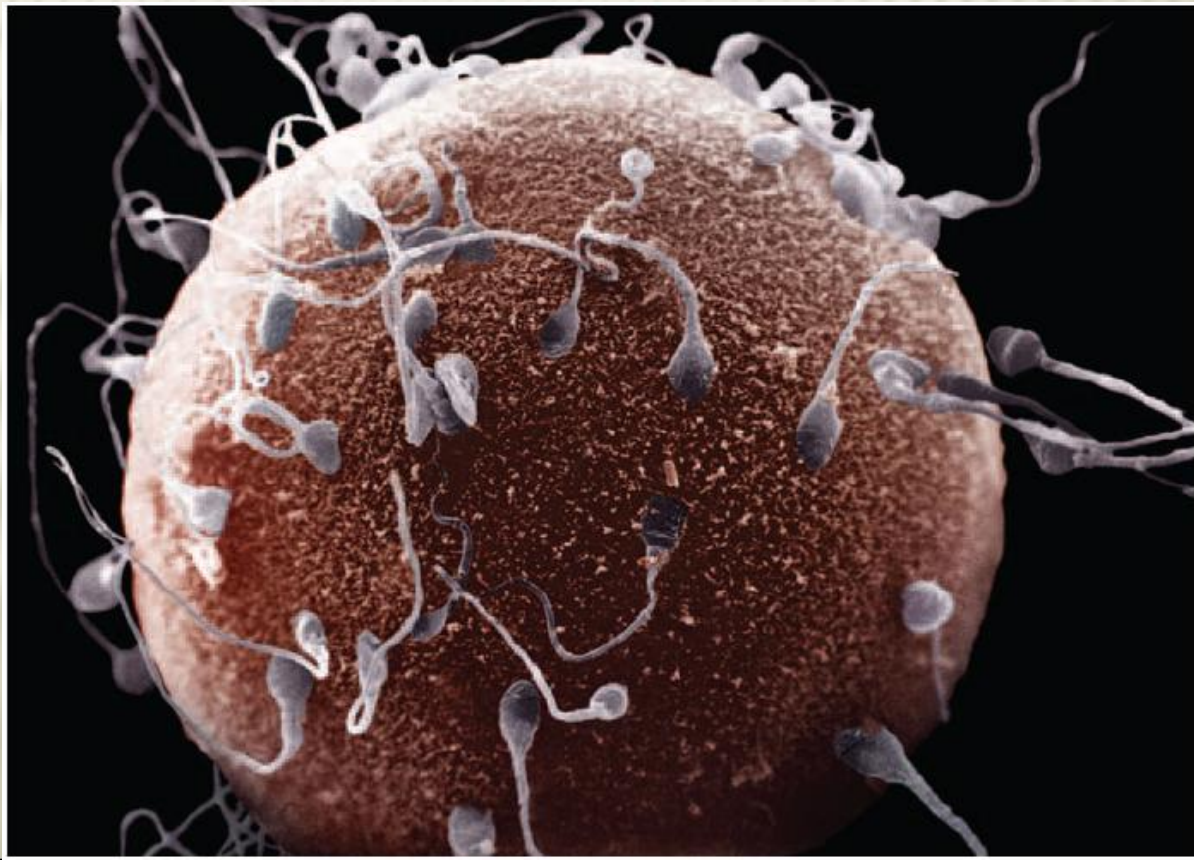
- наружное (оплодотворение происходит во внешней среде);
- внутреннее (оплодотворение происходит в половых путях самки).

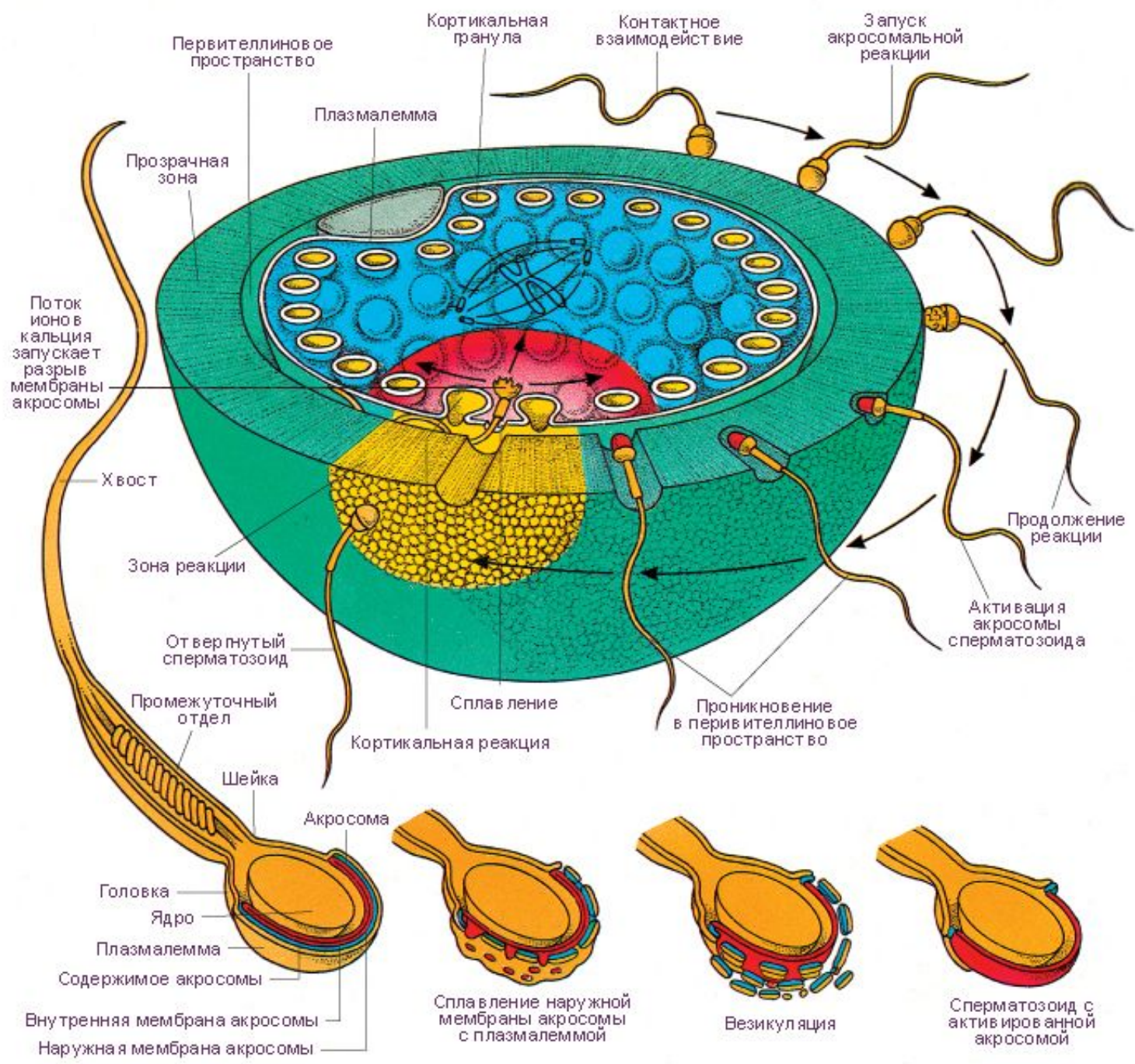
по количеству сперматозоидов участвующих в оплодотворении:

- моноспермное (один сперматозоид);
- полиспермное (два и более сперматозоидов)

Конкретные особенности оплодотворения очень сильно варьируют у различных видов. Взаимодействие половых клеток (гамет) канонически подразделяют на четыре стадии:

- дистантные взаимодействия;
- контактные взаимодействия;
- проникновение сперматозоида в яйцеклетку;
- слияние генетического материала.





I. Проэмбриональный период. Значение гаметогенеза для дальнейшего развития потомков:

- образование гаплоидных клеток (обеспечивает постоянство числа хромосом)
- возникновение новых комбинаций наследственного материала
- генеративные мутации (причина возникновения наследственных болезней)

Значимые события осеменения и оплодотворения:

Количество сперматозоидов. В эякуляте содержится около 3×10^8 сперматозоидов (в 1 мл – 60-120 млн) и они сохраняют способность к оплодотворению в течение 2-х суток.

Капацитация – активация сперматозоидов во время их продвижения по женским половым путям.

Преодоление сперматозоидом оболочек яйцеклетки и связывание со специфическим рецептором (**рецепторы видоспецифичны!**).

Акрсомная реакция – ферменты акросомы (гиалуронидаза, протеазы и др.) разрушают прозрачную оболочку.

Мембраны яйцеклетки и сперматозоида соприкасаются, головка сперматозоида погружается в цитоплазму яйцеклетки. Далее следуют стадии внутреннего **оплодотворения**.

Кортикальная реакция – изменения прозрачной оболочки делают ее непроницаемой для других сперматозоидов. Прозрачная оболочка защищает концептус (зародыш в стадии морулы) при прохождении по маточной трубе.

В оплодотворении различают три фазы.

1. **Дистантное взаимодействие (Капацитация)**, в котором важную роль играют химические вещества гиногамоны I и II яйцеклетки и андрогомоны I и II спермиев. Гиногамоны I активизируют двигательную активность спермиев, а андрогамоны I, напротив, подавляют. Гиногамоны II (фертилизины) вызывают склеивание спермиев при взаимодействии с андрогамонем II, встроенным в цитолемму спермия и предотвращают проникновение многих сперматозоидов в яйцеклетку.

Капацитация (1):

Спермии млекопитающих после эякуляции не способны к акросомной реакции.

Капацитация – приобретение спермием оплодотворяющей способности

Половые пути самки принимают активное участие в процессе оплодотворения.

Суть процесса капацитации:

- изменение структуры клеточной мембраны;

Снижение соотношения холестерин : фосфолипиды в мембране спермия (молекулы альбумина половых путей самки отнимают холестерин у спермия) – дестабилизация мембраны акросомного пузырька – возможность осуществления акросомной реакции.

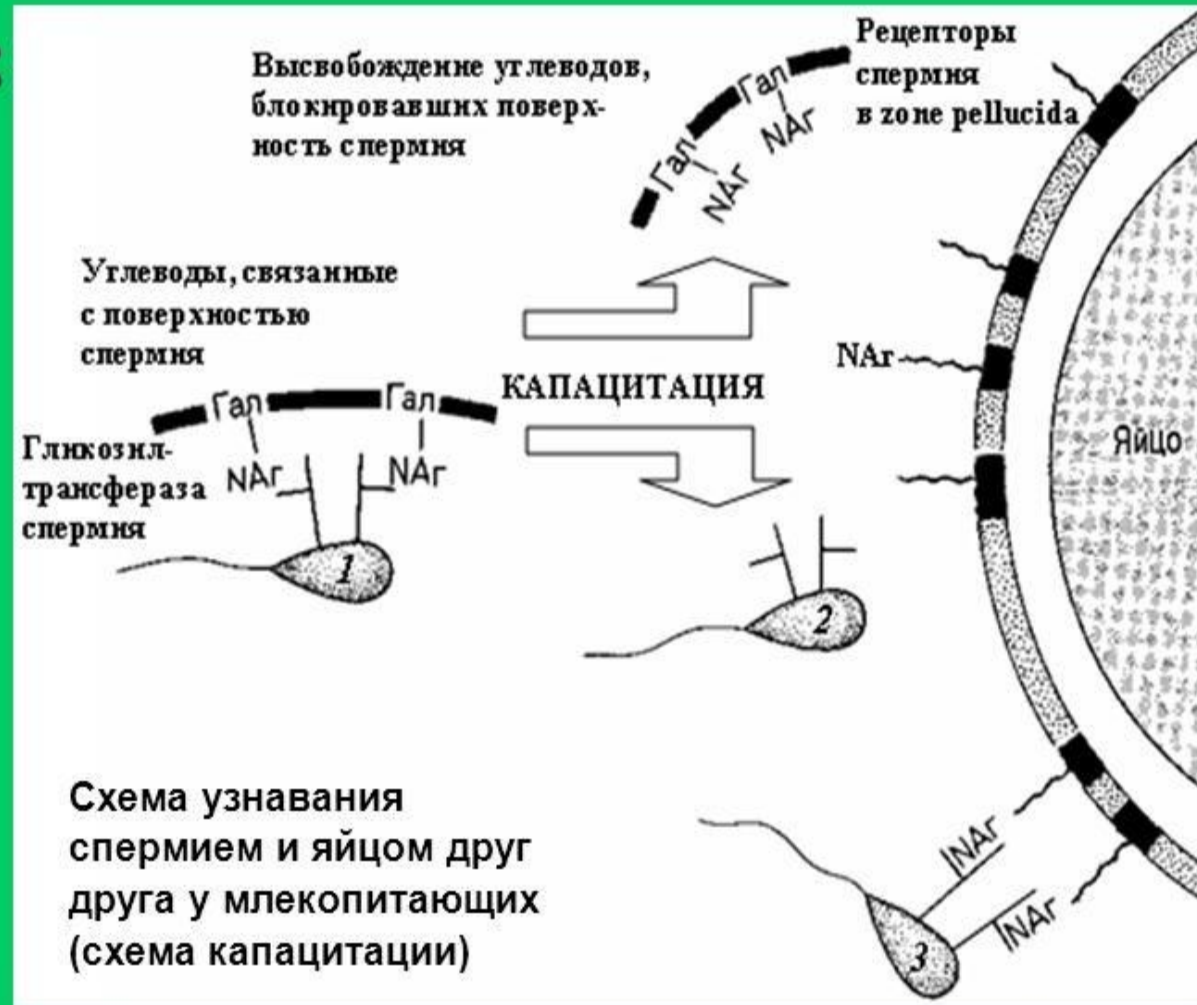
- удалении с поверхности спермия особых факторов
оставаясь на поверхности спермия “coating factors” препятствуют оплодотворению

Капацитация (2):

Поверхность спермия содержит

гликозилтрансферазу (узнаёт концевые остатки N-ацетилглюкозамина на прозрачной оболочке яйцеклетки)

В спермиях, не прошедших капацитации, **активные центры** фермента **блокированы** остатками N-ацетилглюкозамина (NAg) и галактозы (Гал).



При капацитации углеводы отделяются от поверхности спермия, **освобождая** активные центры гликозилтрансфераз.

Гликозилтрансферазы **узнают** N-ацетилглюкозаминовые остатки в молекуле гликопротеина, расположенного на поверхности прозрачной оболочки (рецептор спермия).



Гамоны (от греч. *gámos* — брак), вещества, выделяемые половыми клетками и способствующие оплодотворению. *Оказывая специфическое действие на гаметы своего и противоположного пола, Г. контролируют их встречу и содействуют соединению сперматозоида с яйцеклеткой.* Впервые Г. обнаружены у морского ежа в 1911 Ф. Лилли. Термин «Г.» предложен в 1940 нем. учёными М. Хартманом и Р. Куном. Вещества, выделяемые женскими и мужскими гаметами, названы ими соответственно гиногамонами и андрогамонами. Г. найдены у некоторых растений (водоросли, грибы) и многих животных (моллюски, кольчатые черви, иглокожие, хордовые).

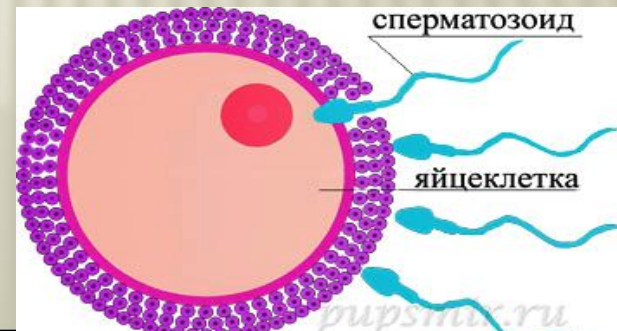
В женских половых продуктах животных выявлены: 1) **гиногамон I**, усиливающий и продлевающий подвижность сперматозоидов; антагонист андрогамона I; низкомолекулярное термостабильное вещество небелковой природы. 2) **Гиногамон II (фертилизин)**, вызывающий агглютинацию сперматозоидов. Согласно Лилли, он является необходимым звеном при соединении сперматозоида с яйцеклеткой, однако, по современным данным, его функция заключается в **элиминации (устранении)** значительной части сперматозоидов, приближающихся к яйцу. 3) Вещество, инактивирующее агглютинирующее начало (антифертилизин яйцеклетки), антагонист гиногамона II; белок.

В мужских половых продуктах животных найдены: 1) **Андрогамон I**, подавляющий подвижность сперматозоидов; антагонист гиногамона I; низкомолекулярное термостабильное вещество небелковой природы. 2) **Андрогамон II (антифертилизин сперматозоида)**, инактивирующий агглютинирующее начало; по действию сходен с антифертилизином яйцеклетки; относительно термостабильный белок. 3) **Андрогамон III**, вызывающий разжижение кортикального слоя яйца; низкомолекулярное термостабильное соединение. 4) **Лизины сперматозоида**, растворяющие яйцевые оболочки; термолабильные белки (у млекопитающих — фермент гиалуронидаза).

2. Контактное взаимодействие половых клеток (Акрсомная реакция).

Под влиянием сперматозоидов акросомы спермиев происходит слияние плазматических мембран и плазмогамия - объединение цитоплазмы контактирующих гамет.

Сперматозоиды вращают яйцеклетку, вступают в контакт с ее оболочкой. Яйцеклетка совершает вращательные движения вокруг своей оси со скоростью 4 оборота в минуту. Эти движения обусловлены биением жгутиков сперматозоидов и продолжаются около 12 часов. Проникновение спермия в яйцеклетку осуществляется с помощью акросомы и ее ферментов сперматозоидов. Ферменты, выделяемые из акросом сотен принимающих участие в оплодотворении сперматозоидов разрушают лучистый венец, расщепляют гликозаминогликаны блестящей оболочки яйцеклетки. Отделяющиеся фолликулярные клетки склеиваются в конгломерат, который вслед за яйцеклеткой перемещается по маточной трубе благодаря мерцанию ресничек эпителиальных клеток слизистой оболочки. У млекопитающих при оплодотворении в яйцеклетку проникает только один сперматозоид. Такое явление называется **моноспермией**.



(A)



Triploidy

(B)



10%

(C)



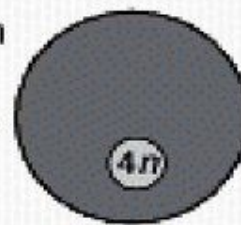
24%

От 1% до 3%
установленных
беременностей
человека являются
триплоидными

(D)

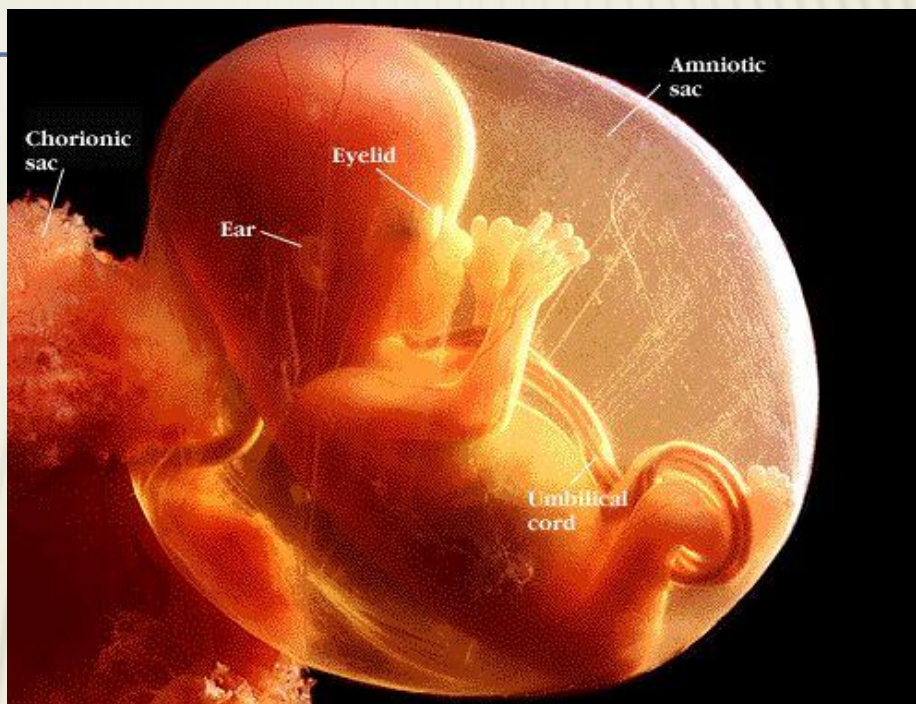
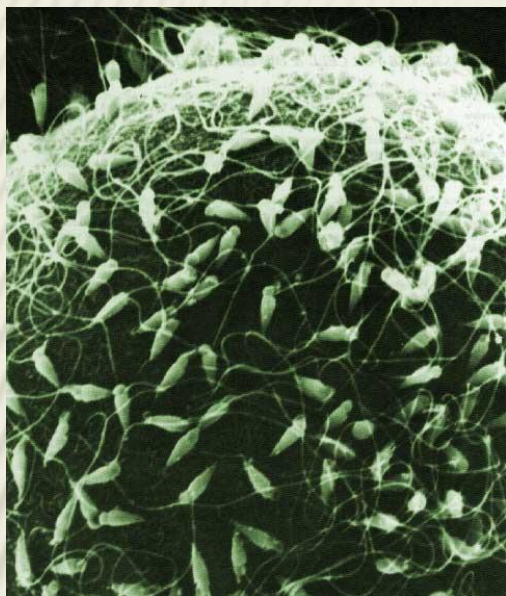


DNA duplication
but no cell division
(endomitosis)



Tetraploidy

(A) Около $2/3$ триплоидов человека связано с оплодотворением одной яйцеклетки 2-мя сперматозоидами (диспермия). Другими причинами являются диплоидные яйцеклетки (B) или сперматозоиды (C). Большинство триплоидов человека спонтанно абортируется, очень редко выживают до родов. Тетраплоиды (D) появляются в результате нарушения первого митотического деления после оплодотворения и не способны к дальнейшему развитию.



*"Множественными есть чудеса мира,
но самое большое из них - человек"*

(Софокл)

A pregnant woman is shown from the chest down to the waist, wearing a white tank top and white pants. She is gently holding her pregnant belly with both hands. The background is a plain, light color.

«Вся гордость мира от матерей,
Без Солнца не цветут цветы,
Без любви нет счастья,
Без женщины нет любви,
Без матери нет ни поэта, ни героя»
Максим Горький.