

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ

ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Тема: «Основные понятия и положения классической и современной генетики»

Работу выполнили студенты дефектологического факультета  
115 группы

Машкова Анастасия  
Скворцова Елена  
Кравченко Алена

Руководитель:

Профессор А.Г.Московкина

# Введение в генетику

- Генетика - наука о наследственности и изменчивости, путях управления ими. Наследственность выступает как свойство обеспечения материальной преемственности между поколениями на основе преемственности наследственных задатков и принципов организации наследственного материала. Наследование рассматривается как процесс передачи признаков от одного клеточного или организменного поколения другому в процессе размножения. Выделяют общую, медицинскую, клиническую генетику, генетику человека и генетику микроорганизмов, генетику растений и др.
- Генетика как фундаментальная наука, изучает процессы преемственности жизни на молекулярном, клеточном, организменном, популяционном уровнях.
- Основополагающими для становления генетики как науки явились открытие Г. Менделем законов наследования, создание хромосомной теории наследственности Т. Морганом, мутационная теория де Фриза.

## Также генетика связанная с другими науками

### Связь генетики с антропологией

Генетика человека помогает выявить особенности человека как объекта генетических исследований, играет решающую роль в вопросах изучения наследственности человека. Даёт возможность использования достижений биотехнологии для построения генетических карт человека.

### Связь генетики с медициной

Изучение путей предотвращения генетических заболеваний. Изучает заболевания связанные наследственной предрасположенностью, изучает механизм возникновения злокачественных опухолей. С её помощью разрабатывают современные методы ранней диагностики генетических заболеваний и производят оценку риска генетических заболеваний в популяциях и семьях. Велико значение медико-генетических консультаций и пренатальной диагностики в гинекологии и здравоохранении.

# КЛЕТКА

## **Клетка как генетическая единица живых организмов**

- *В клетке содержится вся генетическая информация любого организма, которая передается дочерним клеткам в результате деления материнской (исходной).*
- *Клетка, как живая система, является открытой саморегулирующейся, через нее проходят, преобразуясь, потоки вещества, энергии и информации.*
- *Диаметр большинства клеток равен приблизительно 0,002 мм, или 10–20 мкм. (Вместе с находящимися в них органоидами — ядром (5–10 мкм), конденсированными хромосомами (200нм, 200 10–9м), митохондриями (1 мкм)).*

# Органические компоненты клетки

Органические вещества – важные и необходимые компоненты клетки, они являются поставщиками энергии, без которой невозможно проявление любой формы жизнедеятельности; они образуют структуры клетки.

Органические соединения составляют в среднем 20-30 % массы клетки живого организма. К ним относятся биологические полимеры – белки, нуклеиновые кислоты и углеводы, а также жиры, гормоны, пигменты, АТФ и многие другие вещества.

Белки – это сложные органические соединения, состоящие из углерода, водорода, кислорода и азота. В некоторых белках содержится еще и сера. Часть белков образует комплексы с другими молекулами, содержащими фосфор, железо, цинк и медь. Молекулы белков – цепи, построенные из аминокислот, – очень велики; это макромолекулы, молекулярная масса которых колеблется от нескольких тысяч до нескольких миллионов.

Каждый белок характеризуется только ему присущей последовательностью аминокислот – первичной структурой. Число возможных первичных структур практически не ограничено. Скручивание аминокислотной цепочки в виде спирали в соответствии с физико-химическими свойствами различных аминокислот называется вторичной структурой, а ее сворачивание на определенных участках, которая придает ей точную трехмерную конфигурацию глобулы (клубок) или фибриллы (пучок нитей), – третичной.

При росте и делении клетки в ней образуются новые вещества (Поэтому одна из важнейших функций клетки – синтез структурных белков и белков-ферментов.).

Структурные белки образуют антитела, гормоны, миофибриллы, гемоглобин; входят в состав хромосом, мембран, митохондрий, рибосом. (выполняют функции: двигательную; защитную, транспортную, регуляторную, рецепторную, энергетическую).

Белки-ферменты выполняют каталитическую функцию и ускоряют или замедляют скорость биохимических реакций.

# Структурные компоненты клетки и их функции

Компоненты клетки находятся в цитоплазме.

Цитоплазма окружена цитоплазматической мембраной, состоящей из двойного слоя липидных молекул.

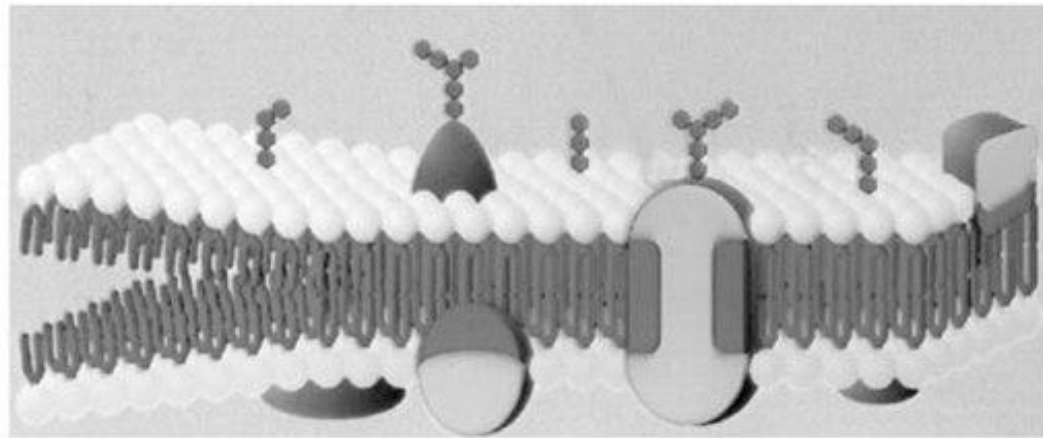


Рис. 4. Схема строения плазматической мембраны

Цитоплазматическая мембрана выполняет важные функции: структурную (входит в состав различных органоидов), барьерную (избирательно проницаема), регуляторную (обменные процессы протекают на мембранах), опорную (создает каркас клетки), защитную, рецепторную.

# Ядро

Основными функциями ядра являются: — Хранение, реализация и передача наследственной информации.

Составляющие ядра:

- Хроматин — это интенсивно красящиеся гранулы ядра. Представляет собой комплекс ДНК и гистоновых (основных) белков — дезоксирибонуклеопротеид (ДНП). В процессе клеточного деления, хроматин спирализуется, плотно упаковывается гистоновыми белками и интенсивно окрашивается, распадаясь хромосомы.
- Ядрышки — тельца шаровидной формы, не окружены мембраной, не являются самостоятельным органоидом. Состоят из РНК и формируются участками спутничных хромосом (13–15-й и 21–22-й парами) — ядрышковыми организаторами. В ядрышках формируются рибосомы. Ядрышки можно обнаружить только в неделящихся клетках. В момент деления клетки они растворяются и их р-РНК переходит в цитоплазму.
- Ядерный сок, или кариоплазма — представляет собой бесструктурную массу, в которой содержатся белки, свободные нуклеотиды, РНК, аминокислоты, АТФ, субъединицы рибосом, промежуточные продукты обмена. Через кариолимфу осуществляются обменные процессы между ядром и цитоплазмой.

**Гистоны** – основные белки, участвующие в процессе компактизации ДНК.

Негистоновые белки выполняют функцию белков-регуляторов, узнающих определенные последовательности ДНК.

Генетический материал содержится также в— митохондриях. В них протекают окислительно-восстановительные реакции, обеспечивающие необходимой энергией в виде АТФ обменные процессы в клетке.

Эндоплазматическая сеть (ЭПС), образованная мембранами проникает в цитоплазму, поделив ее на ячейки — компартменты. Контактует с ядром и наружной мембраной, со всеми органоидами клетки. Делится на гранулярную (лат. *granit* — зерно) с рибосомами на наружной поверхности мембран и агранулярную, не содержащую рибосом.

Осуществляет синтез белков, жиров и угле- водов, транспорт и обмен веществ внутри клетки.

Аппарат Гольджи состоит из диктиосом (гр. *diktion* — сеть + *soma* — тело), структур, имеющих мембранное строение и образующих замкнутые каналы с расширениями (цистернами) на концах, от которых отделяются пузырьки — вакуоли и лизосомы. Его функциями являются модификации, сортировка, упаковка, транспорт и секреция различных веществ, формирование лизосом — мембранных мешочков с гидролитическими (гр. *hydor* — вода + *lysis* — растворение) ферментами, участие в образовании клеточной стенки при делении клеток.

Клеточный центр, состоит из двух центриолей,. Каждая центриоль представляет собой цилиндр, имеющий по окружности 9 комплектов по три трубочки. Выполняют функцию — растягивания хромосом в дочерние клетки в процессе деления клеток.



## *Организация наследственного материала*

Переход к генетическим исследованиям на микроорганизмах позволил генетике перейти на молекулярный уровень исследований и создать новую теорию гена. Суть открытия Д. Бидла и Э. Татума заключалась в том, что каждый ген контролирует образование, функционирование и специфичность одного определенного фермента: один ген — один фермент. Позднее понятие о функциях гена значительно расширилось, а формулировка Д. Бидла и Э. Татума трансформировалась в определение «один ген — одна полипептидная цепь». В 50-е годы благодаря работам С. Бензера с бактериофагом было окончательно доказано положение Менделя, что ген является дискретной единицей. Выяснилось, что ген делим. Элементарной структурной единицей гена считается пара нуклеотидов, а функциональной единицей — триплет (кодон). Таким образом, как единица наследственности ген неделим лишь в отношении своей первичной функции — хранения и передачи информации о первичной структуре полипептида. Гены располагаются в особых структурах — хромосомах, представляющих собой комплекс ДНК и белков. В соматических клетках человека 23 пары хромосом — диплоидный набор. В половых клетках содержится гаплоидный набор хромосом.

## **Строение и функции нуклеиновых кислот**

Нуклеиновые кислоты, существующие в двух формах, ДНК и РНК, хранят и передают наследственную информацию. В клетке ДНК локализованы преимущественно в хромосомах, частично в митохондриях. РНК входят в состав рибосом, диффузно распределяются по ядру и цитоплазме. Нуклеиновые кислоты состоят из нуклеотидов. Существуют три типа РНК: информационная (и-РНК), транспортная (т-РНК) и рибосомальная (р-РНК).

*Таблица 1*

**Химический состав молекул ДНК и РНК**

Составные элементы	ДНК	РНК
Азотистые основания (пурины)	Аденин Гуанин	Аденин Гуанин
Азотистые основания (пиримидиновые)	Цитозин Тимин	Цитозин Урацил
Остатки кислоты	Фосфорная кислота	Фосфорная кислота
Сахар	Дезоксирибоза	Рибоза

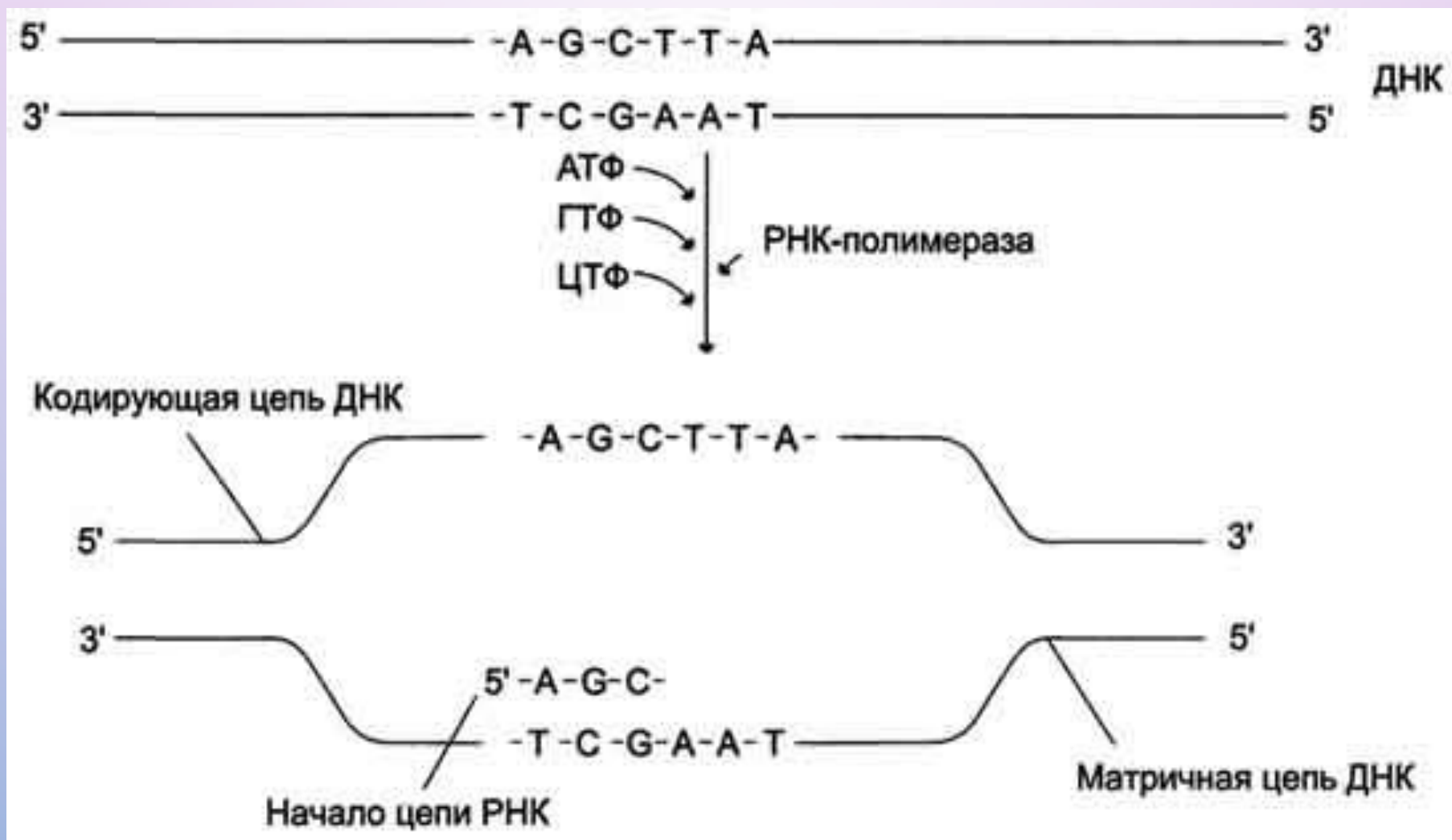
## ***Механизмы репликации и синтеза белка***

Каждая из двух цепей молекулы ДНК служит матрицей для дочерней молекулы. Весь геном клетки реплицируется один раз за период времени, соответствующий одному митозу.

Информация, первоначально закодированная в специфической последовательности нуклеотидов ДНК, подвергается транскрипции в специфическую последовательность нуклеотидов и-РНК, а затем трансляции, т.е. перекодированию в определенную последовательность аминокислот в молекуле белка. Следовательно, трансляция — это перевод последовательности нуклеотидов иРНК в последовательность аминокислот полипептида.

Синтез полипептидной цепочки на нити и-РНК происходит следующим образом:

а) т-РНК доставляет аминокислоты в большую субъединицу рибосомы и временно присоединяется к кодону и-РНК в аминоацильном центре своим антикодоном. Рибосома передвигается на один кодон и-РНК и т-РНК с аминокислотой перемещается в пептидильный центр рибосомы. В аминоацильный центр приходит новая т-РНК с аминокислотой. Между аминокислотами устанавливается пептидная связь, а связи между первой аминокислотой и ее т-РНК и между т-РНК и и-РНК разрушаются и т-РНК освобождается и уходит за новой аминокислотой.



## ***Генетический код***

Генетическая информация кодируется последовательностями нуклеотидов в нуклеиновых кислотах с помощью 4 символов — нуклеотидов, так же как информация книги шифруется при помощи букв. В.

Генетический код был полностью расшифрован к 1966 г. В его расшифровке принимали участие ведущие ученые всего мира. Он имеет следующие основные характеристики: 1. Триплетность — каждая аминокислота зашифрована последовательностью из трех нуклеотидов (триплетом или кодоном).

2. Вырожденность (избыточность) — большинство аминокислот шифруются более чем одним кодоном (от 2 до 6).

3. Неперекрываемость — один и тот же нуклеотид не может входить одновременно в состав двух соседних кодонов.

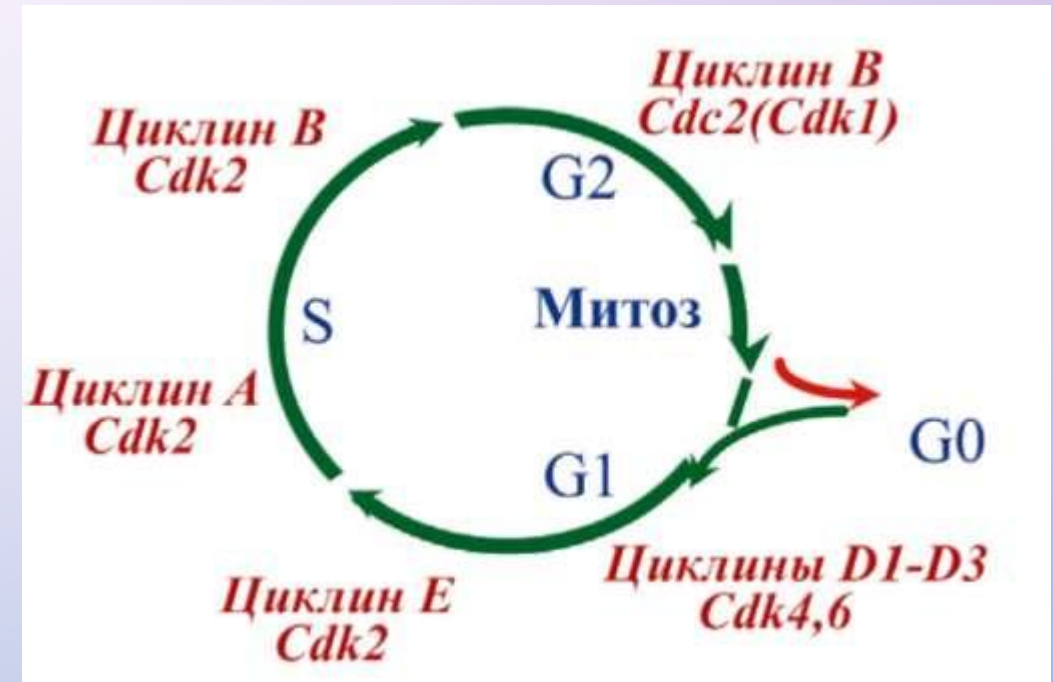
4. Универсальность — характерен для всех организмов живой природы. Универсальность генетического кода свидетельствует о единстве происхождения всех живых организмов.

## ***Практическое использование данных молекулярной генетики***

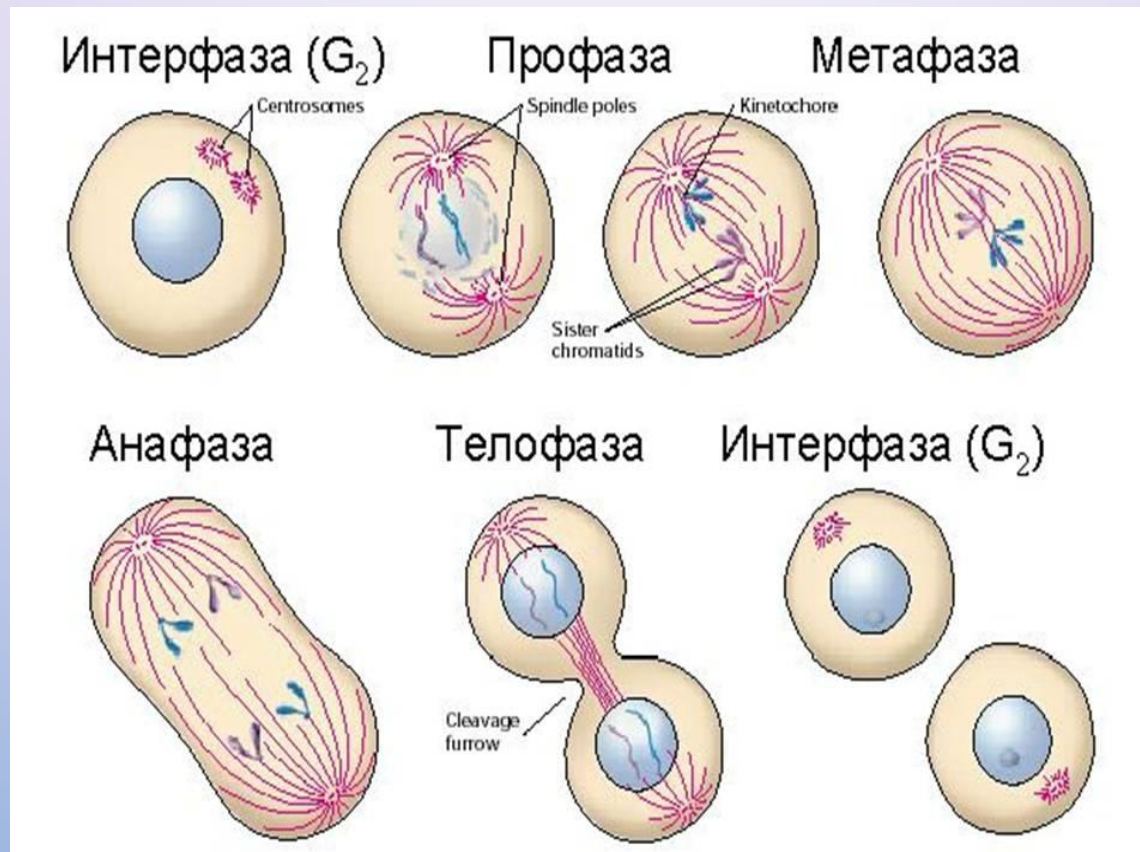
Последние достижения молекулярной генетики в совокупности с другими науками (цитология, микробиология) нашли широкое применение в генной инженерии и геномике. Генная инженерия — это совокупность приемов, методов и технологий получения рекомбинантных РНК и ДНК, выделения генов из организма (клеток), осуществления манипуляций с генами и введения их в другие организмы. Геномика — раздел молекулярной генетики, посвященный изучению генома и генов живых организмов. Геномика сформировалась как особое направление в 1980–1990-х гг. вместе с возникновением первых проектов по определению нуклеотидной последовательности ДНК, с помощью расщепляющих ее ферментов — секвенированию геномов некоторых видов живых организмов. Первым был полностью секвенирован геном бактериофага в 1980.

## Клеточный цикл

Генетическая преемственность между поколениями клеток организма обеспечивается посредством митоза: образования дочерних клеток с идентичным хромосомным набором, точно таким же, как и у родительской клетки. Митоз обеспечивается двумя основными механизмами: продольным делением предварительно удвоенных хроматид, и образованием веретена деления, как аппарата, обеспечивающего правильное расположение и расхождение дочерних хромосом по ядрам обеих дочерних клеток. Благодаря этому дочерние клетки оказываются с равным количеством ДНК, что обеспечивает постоянство генотипа клеток в ряду клеточных поколений организма (наследственность). У организмов, размножающихся половым путем, носителями генетической информации являются половые клетки. Половой процесс обеспечивает обмен наследственной информацией между индивидами. Такой механизм обуславливает не только сходство (наследственность), но и различия между потомками и родителями, а также потомков между собой (изменчивость). Совокупность взаимосвязанных событий, происходящих в клетке в период подготовки к делению (интерфазе), а так же на протяжении собственно деления клетки — митоза, называется клеточным циклом. В среднем продолжительность этого цикла у разных клеток составляет 12–24 часа.



**Митоз** — это основной способ деления соматических клеток. Непрерывный процесс митоза условно делят на четыре стадии: профаза, метафазу ; анафазу и телофазу. Митоз выполняет функцию поддержания преемственности и постоянства видоспецифического набора хромосом — кариотипа в последовательных поколениях делящихся клеток.



## Мейоз

Сохранение видоспецифического набора хромосом у индивидов одного вида в ряду поколений обеспечивается разновидностью митоза — мейозом, в процессе которого осуществляется: — уменьшение числа хромосом в два раза, что определяет гаплоидный (одинарный) набор хромосом в половых клетках в первом (редукционном) делении мейоза; — восстановление диплоидного (двойного) числа хромосом при оплодотворении, когда происходит объединение гаплоидных наборов хромосом мужской и женской половых клеток. Мейоз — тип деления особых соматических клеток половых желез, в результате которого, образуются половые клетки (гаметы). В процессе двух последовательных делений (I-го и II-го) исходных диплоидных клеток образуются четыре дочерние клетки с уменьшенным вдвое (гаплоидным) хромосомным набором по сравнению с материнской клеткой. Мейоз состоит из двух делений: I-го — редукционного, уменьшающего число хромосом вдвое, и II-го — эквационного сходного с митотическим. В мейозе, как и митозе, различают четыре стадии: профазу, метафазу, анафазу и телофазу. Этим стадиям предшествует интерфаза. Процесс полового размножения дает большие преимущества для эволюции живых организмов по сравнению с бесполом. При половом процессе возможны множественные генетические рекомбинации родительских генов, иногда способствующие появлению более приспособленных организмов. Адаптивные комбинации генов значительно чаще возникают у человека за счет рекомбинаций родительских генов, чем, например, в результате редких мутаций.

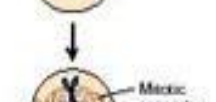


# МИТОЗ



Somatic cell (2n)

DNA replication



Daughter cells (2n)

Деление  
клетки

Дочерние клетки  
(2n)

репликация  
ДНК

# МЕЙОЗ



Premeiotic germ cell (2n)

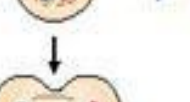
DNA replication



Homologous chromosomes align



кроссинговер



Gametes (1n)

Первое  
мейотическое  
деление клетки

Второе  
мейотическое  
деление клетки

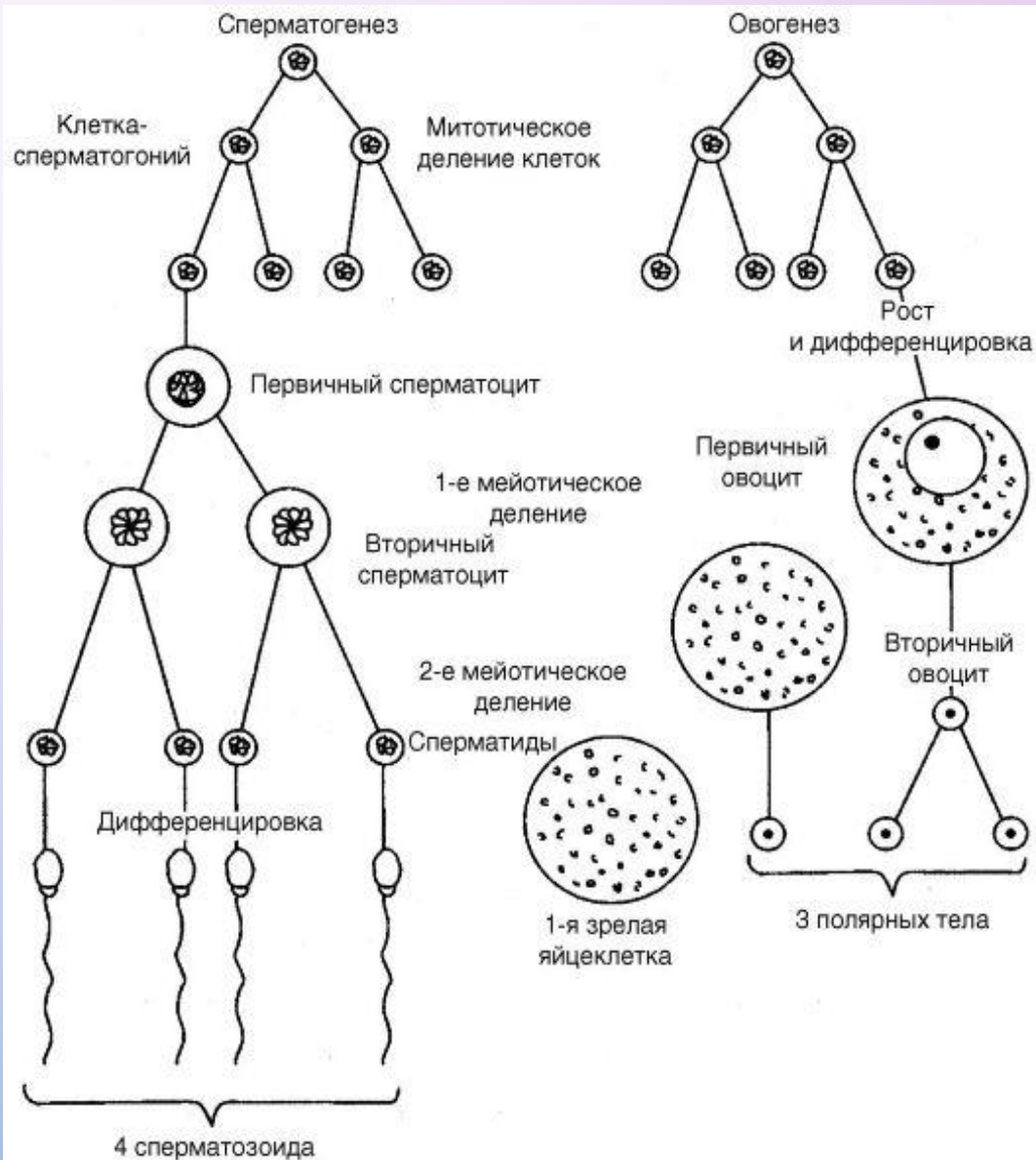
Гаметы (1n)

## Патология клеточного деления

Нарушения нормального течения деления генетического материала приводят к неправильному распределению хромосом между дочерними клетками и возникновению клеток с несбалансированным кариотипом. Подобные хромосомные мутации называются анеуплоидией (гетероплоидией) и, возникнув в соматических клетках взрослого человека, могут вызывать у него различные заболевания, например, онкологические. Возникнув в зародышевых клетках, (зи-готические мутации) они могут быть причиной мозаичных форм хромосомных болезней, например, мозаичной формы синдрома Дауна. Одним из механизмов анеуплоидии может являться нерасхождение хромосом, например, нерасхождение 21-й пары хромосом при синдроме Дауна. Сестринские хроматиды не разъединяются и отходят вместе к одному полюсу. Это приводит к увеличению хромосомного набора одного из дочерних ядер и уменьшению другого на одну хромосому. Это может происходить в связи с нарушением разъединения центромер, либо с частичной дезорганизацией нитей веретена деления. Все клетки, потомки мутантной с тремя хромосомами 21, также будут трисомными. Отклонения в развитии могут быть обусловлены нерасхождением в мейозе аутосом. Как уже говорилось выше, наличие в кариотипе трех хромосом 21 связано с трисомией 21, или синдромом Дауна. Трисомия по 18 хромосоме (синдром Эдвардса) приводит к грубым врожденным порокам развития и гибели ребенка в основном в младенческом и реже, раннем возрасте. Трисомия по 13 хромосоме (синдром Патау) приводит к таким же тяжелым последствиям, как и синдром Эдвардса. Вероятность рождения детей с указанными недостатками повышается с возрастом родителей и, особенно, матери. Установлено, что чем старше родители, тем большая вероятность нерасхождения хромосом при образовании половых клеток.

# Гаметогенез

Гаметы — половые клетки: женские — яйцеклетки, мужские — сперматозоиды, обеспечивающие передачу наследственной информации от родителей детям. Гонады — половые железы, образующие половые клетки: женские — яичники, мужские — семенники. Гаметогенез — это процесс образования мужских и женских половых клеток. У женщин — это овогенез, у мужчин — сперматогенез.



## *Основные закономерности наследования*

Основоположником генетики как науки является австрийский естествоиспытатель Грегор Иоганн Мендель (1822–1884). С открытия законов наследования Г. Менделем начинается история генетики. Скрещивая растения гороха, различающиеся по альтернативным признакам, Мендель сформулировал и обосновал идею о существовании дискретных (не смешивающихся) наследственных факторах. В 1909 году Вильгельм Иогансен предложил для них термин «гены». Законы Менделя являются универсальными для всех живых организмов, размножающихся половым путем, и имеют статистический характер, т.е. выполняются только на большом количестве объектов. Не меньшая заслуга в становлении генетики принадлежит Т. Моргану и его школе. Можно считать, что эти ученые заложили фундамент генетики как науки.

## **Опыты Менделя**

*Успех Менделя во многом определялся не только его «научным генотипом», но и удачным выбором объекта исследования — гороха. Горох является самоопылителем, поэтому его цветки надежно защищены от попадания посторонней пыльцы, что позволяет работать с чистыми линиями растений. Гибриды, полученные от искусственного скрещивания чистых линий, плодовиты. Благодаря этому Мендель получил возможность изучать наследование отдельных признаков в ряду поколений, с помощью разработанного им гибридологического анализа. Достоинствами разработанного Менделем метода являлись количественный анализ характера наследования признаков от каждой родительской пары в каждом поколении; использование для оценки результатов статистических методов, введение математической символики, буквенных обозначений признаков и наследственных факторов (генов) в схемы скрещиваний.*

**I закон Менделя (закон единообразия гибридов первого поколения или правило доминирования)** – при моногибридном скрещивании у гибридов первого поколения проявляются только доминантные признаки – оно фенотипически единообразно

**II закон Менделя (закон расщепления)** – в потомстве, полученном от скрещивания гибридов первого поколения, наблюдается явление расщепления: четверть особей из гибридов второго поколения несёт рецессивный признак, три четверти – доминантный

**III закон Менделя (закон независимого расщепления или закон независимого комбинирования признаков)** – при дигибридном скрещивании у гибридов каждая пара признаков наследуется независимо от других и даёт с ними разные сочетания. Образуются фенотипические группы, характеризующиеся отношением 9:3:3:1 (расщепление по каждой паре генов идёт независимо от других пар генов)

Аллель — одна из нескольких форм гена, а генотип — набор аллелей определенных генов в конкретном организме.

# Изменчивость

Изменчивость — это универсальное свойство живых организмов приобретать новые свойства или утрачивать прежние в ходе онтогенеза.

Степень фенотипического проявления гена называется экспрессивностью. Она зависит от факторов внешней среды и влияния других факторов.

Частота проявления генов называется пенетрантностью.

Изменчивость в виде мутаций — обеспечивает материал для отбора наиболее приспособленных организмов, с другой, является фактором наследственной патологии, формируя популяционный генетический груз.

## Виды изменчивости

**Наследственная (или генотипическую) —**

— определенная, индивидуальная, наследственная. Она подразделяется на комбинативную (рекомбинационную) и мутационную.

Комбинативная изменчивость. Этот вид изменчивости, связан с перекомбинацией родительских генов и появлением у потомков новых признаков в результате: — кроссинговера, приводящего к образованию групп сцепления с новой комбинацией аллелей — рекомбинации; — независимого расхождения хромосом в профазе мейоза; — случайного комбинирования гамет при оплодотворении.

Мутационная изменчивость возникает в связи с мутациями. Мутации — это нарушения генетического материала, имеющие стойкий характер, возникающие внезапно, скачкообразно под влиянием внешней или внутренней среды, и влияющие на признак

Процесс образования мутаций называется мутагенезом, а факторы, способствующие их возникновению — мутагенами.

### Классификации мутаций

По другим принципам	По генотипу		
Направлению: Прямые, обратные	Генные	Хромосомные	Геномные
Жизнеспособности: нейтральные, супервитальные, летальные	Вставки (инсерции)	Делеции	Полиплоидия
Механизму возникновения: спонтанные, индуцированные	Делеции, дефишенсы	Транслокации	Гаплоидия
Типу клеток: соматические, гаметические, зиготические	Перестановки	Дупликации	Анеуплоидия (гетероплоидия)
Времени возникновения: новые и унаследованные		Замены	Инверсии
Локализации: ядерные и цитоплазматические (плазмонные)	Экспансия тринуклеотидов	Инсерции	Моносомия
		Парентеральная дисомия	Нулисомия



**Генные мутации** - это мутации, в результате которых изменяются отдельные гены и появляются новые аллели. Генные мутации связаны с изменениями, происходящими внутри данного гена и затрагивающими его часть.

**Геномные мутации** - это мутации, которые приводят к добавлению либо утрате одной, нескольких или полного гаплоидного набора хромосом

**Анеуплоидия** (гетероплоидия) — некратное гаплоидному изменение числа хромосом.

Хромосомные мутации (перестройки, аберрации). -обусловлены нарушением структуры хромосом принято делить на внутри хромосомные(относятся: дупликация — удвоение участка хромосомы в гаплоидном наборе хромосом) и межхромосомные.

**Делеция** (нехватка) — выпадение после разрывов внутреннего фрагмента хромосомы, дефишенси — нехватка и потеря концевых участков хромосомы.

**Инверсия** — поворот участка хромосомы на 180° с последующим соединением разрывов в новом порядке. Инверсии подразделяются на перичентрические и парацентрические в зависимости от того, одно или оба плеча вовлечены в перестройку.

К меж хромосомным перестройкам относятся транслокации — структурные изменения хромосом, в ходе которых хромосомный сегмент переносится в другую хромосому, либо происходит обмен двумя сегментами между гомологичными или негомологичными хромосомами. Обмен может происходить между двумя и более хромосомами.

а) При нерасцепленном обмене (транспозиции) — участок хромосомы изменяет свое положение или включается в другую хромосому без взаимного обмена.

б) Робертсоновская транслокация (центрическое слияние) — слияние двух центромер акроцентрических хромосом с образованием одной хромосомы после разрыва хромосом в околоцентромерном районе, причем одна центромера инактивируется.

в) Плазмонные мутации — это мутации в плазмогенах в ДНК митохондрий.

## **Ненаследственная (неопределенную) -**

Модификационная (фенотипическая) изменчивость связана с реакцией одного и того же генотипа на изменение внешних условий, в которых протекает развитие организмов и которые создают различия в формах его проявления. Один и тот же генотип проявляется в разных фенотипах.

**Фенотипическую изменчивость** - возникает под воздействием факторов внешней среды и присуща большим группам индивидов. Фенотипич. Измен бывает: онтогенетическая (фенотип организма меняется на протяжении всей жизни, в то время как генотип не меняется, а происходит лишь переключение активности генов.) и модификационная ( возникает под влиянием средовых факторов, не изменяющих генотип, и носит адаптивный характер, однако ее размах определяется генотипом, т.е. генетически обусловленной нормой реакции. Норма реакции — это совокупность условий, определяемых генотипом, которые во взаимодействии со средой управляют развитием организма).

## *Использованная литература*

- 1) Мастюкова Е.М., Московкина А.Г. Основы генетики: Клинико-генетические основы коррекционной педагогики и специальной психологии: Учеб. пособие для студ. пед. высш. учеб. заведений / Под ред. В.И. Селиверстова, Б.П. Пузанова  
  
— М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2003.  
— 368 с. — (Коррекционная педагогика).
- 2) Генетика. Энциклопедический словарь  
Авторы: Елена Макеева, Анна Мезенко,  
Николай Картель . 2011 год.