

ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ЗАРЯДА НА ДЕФОРМАЦИОННУЮ ДИНАМИКУ ЛИПИДНЫХ МЕМБРАН

© 2001 г. П.М. Красильников

Биологический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, 119899, Москва, Воробьевы горы

Поступила в редакцию 26.05.98 г.

Проведен теоретический анализ уравнений движения, описывающих динамику поверхностно заряженной сферической мембраны, находящейся в вязкой жидкой среде. Показано, что в стационарном режиме кривизна мембраны существенно зависит от соотношения величин зарядов на ее внутренней и внешней поверхностях. В динамическом режиме локальное изменение величин плотности поверхностного заряда вызывает локальную деформацию мембраны и наоборот, причем динамическая связь между ними в некоторых частотных диапазонах имеет резонансный характер.

Ключевые слова: липидные мембраны, поверхностный заряд, деформация.

В настоящее время большое внимание уделяется исследованиям динамики молекулярных процессов (перенос заряда, конформационные переходы и т.п.), протекающих в биологических клетках с участием надмолекулярных структур, к которым в первую очередь относятся клеточные мембраны. Установление механизмов динамического взаимодействия континуальных и молекулярных клеточных процессов является весьма актуальным. Представляются по меньшей мере два варианта взаимосвязи молекулярных процессов со свойствами мембран: 1) создание мембраной стационарных условий, облегчающих или, наоборот, затрудняющих протекание тех или иных молекулярных процессов («адиабатическое» приближение); 2) динамический режим, когда характерные времена молекулярных процессов и мембранного движения соизмеримы, в силу чего динамические свойства мембраны оказывают непосредственное влияние на динамику молекулярного процесса.

Одним из факторов, определяющих как равновесное, так и динамическое состояние биомембран, является поверхностный электрический заряд. Поверхностный заряд во многом определяет трансмембранную разность потенциалов, которая является регулятором ионного транспорта [1]; повышает механическую устойчивость мембран и ее упругость [2], что приводит к расширению спектра частот собственных колебаний липидных мембран [3]. Поверхностный заряд влияет на спонтанную кривизну,

а следовательно, на равновесную форму мембраны [4,5]; он также оказывает влияние на латеральную диффузию липидных и белковых молекул и на их конформационные состояния [6]. Поверхностный заряд существенно влияет на подвижность ионов, находящихся в слое Штерна, – плотной части двойного электрического слоя, образующегося у заряженной поверхности мембраны. Причем в направлении, перпендикулярном поверхности мембраны, создается электростатический барьер, затрудняющий обмен поверхностных противоионов с ионами объемной фазы [7,8], а вдоль поверхности мембраны, наоборот, создаются условия, обеспечивающие высокую латеральную подвижность. При этом, например, скорость диффузионного движения протонов по меньшей мере в 20 раз превосходит аналогичную скорость в объемной фазе [9,10], а для ионов натрия наблюдаются еще большие различия [11]. Такое же увеличение подвижности испытывают, видимо, и другие ионы, адсорбированные на поверхности, так что данное явление, скорее всего, имеет общий характер. Высокая подвижность поверхностных ионов при достаточной их концентрации может приводить к коллективным динамическим эффектам, связанным с колебательным латеральным движением этих ионов [12], что, в свою очередь, может вызвать те или иные изменения в состоянии мембраны. Настоящая работа и посвящена исследованию механизма одного из возможных аспектов такой динамической взаимосвязи поверхностного заряда и деформации мембраны.