

# ГАМЕТОГЕНЕЗ

теория

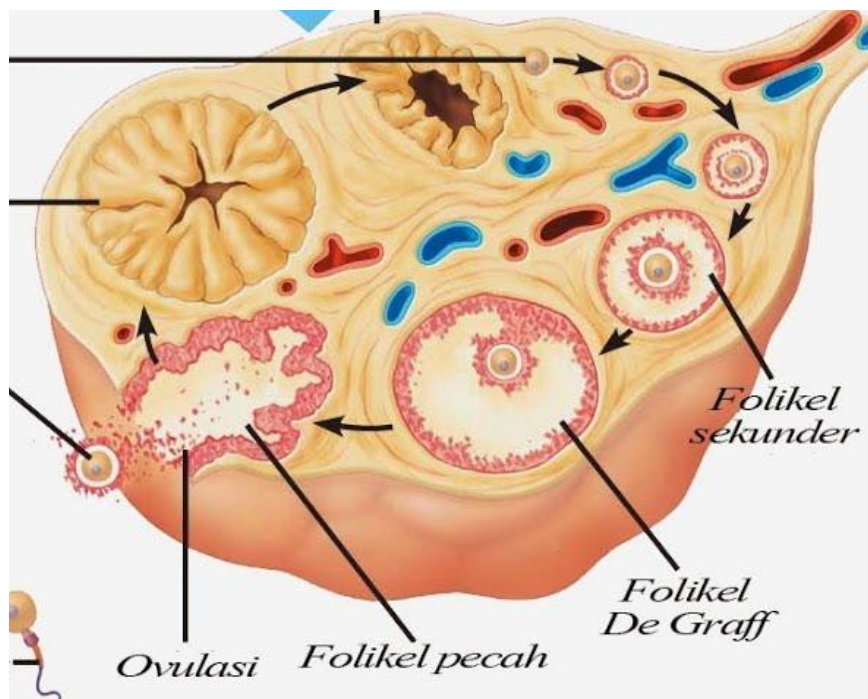
# Гаметогенез

Процесс созревание половых клеток гамет.

Различают **сперматогенез** и **оогенез (овогенез)**.

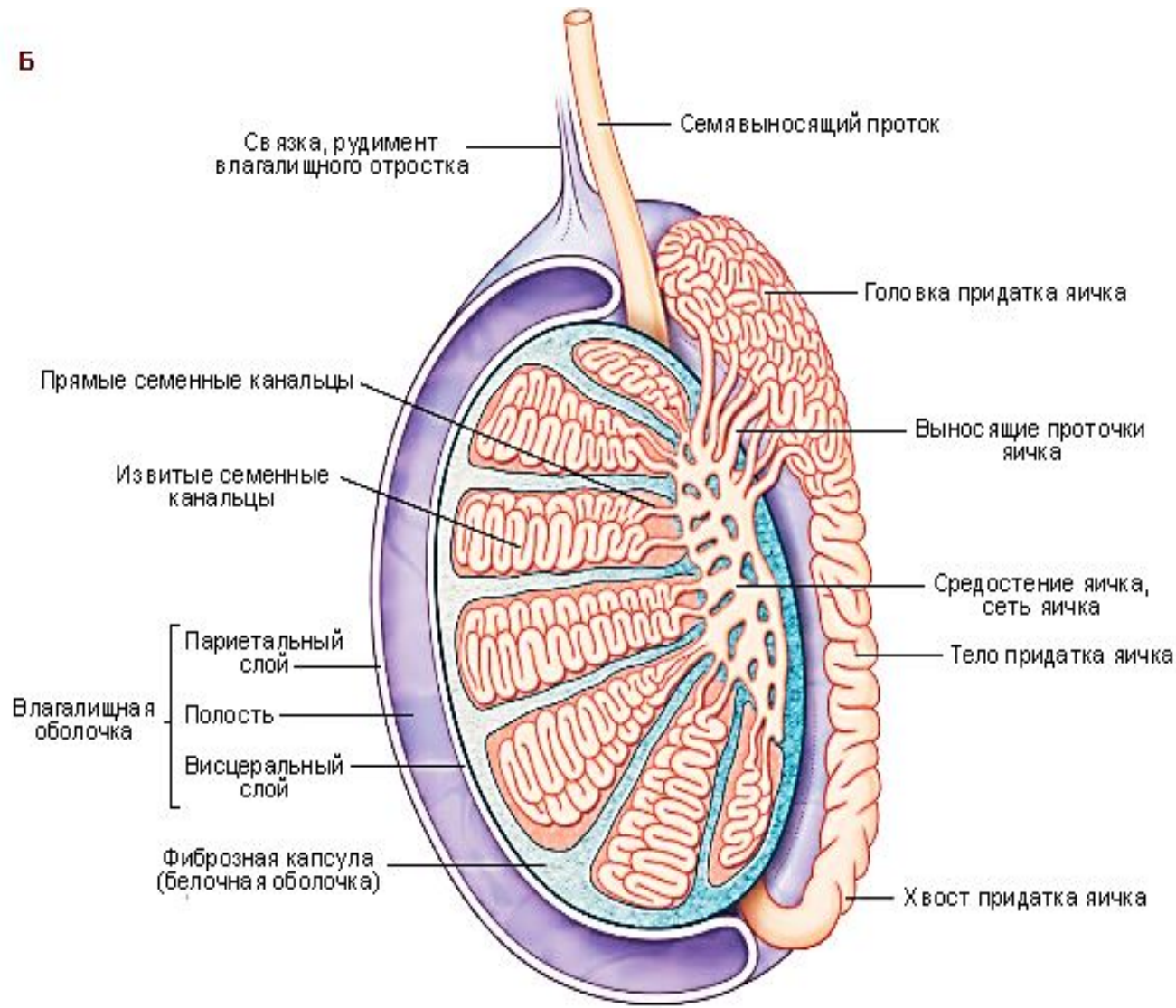
В основе гаметогенеза животных лежит **мейоз**.

Образующиеся гаметы имеют **гаплоидный набор хромосом**, тогда как у взрослых организмов он **диплоидный**.



# Сперматогенез

Б



Сперматогенез у человека в норме начинается в пубертатном периоде (около 12 лет) и продолжается до глубокой старости.

Продолжительность полного сперматогенеза у мужчин составляет примерно 73—75 дней.

Сперматозоиды образуются в яичках, в извитых семенных каналцах.

## Сперматогенез

У позвоночных животных сперматогенез проходит по следующей схеме: в эмбриогенезе **гоноциты** мигрируют в зачаток гонады, где формируют популяцию клеток, называемых **сперматогониями**. С началом полового созревания сперматогонии начинают активно размножаться.

С началом полового созревания **сперматогонии** начинают активно размножаться, часть из них дифференцируется в другой клеточный тип — **сперматоциты I порядка**, которые вступают в мейоз и после первого деления мейоза дают популяцию клеток, называемых **сперматоцитами II порядка**, проходящих впоследствии второе деление мейоза и образующих **сперматиды**; путём ряда преобразований последние приобретают форму и структуры сперматозоида.

# Сперматогенез

**ЗОНА РАЗМНОЖЕНИЯ** (многочисленные митозы)  
Образуются многочисленные клетки сперматогонии ( $2n2c$ ). Часть из них в определённый момент делиться прекращает и превращается в сперматоциты I порядка.

## ЗОНА РОСТА (интерфаза)

сперматоциты I порядка увеличиваются в размерах, растут. Синтез ДНК и образование второй хроматиды. Хромосомный набор в конце  $2n4c$  (репликация во время S-периода интерфазы)

**ЗОНА СОЗРЕВАНИЯ.** Протекает мейоз.

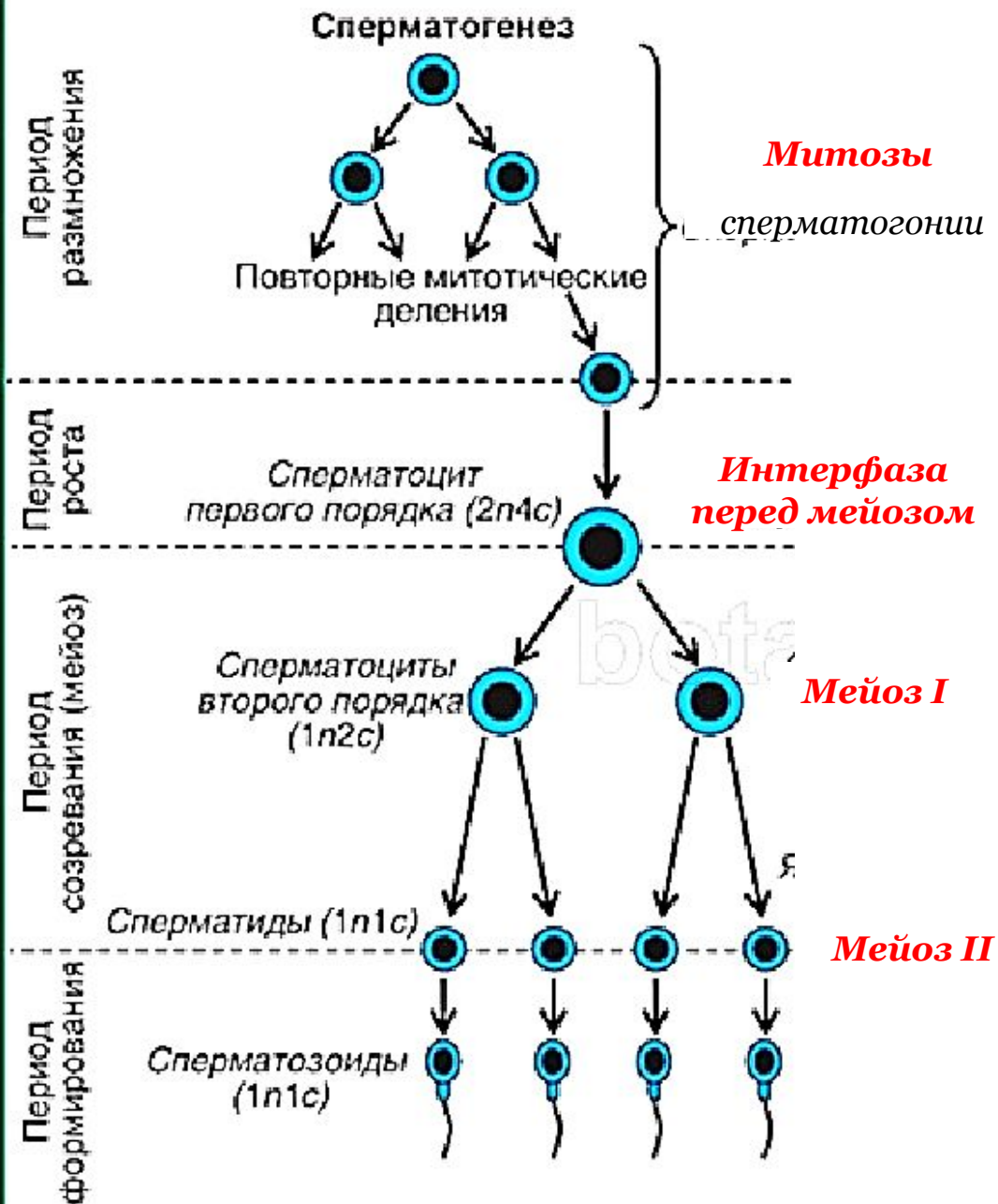
1 деление: образуется 2 сперматоцита II порядка ( $1n2c$ ).

2 деление: образуется 4 гаметы сперматиды

( $1n1c$ ) все одинаковые.

## ЗОНА ФОРМИРОВАНИЯ

Образуются головка, шейка, хвост, акросома.



## Оогенез

Во время эмбрионального развития организма **гоноциты** (первичные половые клетки) вселяются в зачаток женской половой **гонады (яичника)**, и всё дальнейшее развитие женских половых клеток происходит в ней.

Часть оогенеза протекает **в эмбриогенезе**. Здесь происходит весь период размножения. Оогенез **замирает** на стадии **интерфазы перед мейозом I** (ооциты I порядка). Продолжается этот процесс с наступлением периода полового созревания.

Особенностью делений созревания в оогенезе является **ассиметричное разделение цитоплазмы**: при каждом делении почти вся цитоплазма остаётся в одной из сестринских клеток, тогда как в другой её объём ничтожен. При первом делении образуются большой ооцит I и маленькое направительное редукционное тельце. В цитоплазме ооцита содержится практически всё, что накоплено в период роста. При втором образуется **одна яйцеклетка** и 4 направительных тельца (редуцируются)

# Оогенез (овогенез)

## ЗОНА РАЗМНОЖЕНИЯ

Деление клеток оогенной ткани митозом (у женщин в эмбриональном периоде) Образование оогоний ( $2n2c$ ). Часть из них в определённый момент прекращает делиться и превращается в ооциты I порядка

## ЗОНА РОСТА (интерфаза)

Ооцит I порядка растёт, происходит накопление питательных веществ в виде зерен желтка. Происходит репликация в S-периоде ( $2n4c$ ). Может длиться десятилетия.

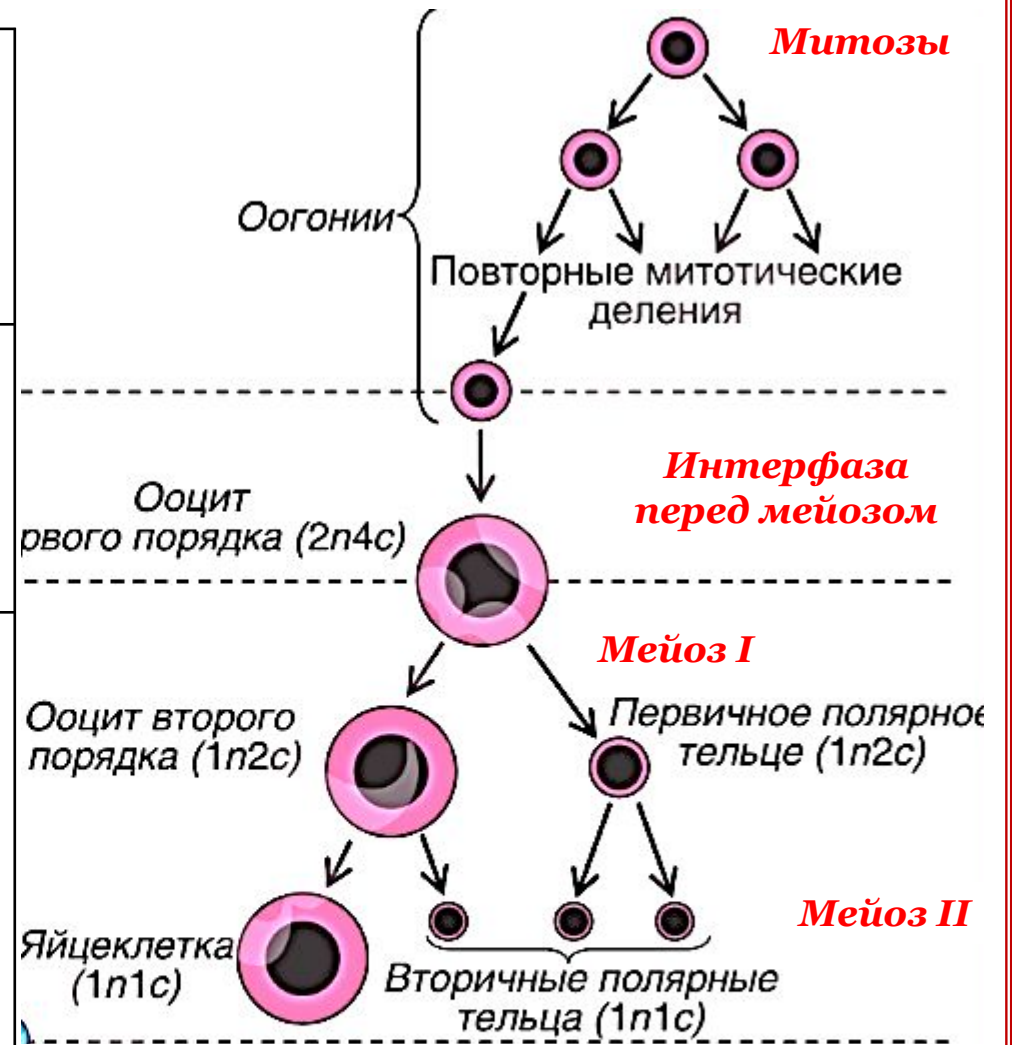
## ЗОНА СОЗРЕВАНИЯ

Протекает мейоз.

1 деление: образуется ооцит II порядка, куда переходят все питательные вещества ( $1n2c$ ) и мелкое первичное направительное тельце, где имеется только ядро ( $1n2c$ ).

2 деление: образуется одна крупная яйцеклетка ( $1n1c$ ) и одно направительное тельце ( $1n1c$ ). Из первичного направительного тельца образуется два мелких вторичных направительных тельца.

Направительные тельца погибают.



## **ОТЛИЧИЯ оогенеза от сперматогенеза**

- Количество **оогониев**, вступивших в стадию созревания, закладывается **на этапе эмбрионального** развития, а **сперматогонии** начинают активно делиться при наступлении **половой зрелости**, и этот процесс идёт **непрерывно**
- В процессе сперматогенеза образуются **четыре гаметы**, а в процессе оогенеза — только **одна**;
- Число сперматогониальных делений в пределах одного вида всегда больше, чем оогониальных.
- Период роста в оогенезе более длительный, так как накапливаются питательные вещества в виде зёрен желтка.
- В процессе оогенеза отсутствует период формирования, аналогичный сперматогенезу.
- **Окончательно процесс оогенеза завершается только после оплодотворения.** Большое число сперматозоидов повышает вероятность оплодотворения, а питательные вещества крупной яйцеклетки обеспечивают развитие будущего зародыша.



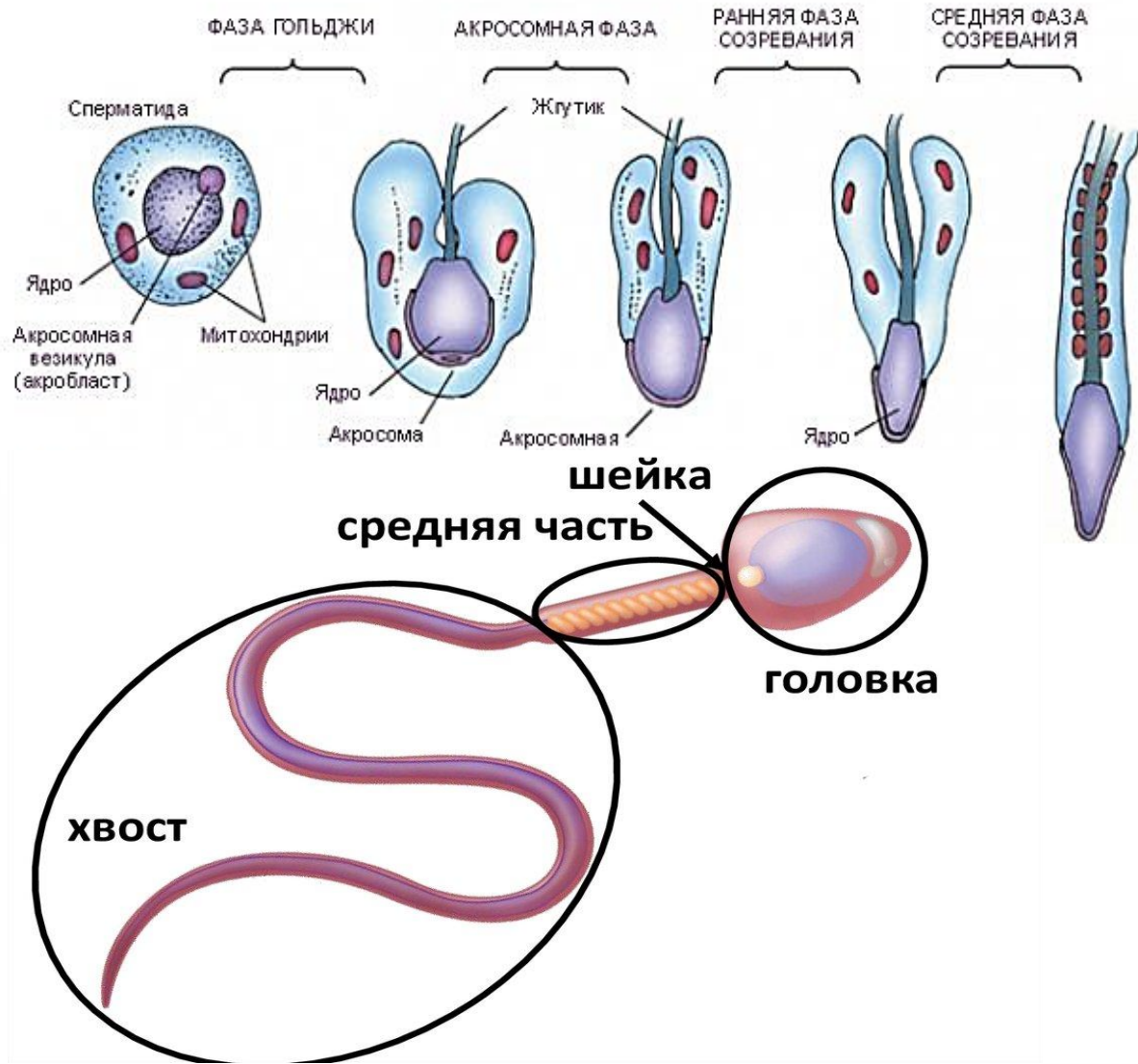
## Половые клетки (гаметы)

У большинства видов организмов мужские и женские гаметы отличаются друг от друга

По своему строению половые клетки сходны с соматическими, **состоят из ядра и цитоплазмы, включающей органоиды и включения.**

Отличительное свойство зрелых гаметоцитов – **низкий уровень процессов ассимиляции и диссимиляции, неспособность к делению, содержание в ядрах гаплоидного (1n) набора хромосом.**

# Сперматозоид



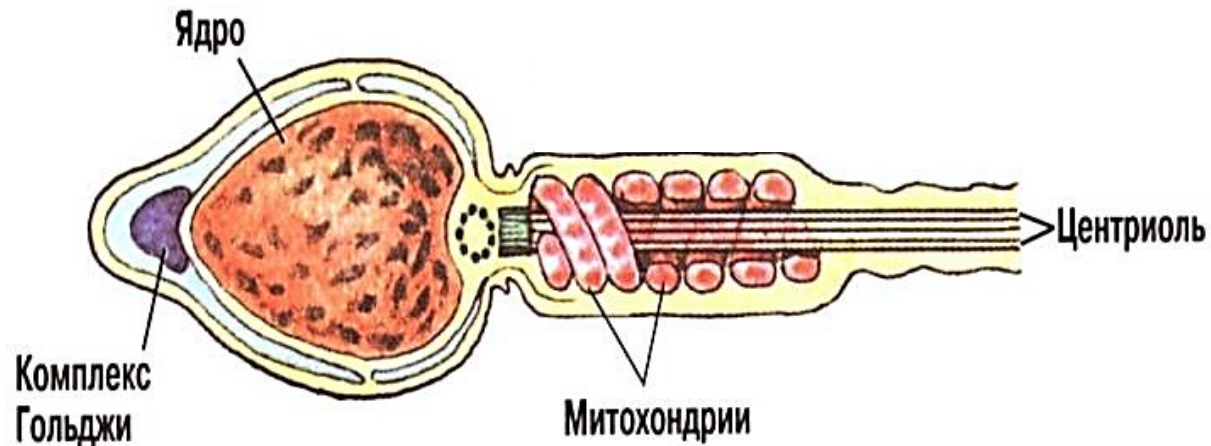
Сперматозоиды были открыты в 1677 г. А. Левенгуком.

Имеют микроскопические размеры (длина сперматозоида человека 45 мкм, размер головки 5,0 на 3,5 мкм). Обладают подвижностью, способны к движению в направлении яйцеклетки (хемотаксису) и против тока жидкости.

Стадия формирования продолжается от нескольких суток до нескольких недель (4 недели у человека) Для облегчения сперматозоида в нём происходят большие изменения: уплотняется ядро, выбрасывается практически вся цитоплазма – остаются только самые необходимые органоиды.

Сперматозоид состоит из головки, шейки, промежуточной части (тела) и жгутика (хвоста).

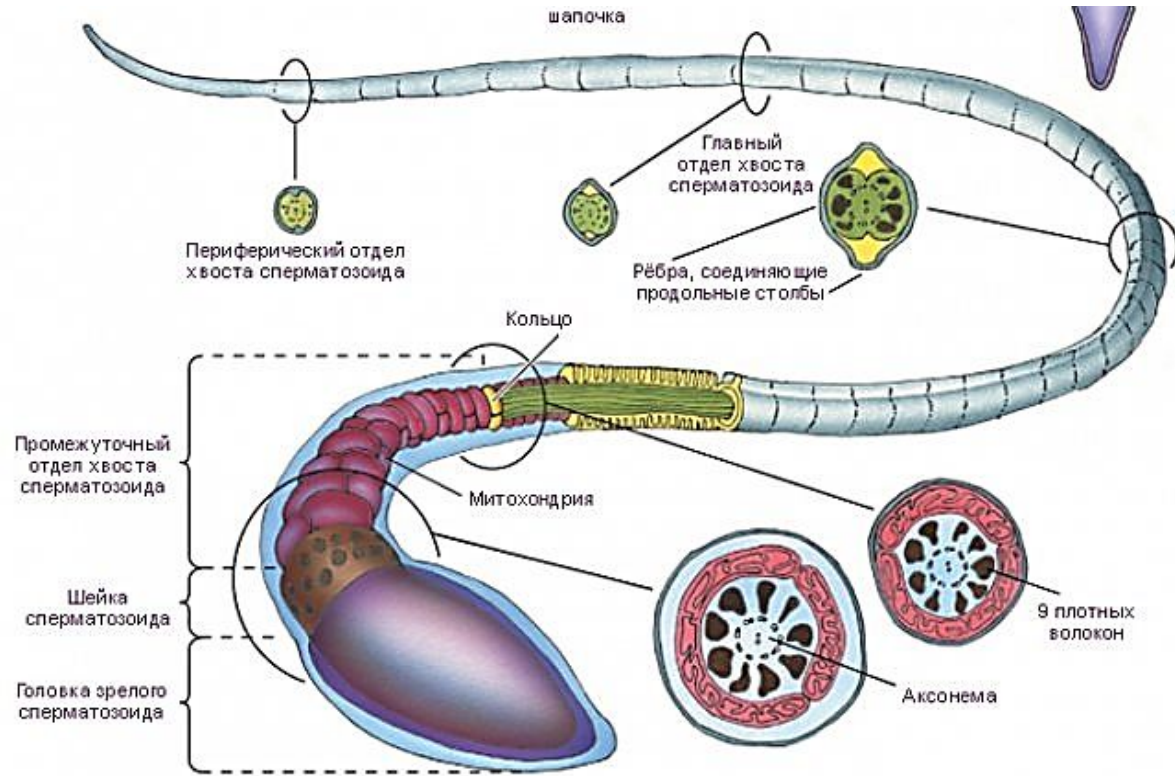
# Сперматозоид



В головке находится **ядро с гаплоидным набором хромосом**. На заострённом конце головки располагается пузырёк — **акросома** — с ферментами, способными разрушать оболочку яйцеклетки. Акросома является **производным аппарата Гольджи**. Когда головка соприкасается с яйцеклеткой, содержимое акросомы освобождается и растворяет её оболочку. Кроме того литические ферменты стимулируют яйцеклетку к её дальнейшему развитию.

Между головкой и средней частью находится сужение клетки, так называемая **шейка**. В неё перемещаются центриоли. Одна из них после оплодотворения проникает в цитоплазму яйцеклетки, обуславливая её деление, вторая превращается в базальное тельце от которого начинается осевая нить жгутика

# Сперматозоид



Осевая нить жгутика состоит из двух центральных микротрубочек, окружённых кольцом из девяти двойных периферических фибрилл ( $9(2) + 2$ )

В средней части располагается МИТОХОНДРИОН — гигантская спиральная МИТОХОНДРИЯ, так как для движения сперматозоиду необходимо большое количество энергии АТФ. Жгутик служит для движения сперматозоида.

Все образующиеся при сперматогенезе сперматозоиды имеют одинаковые размеры. Сперматозоиды гетерогенны, так как в их ядрах содержатся разные типы половых хромосом (X-хромосома или Y-хромосома). Если не произойдёт слияния сперматозоида с яйцеклеткой самки, то он погибает.

# Сперматозоиды



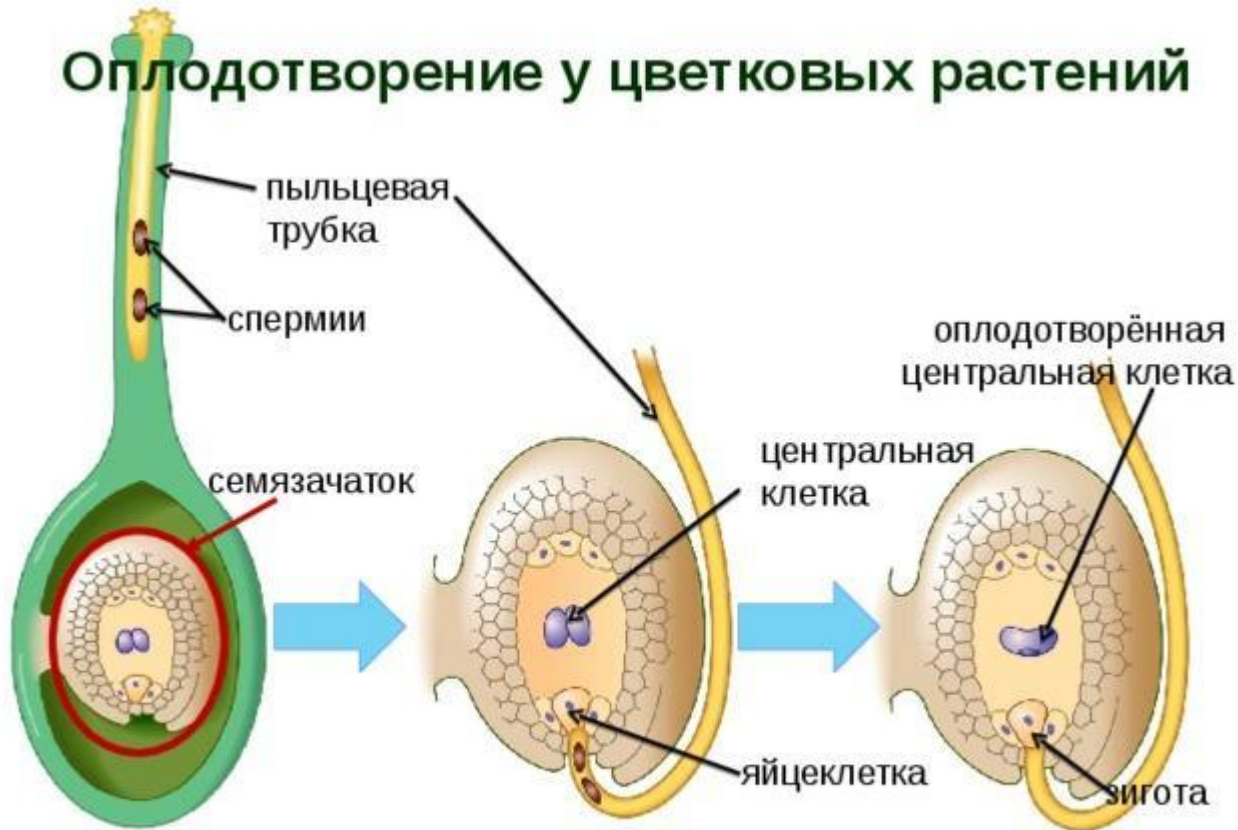
После периода созревания, сперматозоид может сохраняться в организме мужчины до месяца.

Плотная упаковка хромосом в головке сперматозоида и отсутствие цитоплазмы позволяют ему сохранять свою целостность вне организма и делают его устойчивым к неблагоприятным воздействиям внешней среды.

В эякуляте они способны выжить в зависимости от условий среды (свет, температура, влажность) до 24 часов. Во влагалище сперматозоиды погибают в течение нескольких часов. В шейке матки, матке и фаллопиевых трубах сперматозоиды остаются живыми до 3 суток.

# Спермии

## Оплодотворение у цветковых растений

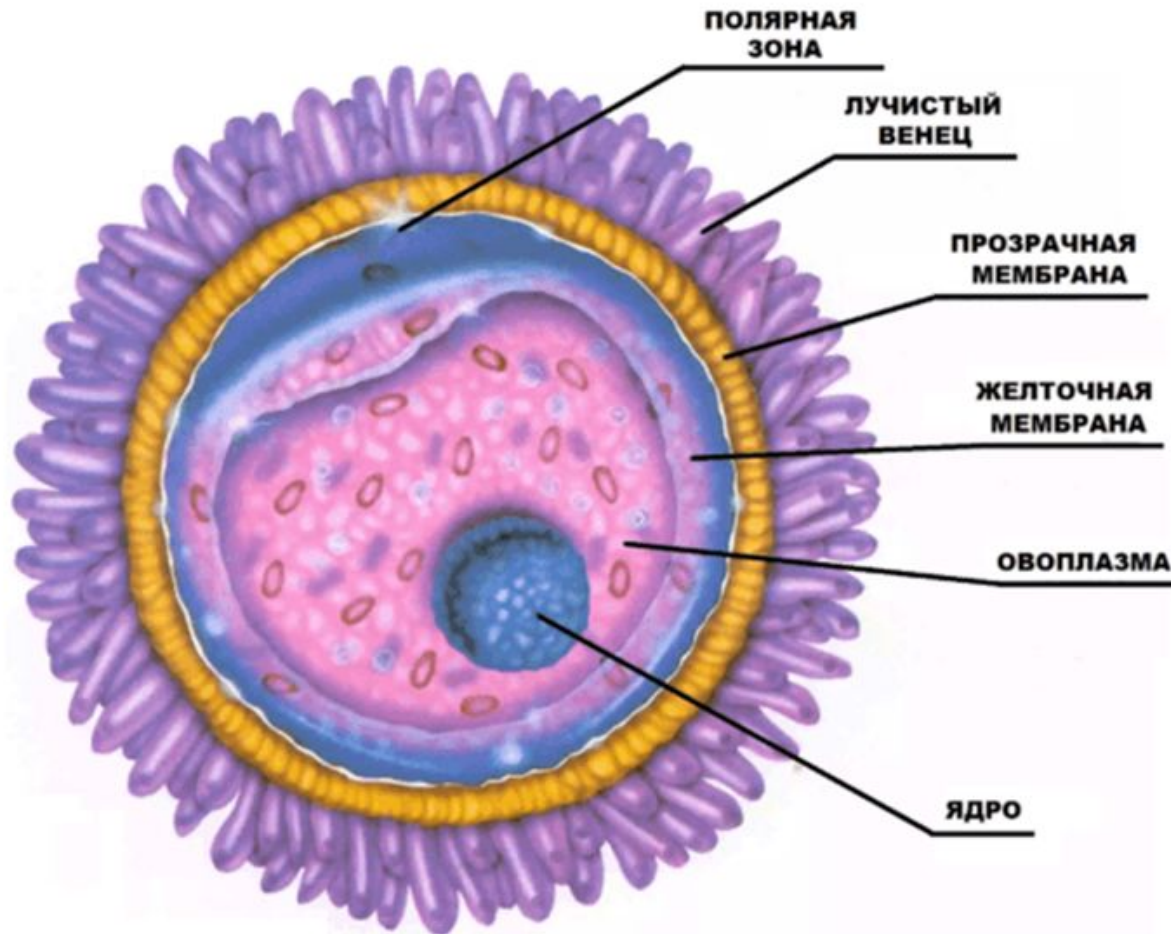


Один спермий оплодотворяет яйцеклетку, а другой центральную клетку зародышевого мешка.

**Спермии** (от греч. *spérma* — семя), мужские половые клетки (гаметы) растений, не имеющие органов движения (характерны для голосеменных и покрытосеменных растений).

Спермии высших растений неподвижны, т. к. развиваются внутри пыльцевой трубки, образуемой при прорастании пылинки (микроспоры).

# Яйцеклетка



Яйцеклетка была открыта в 1827 г. русским учёным Карлом Максимовичем Бэр.

Она представляет собой **округлую, крупную, неподвижную клетку**, содержащую ядро, все органоиды и много питательного вещества в виде **желтка** (является цитоплазматическим включением, имеет вид гранул, шаров, пластин, состоит из белков, углеводов, фосфолипидов). Ядро клетки (гаплоидное) лежит в области свободной от питательных веществ.

Периферический слой цитоплазмы называется **кортикальным слоем**. Он полностью лишён желтка, содержит **множество митохондрий** и участвует в развитии зародыша на ранних стадиях эмбриогенеза.

Кроме цитоплазматической мембраны яйцеклетка обычно окружена ещё и специализированными оболочками.

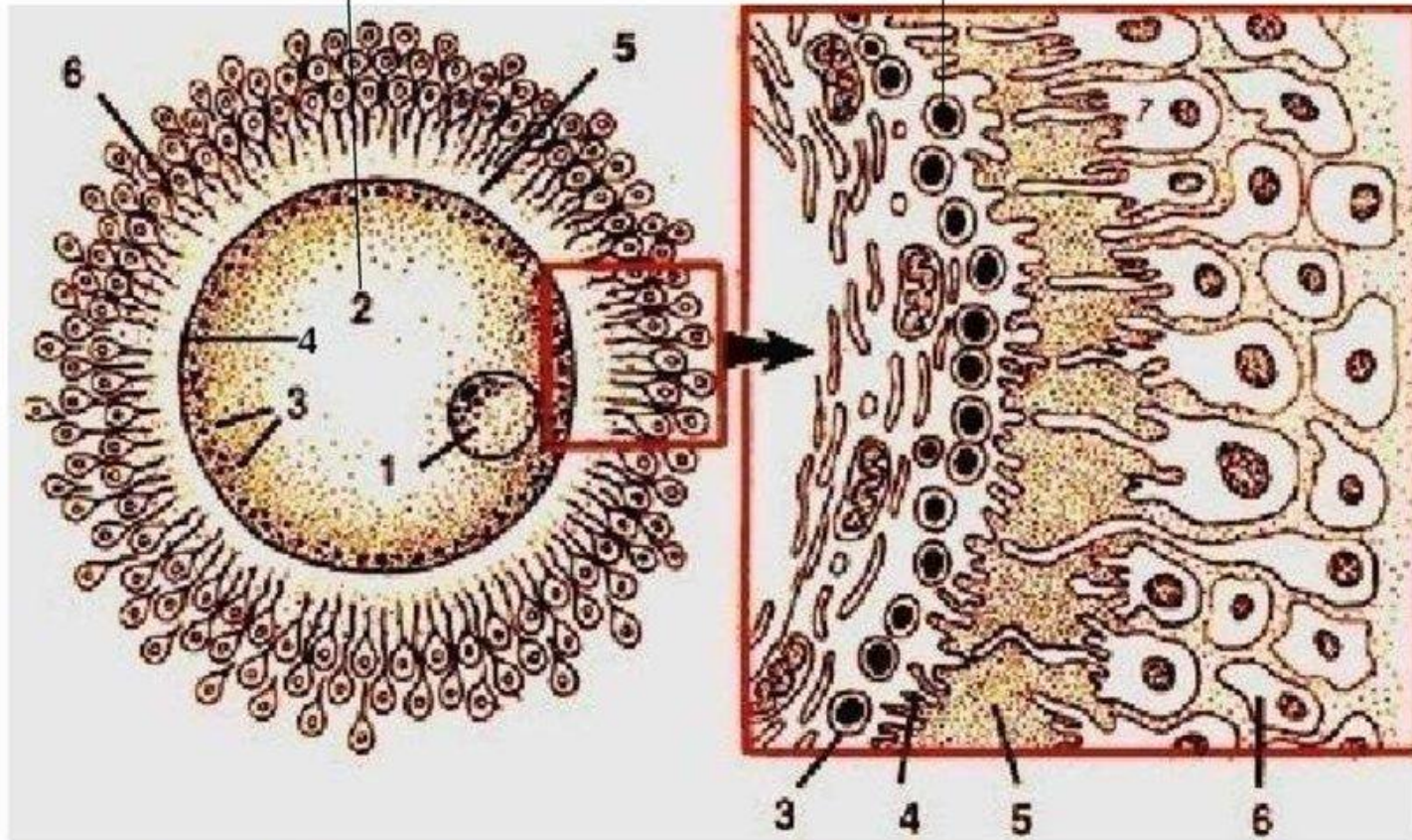
# Оболочки яйцеклетки

нет клеточного центра

есть митохондрии и ЭПС

к-м Гольджи

ферменты



1- ядрышко  
4- оолема

2- цитоплазма  
5- блестящая зона

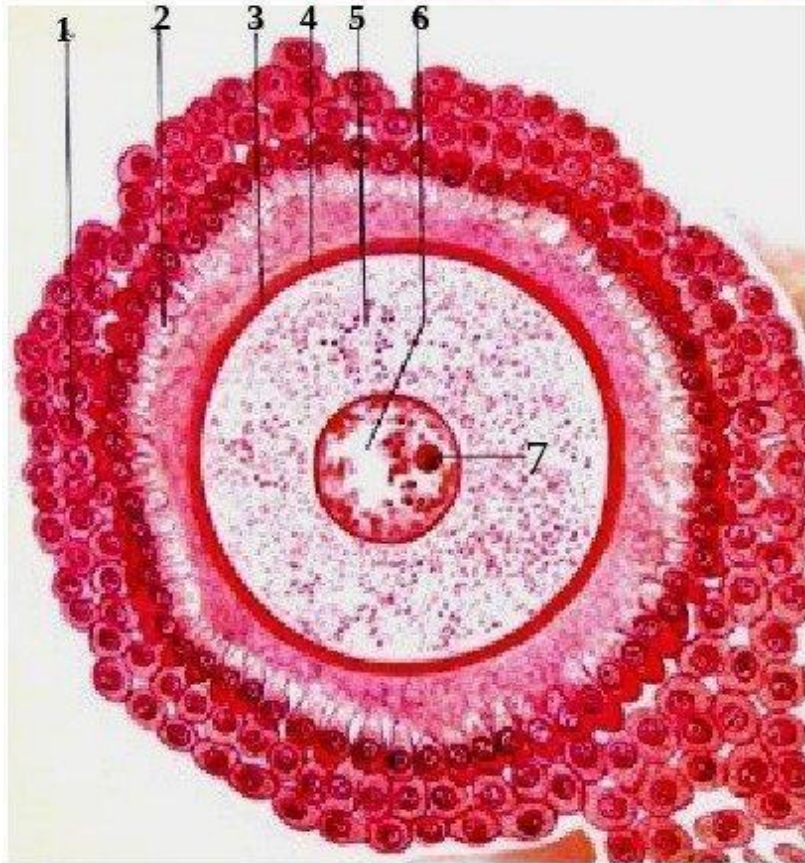
3- кортикальные гранулы  
6- фолликулярная клетка

**Первичная оболочка (желточная)** – формируются самой яйцеклеткой. У большинства позвоночных пронизана многочисленными радиальными каналами (zona radiata); у млекопитающих её называют блестящей оболочкой Zona pellucid.

Выполняет **защитную функцию, обеспечивает видовую специфичность проникновения сперматозоида**, т.е. не позволяет сперматозоидам других видов проникать в яйцеклетку.



# Оболочки яйцеклетки



- 1- ядро фолликулярной клетки
- 2- фолликулярная клетка
- 3- оолемма (первичная оболочка яйцеклетки)
- 4- блестящая (вторичная) оболочка яйцеклетки
- 5- цитоплазма яйцеклетки
- 6- ядро
- 7- ядрышко

Олиголецитальная  
маложелтковая

Изолецитальная

**Вторичная (фоллекулярная)** – образуется фолликулярными клетками.

Выполняет **трофическую, защитную функцию, препятствует полиспермии.**

**Третичная (скорлуповая)** – выделяются клетками яйцевода при прохождении по нему яйца. У пресмыкающихся, птиц. У птиц третичные оболочки делятся на белковую, подскорлуповую (2), скорлуповую.

## Количество образующихся яйцеклеток

Наблюдается такая закономерность: **чем меньше вероятность встречи яйцеклетки и сперматозоида, тем большее число половых клеток образуется в организме.**

Например, рыбы мечут икру (яйцеклетки) и сперматозоиды прямо в воду (**наружное осеменение и оплодотворение**), и количество икринок у некоторых из них достигает громадной величины. Так, треска выметывает около 10 млн икринок.

При **внутреннем оплодотворении** благодаря согласованному поведению самца и самки мужские половые клетки поступают непосредственно в женский организм, вероятность оплодотворения очень высока, и, как следствие, количество половых клеток резко уменьшается.

Очень сильно уменьшено число производимых половых клеток у представителей тех видов, которые **заботятся о потомстве**. Так, число икринок у живородящих рыб не превышает нескольких сотен, а одиночные осы, обеспечивающие будущих личинок кормом — парализованными насекомыми, откладывают всего около десяти яиц.

На количество производимых яйцеклеток влияет множество других факторов. В частности, существует зависимость между размерами яиц и их количеством: чем крупнее яйца, тем их меньше (например, у птиц).

# Оплодотворение

Процесс слияния ядер мужской и женской половых клеток, в результате которого образуется зигота. **Зигота** — это оплодотворённая яйцеклетка, имеющая **диплоидный набор хромосом**. Из неё развивается **зародыш**, который даёт начало новому организму.

## Процесс оплодотворения состоит из нескольких этапов:

- проникновения ядра сперматозоида в яйцо с образованием диплоидной клетки — зиготы,
- слияния гаплоидных наборов хромосом обеих гамет
- активации зиготы к дроблению и дальнейшему развитию.

## Проникновение сперматозоида в яйцеклетку

Яйцеклетки выделяют вещества, активирующие движение сперматозоидов. Сперматозоид движется к яйцеклетке благодаря **хемотаксису и реотаксису** (движение против тока жидкости).

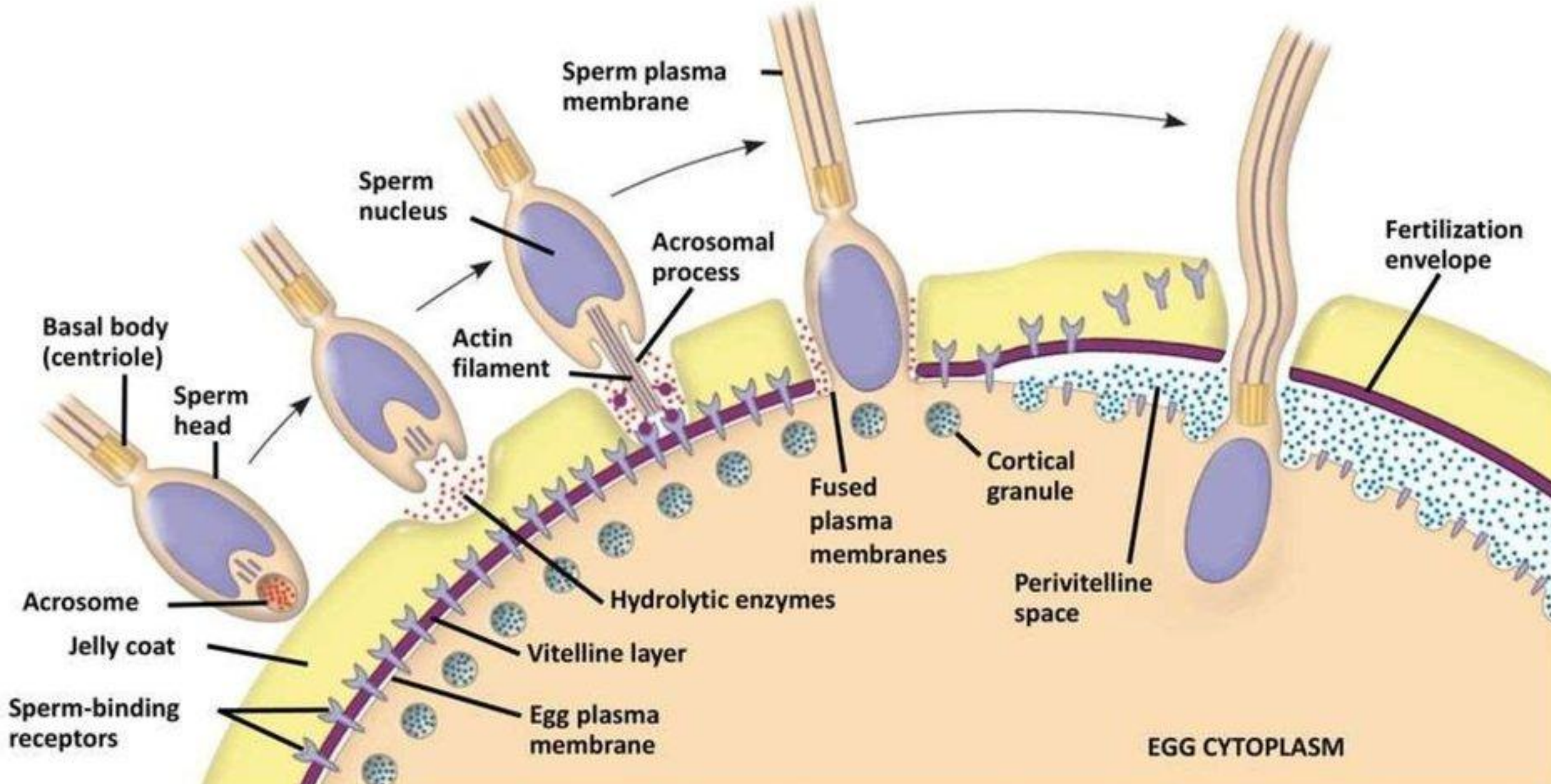
При контакте сперматозоида с оболочкой яйцеклетки содержимое **акросомы** путём **экзоцитоза** выводится на поверхность этой оболочки. Под действием гидролитических ферментов происходит **акросомная реакция** — оболочка яйцеклетки в месте контакта со сперматозоидом растворяется, а специальные белки обеспечивают проникновение головки сперматозоида внутрь яйцеклетки.

В момент проникновения сперматозоида в цитоплазму яйцеклетки на её поверхности образуется выпячивание цитоплазмы или **бугорок оплодотворения**. В ооцит проникает головка, шейка, несущая центросому и начальная часть хвостового отдела.

После того как сперматозоид проник в яйцеклетку её **оболочка становится непроницаемой для остальных сперматозоидов.**



# Этапы проникновения сперматозоида в яйцеклетку

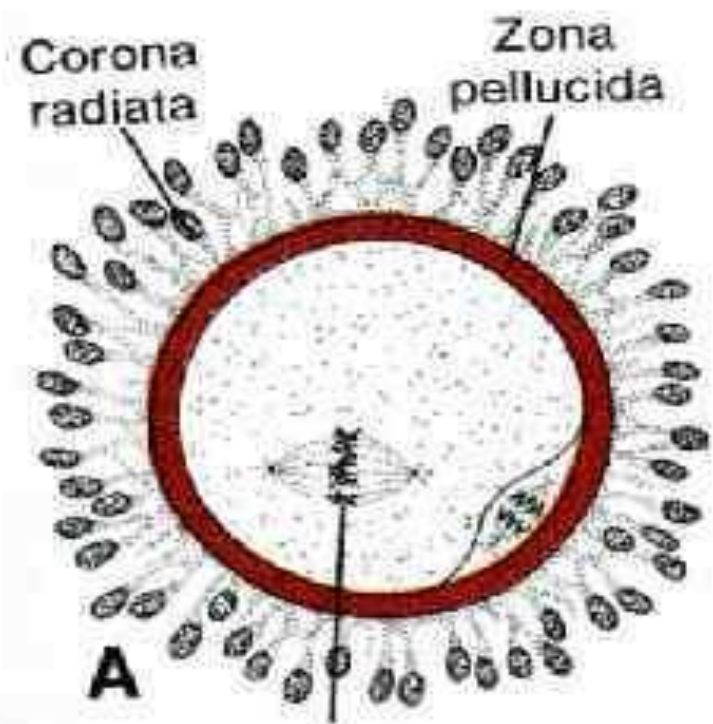


## Слияния гаплоидных наборов хромосом обеих гамет

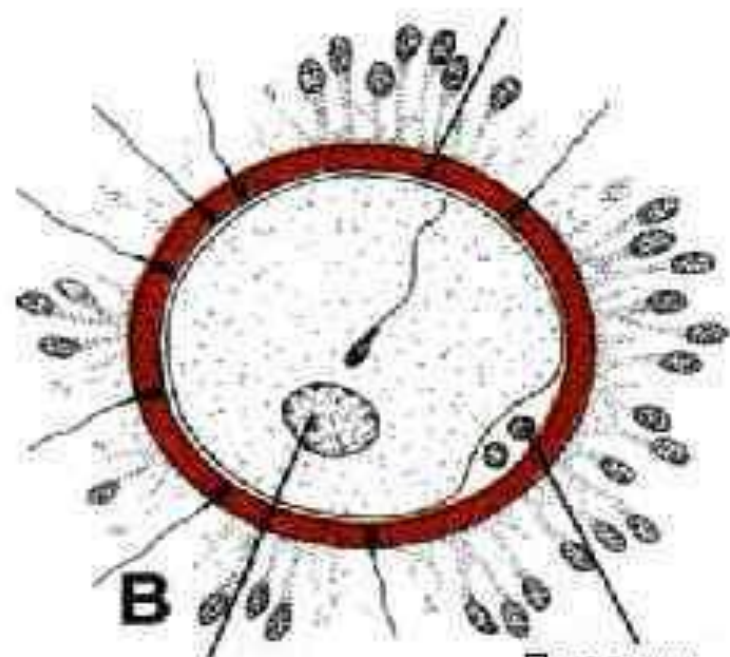
У многих животных ядро сперматозоида вместе с центриолями (обеспечивают образование веретена деления для первого дробления зиготы) проникает в яйцеклетку, когда она находится накануне второго деления мейоза.

Пока **яйцеклетка завершает мейоз**, в ядре сперматозоида (его называют мужской пронуклеус) разрыхляется хроматин, и оно становится способным приступить к **репликации ДНК**.

Образовавшееся гаплоидное ядро яйцеклетки (**женский пронуклеус**) также **готовится к митозу**. Часто независимо друг от друга мужской и женский пронуклеусы проходят и **профазу**, и только во время **прометафазы хромосомные наборы объединяются**.

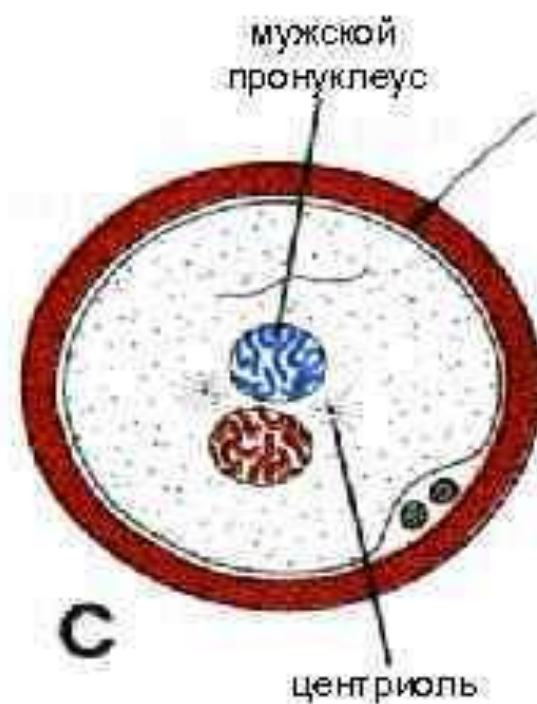


Метафаза II



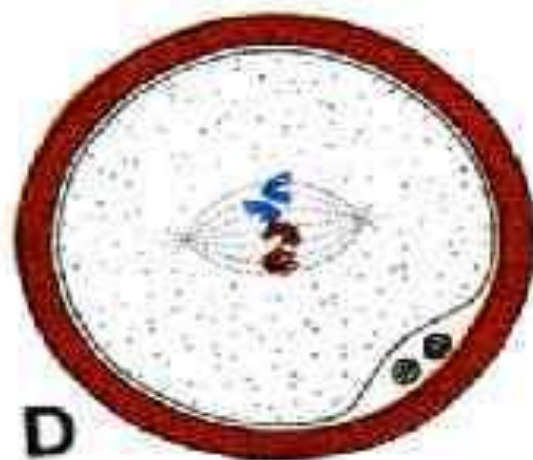
женский  
пронуклеус

Полярные  
тельца

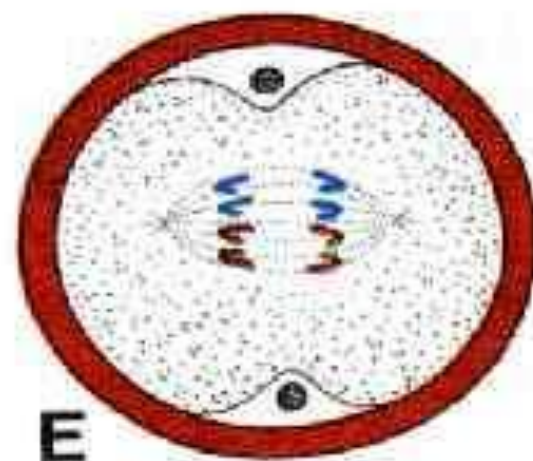


мужской  
пронуклеус

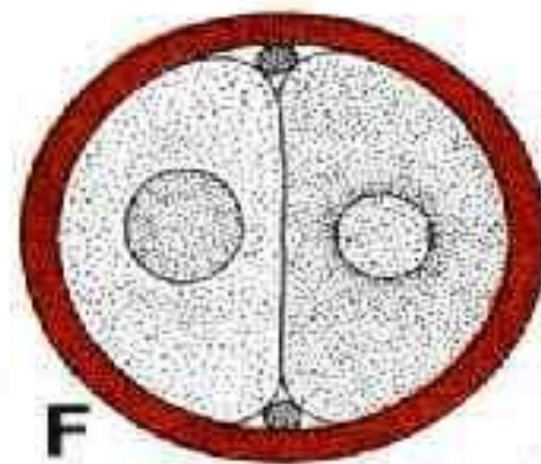
центриоль



D



E



F



## Активации зиготы к дроблению и дальнейшему развитию

Хотя в слиянии с яйцеклеткой участвует только один сперматозоид, оплодотворение может произойти лишь при определенной концентрации сперматозоидов, так как необходима достаточная концентрация фермента, растворяющего оболочку яйцеклетки.

Проникновение сперматозоида в яйцеклетку является сигналом, стимулирующим дробление.

Когда в яйцеклетку только проник сперматозоид в яйцеклетке начинается усиленный синтез белков, которые обеспечивают дальнейшее дробление зиготы.

В результате слияния пронуклеусов формируется **диплоидное ядро зиготы**, которое проходит стадии анафазы и телофазы и готово к дальнейшему делению.

*Зигота*



*2 клітинна стадія*



*4 клітинна стадія*



*8 клітинна стадія*



*Морула*



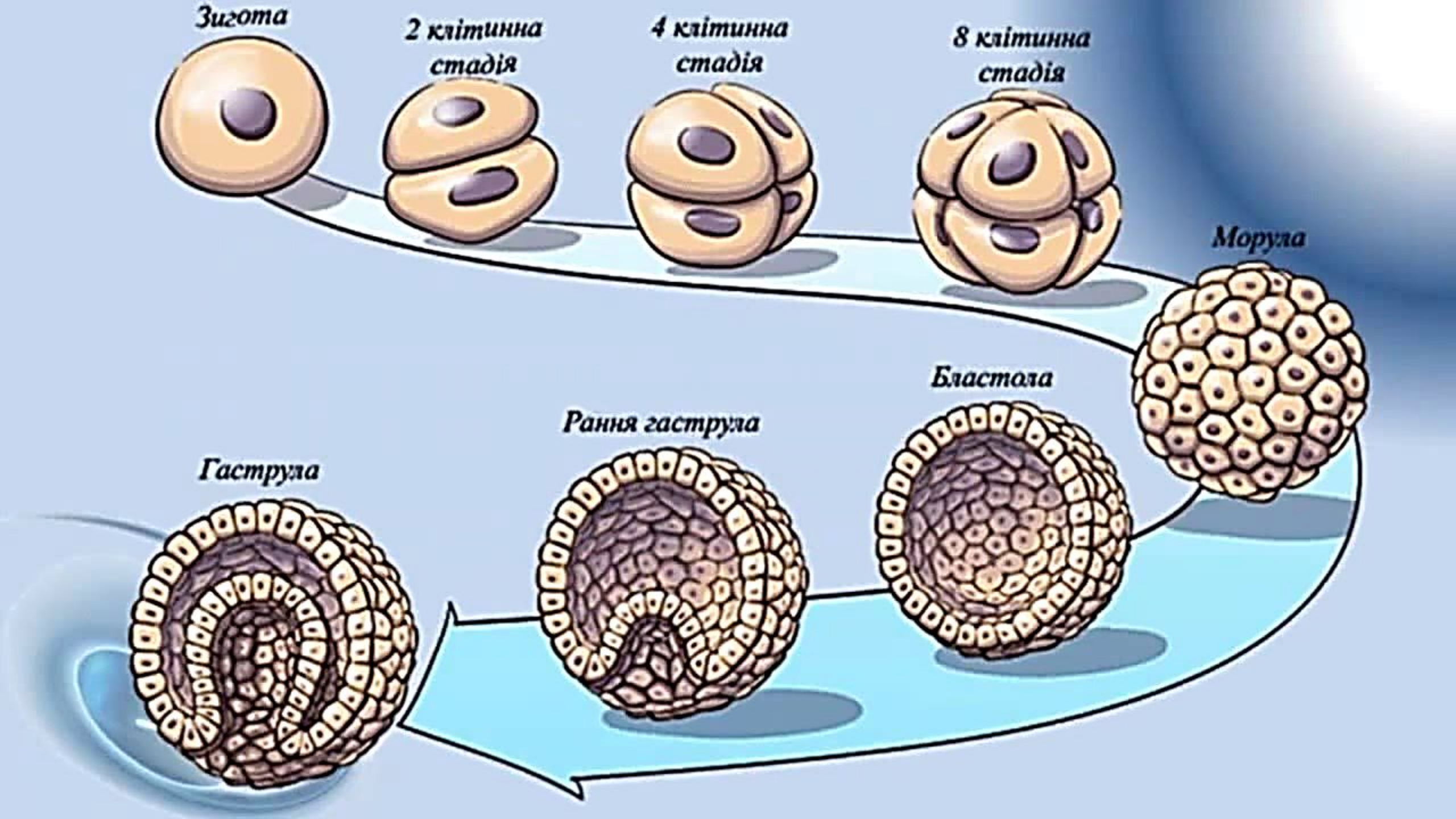
*Бластола*

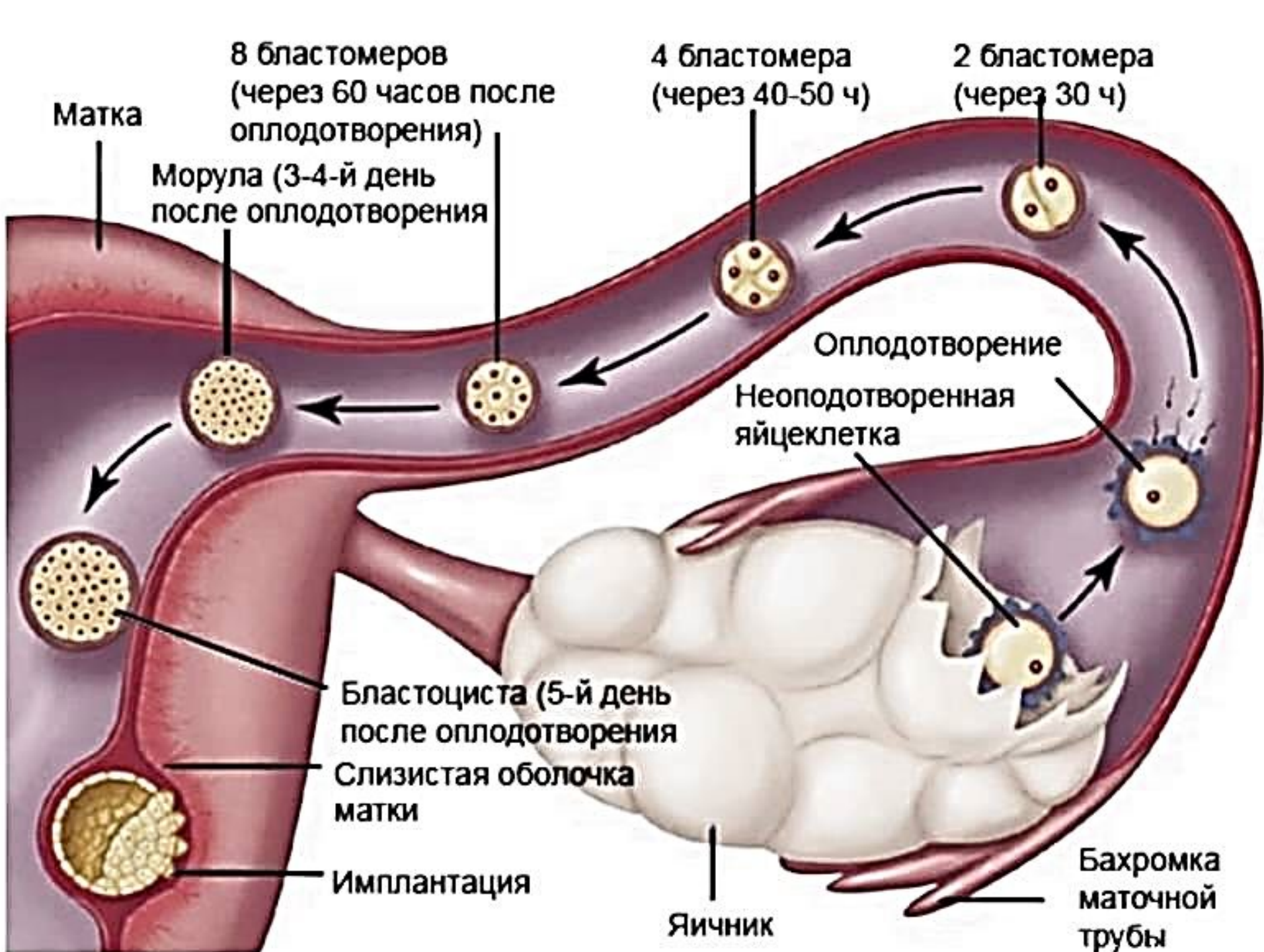


*Рання гаструла*



*Гаструла*





# Андрогенез

У некоторых видов, в частности у тутового шелкопряда, в яйцеклетку могут проникнуть несколько сперматозоидов, но сливается с ядром яйцеклетки в норме только один из них, остальные погибают.

В экспериментах с тутовым шелкопрядом Б. Л. Астауров показал, что, нагревая яйца бабочек в определенный момент их развития, можно добиться **гибели материнского ядра**. В таком случае довольно часто **в цитоплазме яйцеклетки происходит слияние ядер двух проникших в нее сперматозоидов**, и образуется диплоидное ядро, которое и приступает к делению. Полученное в таких опытах потомство наследует исключительно отцовские признаки, несмотря на то что от матери зародыш получил огромную массу цитоплазмы. Развитие зародыша за счет отцовского наследственного материала без участия ядра яйцеклетки носит название **андрогенеза** (греч. andros — мужчина). Эти эксперименты Б. Л. Астаурова и его сотрудников имели большое значение для понимания роли ядра в передаче наследственных свойств организма.