

Оренбургский государственный медицинский университет

Кафедра Биологии

Дисциплина Биология

Лекция № 3.

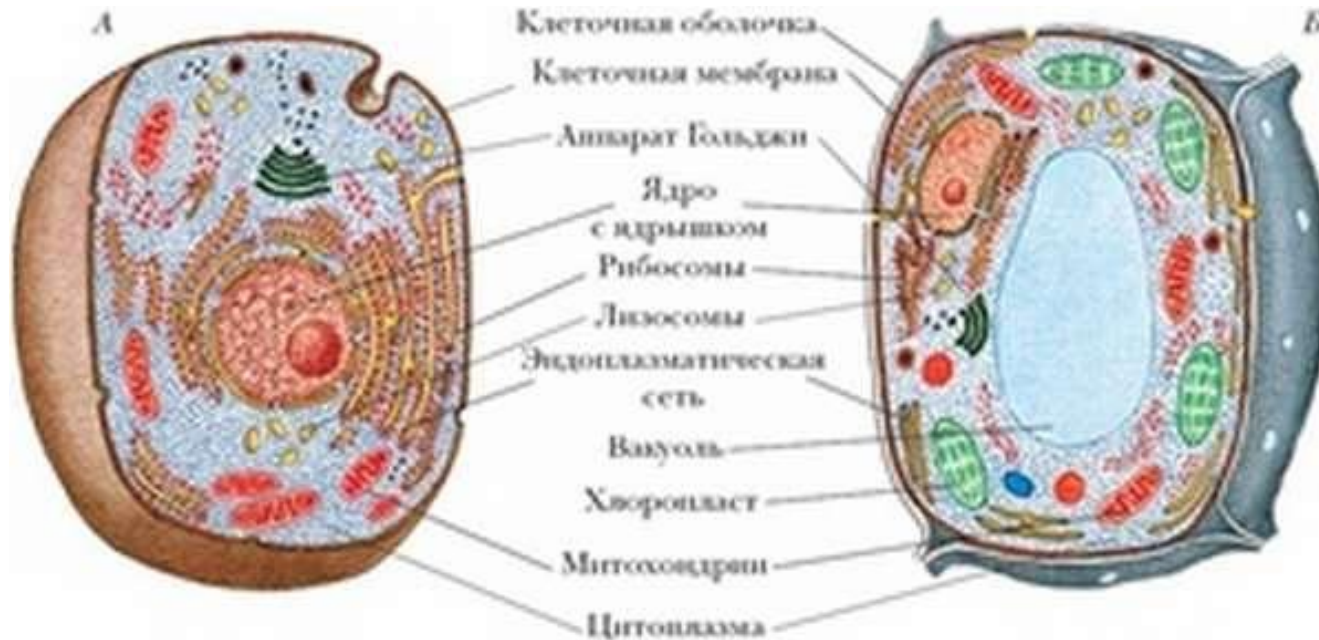
Строение ядра. Уровни укладки хроматина.

Кариотип.

Доцент кафедры биологии, к.б.н.

Тихомирова Галина Михайловна

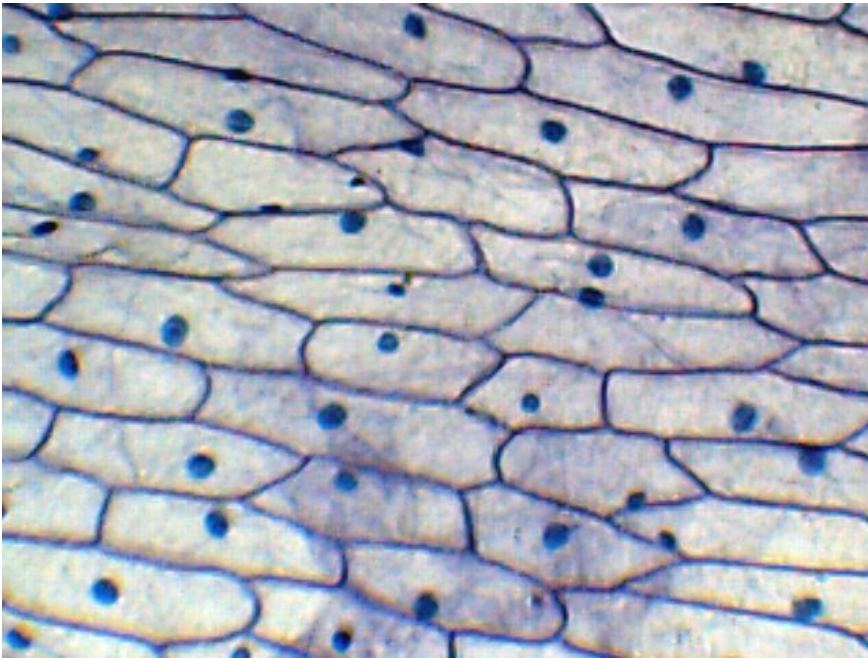
Основные структурные компоненты эукариотических клеток.



Строение животной (А) и растительной (Б) клеток

Ядро	Цитоплазма	Цитоплазматическая мембрана (Плазмолемма)
------	------------	---

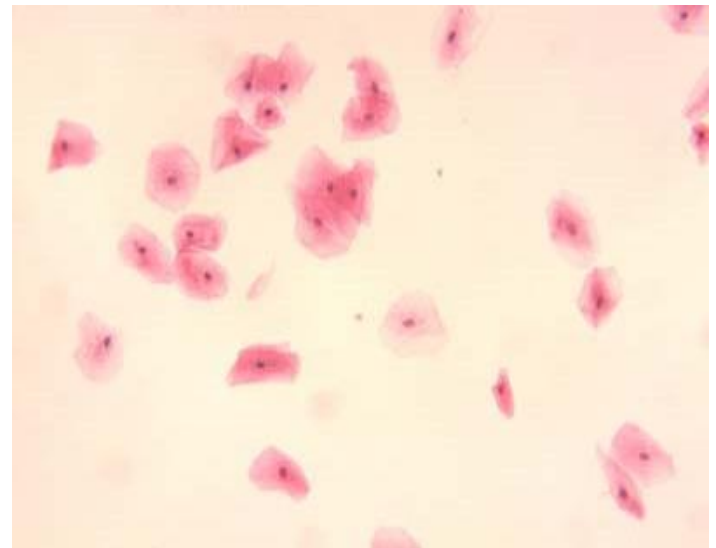
Ядро клетки было открыто в 1831 г. английским ботаником *Робертом Брауном*. Он открыл его в клетках кожицы орхидных



Клетки пленки чешуи лука

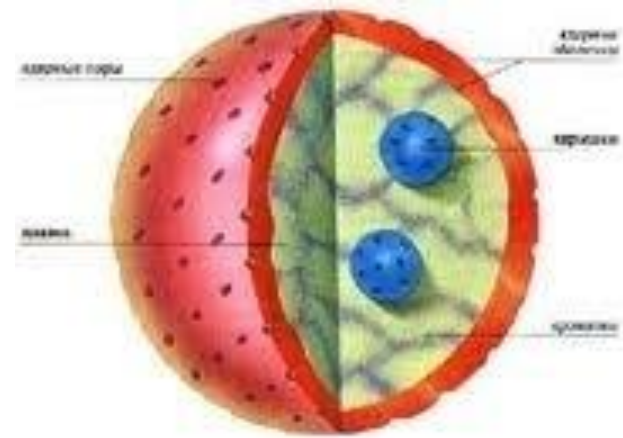
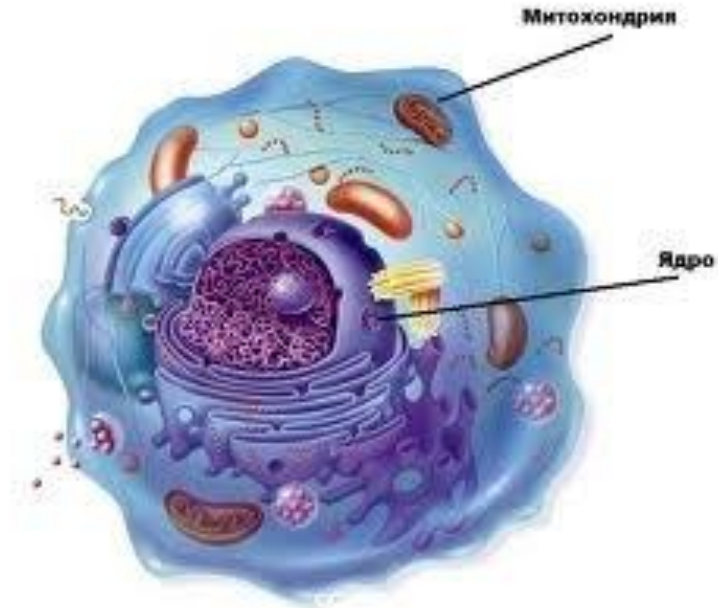


Р. Браун



Клетки слизистой эпителия щеки

Функции ядра



- **Хранение генетической информации.**
- **Передача генетической информации.**
- **Реализация генетической информации.**

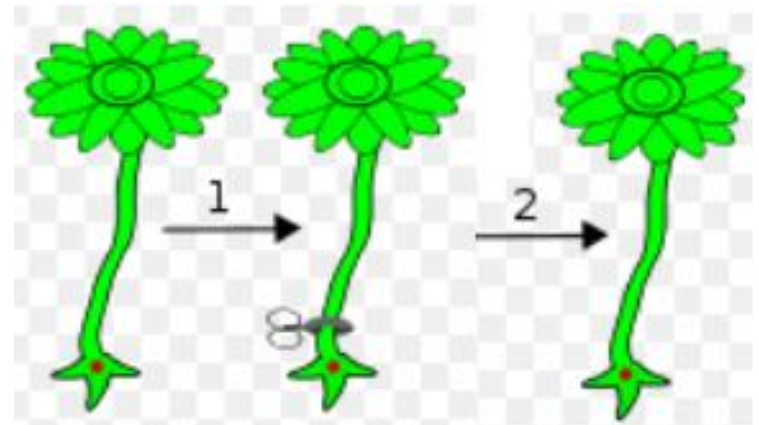
Каков механизм выполнения этих функций?

- ***Хранение генетической информации*** – заключается в поддержании в неизменном состоянии структуры ДНК. Это достигается за счет процессов репарации, репликации и рекомбинации (кроссинговер).
- ***Передача генетической информации*** – реализуется в ходе митоза и мейоза.
- ***Реализация генетической информации*** – осуществляется через синтез белков в ходе транскрипции и трансляции.

Доказательства роли ядра в передаче наследственной информации

Опыты Геммерлинга

Объект опыта: одноклеточная водоросль (*Acetabularia*), имеющая форму гриба (шляпка, стебелек, корни). Ядро располагается в основании «стебелька». Если перерезать ножку, то нижняя часть продолжает жить, регенерирует шляпку и полностью восстанавливается после операции. Верхняя же часть, лишенная ядра, живет в течение некоторого времени, но, в конце концов, погибает, не будучи в состоянии восстановить нижнюю часть. Следовательно, ядро необходимо для метаболических процессов, лежащих в основе регенерации и соответственно роста.

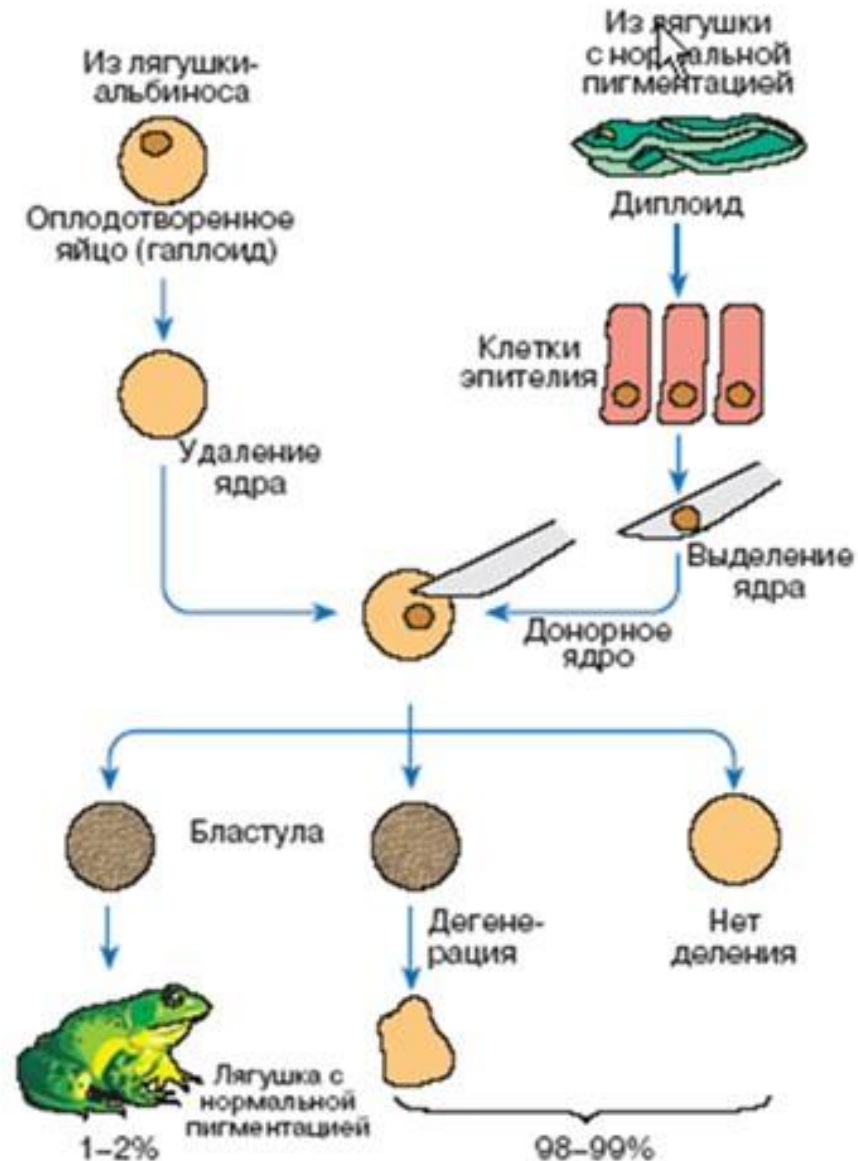


Опыты с яйцеклетками лягушек

Объект: два подвида лягушек.

У одного из них (1 подвида) из яйцеклетки удаляли собственное ядро и на его место вносили ядро 2 подвида. В результате из такой яйцеклетки развивались лягушки с признаками 2 подвида.

Таким образом, за хранение и передачу наследственной информации в клетке отвечает ядро.



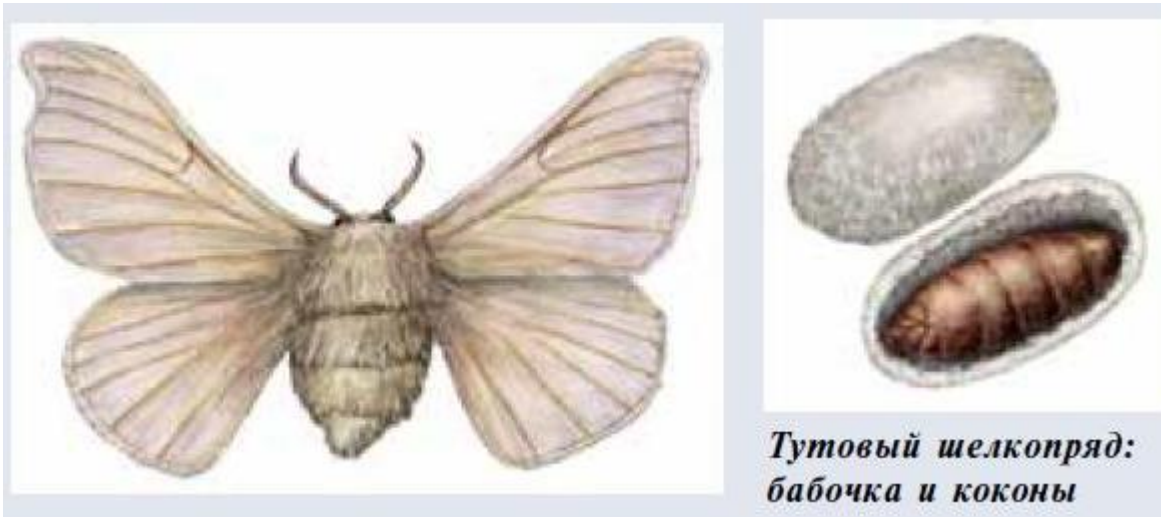
Опыты Астаурова с тутовым шелкопрядом

Объект: два подвида тутового шелкопряда. У одного подвида берут сперматозоиды, у другого яйцеклетку.

После разрушения ядра яйцеклетки, ее оплодотворяют сперматозоидами. Т.к. у шелкопряда имеет место полиспермия (несколько сперматозоидов могут оплодотворять яйцеклетку) в цитоплазме одного подвида формируется ядро с генетическим набором второго подвида. Из такой яйцеклетки развиваются только самцы того подвида, у которых брали сперматозоиды.

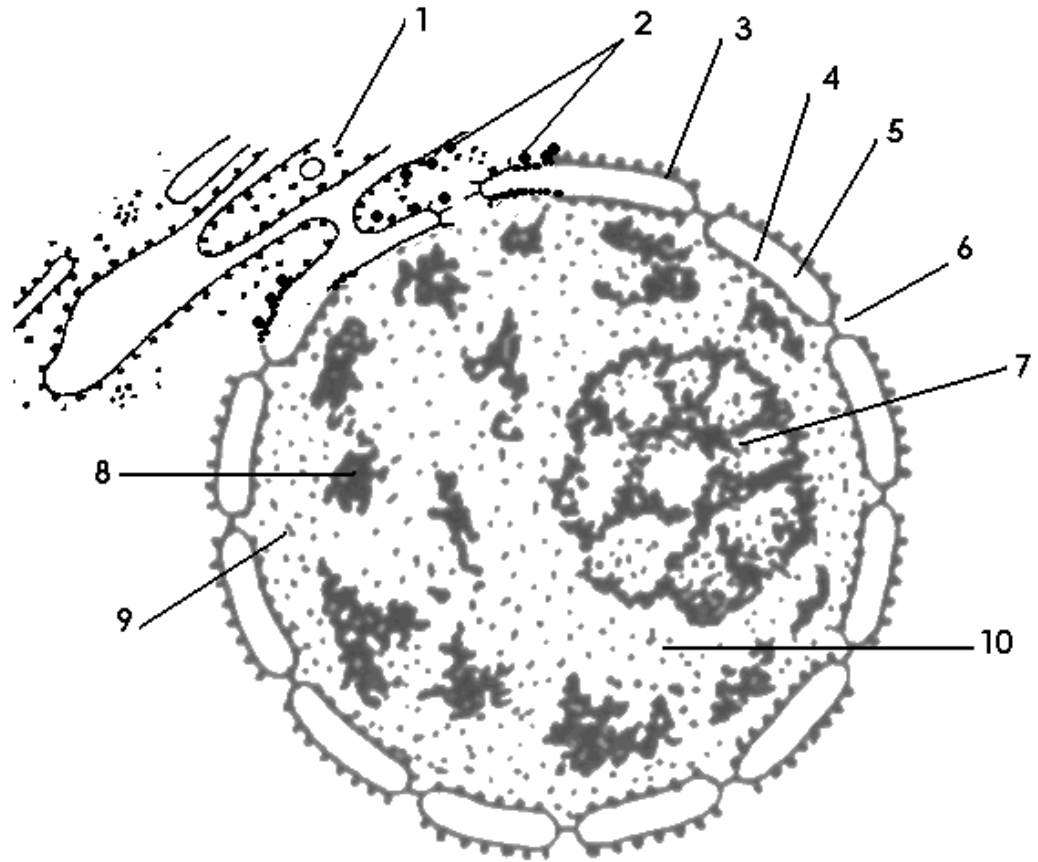


**Астауров
Борис Львович**



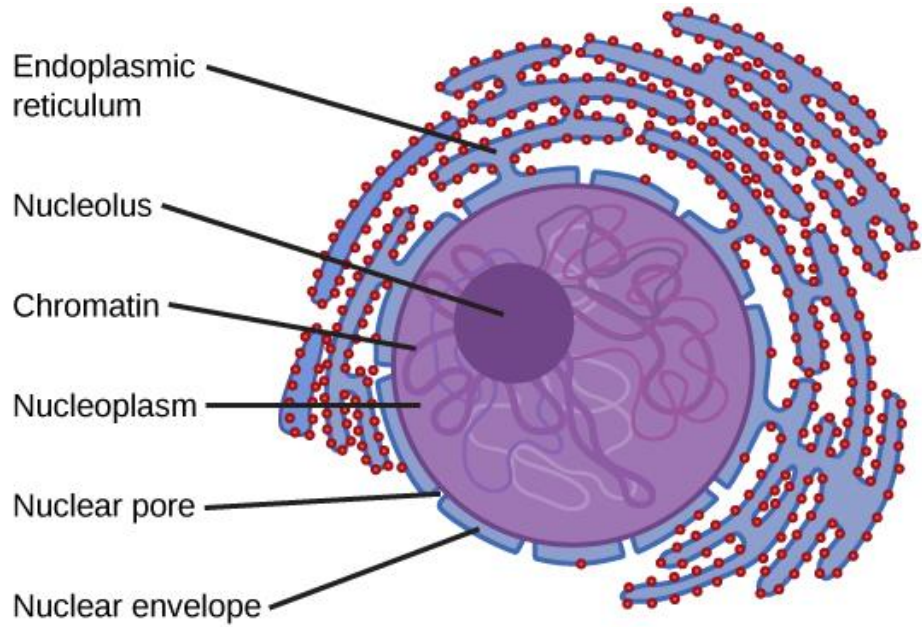
*Тутовый шелкопряд:
бабочка и коконы*

Строение ядра

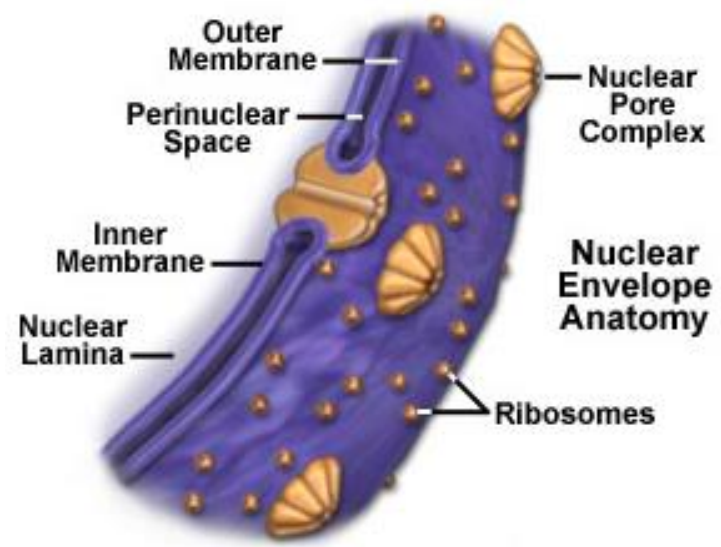


- ядерной оболочки (кариолемы),
- ядерного сока (или кариоплазмы),
- ядрышка и
- хроматина.

Строение ядерной оболочки



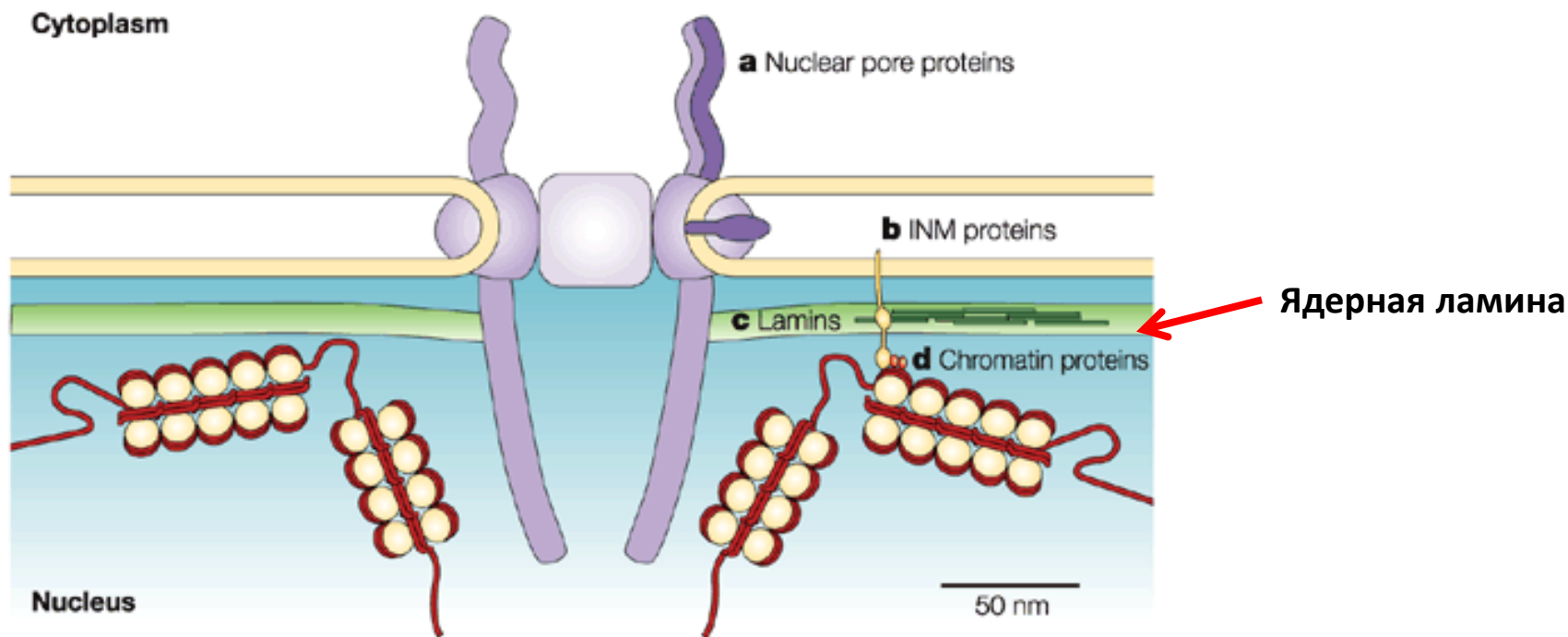
- Наружная ядерная мембрана
- Внутренняя ядерная мембрана
- Перинуклеарное пространство (10 - 30 нм)



- Наружная мембрана связана с ЭПС.
- Внутренняя контактирует с **хроматином** через ядерную ламину

Ядерная ламина

- Внутренняя мембрана связана с ядерной ламиной, которая состоит из трех типов белков **A**, **B**, and **C**. Именно с ней контактируют нити пристеночного хроматина.



Ядерная пора

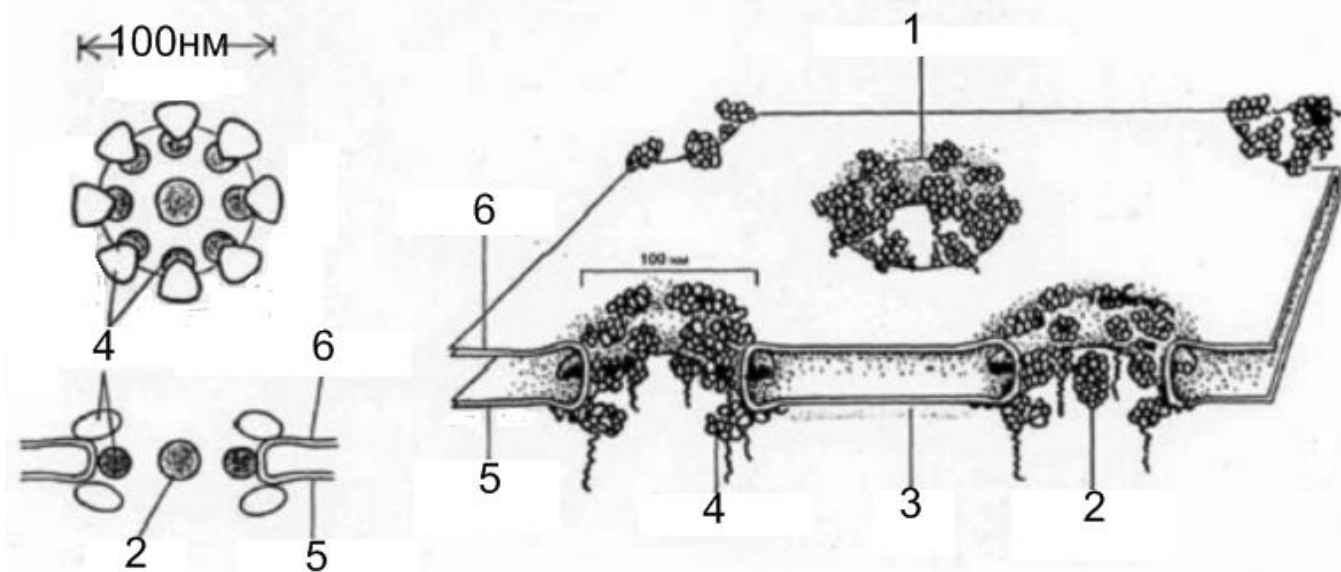


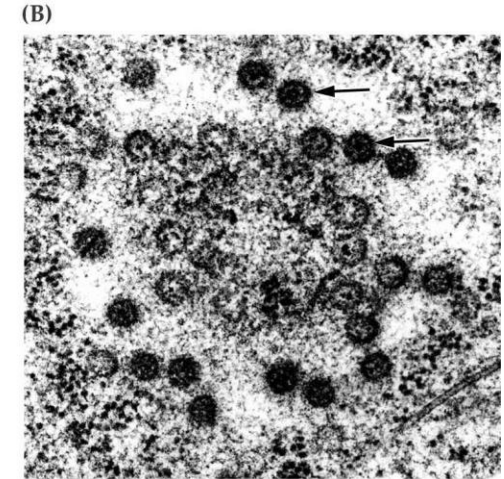
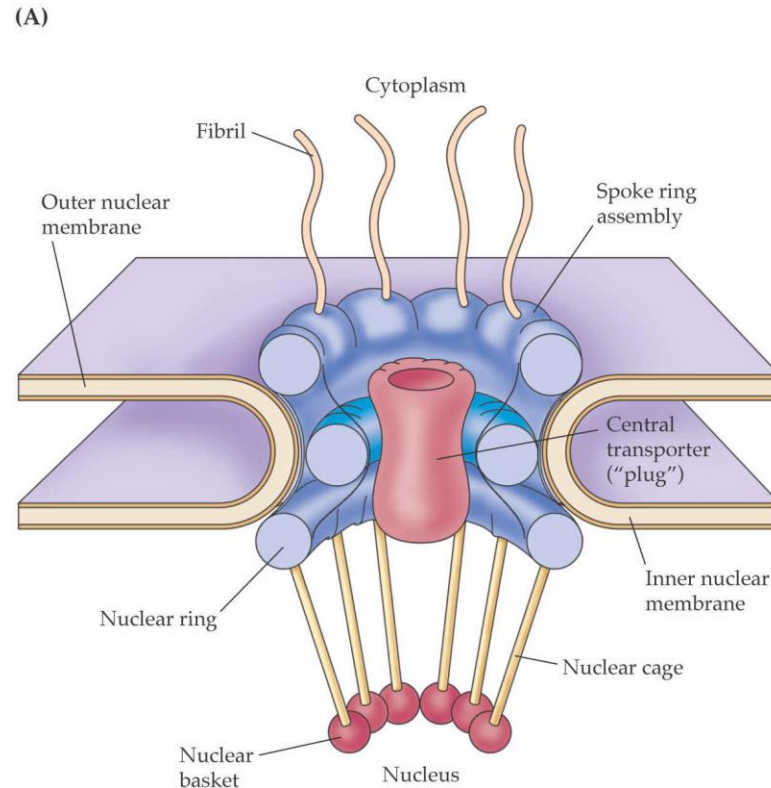
Рис. Общая схема строения ядерных пор (Окштейн, 2003)

1 – ядерный поровый комплекс; 2 – центральная глобула; 3 – ядерная ламина; 4 – глобулярные белки ядерной поры; 5 – внутренняя ядерная мембрана; 6 – внешняя ядерная мембрана.

- Наиболее характерной структурой ядерной оболочки является ядерная пора. Поры в оболочке образуются за счет слияния двух ядерных мембран и имеют вид округлых сквозных отверстий, или перфораций, с диаметром около 100 нм.
- Число ядерных пор зависит от метаболической активности клеток: чем выше синтетические процессы в клетках, тем больше пор.

Строение ядерной поры

Поровый комплекс образован 3 рядами (слоями) глобулярных белков, в каждом ряду их 8, в центре большая центральная глобула.

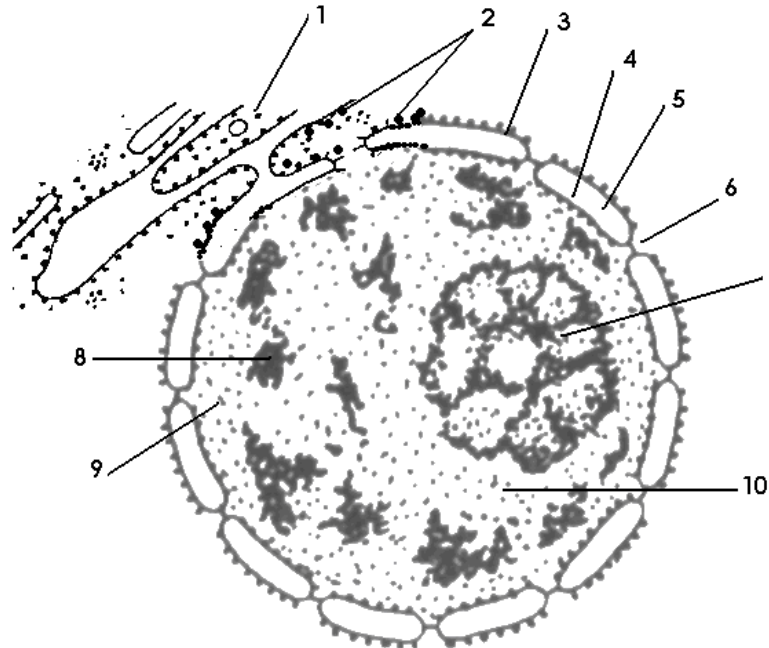


Электроннограмма ядерной поры

Таким образом, образуется воронка, в которой ряды соединяются между собой фибриллярными нитями. За счет этих нитей, при их сокращении, происходит увеличение или уменьшение поры. Глобулы белков – это ферменты и поэтому это ферментативная воронка, которая пропускает не все вещества. Функция ядерной поры: барьерная, регуляторная, транспортная, фиксирующая (для хроматина). В то же время ядерные поры осуществляют избирательный транспорт.

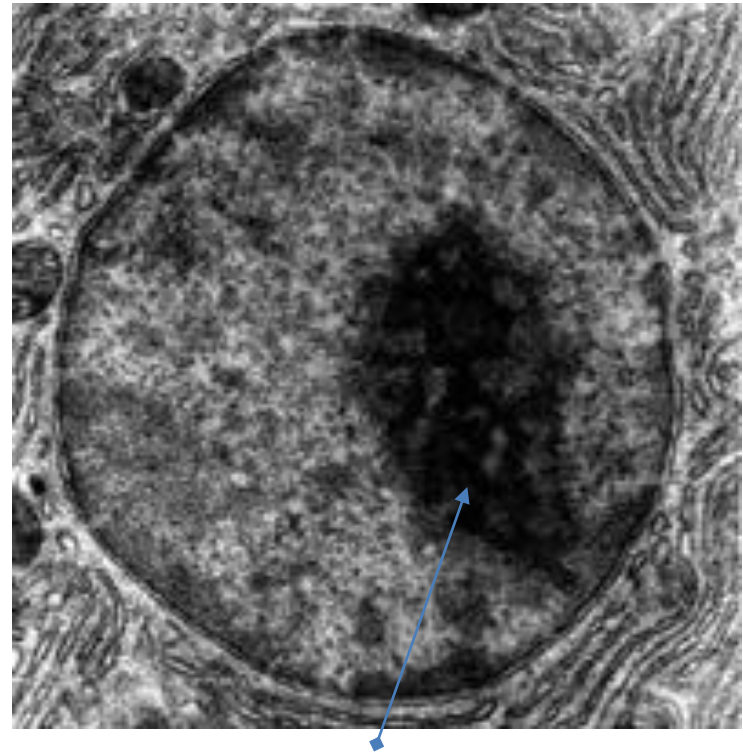
Ядерный сок

- Ядерный сок (кариоплазма) - внутренняя среда ядра, представляющая собой коллоидное (гелеобразное) вязкое вещество, в котором находятся структуры ядра, а также ферменты и нуклеотиды, необходимые для репликации, транскрипции.
- Функция ядерного сока: осуществление взаимосвязи ядерных структур и обмен с цитоплазмой клетки.



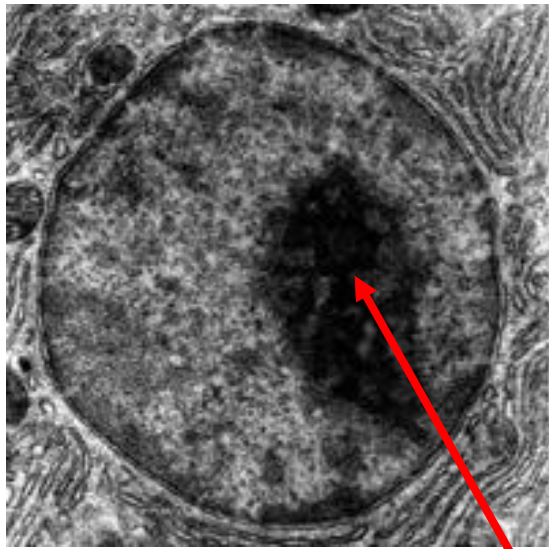
Ядрышко

- Впервые ядрышки были обнаружены Фонтанэ в 1774 г.
- **Ядрышки** – это мелкие, обычно шаровидные тельца, являющиеся *непостоянными* компонентами ядра - они исчезают в начале деления клетки (профаза) и восстанавливаются после его окончания (телофаза).



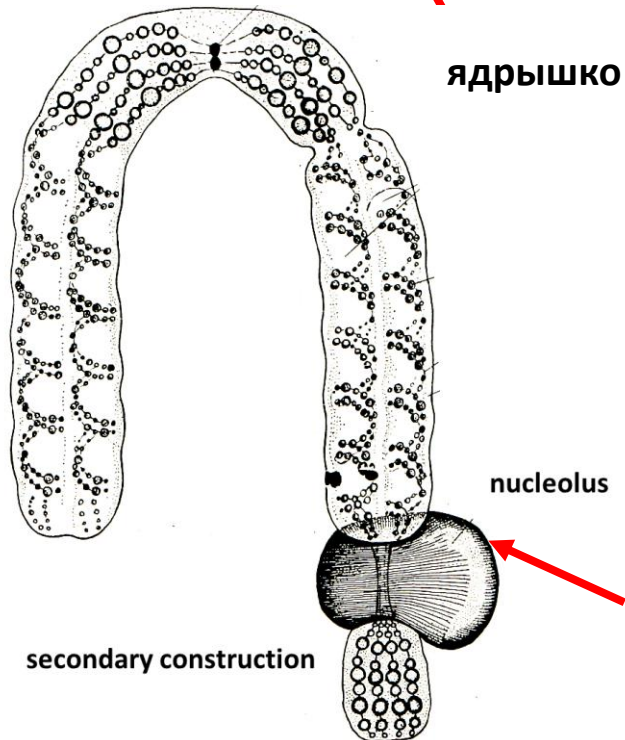
Ядрышко

Строение ядрышка



Еще в 1930-х годах рядом исследователей (МакКлинток, Хейтц, С.Г. Навашин) было показано, что возникновение ядрышек связано с ядрышковыми организаторами, расположенными в области вторичных перетяжек спутничных хромосом (13, 14, 15, 21 и 22 пары).

Там локализованы гены, кодирующие синтез рибосомальных РНК.

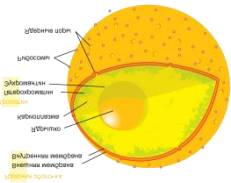


ядрышко

nucleolus

Вторичная перетяжка

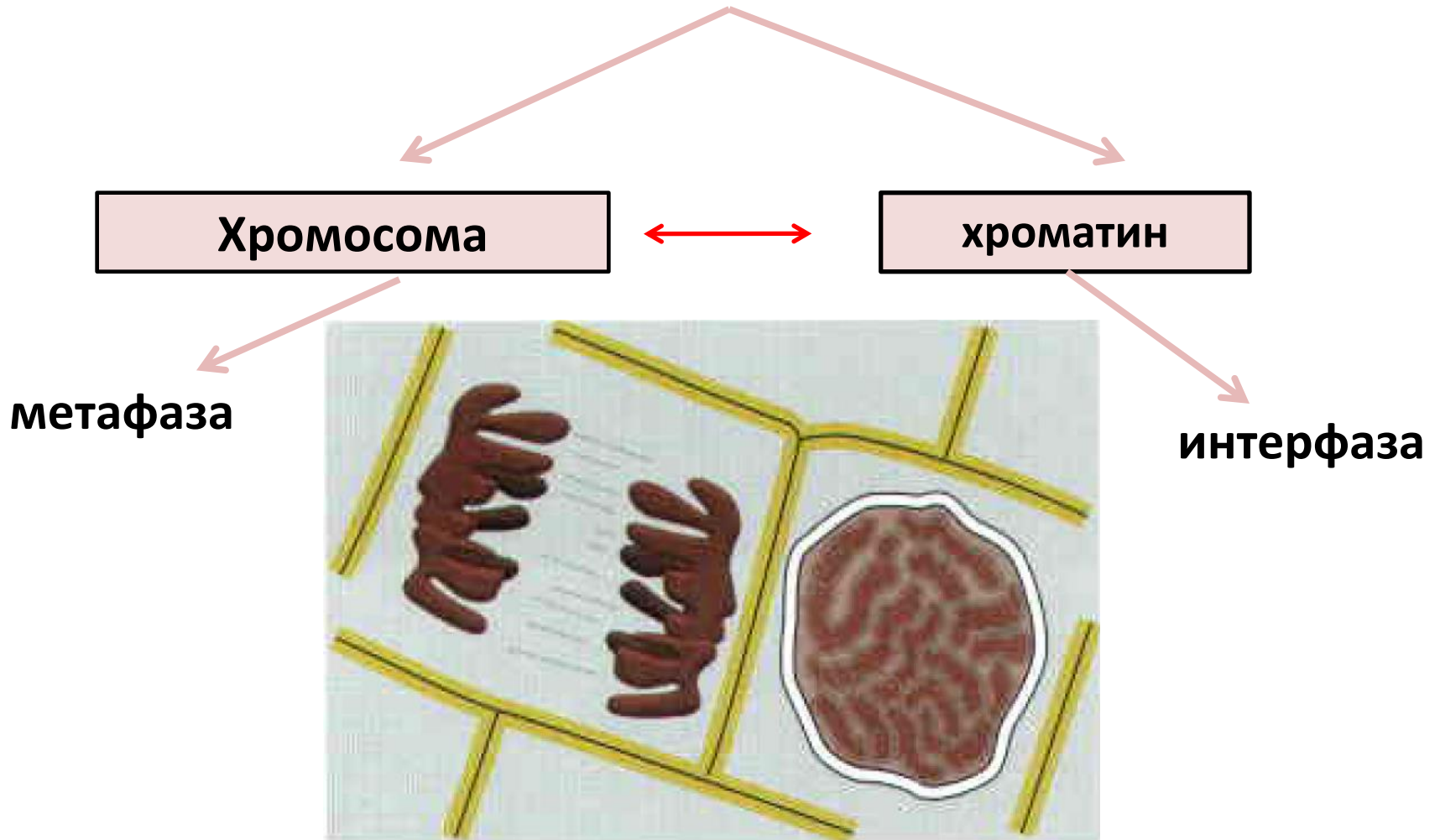
secondary construction



Химический состав ядрышка

- Основным компонентом ядрышка является белок: на его долю приходится до 70—80% от сухой массы. Такое большое содержание белка и определяет высокую плотность ядрышек. Кроме белка в составе ядрышка обнаружены нуклеиновые кислоты: РНК (5—14%) и ДНК (2-12%). В структуре ядрышка выделяют гранулярный и фибриллярный компоненты.
- Функция: синтез р-РНК, из которых на 80% состоят рибосомы.
- Число ядрышек может быть различным – 1-5 ядрышек на гаплоидный набор и до 10 на диплоидный набор, причем их количество не строго постоянно даже у одного и того же типа клеток. При новообразовании ядрышек они могут сливаться друг с другом в одну общую структуру, т.е. в пространстве интерфазного ядра отдельные ядрышковые организаторы разных хромосом могут объединяться. Так, в тканях человека могут встречаться клетки с одним ядрышком. Это значит, что они слились.

Хроматин - это одно из возможных структурно-функциональных состояний наследственного материала



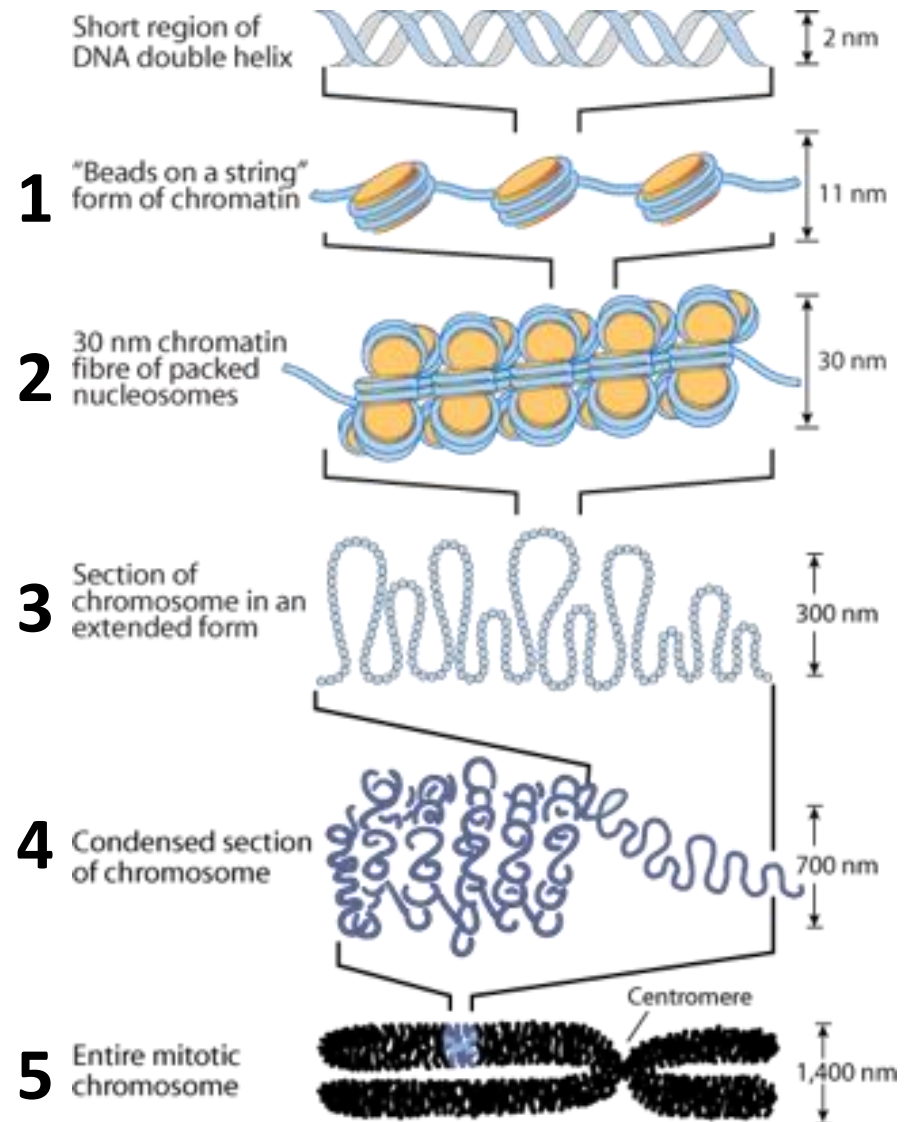
Химический состав хроматина (хромосом)

- 40% - ДНК,
- 60% - белков:
 - ✓ 40% гистоновые белки (Н1, Н2а, Н2в, Н3, Н4)
 - ✓ 20% - негистоновые белки
- Следы РНК



Уровни укладки ДНК в хромосому

1. Нуклеосомный
2. Хроматиновые фибриллы
(соленоид) 30 nm
(нуклеомерный)
3. Хроматиновые филаменты
(Хроматиновые петли-домены) 300 nm
(хромомерный)
4. Суперспирализованные филаменты (минибенд) 700 nm
(хромонемный)
5. Хромосомный (Метафазная хромосома) 1,400 nm



Первичный уровень - Нуклеосомный

Двуцепочечная ДНК накручивается вокруг гистоновых белков.

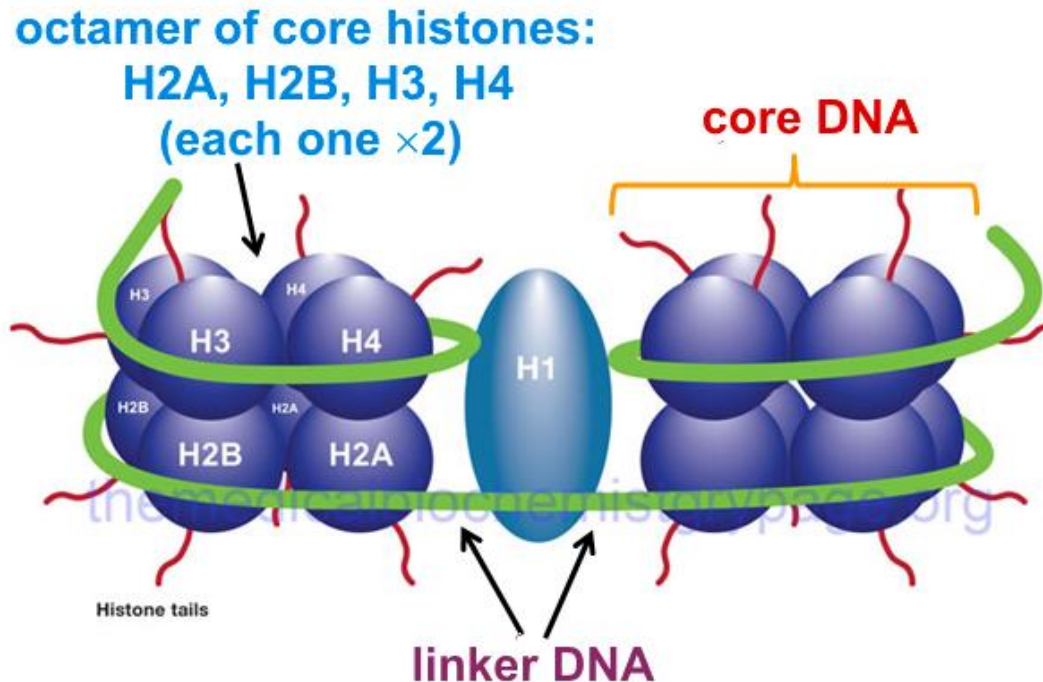
Нуклеосома - наименьшая единица хроматина и хромосомы

Нуклеосомный кор

Линкерный участок

Гистоновый октамер (H2A, H2B, H3, H4)

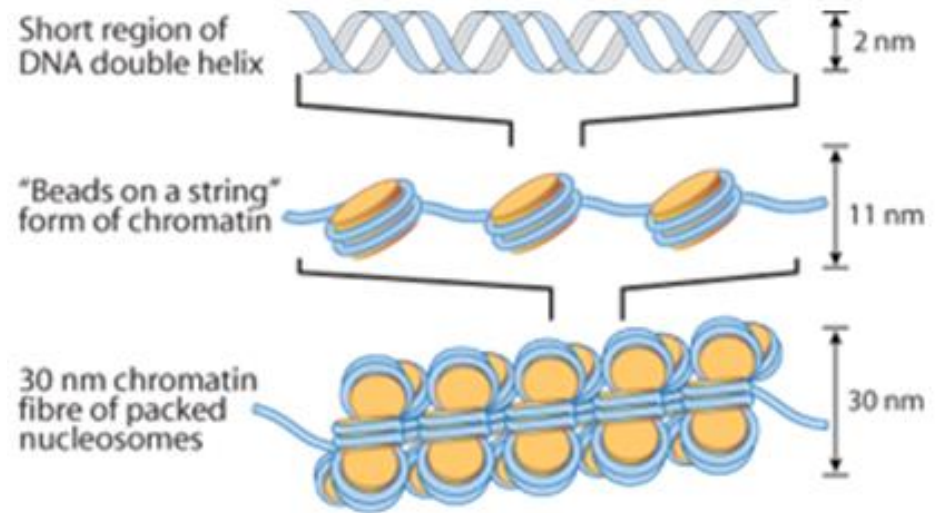
Гистон H1



Второй уровень – Нуклеомерный

Нуклесомный уровень дает формирование «цепочки из бусинок».

Далее 6 нуклесом сближаются и соединяются посредством гистонового белка H1



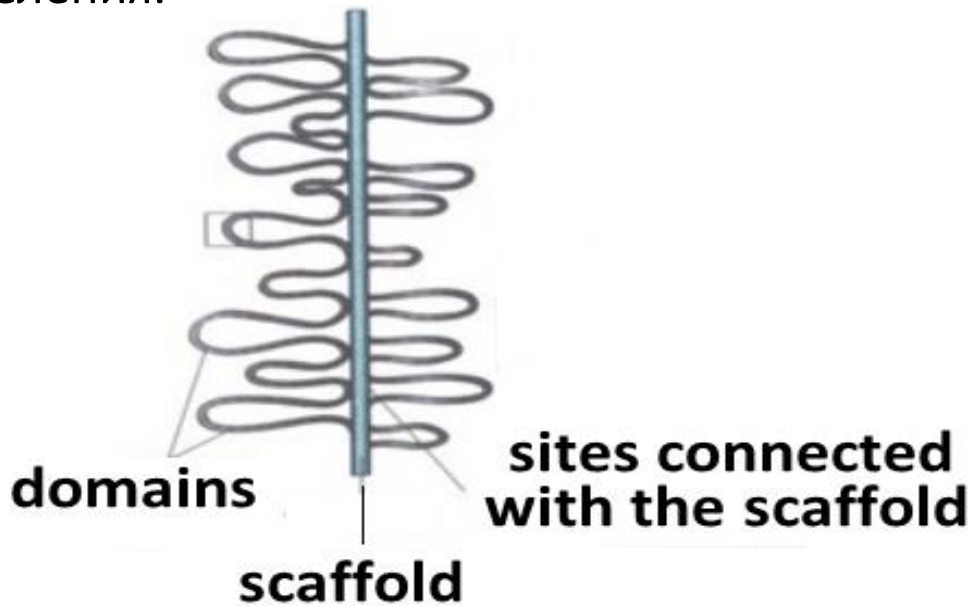
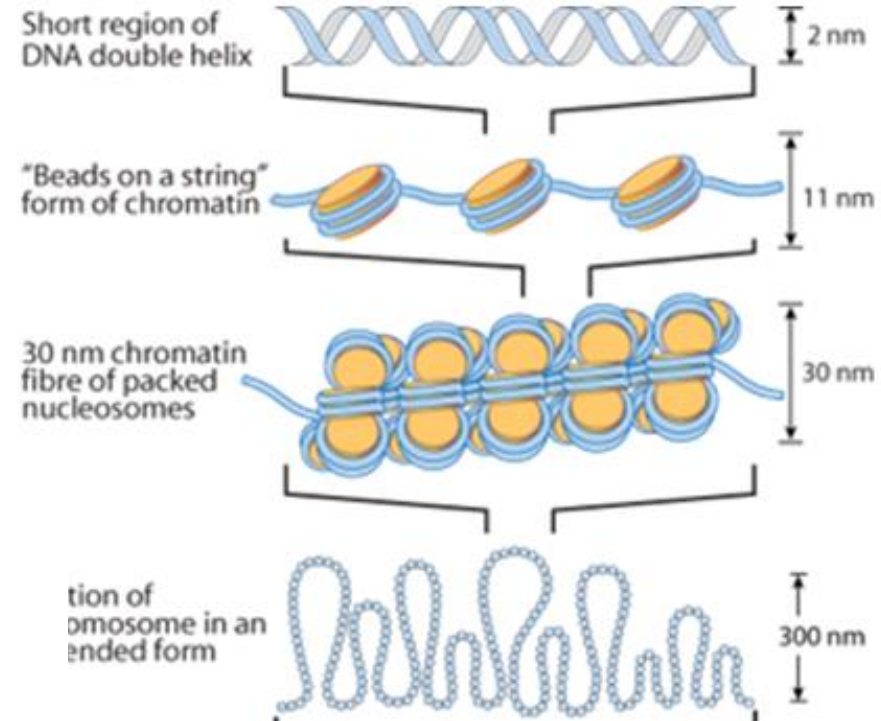
**Хроматиновая фибрилла 30 nm
соленоидный хроматин**

- Хроматиновая конформация из «бусинок» и «супер бусинок» дают структуру эухроматина
- Дальнейшая упаковка хроматина дает формирование гетерохроматина

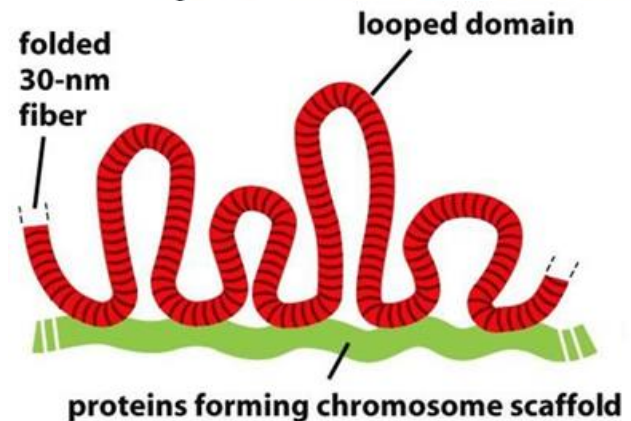
Третичный уровень – Хромомерный

Хроматиновые филаменты
(Хроматиновые петли-домены)

Фибриллы формируют петли-домены, которые фиксируются негистоновым белком (scaffold).
Петли формируются в интерфазе деления.



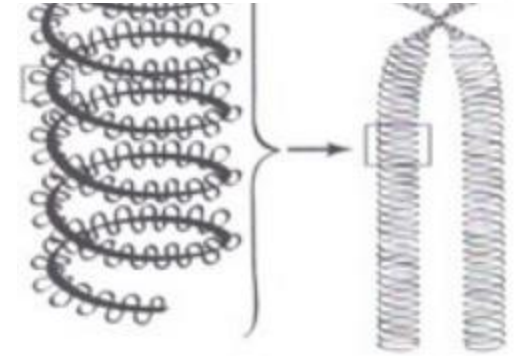
DNA contracts to 300 nm



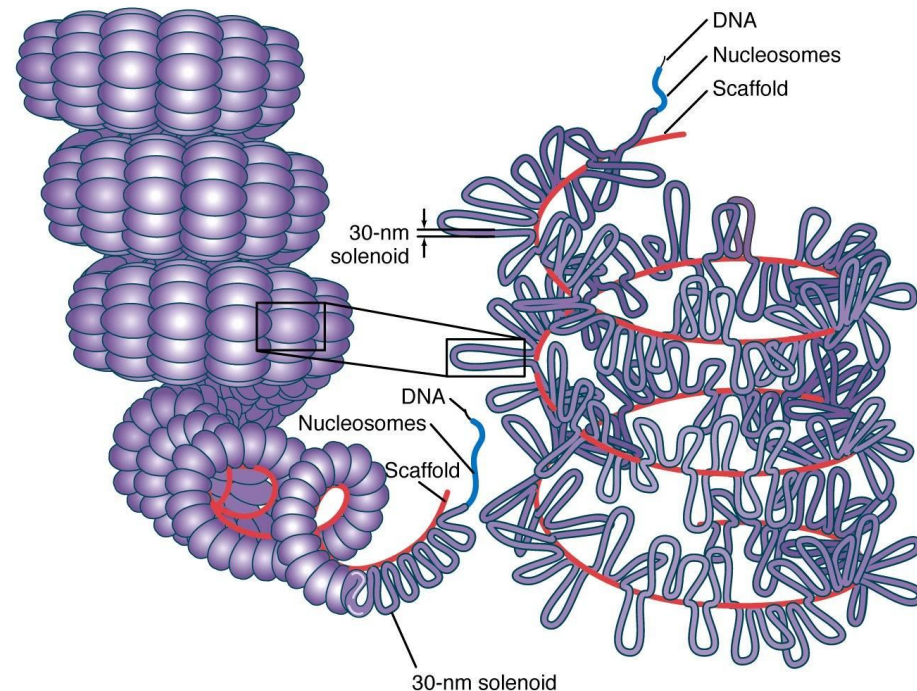
Четвертый и пятый уровень – Хромонемный и Хроматидный (хромосомный)

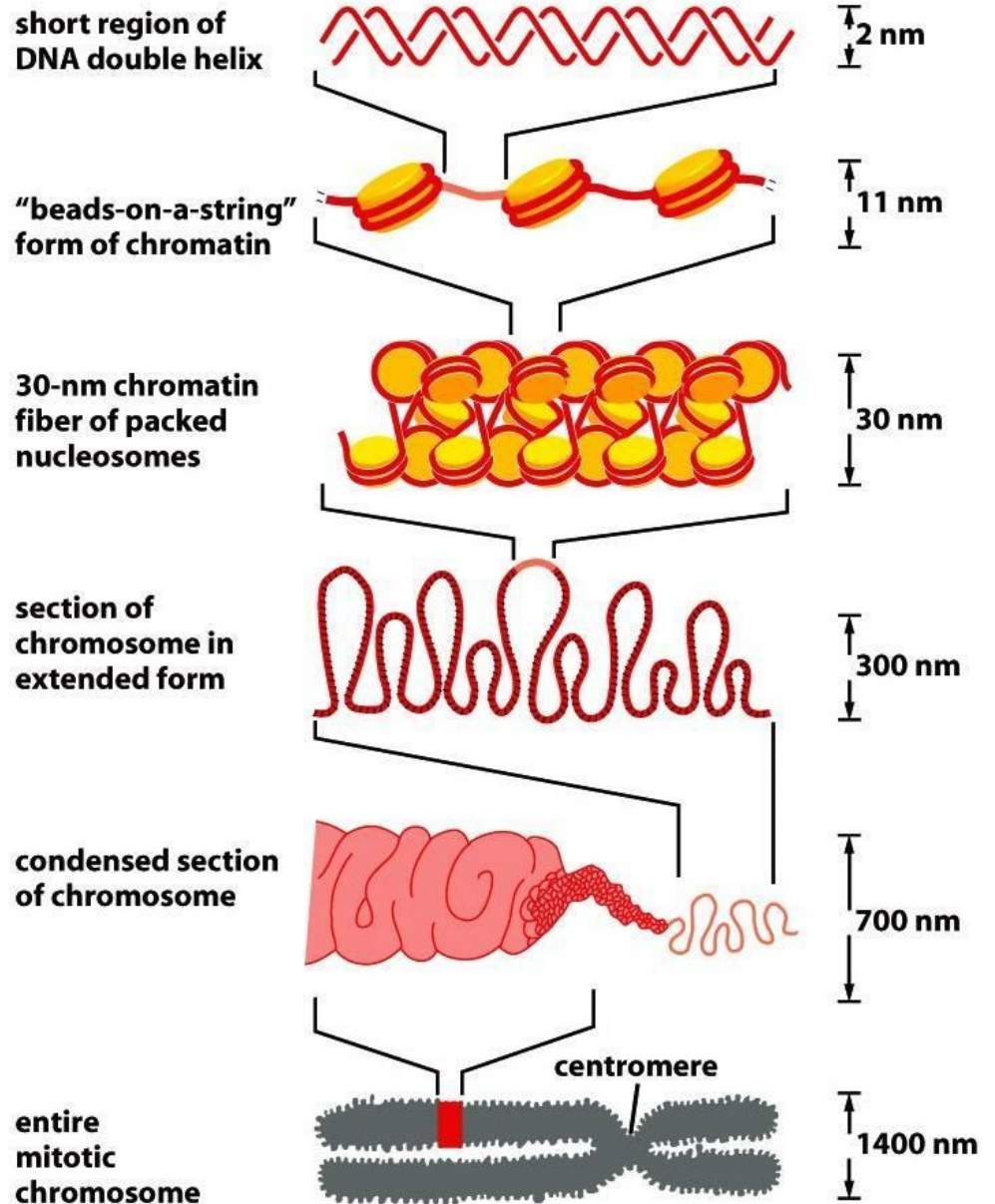
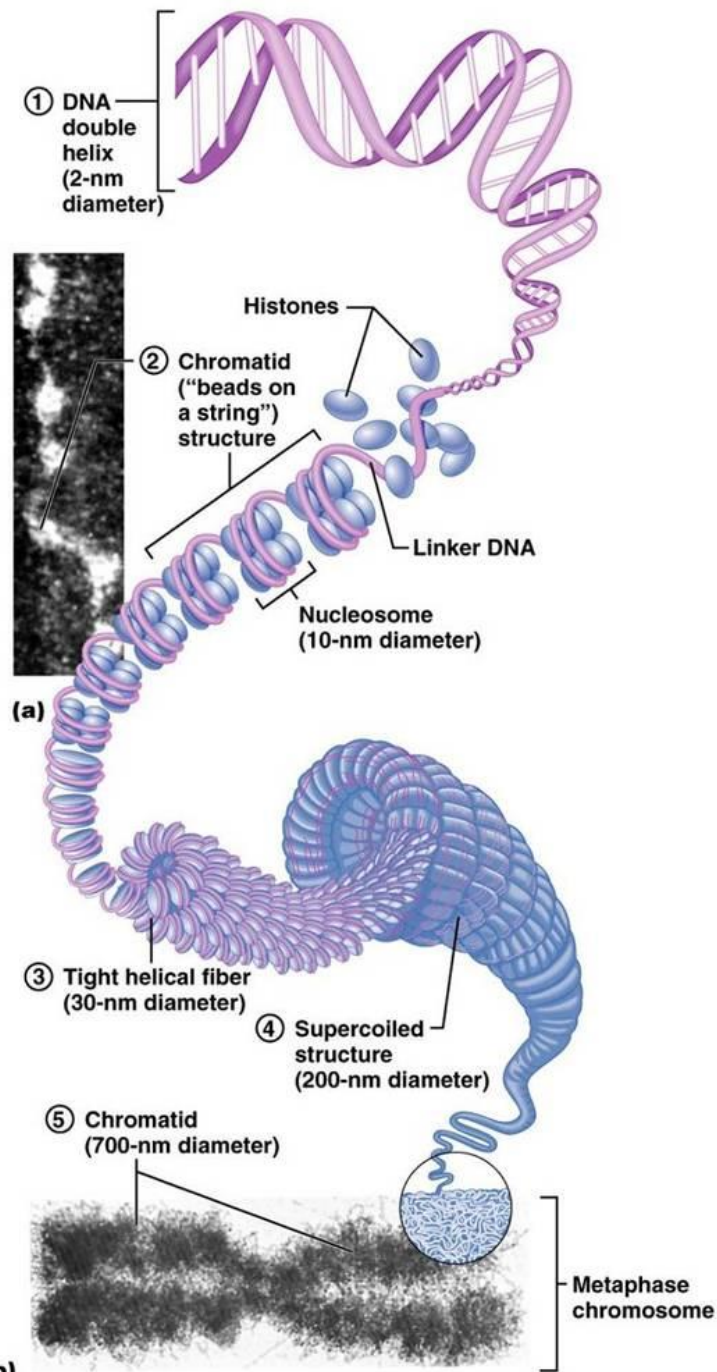
Суперспирализованные филаменты (минибенд) и хромосомный (метафазные хромосомы)

- Минибенд содержит *около 18 петель*
- ДНК укорачивается в 10.000 раз.
- Минибенды при дальнейшей компактизации дают формирование *полухроматид*, затем *хроматид*.
- *Две хроматиды* соединяясь формируют *метафазную хромосому*



Supercoiled filament (Minibend)





NET RESULT: EACH DNA MOLECULE HAS BEEN PACKAGED INTO A MITOTIC CHROMOSOME THAT IS 10,000-FOLD SHORTER THAN ITS EXTENDED LENGTH

Классификация хроматина

Эухроматин –

- деспирализованный,
- активный,
- транскрибируемый,
- менее окрашенный.

Гетерохроматин –

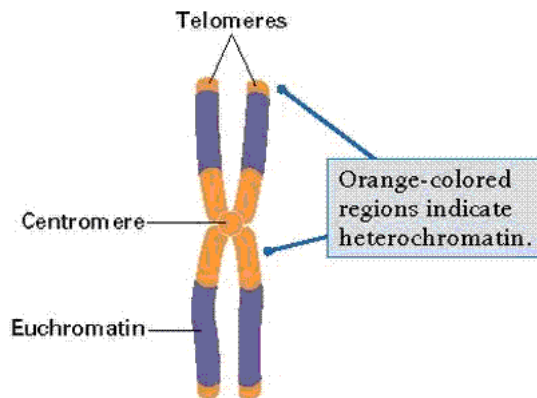
- спирализованный,
- конденсированный,
- неактивный,
- нетранскрибируемый, более
- интенсивно окрашен.

Функции гетерохроматина

1. Регуляция активности генов
2. Сохранение структуры генов

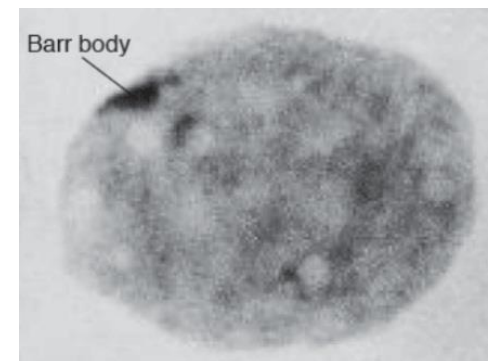
Конститутивный

- Теломеры
- Центромеры

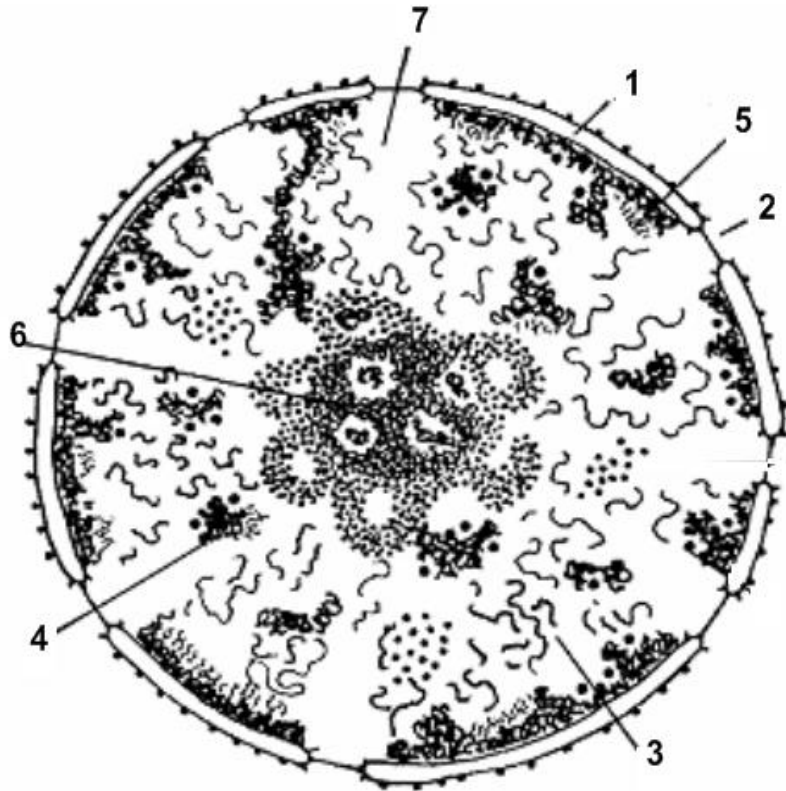


Факультативный

- Тельце Барра



Классификация хроматина



По расположению в ядре:

- Пристеночный
- Диффузный

Рис. Схема строения клеточного ядра (из учебника Ченцова, 2004)

1 – ядерная оболочка (две мембраны – внутренняя и внешняя, и перинуклеарное пространство); 2 - ядерная пора; 3 – эухроматин; 4 – диффузный гетерохроматин; 5 – пристеночный гетерохроматин; 6 – ядрышко (гранулярный и фибриллярный компоненты, в центральных светлых зонах находится ДНК, кодирующая рРНК); 7 – кариоплазма, ядерный сок

Строение метафазной хромосомы

- Термин *хромосома* был предложен в 1888 г. немецким морфологом В. Вальдейером, который применил его для обозначения внутриядерных структур эукариотической клетки, хорошо окрашивающихся основными красителями (от греч. *хрома* – цвет, краска, *сома* – тело).

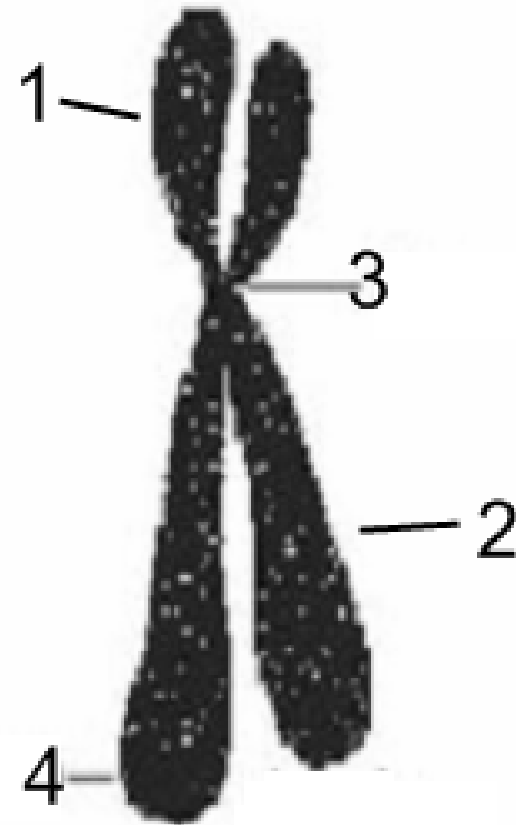


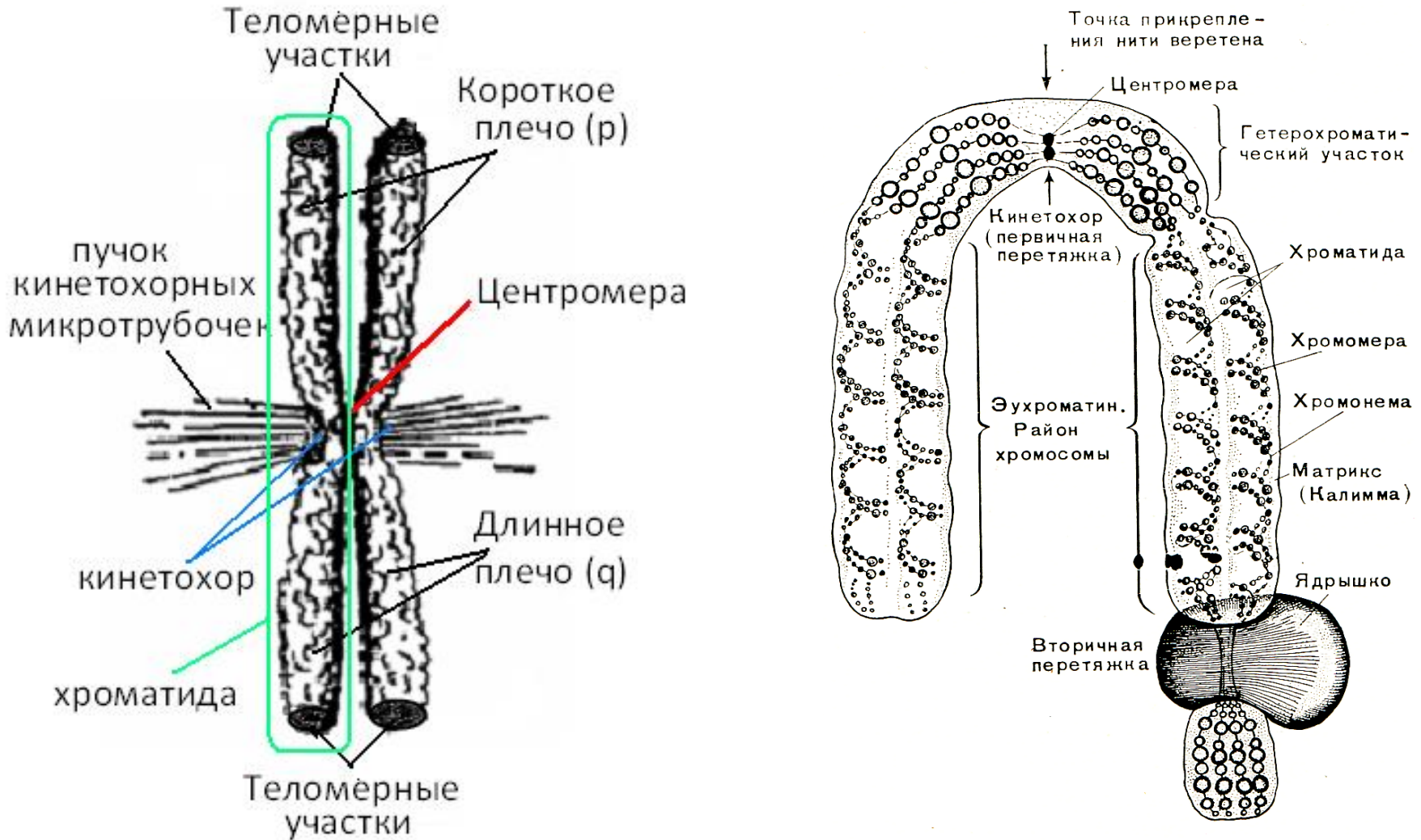
Рис. Метафазная хромосома

(<http://bio.fizteh.ru/student/files/biology/bolections/lection15.html/>)

1. Короткое плечо – p; 2. Длинное плечо – q; 3. Центромера; 4. Теломерные участки

Строение метафазной хромосомы

1 ДНК = 1 хромосома.



Центромера делит хромосому на два плеча. Короткое плечо обозначается буквой – *p*, длинное – *q*. Концы хромосомы защищены теломерными участками. Благодаря теломерам, хромосомы не склеиваются между собой.

Морфологические типы хромосом.



1



2



3



4



5

1 – Метacentрические, 2 - Субметacentрические, 3 - Акроцентрические , 4 – Спутничные, 5 - Телоцентрические

Хромосомы с равными плечами называют *равноплечими* или *метacentрическими*; с плечами неодинаковой длины – *неравноплечими* – *субметacentрическими*; с одним коротким и вторым почти незаметным – *палочковидными* или *акроцентрическими*. В случае полного отсутствия одного плеча хромосомы называются *телоцентрическими*. Некоторые хромосомы имеют *вторичную перетяжку*, отделяющую спутник, и называются *спутничными*. Вторичные перетяжки называют *ядрышковыми организаторами*. В них в интерфазе происходит образование ядрышка.

Прямые и косвенные доказательства роли хромосом в передаче наследственной информации:

- **Прямыми доказательствами** роли ядра являются наследственные болезни, связанные с нарушением числа и структуры хромосом
Пример: с. Дауна (47, 21+), с. Патау (47, 13+), с. Шерешевского-Тернера (45, XO)

- **Косвенные (правила хромосом)**

1. *Правило постоянства числа хромосом. Число хромосом и особенности их строения – видовой признак.*
2. *Правило парности хромосом. Число хромосом в соматических клетках всегда четное, это связано с тем, что хромосомы составляют пары.*
3. *Правило индивидуальности хромосом. Каждая пара хромосом характеризуется своими особенностями. Хромосомы, относящиеся к одной паре, одинаковые по величине, форме и расположению центромер называются гомологичными. Негомологичные хромосомы всегда имеют ряд отличий.*
4. *Правило непрерывности хромосом. Хромосомы способны к авторепродукции.*

Кариотип организмов.

Кариотип — диплоидный набор хромосом, свойственный соматическим клеткам организмов данного вида, являющийся видоспецифическим признаком и характеризующийся определенным числом, строением и генетическим составом хромосом.

Термин был предложен в 1924 году Г.А. Левитским.

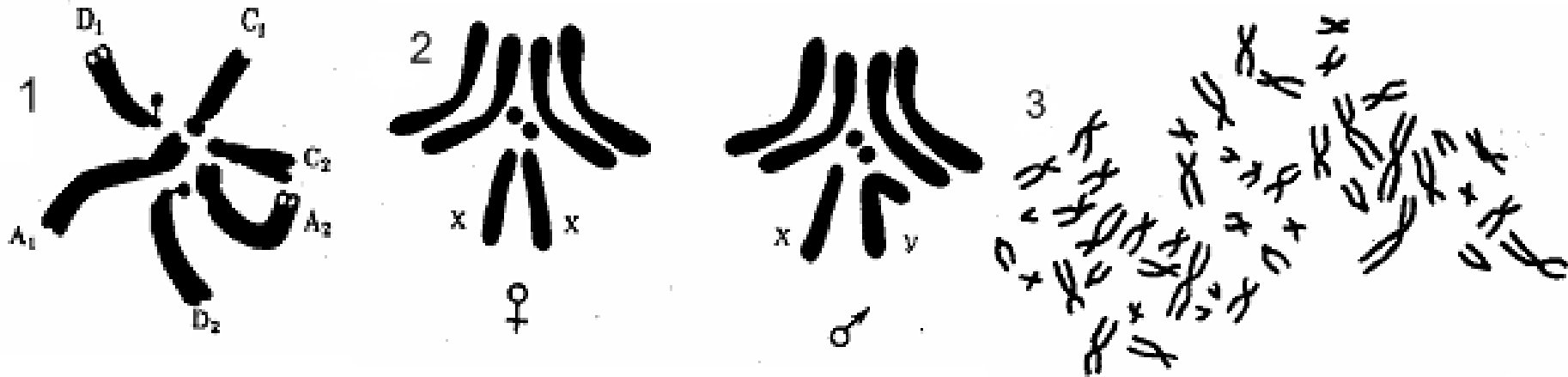
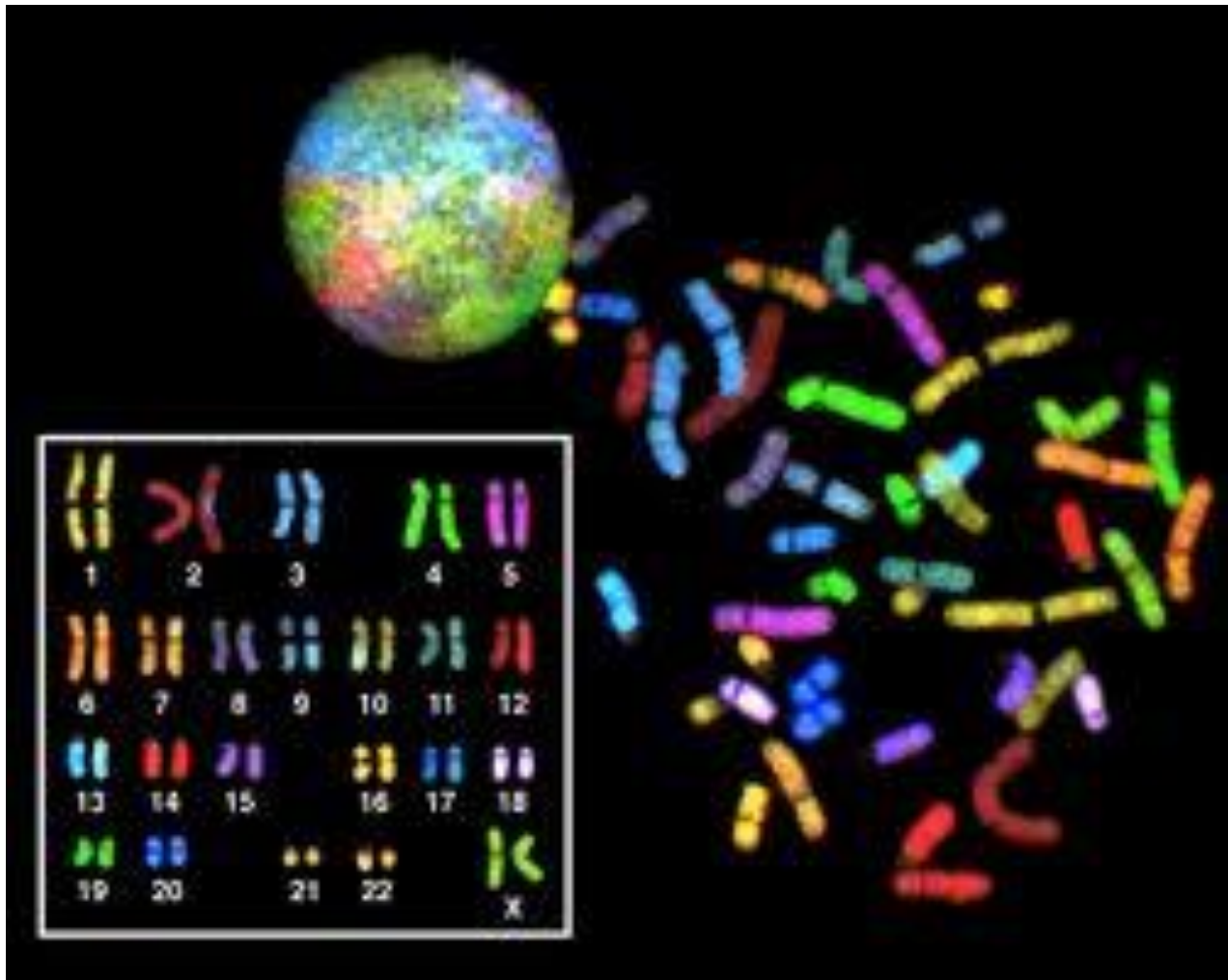


Рис. Кариотипы организмов различных видов (из учебника Чебышева, 2005):

1 – скерды, 2 – дрозофилы, 3 – человека

КАРИОТИП



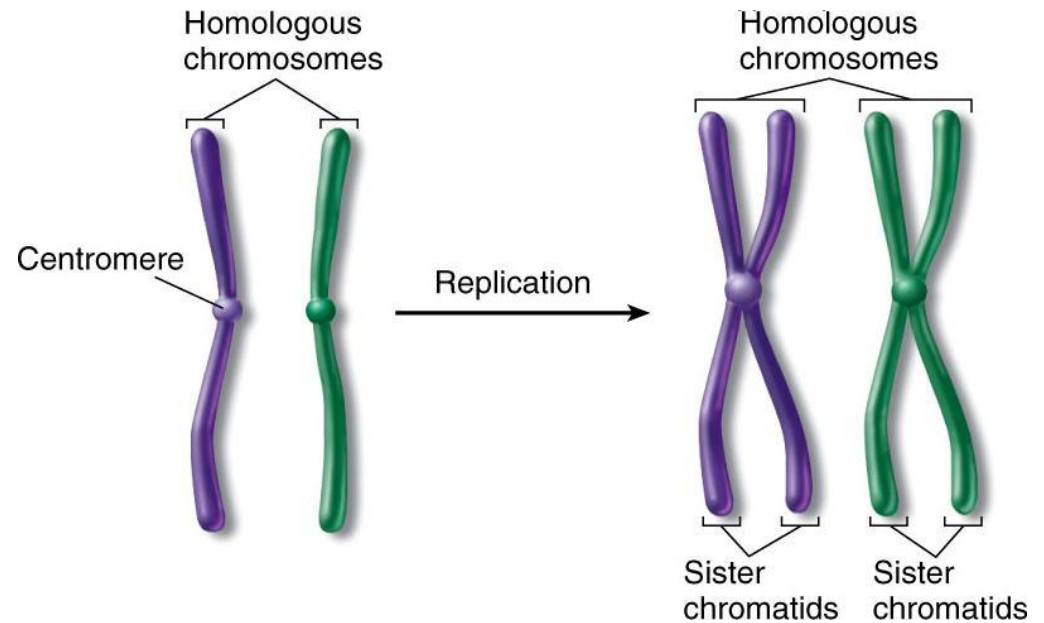
Если число хромосом в гаплоидном наборе половых клеток обозначить n , то общая формула кариотипа будет выглядеть как $2n$, где значение n различно у разных видов.

Хромосомы подразделяются на

- аутосомы (одинаковые у обоих полов).
- и гетеросомы, или половые хромосомы (разные для мужских и женских особей).

Различают:

- **гомологичные хромосомы.**
Хромосомы одной пары, одинаковы по размерам, форме, составу и порядку расположения генов, но различны по происхождению (одна унаследована от отцовского, другая — от материнского организма).
- **негомологичные** - хромосомы из разных пар.



Кариотипирование – цитогенетический метод изучения хромосом

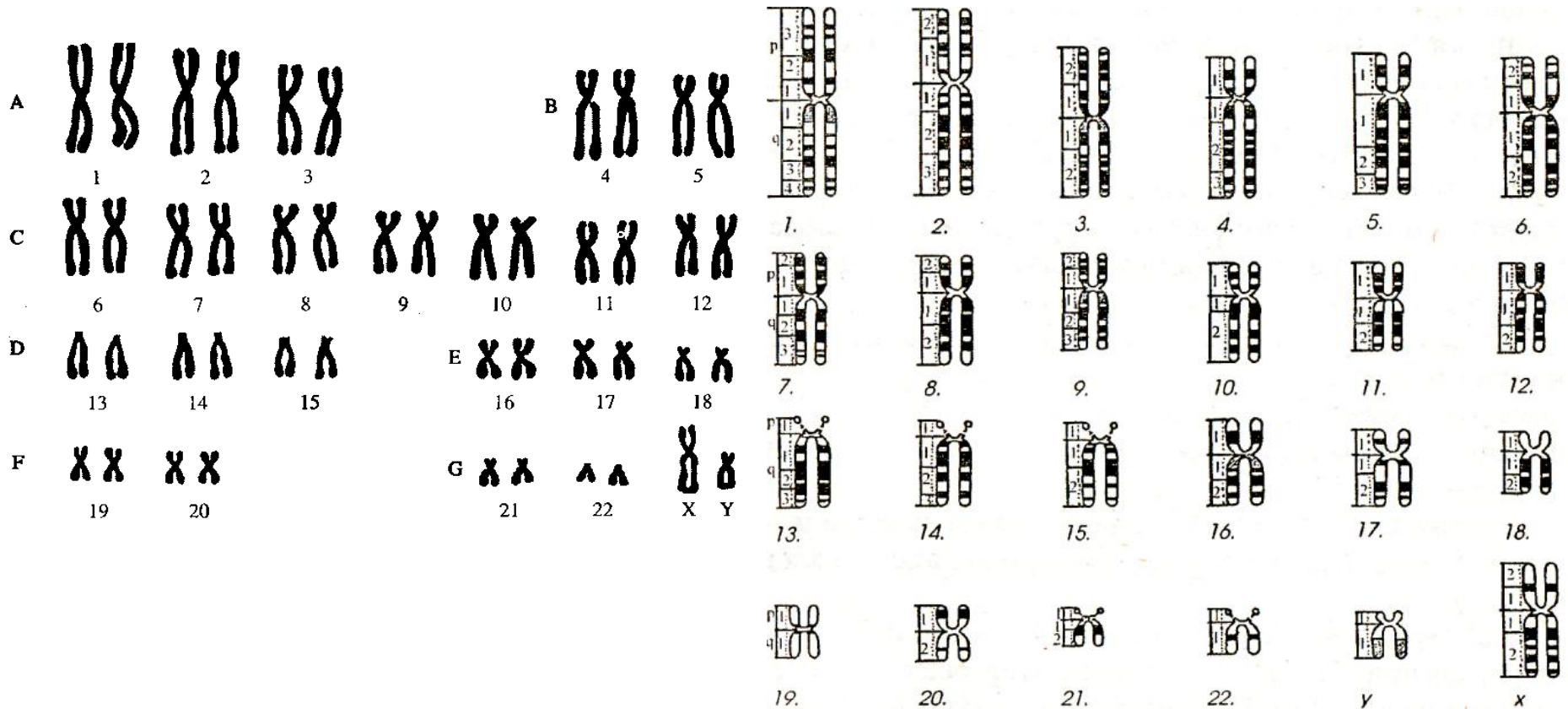
Для проведения данного исследования берут клетки, обладающие *высокой митотической активностью*: клетки костного мозга, ткань семенников, кусочки кожи, костный мозг, клетки хориона, клетки амниотической жидкости и др., но чаще всего используют *лимфоциты периферической крови*. Лимфоциты – это зрелые специализированные клетки. Для того, чтобы увидеть хромосомы в этих клетках, надо стимулировать их клеточное деление.

1.	Забор крови (1-2 мл).
1.	Посев на среду с фитогемаглютинином
1.	Культивирование 2-3 суток, температура 37 ⁰ С
1.	Добавление цитостатика (колхицин)
1.	Приготовление микропрепарата
1.	Изучение препарата с помощью микроскопа, нахождение метафазных пластинок.
1.	Анализ кариограммы.

Классификация хромосом

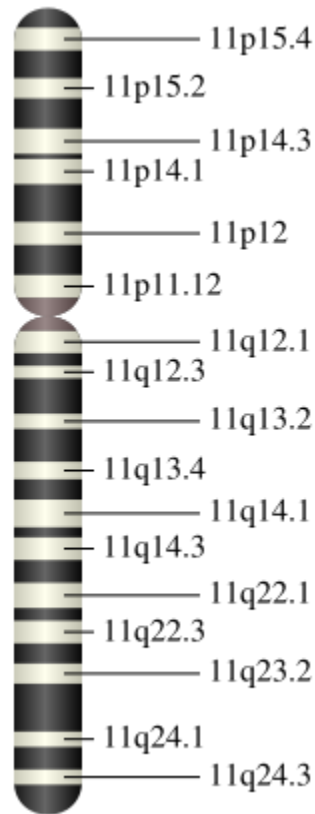
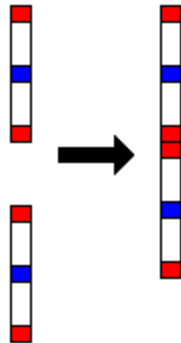
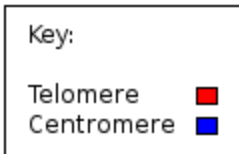
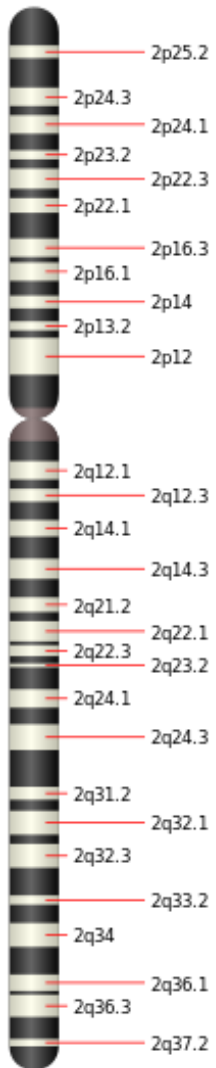
Денверская классификация,
1960 г.

Парижская классификация,
1971 г.

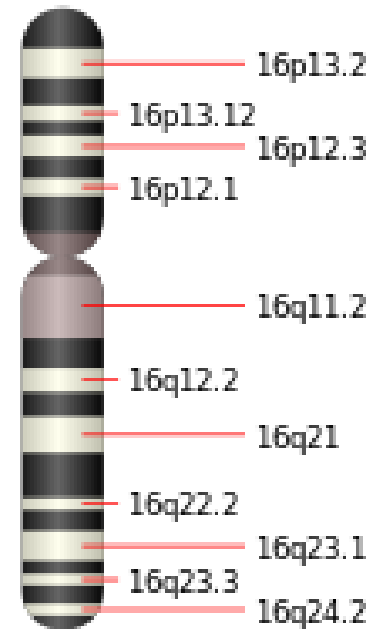


***Диагностические возможности метода
кариотипирования:***

- выявление изменений числа (Денверская классификация) и структуры (Парижская) хромосом;
- определение кариотипа;
- определение заболеваний, вызванных геномными и хромосомными мутациями;
- определение пола.



11-я хромосома человека
 НВВ — β-субъединица
 гемоглобина



**16-я хромосома
 человека**

**2-я хромосома
 человека**

	Число хромосом	Женский организм	Мужской организм
Соматическая клетка	<p>Диплоидный набор, $2n$,</p> <p>Всего 46 хромосом:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 44 – аутосомы • 2 - половые хромосомы 	<p>44А ХХ</p>	<p>44А ХУ</p>
Половые клетки	<p>Гаплоидный набор, n,</p> <p>Всего 23 хромосомы:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 22 – аутосомы • 1 - половая хромосома 	<p>22А, Х</p> <p>Один тип яйцеклеток</p>	<p>22А, Х 22А, У</p> <p>два типа сперматозоидов</p>

Спасибо за внимание