

Урок 3. Клеточная теория и строение клетки

Методы цитологии, прокариоты, эукариоты и клеточные включения

Теория

Содержание урока

01. Как возникла клеточная теория
02. Современные положения клеточной теории
03. Методы цитологии
04. Увеличение, разрешение и масштаб
05. Прокариотическая клетка: общий план
06. Споры и включения прокариот
07. Эукариотическая клетка как система компартментов
08. Немембранные органоиды и цитоскелет
09. Одномембранные органоиды
10. Двумембранные органоиды
11. Клеточные включения
12. Растительная, животная и грибная клетки
13. Эндосимбиотическая теория
14. Функциональные комплексы и алгоритм микрофотографии

01. Как возникла клеточная теория

Роберт Гук описал ячейки пробки и ввёл слово «клетка», но наблюдал мёртвые оболочки. Антони ван Левенгук увидел живые одноклеточные организмы. Маттиас Шлейден обобщал данные о растениях, Теодор Шванн — о животных. Рудольф Вирхов развил положение о возникновении клетки только из предшествующей клетки.

Исторические формулировки уточнялись. Современная теория опирается на молекулярную биологию, генетику и электронную микроскопию. Важно не механически прикреплять одно положение к одному учёному, а понимать общий переход: от наблюдения отдельных ячеек к универсальной модели строения и развития живых систем.

Клеточная теория не утверждает, что все клетки одинаковы. Она утверждает единство принципов организации, химического состава и процессов при огромном разнообразии формы и специализации.

Учёный	Наблюдение или вклад	Что важно не перепутать
Р. Гук	Описал ячейки пробки и ввёл термин	Не формулировал современную клеточную теорию
А. ван Левенгук	Наблюдал живые клетки и микроорганизмы	Работал с простыми, но качественными микроскопами

Учёный	Наблюдение или вклад	Что важно не перепутать
М. Шлейден	Клеточное строение растений	Некоторые его представления о происхождении клеток были ошибочны
Т. Шванн	Обобщил клеточный принцип для животных	Совместно со Шлейденом сформировал теорию
Р. Вирхов	Клетка возникает из клетки	Положение связано с клеточным делением

Клеточная теория — результат накопления наблюдений и их объединения в модель, а не одно открытие одного учёного.

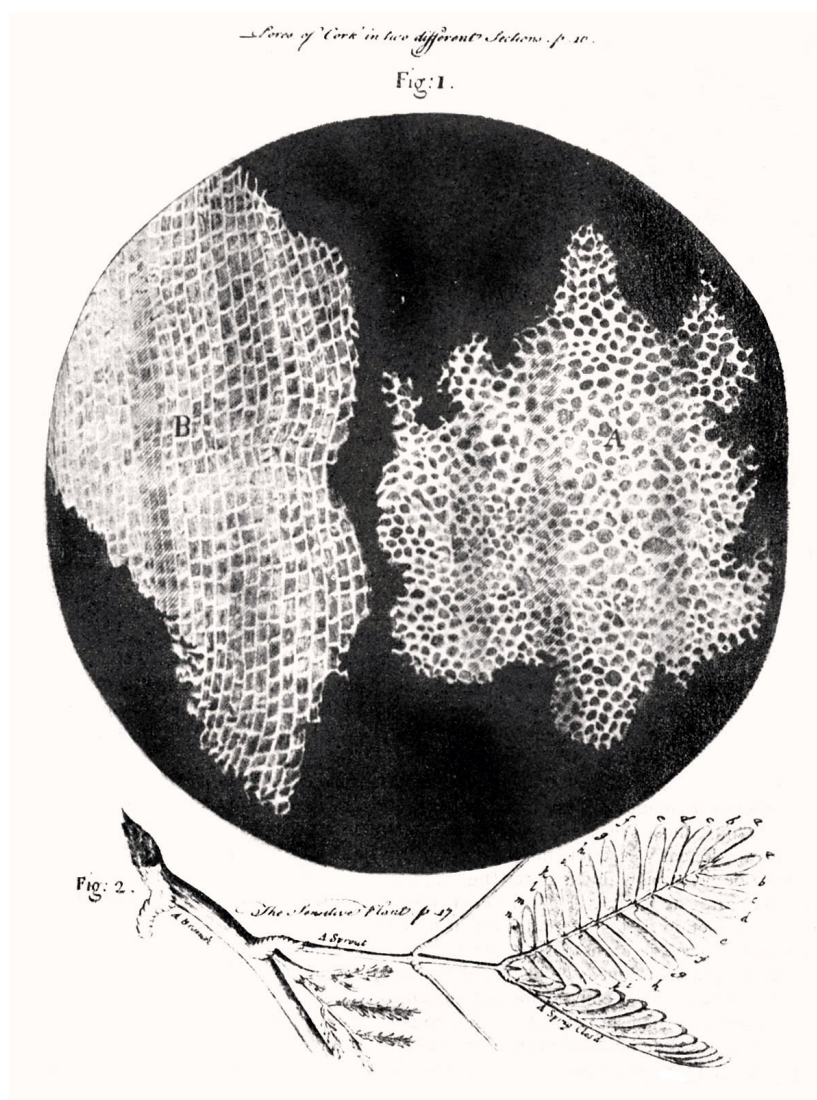


Рисунок 1. Рисунок пробки из «Микрографии» Роберта Гука (1665). Видимые ячейки ограничены сохранившимися клеточными стенками; содержимое зрелых клеток пробки отмирает. Роберт Гук. [Источник](#). Public domain. Открыть изображение.

02. Современные положения клеточной теории

Все организмы состоят из клеток и продуктов их жизнедеятельности; клетка — элементарная структурная, функциональная и генетическая единица живого. Клетки сходны по общему плану строения, химическому составу и основным процессам. Новая клетка возникает только путём деления предшествующей клетки.

В многоклеточном организме клетки специализируются, взаимодействуют и образуют ткани, органы и системы органов. Целостность организма поддерживается межклеточными сигналами, транспортом веществ и общей регуляцией. Наследственная информация передаётся дочерним клеткам при делении.

Вирусы не являются клетками. Они содержат наследственный материал и изменяются, но не имеют собственного аппарата синтеза белка и собственного обмена веществ. Поэтому вирусы — облигатные внутриклеточные паразиты и не опровергают клеточную теорию, описывающую клеточные формы жизни.

Положение	Что оно объясняет	Типичная ошибка
Клетка — единица живого	Минимальная система с собственным метаболизмом	Считать органоид самостоятельным организмом
Клетка из клетки	Преемственность при делении	Допускать самозарождение клетки
Сходство клеток	Единство происхождения и базовых процессов	Считать все клетки одинаковыми
Специализация в организме	Ткани и разделение функций	Забывать взаимодействие клеток

Клетка — элементарная открытая саморегулирующаяся система, способная к собственному обмену веществ и реализации наследственной информации.

03. Методы цитологии

Световая микроскопия использует видимый свет и стеклянные линзы. Она позволяет наблюдать живые клетки, движение и процессы во времени, но её разрешение ограничено длиной волны света. Окрашивание повышает контраст, однако может требовать фиксации и гибели объекта.

Просвечивающая электронная микроскопия показывает внутреннюю ультраструктуру тонкого среза. Сканирующая электронная микроскопия формирует изображение поверхности. В электронном микроскопе нельзя наблюдать живую клетку в обычном смысле: образец фиксируют и исследуют в вакууме.

Центрифугирование разделяет компоненты разрушенных клеток по размеру и плотности. Метод меченых атомов отслеживает путь вещества. Клеточная культура позволяет выращивать клетки в контролируемых условиях. Флуоресцентные метки выявляют положение конкретных молекул и структур.

Слово «микроскопия» является корректным названием частного метода. Но если задание просит общенаучный метод, ответом могут быть наблюдение, сравнение, измерение или эксперимент — в зависимости от действия исследователя.

Метод	Что даёт	Ограничение
Световая микроскопия	Клетки, крупные органоиды, живые процессы	Ограниченное разрешение
ПЭМ	Внутренняя ультраструктура тонкого среза	Сложная подготовка, неживой образец
СЭМ	Рельеф поверхности	Не показывает внутренность без специальных приёмов
Центрифугирование	Фракции клеточных компонентов	Разрушает целостность клетки
Флуоресцентная микроскопия	Локализация меченой молекулы	Нужна специфическая метка

Увеличение делает изображение больше; разрешение позволяет различить близко расположенные детали как отдельные.

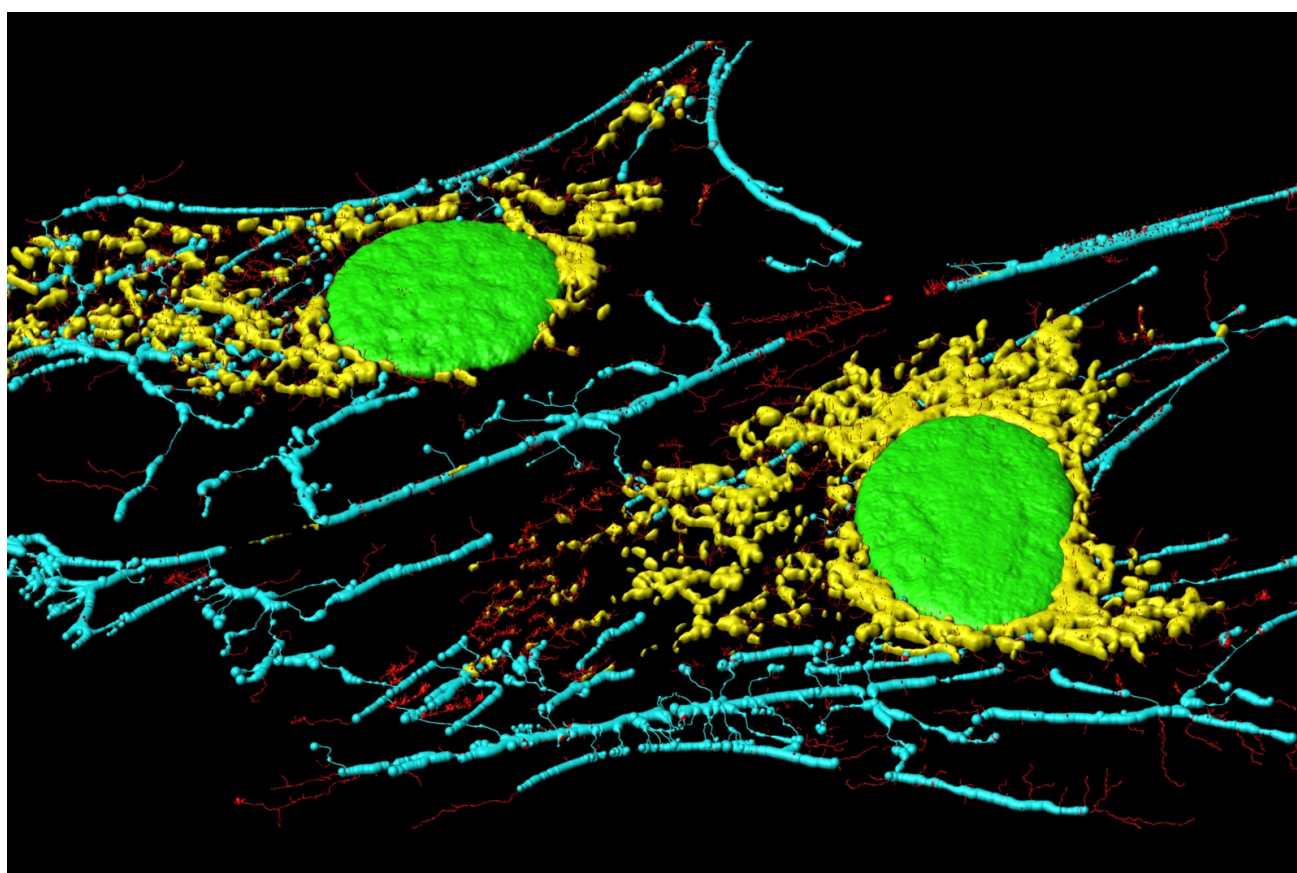


Рисунок 2. Флуоресцентное изображение клеток: ядра показаны зелёным, митохондрии — жёлтым, актиновые микрофиламенты — синим и красным. Разные метки позволяют различать структуры одной клетки. Heiti Paves. [Источник](#). CC BY-SA 3.0. [Открыть изображение](#).

04. Увеличение, разрешение и масштаб

Общее увеличение светового микроскопа равно произведению увеличения объектива и окуляра. Но большое число на объективе не гарантирует новых деталей: если разрешение недостаточно, изображение станет крупнее, но останется размытым.

Для расчёта используйте формулу: $\text{увеличение} = \frac{\text{размер изображения}}{\text{реальный размер}}$. Все величины нужно привести к одним единицам. 1 мм = 1000 мкм; 1 мкм = 1000 нм. Ошибка в переводе единиц меняет ответ в тысячу раз.

Если дана масштабная линейка, измерьте её длину на изображении и составьте пропорцию. Масштабная линейка надёжнее подписи « $\times 5000$ », потому что сохраняет смысл при изменении размера картинки в документе.

Разбор задач

Увеличение. Клетка длиной 40 мкм изображена длиной 8 см.

Решение. $8 \text{ см} = 80\,000 \text{ мкм}$. Увеличение $= 80\,000 / 40 = 2000$ раз.

Реальный размер. Изображение органоида 30 мм получено при увеличении $\times 15\,000$.

Решение. $30 \text{ мм} / 15\,000 = 0,002 \text{ мм} = 2 \text{ мкм}$.

Масштабная линейка. Линейка 5 мкм имеет на рисунке 20 мм, объект — 56 мм.

Решение. $56/20 \times 5 = 14 \text{ мкм}$.

Сначала единицы, затем формула. Увеличение без единицы измерения; реальный размер — с единицей.

05. Прокариотическая клетка: общий план

Прокариоты не имеют оформленного ядра и мембранных органоидов. Основная кольцевая молекула ДНК находится в области нуклеоида. Дополнительные небольшие кольцевые молекулы — плазмиды — могут нести гены устойчивости к антибиотикам или особых путей обмена.

В цитоплазме расположены рибосомы 70S. Плазматическая мембрана отделяет клетку и участвует в транспорте, дыхательной цепи и других энергетических процессах. Снаружи у большинства бактерий есть клеточная стенка; её состав отличается от стенки растений и грибов.

Структура	Функция	Обязательность
Плазматическая мембрана	Барьер, транспорт, энергетические процессы	Обязательна
Нуклеоид	Основная наследственная информация	Обязателен
Рибосомы 70S	Синтез белка	Обязательны
Клеточная стенка	Форма и защита от осмотического разрушения	Типична, но есть исключения
Плазмиды	Дополнительные гены	Не обязательны
Капсула, жгутики, пили	Защита, движение, контакт	Факультативны

Прокариот: нет ядра и мембранных органоидов; есть мембрана, цитоплазма, ДНК нуклеоида и рибосомы 70S.

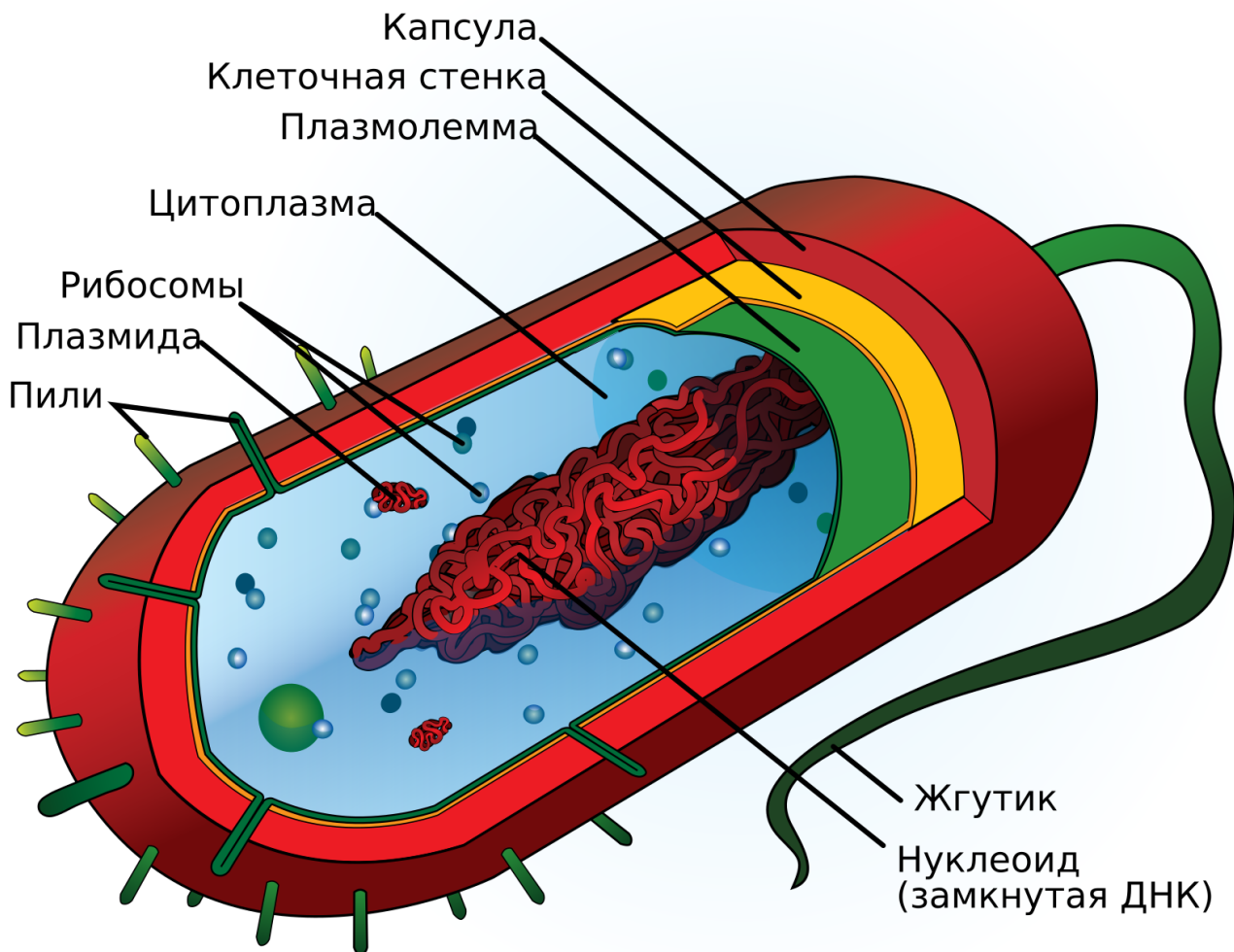


Рисунок 3. Общий план прокариотической клетки. Нуклеоид не отделён от цитоплазмы ядерной оболочкой; рибосомы обеспечивают синтез белка. Капсула, плазмиды и жгутики встречаются не у всех бактерий. Mariana Ruiz Villarreal (LadyofHats); русские подписи MaGic2laNTern. [Источник](#). Public domain. [Открыть изображение](#).

06. Споры и включения прокариот

Некоторые бактерии образуют эндоспоры — устойчивые покоящиеся структуры для переживания неблагоприятных условий. Это не способ размножения: из одной клетки формируется одна спора, а при прорастании — одна вегетативная клетка. Число организмов не увеличивается.

Включения бактерий могут накапливать гликоген, липиды, полифосфаты, серу или другие вещества. Они отражают условия среды и обмен клетки. Газовые вакуоли помогают некоторым водным прокариотам регулировать положение в толще воды.

Не смешивайте спору бактерии со спорой гриба или растения. У грибов и растений споры обычно участвуют в размножении и расселении; бактериальная эндоспора прежде всего обеспечивает выживание.

Эндоспора бактерии — форма покоя и устойчивости, а не размножения. Включение — временное накопление продукта или запаса.

07. Эукариотическая клетка как система компартментов

Эукариотическая клетка имеет оформленное ядро и мембранные органоиды. Компартментализация разделяет несовместимые реакции, создаёт локальные условия и позволяет точно регулировать потоки. Например, лизосомные гидролазы работают в кислой среде, а реакции цитозоля идут в других условиях.

Внутренние мембраны резко увеличивают площадь реакций. Но главное — не количество складок само по себе, а наличие белков и градиентов на этих мембранах. Кресты митохондрий несут комплексы дыхательной цепи; тилакоиды — компоненты световой фазы фотосинтеза.

Органоиды взаимосвязаны. Белок для секреции синтезируется на рибосомах шероховатой ЭПС, поступает в её полость, переносится в комплекс Гольджи, модифицируется, сортируется в везикулу и выводится экзоцитозом.

Компартментализация — разделение клетки мембранами на участки с разными условиями и функциями.

08. Немембранные органоиды и цитоскелет

Рибосомы состоят из рРНК и белков и осуществляют синтез полипептида. Свободные рибосомы обычно синтезируют белки цитозоля, связанные с ЭПС — белки секреции, мембран и эндомембранных компартментов. Сам процесс трансляции принципиально одинаков.

Цитоскелет включает микротрубочки, актиновые микрофиламенты и промежуточные филаменты. Он поддерживает форму, организует расположение органоидов, обеспечивает внутриклеточный транспорт, движение и участие в делении.

Клеточный центр животных содержит центриоли и организует микротрубочки. Базальные тельца ресничек и жгутиков структурно связаны с центриолями. Не приписывайте центриолям синтез белка или АТФ.

Структура	Состав/строение	Функция
Рибосома	рРНК + белки, две субъединицы	Трансляция
Микротрубочки	Тубулин	Транспорт, веретено, реснички
Актиновые филаменты	Актин	Движение, сокращение, цитокинез
Промежуточные филаменты	Разные белки	Механическая прочность
Клеточный центр	Центриоли и матрикс	Организация микротрубочек

Немембранные структуры не образуют отдельный замкнутый компартмент, но имеют определённый молекулярный состав и функцию.

09. Одномембранные органоиды

Эндоплазматическая сеть образует систему канальцев и цистерн. На шероховатой ЭПС находятся рибосомы; здесь начинается синтез и первичная обработка многих секреторных и мембранных белков. Гладкая ЭПС участвует в синтезе липидов, детоксикации и запасании Ca^{2+} в специализированных клетках.

Комплекс Гольджи принимает транспортные пузырьки, модифицирует молекулы, сортирует и упаковывает их. Его цистерны полярны: принимающая и отправляющая стороны различаются. Лизосомы содержат гидролитические ферменты и участвуют во внутриклеточном переваривании и обновлении компонентов.

Пероксисомы проводят окислительные реакции и обезвреживают перекись водорода с помощью каталазы. Вакуоли растений участвуют в запасании, окраске, поддержании тургора и внутриклеточном переваривании. Везикулы обеспечивают перенос между компартментами.

Органоид	Ключевая функция	Признак на изображении
Шероховатая ЭПС	Синтез/обработка белка	Цистерны с рибосомами
Гладкая ЭПС	Липиды, детоксикация, Ca^{2+}	Трубочки без рибосом
Комплекс Гольджи	Модификация и сортировка	Стопки уплощённых цистерн и пузырьки
Лизосома	Гидролиз	Небольшой одномембранный пузырёк
Пероксисома	Окисление и каталаза	По форме похожа на пузырёк; нужна функциональная подсказка

ЭПС синтезирует и транспортирует, комплекс Гольджи модифицирует и сортирует, везикулы доставляют, лизосомы расщепляют.

10. Двумембранные органоиды

Ядро окружено двойной оболочкой с порами. Внутри находятся хроматин и ядрышко. Ядерные поры обеспечивают избирательный обмен: РНК и рибосомные субъединицы выходят, белки ядерной локализации входят. Ядрышко связано с синтезом рРНК и сборкой субъединиц рибосом.

Митохондрия имеет наружную и внутреннюю мембраны, межмембранное пространство и матрикс. На внутренней мембране расположены дыхательная цепь и АТФ-синтаза; в матриксе идут реакции окисления пирувата и цикла Кребса. Кристы увеличивают площадь внутренней мембраны.

Пластиды растений включают хлоропласты, хромопласты и лейкопласты. Хлоропласт имеет двойную оболочку, строму и тилакоиды, собранные в граны. Световые реакции связаны с тилакоидной мембраной, фиксация CO_2 — со стромой.

Немембранные	Одномембранные	Двумембранные
рибосомы клеточный центр элементы цитоскелета	ЭПС комплекс Гольджи лизосомы пероксисомы вакуоли и везикулы	ядро митохондрии пластиды

Таблица. Органоиды по числу мембран

Двумембранные: ядро, митохондрии и пластиды. У митохондрий и пластид есть собственные ДНК и рибосомы.

11. Клеточные включения

Клеточные включения — непостоянные образования, связанные с накоплением запасных веществ, пигментов, секретов или продуктов обмена. Они могут появляться и исчезать в зависимости от функционального состояния клетки. Включение не является самостоятельным постоянным аппаратом с устойчивым набором функций.

Запасные включения: зёрна крахмала в растительных клетках, гранулы гликогена у животных и грибов, капли липидов в разных клетках. Пигментные включения: меланин, липофусцин, каротиноидные капли. Секреторные гранулы временно хранят продукт перед экзоцитозом. Кристаллы могут быть продуктами обмена.

Граница между включением и органоидом иногда не видна по одному снимку. Используйте признаки: постоянство, наличие специализированной мембраны и аппарата, воспроизводимая функция, участие в системных процессах. Липидная капля имеет организованную поверхность, но в школьной классификации рассматривается как включение.

Критерий	Органоид	Включение
Постоянство	Относительно постоянный компонент	Количество сильно меняется
Функциональная организация	Специализированный аппарат	Запас, продукт, пигмент или секрет
Примеры	Митохондрия, ЭПС, рибосома	Капля липида, гранула гликогена, кристалл

Включение — временное накопление вещества или продукта; органоид — специализированная структура, регулярно выполняющая клеточную функцию.

12. Растительная, животная и грибная клетки

Все три типа имеют ядро, цитоплазму, мембраны, рибосомы, ЭПС, комплекс Гольджи и митохондрии. Различия накладываются на общий эукариотический план. Поэтому наличие митохондрий не отличает животную клетку от растительной: растения тоже дышат.

Растительная клетка обычно имеет целлюлозную стенку, пластиды, крупную центральную вакуоль и запасает крахмал. Животная не имеет клеточной стенки и пластид, часто имеет типичный клеточный центр и запасает гликоген. Грибная имеет

стенку с хитином, не имеет пластид, запасает гликоген.

На микрофотографии признак должен быть действительно виден. Отсутствие хлоропластов не доказывает животную природу: клетки корня растения их обычно не имеют. Надёжнее сочетание признаков — стенка, вакуоль, пластиды, форма и контекст ткани.

Растение: целлюлозная стенка, пластиды, крупная вакуоль, крахмал. Гриб: хитиновая стенка, нет пластид, гликоген. Животное: нет стенки и пластид, гликоген.

Строение растительной клетки

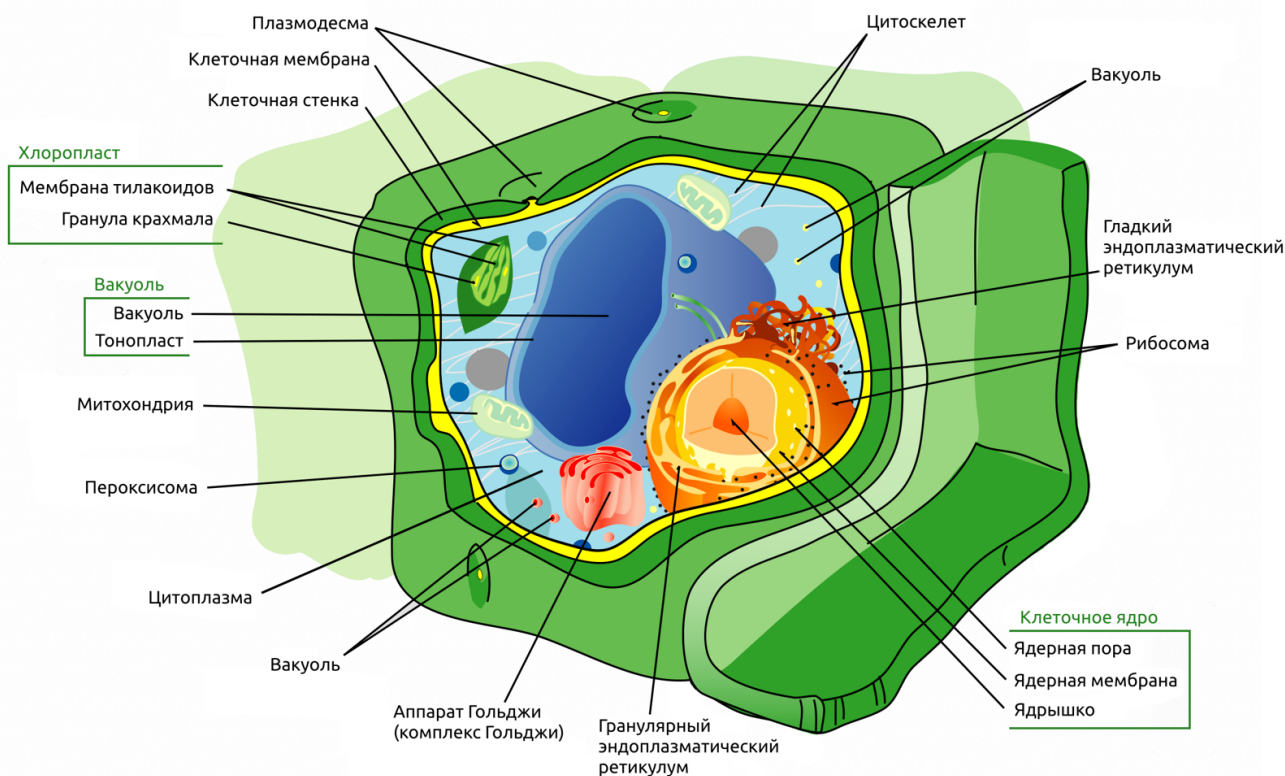


Рисунок 4. Растительная клетка: клеточная стенка, крупная вакуоль и пластиды дополняют общие для эукариот структуры. Хлоропласты характерны для фотосинтезирующих клеток, а не для любой клетки растения. LadyofHats, Dhatfield, Lady3mlnm. [Источник](#). CC0. [Открыть изображение](#).

13. Эндосимбиотическая теория

Согласно эндосимбиотической теории, предки митохондрий и пластид были свободноживущими прокариотами, поглощёнными другой клеткой и сохранившимися как взаимовыгодные симбионты. Со временем большая часть генов перешла в ядро, а органоиды стали зависимыми от клетки.

Доказательства: собственная кольцевая ДНК, рибосомы прокариотического типа, деление надвое, две мембраны, сходство некоторых генов и белков с бактериальными. Ни один признак отдельно не является полной историей, но их совокупность поддерживает модель.

Не распространяйте эту теорию на ядро, ЭПС или комплекс Гольджи. Их происхождение объясняют другими моделями, связанными с внутренними мембранами древней клетки.

Совокупность независимых признаков митохондрий и пластид указывает на происхождение от древних прокариотических симбионтов.

Рибосомы митохондрий родственны бактериальным, но их коэффициент седиментации неодинаков у разных организмов: у млекопитающих митохондриальные рибосомы — 55S. Поэтому обозначение 70S нельзя безоговорочно переносить на все митохондрии.

14. Функциональные комплексы и алгоритм микрофотографии

Секреторный путь: ядро → транскрипция → ядерная пора → рибосома шероховатой ЭПС → полость ЭПС → транспортная везикула → комплекс Гольджи → секреторная везикула → плазматическая мембрана. Каждая стрелка означает конкретный перенос или преобразование.

Энергетический комплекс: субстрат поступает в цитозоль, часть реакций идёт в нём, продукты поступают в митохондрию, где матрикс и внутренняя мембрана выполняют разные этапы. Цитоскелет и моторные белки доставляют органоиды и пузырьки в нужные участки.

Алгоритм снимка: 1) оценить масштаб; 2) найти внешнюю границу; 3) определить число мембран; 4) описать внутренний рисунок; 5) сопоставить со структурой; 6) назвать функцию, объяснив её через видимый признак. Если признак не различим, не придумывайте его.

Разбор задач

Микрофотография. Органоид овальный, ограничен двумя мембранами, внутренняя образует многочисленные складки.

Решение. Это митохондрия. Складки — кристы; они увеличивают площадь размещения дыхательной цепи и АТФ-синтазы.

Включение. В клетках после голодания стало меньше электронно-плотных гранул без собственной двойной мембраны.

Решение. Вероятно, расходуются запасные включения. Для точной идентификации нужен химический тест или специфическое окрашивание.

[Пройти тест по этому уроку: 60 заданий с ответами](#)

[Следующий урок: Урок 4. Биологические мембраны](#)

[Все материалы курса «Биология ЕГЭ»](#)