

Урок 4. Биологические мембраны

Строение мембраны, транспорт веществ и клеточные сигналы

Теория

Содержание урока

01. Фосфолипидный бислой
02. Жидкостно-мозаичная модель
03. Простая диффузия
04. Облегчённая диффузия
05. Осмос и водный потенциал
06. Тоничность, плазмолиз и деплазмолиз
07. Первично-активный транспорт
08. Вторично-активный и сопряжённый транспорт
09. Эндоцитоз и экзоцитоз
10. Рецепторы и передача сигнала
11. Межклеточные контакты
12. Клеточная стенка и внеклеточный матрикс
13. Эксперимент с мембраной

01. Фосфолипидный бислой

Фосфолипид амфифиллен: гидрофильная головка взаимодействует с водой, гидрофобные хвосты избегают её. В водной среде молекулы самопроизвольно образуют бислой: головки обращены к растворам снаружи и внутри клетки, хвосты скрыты в середине.

Бислой создаёт барьер прежде всего для ионов и большинства крупных полярных молекул. Малые неполярные молекулы, например O_2 и CO_2 , проходят легче. Вода проходит через мембрану и особенно быстро — через белковые водные каналы аквапорины.

Состав липидов влияет на текучесть. Ненасыщенные хвосты имеют изгибы и мешают плотной упаковке. Холестерин у животных ограничивает чрезмерную текучесть при высокой температуре и препятствует слишком плотной упаковке при снижении температуры.

Гидрофобная сердцевина бислоя — главный барьер для ионов и полярных веществ; амфифильность обеспечивает самосборку мембраны.

02. Жидкостно-мозаичная модель

«Жидкостная» означает, что многие липиды и белки способны перемещаться в плоскости мембраны. «Мозаичная» — что в липидной основе распределены разные белки и углеводные компоненты. Мембрана асимметрична: внешняя и внутренняя стороны отличаются составом и функциями.

Интегральные белки погружены в бислой, многие проходят его насквозь. Периферические белки связаны с поверхностью. Мембранные белки работают как каналы, переносчики, насосы, ферменты, рецепторы, молекулы адгезии и якоря цитоскелета.

Углеводные цепи гликопротеинов и гликолипидов расположены преимущественно на наружной поверхности и образуют гликокаликс. Он участвует в распознавании, защите и контактах. Утверждение «углеводы лежат внутри бислоя» неверно: гидрофильные цепи обращены к водной среде.

Компонент	Расположение	Функции
Фосфолипиды	Основа бислоя	Барьер, текучесть, самосборка
Холестерин	Между хвостами липидов	Регуляция текучести и проницаемости
Интегральные белки	В толще мембраны	Транспорт, рецепция, ферментативная работа
Периферические белки	На поверхности	Сигналы, цитоскелет, ферменты
Углеводные цепи	На наружной стороне	Распознавание и защита

Функцию мембраны объясняют через конкретный компонент: бислой — барьер; канал — путь; насос — градиент; рецептор — сигнал; гликокаликс — распознавание.

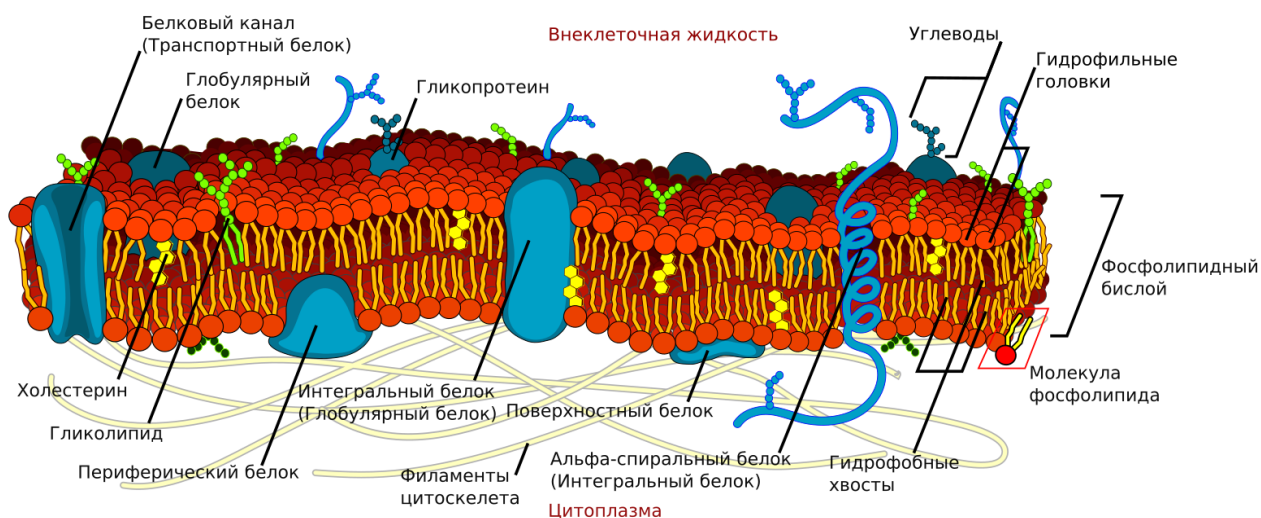


Рисунок 1. Жидкостно-мозаичная модель мембраны. Гидрофильные головки липидов обращены к водной среде, гидрофобные хвосты — внутрь бислоя. Белки участвуют в транспорте, передаче сигналов и межклеточных взаимодействиях. DROVOSEK1917. [Источник](#). СС0. Открыть изображение.

03. Простая диффузия

Диффузия — направленное в среднем перемещение частиц из области большей концентрации в область меньшей вследствие их теплового движения. Отдельные частицы движутся хаотично в обе стороны, но суммарный поток идёт по градиенту.

Через липидный бислой простой диффузией проходят малые неполярные молекулы и некоторые малые незаряженные молекулы. Скорость зависит от площади мембраны, величины градиента, температуры, толщины барьера и свойств вещества.

Равновесие не означает остановку движения. Частицы продолжают перемещаться, но потоки в двух направлениях равны. Простая диффузия не требует непосредственной затраты АТФ, однако сам градиент мог быть ранее создан активным транспортом.

Простая диффузия: по градиенту, через бислой, без белка и без прямой затраты АТФ.

04. Облегчённая диффузия

Облегчённая диффузия идёт по электрохимическому градиенту, но с участием мембранного белка. Канал создаёт гидрофильную пору; переносчик связывает вещество, изменяет конформацию и освобождает его с другой стороны.

Белковый транспорт избирателен и насыщаем. При высокой концентрации все каналы или переносчики работают, и дальнейшее увеличение концентрации не вызывает пропорционального роста скорости. Ингибитор или мутация белка могут снизить перенос.

Для иона направление определяется не только концентрацией, но и электрическим полем. Электрохимический градиент объединяет химическую и электрическую составляющие. На базовом уровне достаточно определить направление по условию; на 80+ проговорите обе силы.

Признак	Простая диффузия	Облегчённая диффузия
Направление	По градиенту	По электрохимическому градиенту
Белок	Не нужен	Канал или переносчик
Насыщение	Обычно линейнее в рабочем диапазоне	Есть плато при занятости белков
Специфичность	Зависит от свойств молекулы	Определяется белком

Наличие белка не делает транспорт активным. Ключевой вопрос — идёт ли вещество против своего электрохимического градиента и нужен ли источник энергии.

05. Осмос и водный потенциал

Осмос — движение воды через избирательно проницаемую мембрану. В школьной формулировке вода перемещается из раствора с меньшей концентрацией эффективных растворённых веществ в раствор с большей. Для точного языка используют водный потенциал: вода движется из области более высокого водного потенциала в область более низкого.

Растворённые вещества уменьшают водный потенциал, а давление может его повышать. В растительной клетке поступление воды увеличивает тургорное давление, которое противодействует дальнейшему входу воды. Поэтому равновесие может установиться при разных концентрациях по сторонам мембраны.

Не говорите, что вода движется «туда, где её нет». В обоих растворах воды много. Не путайте осмос с движением растворённого вещества. И всегда проверяйте проницаемость: если растворённое вещество свободно проходит, первоначальная разность может быстро исчезнуть.

Разбор задач

Модель. Мешочек с раствором сахарозы помещён в воду; мембрана пропускает воду, но не сахарозу.

Решение. Вода входит в мешочек; масса и объём увеличиваются, пока разность водного потенциала не уравнивается давлением.

Ограничение. Можно ли сравнить тоничность двух растворов только по массовой доле?

Решение. Не всегда. Нужны число частиц и проницаемость мембраны для каждого растворённого вещества.

Вода движется по градиенту водного потенциала. Тоничность описывает влияние раствора на объём клетки с учётом непроницающих частиц.

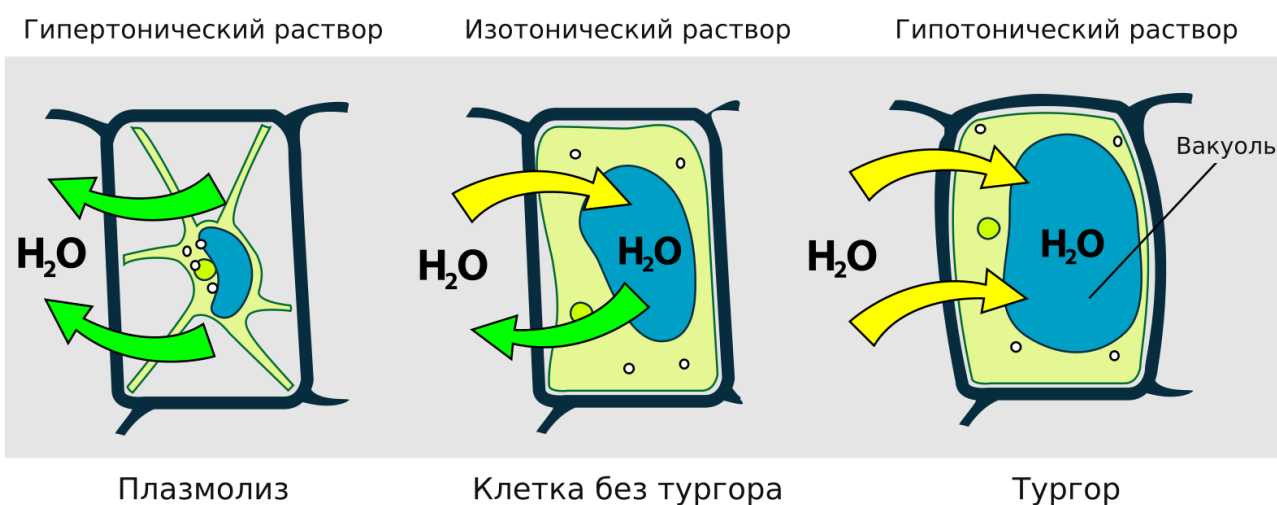


Рисунок 2. Растительная клетка в гипертоническом, изотоническом и гипотоническом растворах. При выходе воды развивается плазмолиз; при поступлении воды возрастает тургор. LadyofHats. [Источник](#). Public domain. Открыть изображение. Подписи переведены на русский язык.

06. Тоничность, плазмолиз и деплазмолиз

В гипотонической среде вода входит в клетку. Животная клетка может набухнуть и разрушиться, потому что жёсткой стенки нет. Растительная клетка становится тургорной: клеточная стенка ограничивает увеличение объёма и создаётся давление.

В гипертонической среде вода выходит. Животная клетка сморщивается. У растительной протопласт уменьшается и плазматическая мембрана отходит от клеточной стенки — это плазмолиз. Если вернуть клетку в гипотоническую среду и повреждение обратимо, идёт деплазмолиз.

Изотонический раствор не вызывает направленного изменения объёма животной клетки. Но для растительной клетки он может не создавать максимального тургора. Термины гипо-, гипер- и изотонический всегда относятся к сравнению конкретного раствора и клетки.

Среда	Животная клетка	Растительная клетка
Гипотоническая	Набухание, возможен лизис	Тургор
Изотоническая	Объём стабилен	Тургор снижен по сравнению с водой

Среда	Животная клетка	Растительная клетка
Гипертоническая	Сморщивание	Плазмолиз

Плазмолиз — отделение протопласта от клеточной стенки вследствие выхода воды в гипертонической среде.



Рисунок 3. Плазмолиз в клетках растительной ткани: протопласт теряет воду и отходит от клеточной стенки. Стенка сохраняет форму, поэтому уменьшение объёма содержимого не равно уменьшению размеров всей клетки. Trương Minh Khải. [Источник. CC BY 4.0. Открыть изображение.](#)

07. Первично-активный транспорт

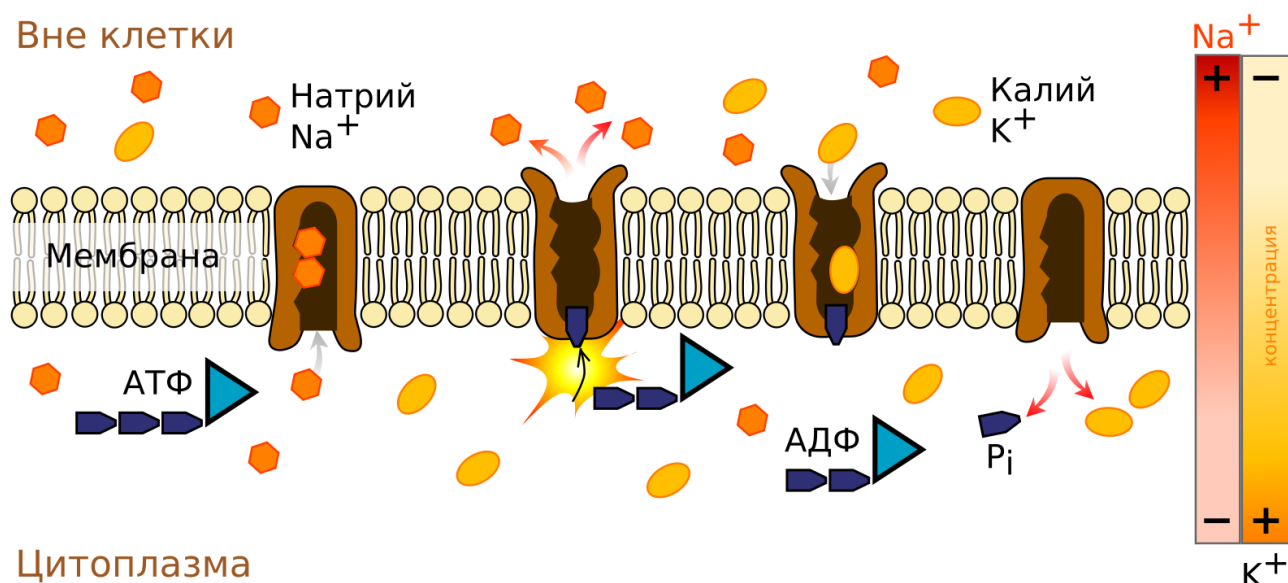
Активный транспорт переносит вещество против электрохимического градиента и требует энергии. В первично-активном транспорте источник энергии непосредственно связан с работой насоса, часто через гидролиз АТФ.

Натрий-калиевая АТФаза за цикл выводит из клетки три Na^+ и вводит два K^+ , расходуя АТФ. Она поддерживает ионные градиенты, необходимые для мембранного потенциала, вторичного транспорта и осмотического баланса.

Насос не «толкает воду». Он создаёт распределение ионов, которое влияет на осмос. Если синтез АТФ остановлен, насосы замедляются, градиенты постепенно рассеиваются через утечки и каналы.

Первично-активный транспорт напрямую использует источник энергии для переноса против градиента.

Вне клетки



Цитоплазма

Рисунок 4. Работа натрий-калиевого насоса. На один цикл с расходом одной АТФ из клетки выводятся три Na^+ , а внутрь поступают два K^+ . Перенос идёт против электрохимических градиентов. Справа показано различие концентраций ионов. Русские подписи адаптированы. Mariana Ruiz Villarreal (LadyofHats). [Источник](#). Public domain. Открыть изображение. Подписи переведены на русский язык.

08. Вторично-активный и сопряжённый транспорт

Во вторично-активном транспорте белок не обязательно гидролизует АТФ сам. Он использует энергию градиента одного вещества, созданного другим насосом, чтобы переносить второе вещество против его градиента.

Симпорт переносит вещества в одном направлении, антипорт — в противоположных. Например, вход Na^+ по градиенту может быть сопряжён с входом глюкозы против её градиента. Энергия всё равно косвенно связана с АТФ, потому что натриевый градиент поддерживается насосом.

Разбирая задачу, разделите два уровня: какой белок создаёт первичный градиент и какой использует его. Ошибка — назвать котранспорт пассивным только потому, что один ион движется по градиенту.

Тип	Источник энергии	Пример логики
Первично-активный	Непосредственно АТФ или другой источник	Насос создаёт градиент
Вторично-активный	Градиент другого вещества	Котранспорт использует запасённую энергию
Облегчённая диффузия	Не требуется	Одно вещество идёт по собственному градиенту

Сопряжённый транспорт использует энергетически выгодное движение одного вещества для невыгодного переноса другого.

09. Эндоцитоз и экзоцитоз

Крупные частицы и макромолекулы перемещаются в составе мембранных пузырьков. При эндоцитозе мембрана впячивается и отделяет везикулу внутрь клетки. Фагоцитоз захватывает крупные частицы, пиноцитоз — жидкость, рецептор-опосредованный эндоцитоз избирательно концентрирует лиганды.

При экзоцитозе везикула сливается с плазматической мембраной и выделяет содержимое. Так секретируются гормоны, нейромедиаторы, ферменты и компоненты внеклеточного матрикса. Одновременно липиды и белки везикулы включаются в мембрану.

Везикулярный транспорт требует энергии, цитоскелета, белков узнавания и слияния. Не называйте его диффузией: вещество не проходит через липидную сердцевину отдельными молекулами.

Эндоцитоз вводит материал в везикуле, экзоцитоз выводит и одновременно обновляет плазматическую мембрану.

10. Рецепторы и передача сигнала

Рецептор специфически связывает сигнальную молекулу — лиганд. Мембранный рецептор передаёт изменение на внутреннюю сторону, где запускается каскад. Сигнал может усиливаться: одна активная молекула активирует множество следующих.

Вторичные посредники — небольшие внутриклеточные молекулы или ионы, распространяющие сигнал. Итогом может быть изменение активности ферментов, проницаемости каналов, цитоскелета или экспрессии генов.

Жирорастворимые сигнальные молекулы иногда проходят через мембрану и связываются с внутриклеточными рецепторами. Поэтому фраза «все рецепторы находятся на поверхности» неверна. Место рецептора связано со свойствами лиганда.

Сигнальная цепь: лиганд → рецептор → внутриклеточная передача и усиление → специфический клеточный ответ.

11. Межклеточные контакты

Плотные контакты герметизируют пространство между соседними клетками и ограничивают парацеллюлярный перенос. Десмосомы механически соединяют цитоскелеты и особенно важны в тканях с нагрузкой. Щелевые контакты образуют каналы между цитоплазмами для ионов и малых молекул.

У растений соседние клетки соединены плазмодесмами — каналами через клеточные стенки. Они обеспечивают симпластический транспорт и сигнализацию. Стенка не изолирует клетки полностью.

Молекулы адгезии не только «склеивают» клетки. Они передают сигналы, влияют на форму, миграцию и дифференцировку. Нарушение контактов может изменить организацию ткани.

Контакт	Основная функция	Где особенно важен
Плотный	Барьер между клетками	Эпителии

Контакт	Основная функция	Где особенно важен
Десмосома	Механическая прочность	Кожа, сердечная мышца
Щелевой	Обмен ионами и малыми молекулами	Согласование работы клеток
Плазмодесма	Связь растительных цитоплазм	Ткани растений

Тип контакта выводят из задачи ткани: герметизация, прочность или быстрый обмен сигналами.

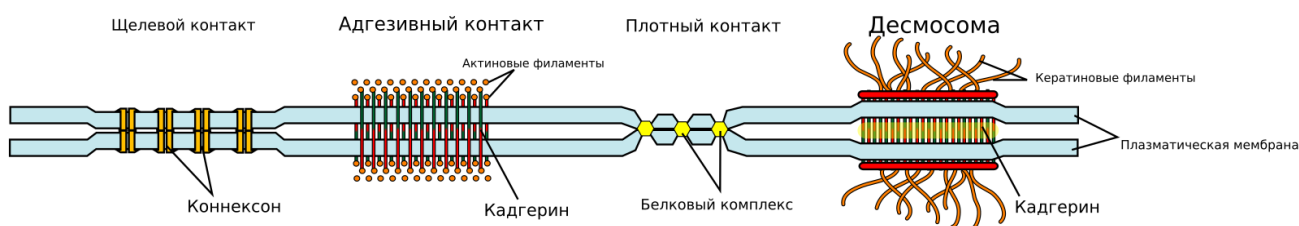


Рисунок 5. Межклеточные контакты животных: щелевой, адгезивный, плотный контакт и десмосома. Они обеспечивают обмен, барьер и механическую связь клеток. Mariana Ruiz Villarreal (LadyofHats). [Источник](#). Public domain. Открыть изображение. Подписи переведены на русский язык.

12. Клеточная стенка и внеклеточный матрикс

Клеточная стенка растений содержит целлюлозные микрофибриллы и матрикс полисахаридов. Она поддерживает форму, препятствует осмотическому разрушению и направляет рост. При этом плазматическая мембрана остаётся избирательным барьером.

Стенка грибов содержит хитин и другие полисахариды. Бактериальная стенка имеет иной состав. Нельзя использовать слово «клеточная стенка» как доказательство принадлежности только к растениям.

Внеклеточный матрикс животных состоит из белков и полисахаридных комплексов, включая коллаген и протеогликаны. Через интегрины он связан с цитоскелетом и передаёт механические и химические сигналы.

Надмембранные структуры обеспечивают опору и взаимодействия, но их состав различается у растений, грибов, бактерий и животных.

13. Эксперимент с мембраной

Классический опыт: цилиндры картофеля одинакового размера помещают в растворы сахарозы разной концентрации. До и после измеряют массу. Независимая переменная — концентрация раствора; зависимая — относительное изменение массы. Контролируют размер образцов, время, температуру, объём раствора, сорт и участок клубня.

Точка, где масса не меняется, приближённо соответствует равновесию водных потенциалов ткани и раствора. Но вывод ограничен: клетки неоднородны, раствор может проникать в межклетники, поверхность цилиндров отличается. Нужны повторы и средние значения.

Для опыта с пигментом свёклы измеряют выход окрашенного вещества при разных температурах или концентрациях растворителя. Усиление окраски может указывать на повышение проницаемости и повреждение мембран, но также зависит от размера кусочков, промывки поверхности и времени.

Разбор задач

Осмоз картофеля. При 0,2 М масса выросла на 8%, при 0,4 М не изменилась, при 0,6 М снизилась на 10%.

Решение. Раствор 0,4 М близок к изотоническому для исследованной ткани в данных условиях; нельзя утверждать точную концентрацию клеточного сока без дополнительных данных.

Свёкла. Почему кусочки нужно предварительно промыть?

Решение. Чтобы удалить пигмент из клеток, повреждённых при нарезке, и снизить стартовый фон.

При исследовании мембраны контролируют состав раствора, температуру, площадь поверхности и время воздействия.

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

[Следующий урок: Урок 5. Энергетический обмен](#)

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