

Явление фильтрации играет важную роль в процессах переноса воды через стенки кровеносных сосудов.

**Оsmos** – преимущественное движение молекул воды через полупроницаемые мембранны (непроницаемые для растворенного вещества и проницаемые для воды) из мест с меньшей концентрацией растворенного вещества в места с большей концентрацией. Оsmos – по сути дела, простая диффузия воды из мест с ее большей концентрацией в места с меньшей концентрацией воды. Оsmos играет большую роль во многих биологических явлениях. Явление осмоса обусловливает гемолиз эритроцитов в гипотонических растворах.

### § 7. Активный транспорт веществ. Опыт Уссинга

**Активный транспорт** – это перенос вещества из мест с меньшим значением электрохимического потенциала в места с его большим значением (рис. 2.9).

Активный транспорт в мембране сопровождается ростом энергии Гиббса, он не может идти самопроизвольно, а только в сопряжении с процессом гидролиза аденоэозинтрифосфорной кислоты (АТФ), то есть за счет затраты энергии, запасенной в макроэргических связях АТФ.



Рис. 2.9. Схема активного транспорта

Активный транспорт веществ через биологические мембранны имеет огромное значение. За счет активного транспорта в организме создаются градиенты концентраций, градиенты электрических потенциалов, градиенты давления и т.д., поддерживающие жизненные процессы, то есть с точки зрения термодинамики активный перенос удерживает организм в неравновесном состоянии, поддерживает жизнь.

Существование активного транспорта веществ через биологические мембранны впервые было доказано в опытах Уссинга (1949 г.) на примере переноса ионов натрия через кожу лягушки (рис. 2.10).

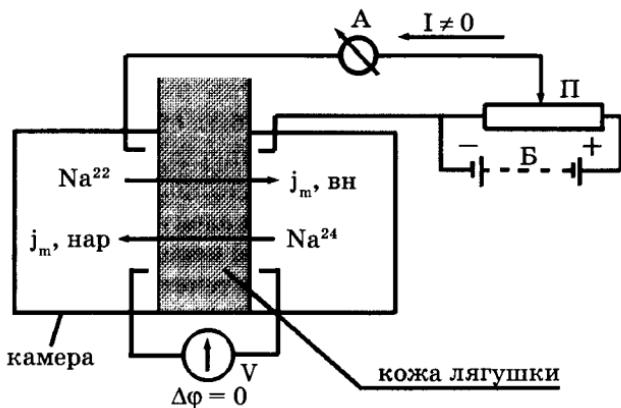


Рис. 2.10. Схема опытов Уссинга  
(А – амперметр, В – вольтметр, Б – батарейка, П – потенциометр)

Экспериментальная камера Уссинга, заполненная нормальным раствором Рингера, была разделена на две части свежеизолированной кожей лягушки. На рис. 2.10 слева – наружная мукозная поверхность кожи, справа – внутренняя серозная. Наблюдались потоки ионов натрия через кожу лягушки: слева направо от наружной к внутренней поверхности и справа налево от внутренней к наружной поверхности.

Из уравнения Теорелла, описывающего пассивный транспорт, следует **уравнение Уссинга–Теорелла** для отношения этих потоков в случае пассивного транспорта:

$$\frac{j_{m, вн}}{j_{m, нар}} = \frac{C_{нар}}{C_{вн}} \cdot e^{\frac{ZF\Delta\phi}{RT}}.$$

На коже лягушки, разделяющей раствор Рингера, возникает разность потенциалов ( $\phi_{вн} - \phi_{нар}$ ) – внутренняя сторона кожи имеет положительный потенциал по отношению к наружной. В установке Уссинга (рис. 2.10) имелся блок компенсации напряжения, с помощью которого устанавливалась разность потенциалов на коже лягушки, равная нулю, что контролировалось вольтметром.

Кроме того, поддерживалась одинаковая концентрация ионов с наружной и внутренней стороны  $C_{нар} = C_{вн}$ .

При этих условиях, если бы перенос натрия через кожу лягушки определялся только пассивным транспортом, то согласно уравнению Уссинга–Теорелла потоки  $j_{m, вн}$  и  $j_{m, нар}$  были равны друг другу:

$$j_{m, \text{вн}} = j_{m, \text{нар}}$$

Суммарный поток через мембрану был бы равен нулю.

Однако, обнаружено с помощью амперметра, что в условиях опыта (отсутствие градиентов электрического потенциала и концентрации) через кожу лягушки течет электрический ток I, следовательно происходит односторонний перенос заряженных частиц. Установлено, что ток через кожу течет от внешней среды к внутренней.

Методом меченых атомов было показано, что поток натрия внутрь больше потока наружу  $j_{m, \text{вн}} > j_{m, \text{нар}}$ . Для этого в левый раствор экспериментальной камеры были включены радиоактивные изотопы  $\text{Na}^{22}$ , а в правый –  $\text{Na}^{24}$ . Изотоп  $\text{Na}^{22}$  распадается с излучением жестких  $\gamma$ -квантов. Распад  $\text{Na}^{24}$  сопровождается мягким  $\beta$ -излучением. Регистрация  $\gamma$  и  $\beta$ -излучения показала, что поток  $\text{Na}^{22}$  больше потока  $\text{Na}^{24}$ .

Эти экспериментальные данные неопровержимо свидетельствовали о том, что перенос ионов натрия через кожу лягушки не подчиняется уравнению пассивного транспорта. Следовательно, имеет место активный перенос.

## § 8. Электрогенные ионные насосы

Согласно современным представлениям, в биологических мембранах имеются **ионные насосы**, работающие за счет свободной энергии гидролиза АТФ, – специальные системы интегральных белков (транспортные АТФазы).

В настоящее время известны три типа электрогенных ионных насосов, осуществляющих активный перенос ионов через мембрану (рис. 2.11).

Перенос ионов транспортными АТФазами происходит вследствие сопряжения процессов переноса с химическими реакциями, за счет энергии метаболизма клеток.

При работе  $\text{K}^+ \text{-Na}^+$ -АТФазы за счет энергии, освобождающейся при гидролизе каждой молекулы АТФ, в клетку переносится два иона калия и одновременно из клетки выкачиваются три иона натрия. Таким образом, создается повышенная по сравнению с межклеточной средой концентрация в клетке ионов калия и пониженная натрия, что имеет огромное физиологическое значение.

В  $\text{Ca}^{2+}$ -АТФазе за счет энергии гидролиза АТФ переносятся два иона кальция, а в  $\text{H}^+$ -помпе – два протона.