



Строение мембран. Пассивный мембранный транспорт

Мембранный транспорт

- Частный случай явления переноса веществ через биологическую мембрану.

Явления переноса

```
graph TD; A[Явления переноса] --- B[Диффузия - перенос массы вещества]; A --- C[Вязкость - перенос импульса]; A --- D[Теплопроводность - перенос энергии]; A --- E[Электропроводность - перенос заряда];
```

Диффузия - перенос массы вещества

Вязкость – перенос импульса

Теплопроводность – перенос энергии

Электропроводность – перенос заряда

Виды мембранного транспорта

1. Пассивный транспорт

➔ Это перенос молекул и ионов из области с большей концентрацией в область меньших концентраций (т.е. **по градиенту концентрации**)

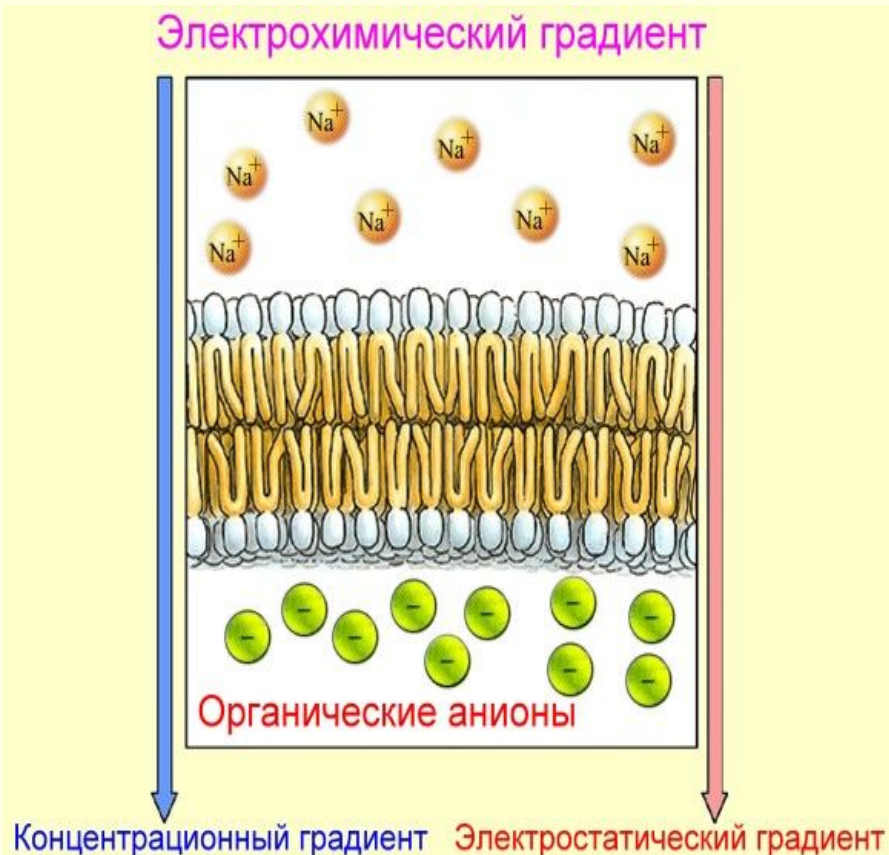
➔ **Не** требует затрат энергии

2. Активный транспорт

- Перенос молекул и ионов **в направлении градиента концентраций** (из области меньших концентраций в область больших концентраций)
- Происходит **с затратой энергии**
- Энергия освобождается в результате **гидролиза АТФ** при работе ионных насосов (помп) в мембране
- Пример: Na/K насос (помпа)

Пассивный транспорт

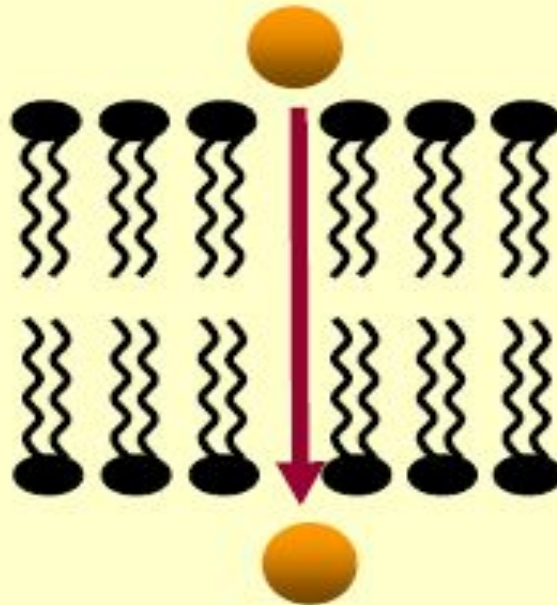
- В основе пассивного транспорта лежит разность концентраций и зарядов. Вещества всегда перемещаются по градиенту концентрации. Если молекула заряжена, то на ее транспорт влияет и электрический градиент. Поэтому часто говорят об электрохимическом градиенте.



Виды пассивного транспорта

а) простая диффузия

➔ Вещество проходит путем растворения в липидах



➔ Перенос простых незаряженных молекул (O_2 , CO_2 и N_2), жирорастворимых веществ

➔ Протекает медленно

Диффузия в мембранах

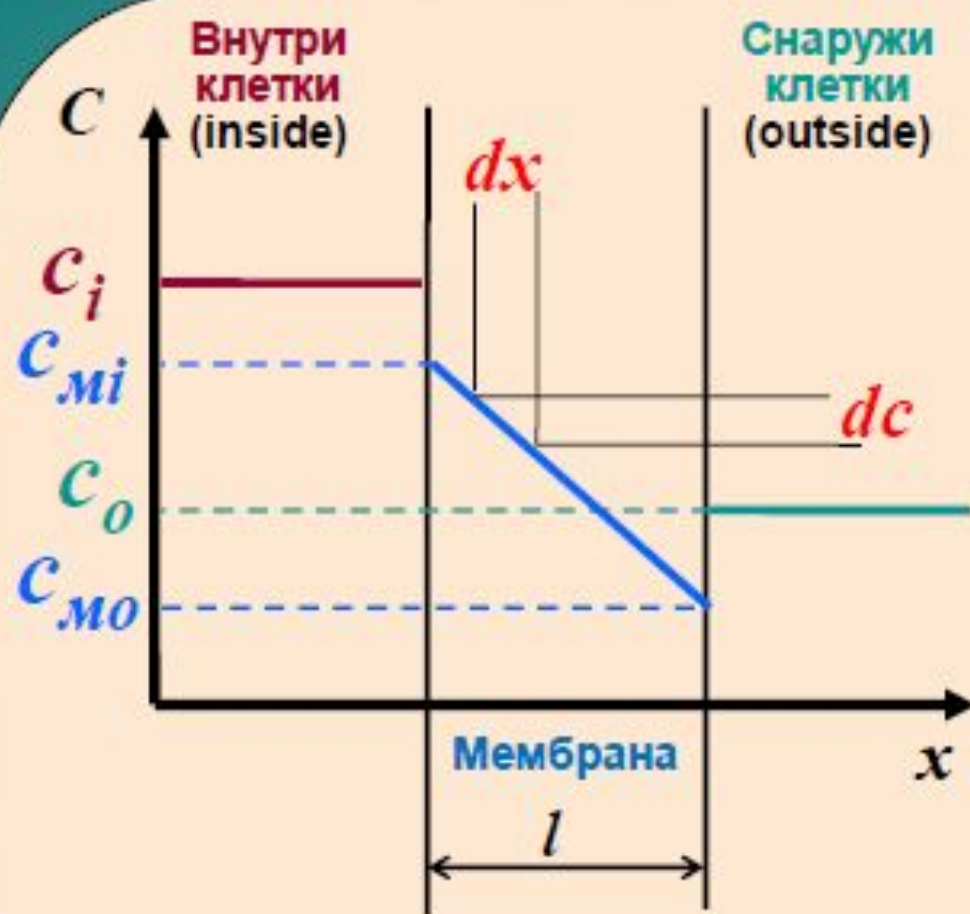


➔ Октанол похож на липиды мембран

$$\frac{C_{\text{окт}}}{C_{\text{вода}}} = K$$

коэффициент распределения -
величина, равная отношению
равновесных концентраций
вещества в граничащих средах

➔ Чем **больше** K , тем **лучше** вещество растворяется в мембране и лучше через нее пройдет



Молярные концентрации вещества:

c_i и c_o – внутри и вне клетки
вне мембраны

c_{mi} и c_{mo} – внутри мембраны на границе с водной фазой внутренней и внешней сторон клетки

Пусть $K < 1$ (коэффициент распределения)

➔ Примем, что концентрация вещества внутри мембраны меняется линейно

➔ Тогда градиент концентрации внутри мембраны:

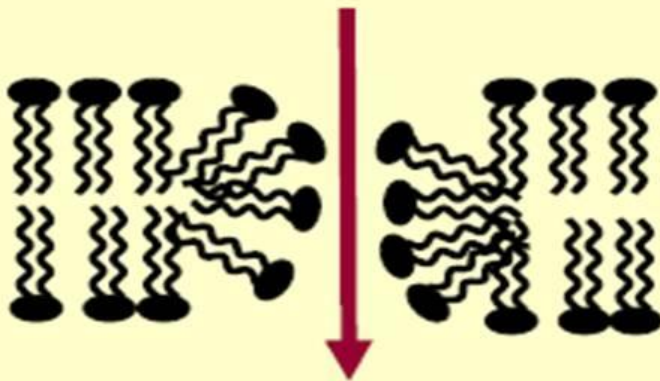
$$\frac{dc}{dx} = \text{const} = \frac{c_{mo} - c_{mi}}{l}$$

Виды пассивного транспорта

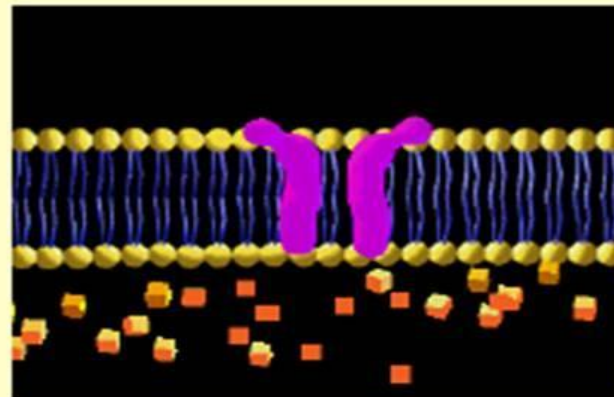
б) Диффузия через липидные белковые поры (каналы)

- ➔ Перенос ионов и H_2O
- ➔ При помощи **каналов проницаемости** (пор) или молекул-переносчиков – **ионофоров**
- ➔ Каналы проницаемости селективны (избирательны) для разных видов ионов

Каналы проницаемости :



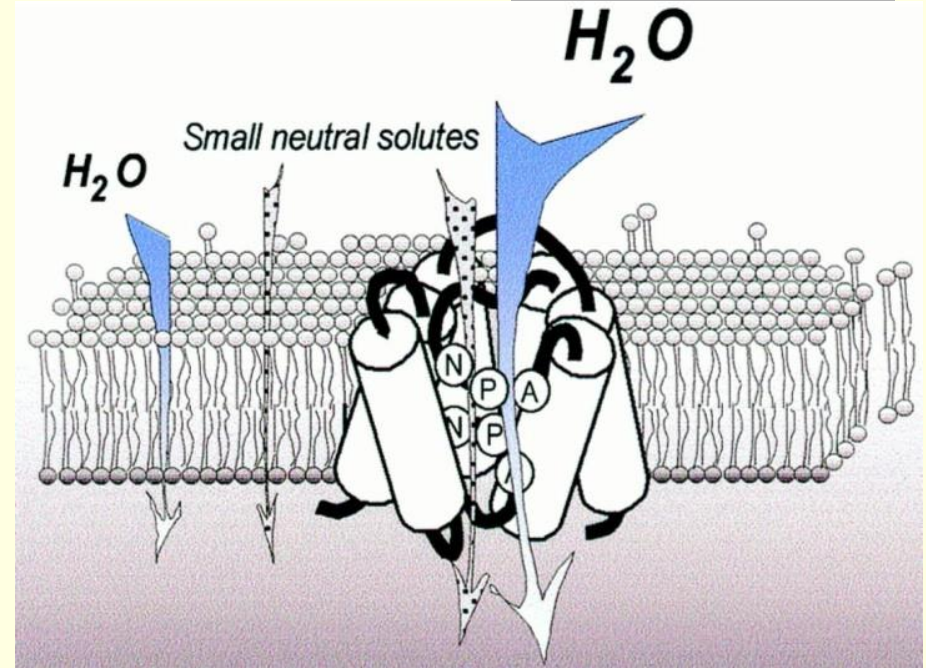
Липидная пора
Перенос H_2O



Белковые каналы
 Na^+ , K^+ или H^+ каналы

Транспорт воды через мембрану

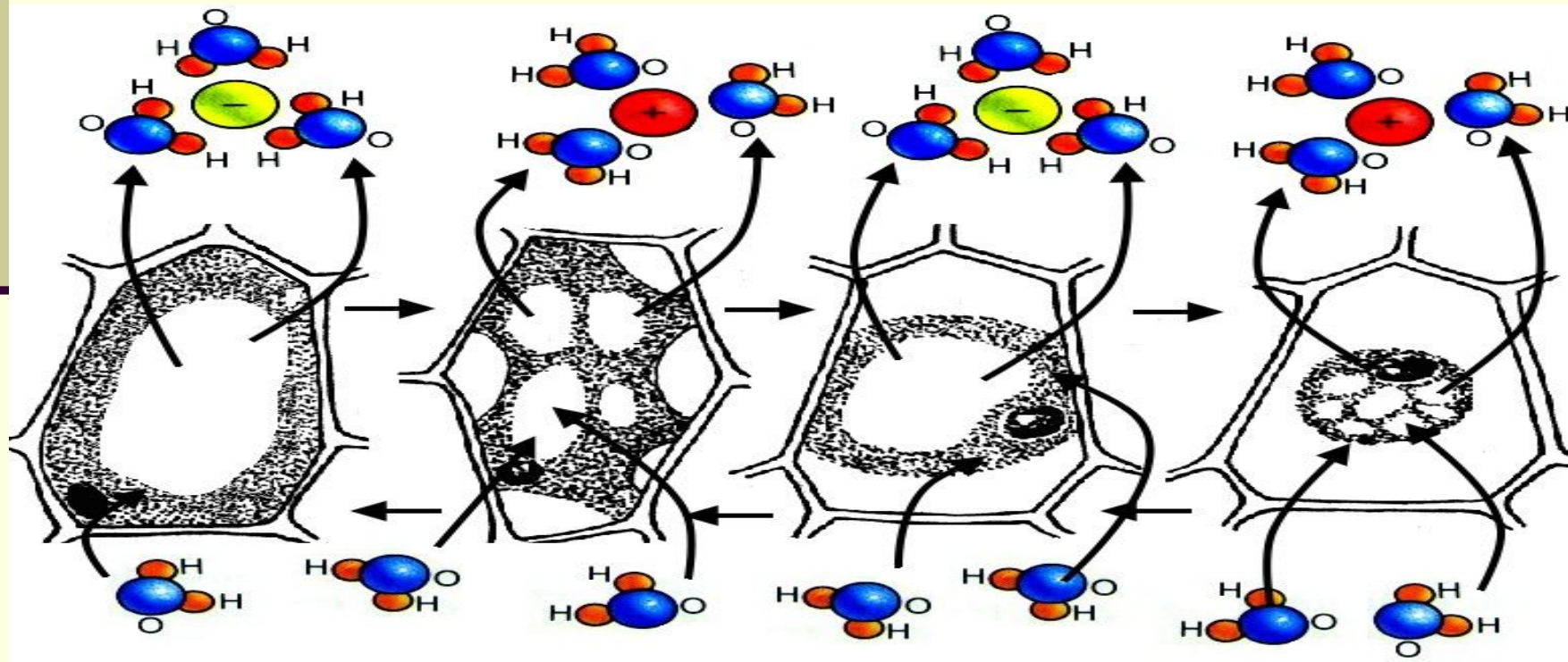
Диффузию воды через мембраны называют осмосом. Вода, очень быстро проникает через липидный бислой. Это объясняется тем, что ее молекула мала и электрически нейтральна.



Существуют и аквапорины – белки, обеспечивающие быстрое прохождение воды через мембрану.

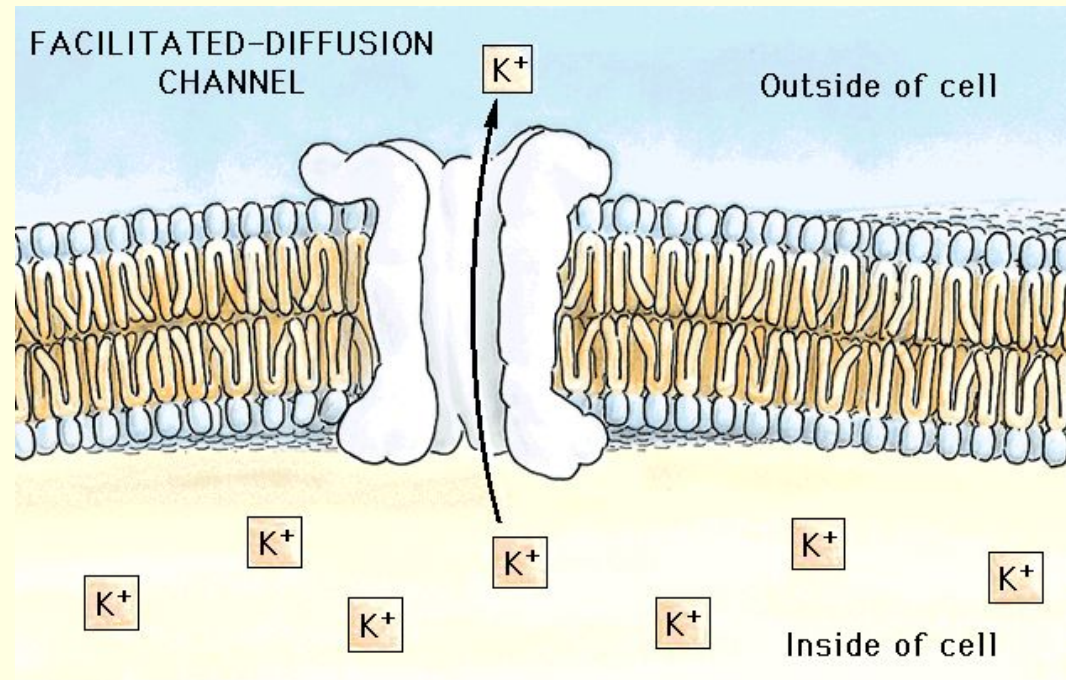
Транспорт воды через мембрану

При добавлении 10% раствора поваренной соли к препарату кожицы лука наблюдается плазмолиз – ионы Na^+ и Cl^- вызывают выход воды из протопласта клетки и отставание протопласта от оболочки. При удалении раствора соли и добавлении воды идет обратный процесс – деплазмолиз – примеры осмоса.



Диффузия через мембранные каналы

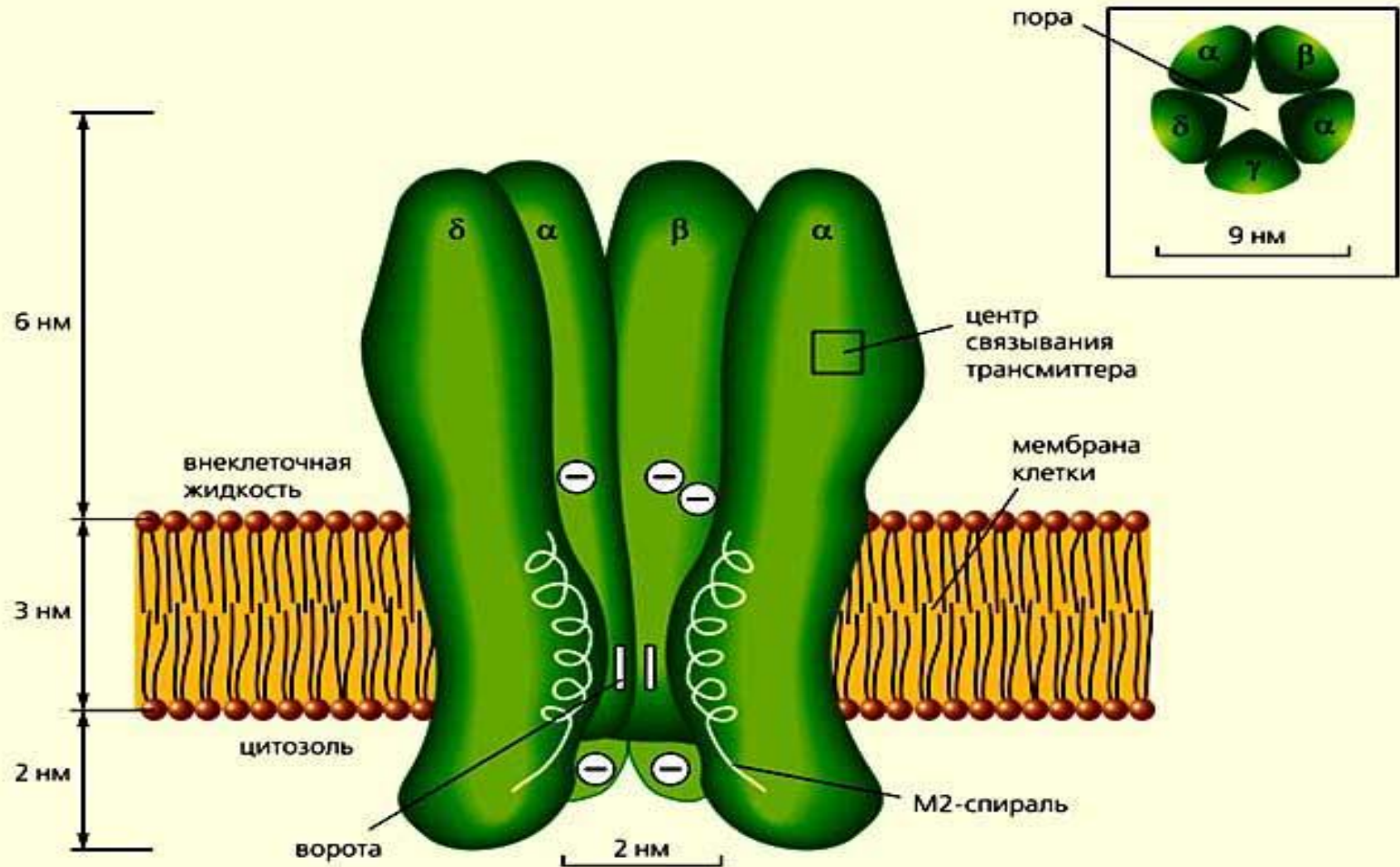
Заряженные молекулы и ионы (Na^{\pm} , K^{\pm} , $\text{Ca}^{2\pm}$, Cl^{\pm}) не способны проходить через липидный бислой путем простой диффузии, тем не менее, они проникают через мембрану, благодаря наличию в ней особых каналообразующих белков, формирующих различные каналы.



Ионные каналы

- Это сложные трансмембранные белковые структуры, пронизывающие клеточную мембрану поперёк в виде нескольких петель и образующие пору;
- Канальные белки состоят из нескольких субъединиц, в которых имеются дополнительные молекулярные системы: открытия, закрытия, избирательности, инактивации, рецепции и регуляции.
- ИК могут иметь не один, а несколько участков (сайтов) для связывания с управляющими веществами (лигандами).

Структура ионного канала

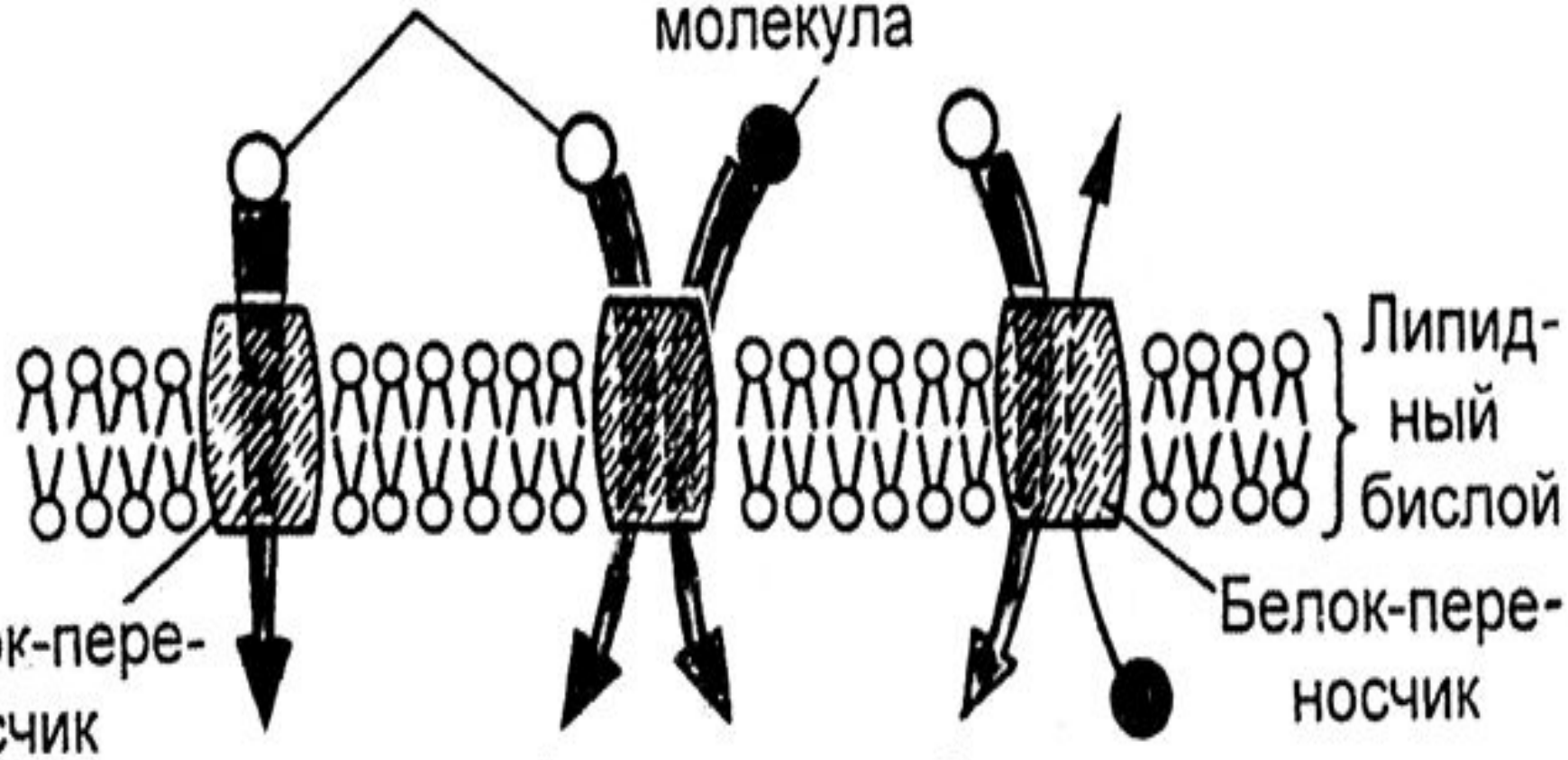


Функции ионных каналов

- **Главная функция ИК - обеспечивать управляемое перемещение ионов через мембрану.**
- Регуляция водного обмена клетки: объём и тургор.
- Регуляция pH: закисление и защелачивание.
- Регуляция ионного обмена (обмен солей): изменение внутриклеточного ионного состава и концентрации.
- Создание и изменение мембранных потенциалов: потенциал покоя; в возбудимых клетках - локальные потенциалы, потенциал действия.
- Проведение возбуждения в возбудимых клетках: обеспечение движения нервных импульсов.
- Трансдукция в сенсорных рецепторах: преобразование раздражения (стимула) в возбуждение.
- Управление активностью клетки: за счёт обеспечения потоков вторичного мессенджера - Ca^{2+} .

Транспортируемая молекула

Контранспортируемая молекула



Белок-переносчик

Белок-переносчик

Липидный бислой

Унипорт

Симпорт

Антипорт



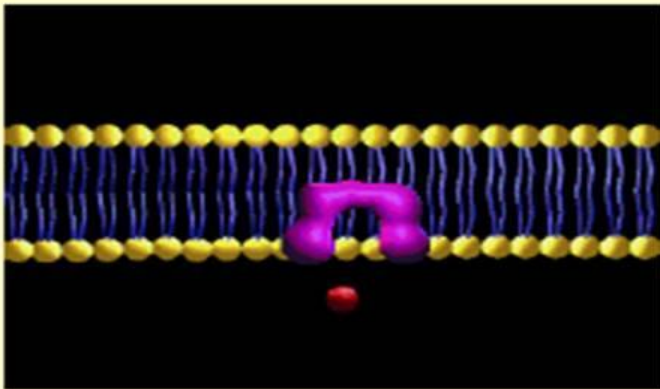
Контраспорт

Классификация каналов по типу управления

- **неуправляемые** постоянно пропускают через себя **K⁺**;
- **потенциал-управляемые** открываются при деполяризации и пропускают через себя в клетку **Na⁺**, (в постсинаптических окончаниях и нервных отростках) или **Ca²⁺**, (в пресинаптических окончаниях или рецепторных клетках);
- **хемо-управляемые** открываются под действием медиатора и пропускают через себя в клетку **Na⁺**, что вызывает деполяризацию в виде возбуждающего постсинаптического потенциала (ВПСП);
- **стимул-управляемые** находятся в сенсорных рецепторах (рецепторных клетках или рецепторных нервных окончаниях) и открываются под действием стимула (раздражителя), начиная пропускать через себя **Na⁺**, что вызывает деполяризацию в виде рецепторного потенциала.

Виды пассивного транспорта

в) Облегченная диффузия при помощи переносчиков



Ионофор валиномицин

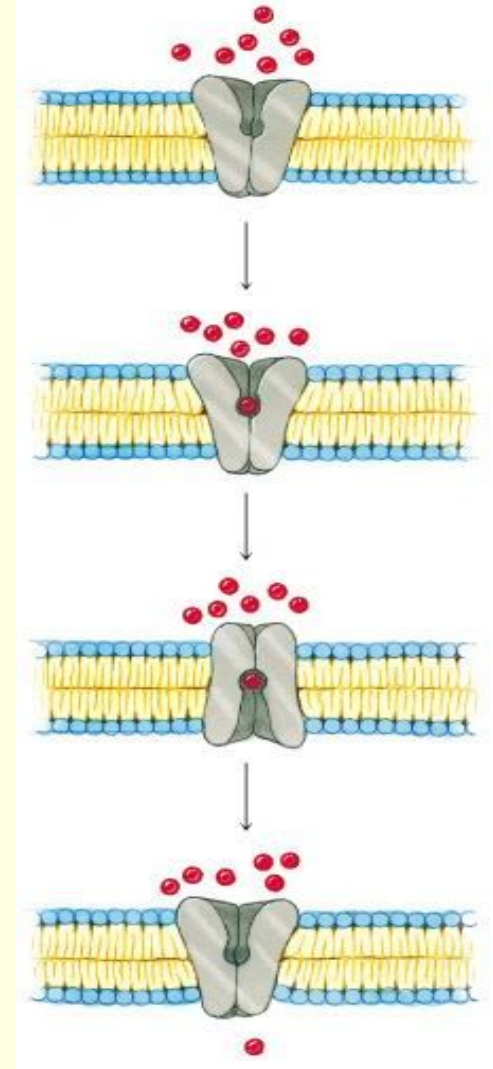
Переносит K^+

Ионофоры:

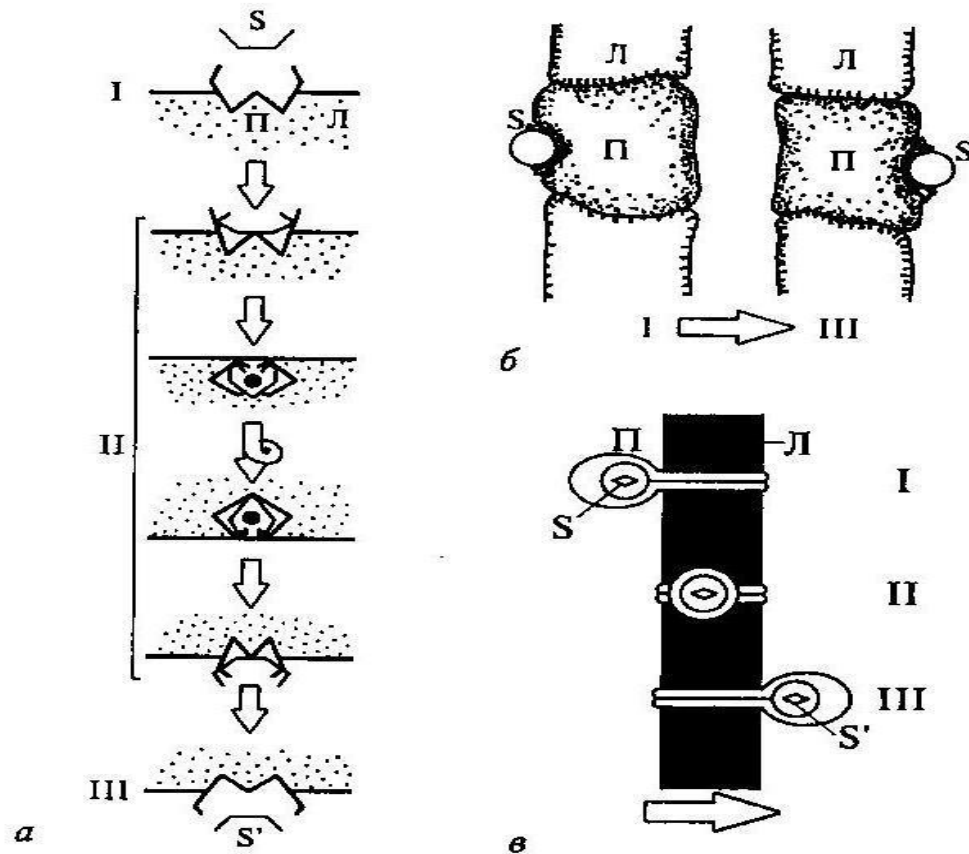


Облегченная диффузия

- транспорт веществ с помощью специальных транспортных белков, каждый из которых отвечает за транспорт определенных молекул или групп родственных молекул.
- Они взаимодействуют с молекулой переносимого вещества и каким-либо способом перемещают ее сквозь мембрану.
- Таким образом в клетку транспортируются сахара, аминокислоты, нуклеотиды и многие другие полярные молекулы.



Кинетическая схема транспорта незаряженных молекул с участием переносчика



a — миграция; *б* — ротация; *в* — сдвиг.

S — переносимое вещество до переноса, *S'* — переносимое вещество после переноса; *П* — переносчик; *Л* — липидные компоненты мембраны; *I* — состояние до начала переноса; *II* — процесс переноса; *III* — состояние после переноса

Транспорт сахаров

- ❑ **Глюкозные транспортёры - ГЛЮТ** обнаружены во всех тканях.
- ❑ Существует несколько разновидностей **ГЛЮТ**, они пронумерованы в соответствии с порядком их обнаружения.
- ❑ Структура белков семейства **ГЛЮТ** отличается от белков, транспортирующих глюкозу через мембрану в кишечнике и почках **против градиента концентрации.**

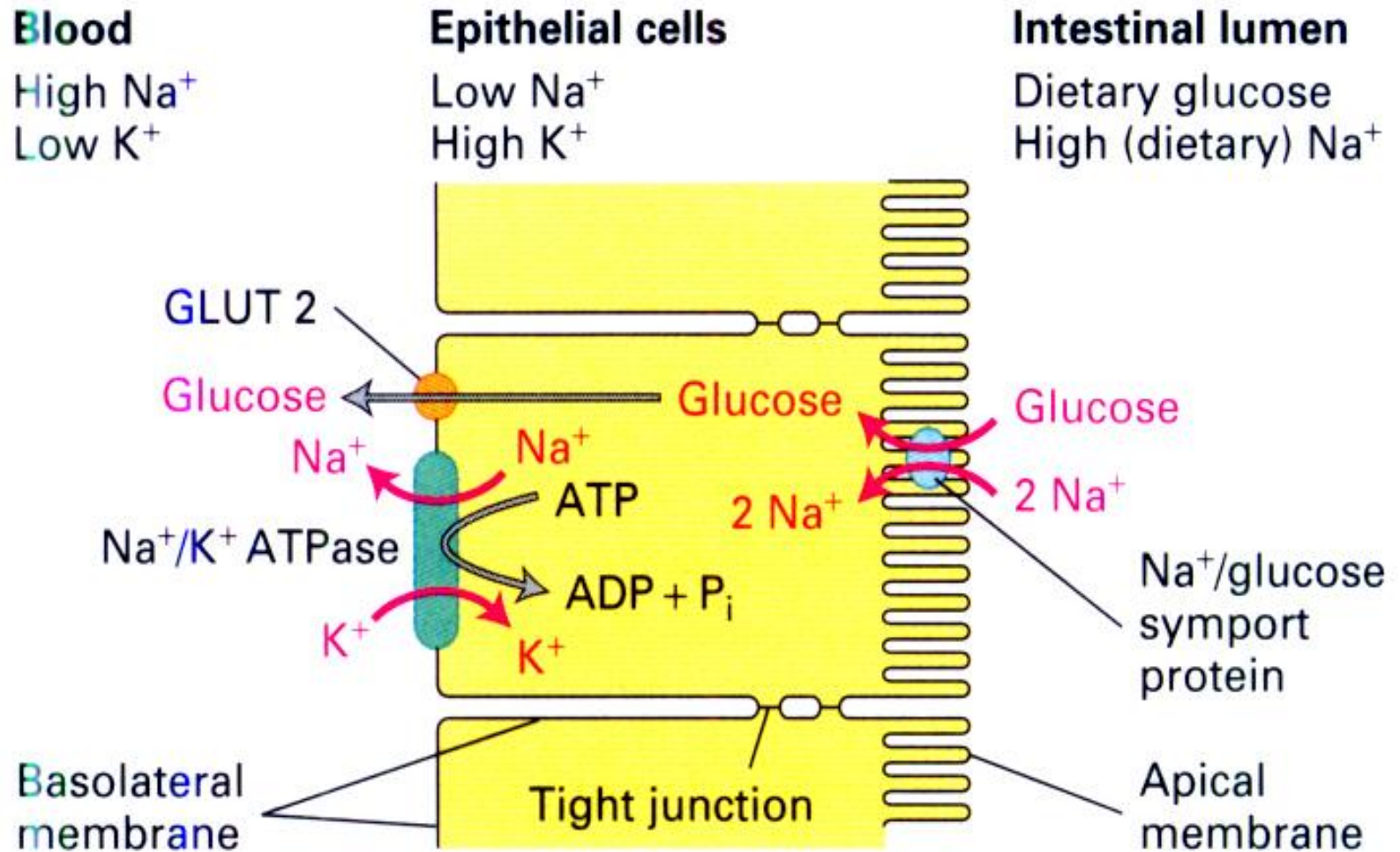
-
- **Глюкозные транспортёры – это** мембранные белки, находящиеся на поверхности всех клеток и осуществляющие транспорт глюкозы ниже градиента ее концентрации посредством соответствующей диффузии, т.е. путем пассивного транспорта.
 - **Транспортеры глюкозы** первично осуществляют транспорт глюкозы не только в клетку, но и из клетки. Транспортеры этого класса участвуют и во внутриклеточном перемещении глюкозы.

Описанные 5 типов ГЛЮТ имеют сходную первичную структуру и доменную организацию:

- **ГЛЮТ-1** (эритроцитарный тип) – первый клонированный белок-транспортер. ГЛЮТ-1 экспрессируется во многих тканях и клетках: эритроцитах, плаценте, почках, толстой кишке. Молекула ГЛЮТ-1 включает 492 аминокислотных остатка.
- **ГЛЮТ-2** (печеночный тип) синтезируется только в печени, почках, тонкой кишке. Молекула ГЛЮТ-2 включает 524 аминокислотных остатка.

-
- **ГЛЮТ-3** (**мозговой тип**) экспрессируется во многих тканях: мозге, плаценте, почках, скелетных мышцах плода (уровень этого белка в скелетных мышцах взрослого человека низкий). Молекула ГЛЮТ-3 состоит из 496 аминокислотных остатков.
 - **ГЛЮТ-4** (**мышечно-жировой тип**) содержится в тканях, где транспорт глюкозы быстро и значительно увеличивается после воздействия инсулина: скелетной белой и красной мышцах, белой и коричневой жировой клетчатке, мышце сердца. Молекула белка состоит из 509 аминокислотных остатков.
 - **ГЛЮТ-5** (**кишечный тип**) находится в тонкой кишке, почках, скелетных мышцах и жировой ткани. Молекула этого белка состоит из 501 аминокислотного остатка.

Всасывание **ГЛЮКОЗЫ** эпителием тонкого кишечника и почечных канальцев обеспечивается совместной работой двух переносчиков – симпортера (SGLT) и унипортера (GLUT)



Некоторые кинетические параметры GLUT1 человека:

D-глюкоза:	K_M	=	≈ 20	мМ
L-глюкоза:	K_M	>	3000	мМ
D-манноза:	K_M	=	20	мМ
D-галактоза:	K_M	=	30	мМ

Константа Михаэлиса-Ментена - K_M , характеризует способность данного вещества проникать через мембрану.