ՀԱՅԿԱԿԱՆ ԿԵՆՍԱԲԱՆԱԿԱՆ ՀԱՆԴԵՍ
БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ АРМЕНИИ
XXXI, 7, 1978

УДК 577.352.2

ГЕНЕРАЦИЯ ЭЛЕКТРОДВИЖУЩЕЙ СИЛЫ В ОРИЕНТИРОВАННОЙ ФОСФОЛИПИДНОЙ ПЛЕНКЕ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ГИДРАТАЦИИ

А. А. ШАГИНЯН, Х. В. СТАМБОЛЦЯН

В фосфолипидной пленке, ориентированной самопроизвольно или под воздействием постоянного внешнего электрического поля, при гидратации возникает электродвижущая сила. Разделение и перенос заряда осуществляется в гидрофильной зоне фосфолипидных ламелл.

Исследования электрохимических свойств одного из основных компонентов клеточной мембраны — фосфолипида — проводятся главным образом на искусственных бимолекулярных фосфолипидных слоях (БФС) в водном окружении. БФС вводится в электрохимическую цепь таким образом, чтобы она замыкалась через толщу БФС, т. е. изучаются электрохимические процессы, протекающие в пространстве между его двумя поверхностями. Установлено, что в отсутствие модификаторов БФС представляет собой диэлектрик с высоким внутренним сопротивлением. Однако особенности структурной организации его (наличие четко разграниченных друг от друга зон локализации полярных и гидрофобных групп молекул фосфолипида) являются причиной анизотропии свойств БФС в направлениях перпендикулярной и параллельной поверхности его. При этом можно ожидать существования электрохимической активности полярных зон локализации аминных и фосфатных групп молекул фосфолипида в нем.

Для изучения электрохимических свойств БФС, вводимых в электрохимическую цепь таким образом, чтобы контакт между электродами осуществлялся через его гидрофильные зоны, нами исследовались ориентированные пленки общего фосфолипида, выделенного из головного мозга крупного рогатого скота и очищенного известными способами [1], а также яичного лецитина и синтетического дипальмитоиллецитина (ДПЛ) производства фирмы «Сигма» (США), нанесенные на стеклянную пластинку между двумя распыленными токопроводящими идентичными металлическими слоями, используемыми в качестве электродов для регистрации электрических импульсов.

При гидратации фосфолипидной пленки была обнаружена генерация электродвижущей силы (ЭДС) на электродах. На рис. 1 и 2 приведены кривые зависимости напряжения (U) и силы (I) генерируемого

тока от концентрации паров воды в сосуде, где помещена фосфолипидная пленка. С повышением концентрации паров воды возрастают как U, так и I.

Для выяснения ориентации молекул фосфолипида в электрохимической цепи было исследовано двойное лучепреломление [2, 3] (ДЛП) пленок лецитина при падении поляризованного луча света перпендикулярно плоскости пленки. Величина ДЛП оказалась меньше нуля, что соответствует условию $\cos^2\theta - 1/3 > 0$ (θ угол между осью молекулы фосфолипида и лучом света), что в свою очередь, свидетельствует о том, что молекулы лецитина самопроизвольно ориентируются перпендикулярно плоскости стеклянной подложки.

С другой стороны, из фазовой диаграммы системы лецитин-вода видно, что при малых концентрациях воды в системе реализуются ориентированные жидкокристаллические фазы, представляющие собой параллельно расположенные друг относительно друга ламеллы (БФС) фосфолипида, в которых молекулы расположены упорядоченно [4].

На основании вышеприведенных данных по исследованию ДЛП и данных А. Тардью, В. Лузати и др. [4] можно прийти к выводу, что в исследуемой нами электрохимической цепи молекулы фосфолипида расположены таким образом, что контакт между электродами осуществляется гидрофильными зонами БФС.

Кривые на рис. 1 и 2, наряду с данными ДЛП и рентгеноструктурного анализа [4], дают основание полагать, что генерация ЭДС связана с

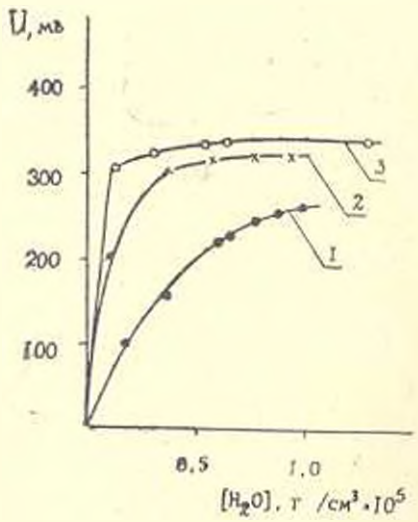

Рис. 1.

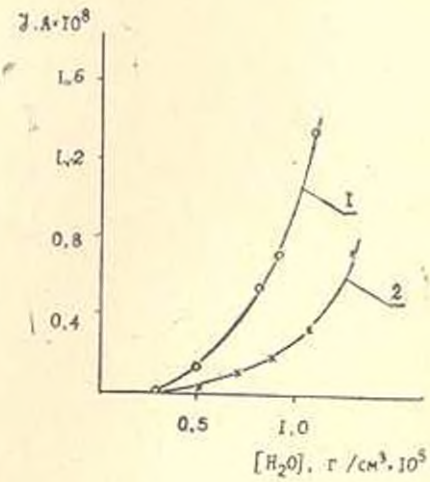

Рис. 2.

Рис. 1. Кривые зависимости ЭДС от концентрации паров воды для пленок 1—яичного лецитина, 2—ДПЛ, 3—общего фосфолипида.

Рис. 2. Кривые зависимости силы генерируемого тока от концентрации паров воды для пленок 1—яичного лецитина, 2—ДПЛ

возникновением определенной пространственной ориентации молекул фосфолипида в гидратированной пленке. Доказательством этого пред-

положения может служить и то, что ЭДС восстанавливается при дегидратации (вакуумной) пленки и ее повторной гидратации.

Упорядоченное расположение молекул фосфолипида в ламеллах и малый объем межламеллярной водной прослойки дают основание предполагать существование определенной ориентации и полярных групп молекул фосфолипида в ламеллах. Возможная неперпендикуллярная ориентация полярных групп молекул фосфолипида к поверхности БФС, при наличии сил притяжения между фосфатными и аминными остатками гидрофильных групп молекул фосфолипида и малой величине объема межламеллярной водной прослойки, может привести к возникновению структурной асимметрии гидрофильных зон БФС. Возникновение ЭДС при этом, возможно, связано с появлением структурной асимметрии гидрофильных зон БФС.

Если эффект генерации ЭДС действительно связан с неперпендикулярной к поверхности БФС ориентацией полярных групп молекул фосфолипида, то следует ожидать усиление эффекта при воздействии на гидратированную фосфолипидную пленку постоянным электрическим полем.

С целью выяснения этого вопроса исследовалось влияние постоянного электрического поля на генерируемую в фосфолипидной пленке ЭДС. Как видно из кривых, приведенных на рис. 3, под влиянием внешнего поля ЭДС увеличивается. При этом фосфолипидным пленкам свойственно существование предельного значения ЭДС. Своего максимального значения (~ 2 в и $\sim 10^{-7}$ А) ЭДС достигает при ориентирующем поле с напряжением $\geqslant 4$ в (исследовалось влияние напряжения внешне-

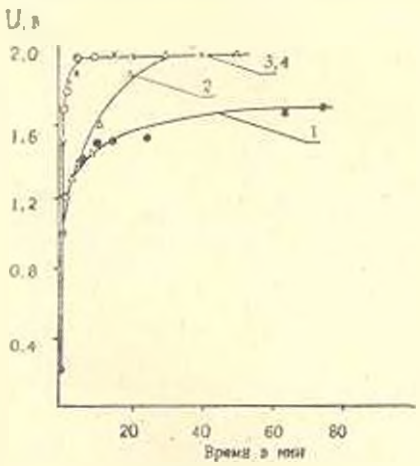

Рис. 3.

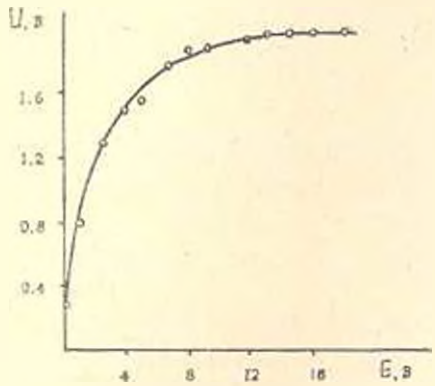

Рис. 4.

Рис. 3. Кривые зависимости ЭДС от продолжительности ориентации гидратированных лецитиновых пленок в постоянном электрическом поле напряжением: 1—2,6 в, 2—3,9 в, 3—7,6 в, 4—13 и 40 в.

Рис. 4. Кривая зависимости ЭДС от напряжения внешнего ориентирующего электрического поля, под воздействием которого лецитиновая пленка находилась в течение 2 мин.

го поля до 10 в). Кривая влияния напряжения внешнего поля на ЭДС пленки лецитина, подвергшейся воздействию внешнего поля в течение 2 мин, приведена на рис. 4. Запределивание ЭДС и зависимость времени достижения предельного значения ЭДС от напряжения внешнего поля непосредственно указывают на определяющую роль ориентационных факторов в генерации ЭДС.

Так как в гидратированной фосфолипидной пленке под воздействием внешнего электрического поля могут ориентироваться лишь полярные группы молекул фосфолипида, то можно с большой достоверностью утверждать, что определяющее значение в процессе генерации ЭДС имеет ориентация полярных групп молекул фосфолипида в пленке. Это может осуществляться самопроизвольно в гидратированных фосфолипидных пленках ламеллярной структуры, однако своего максимального значения она достигает под влиянием постоянного электрического поля. Доказательством определяющей роли ориентации полярных групп молекул фосфолипида в генерации ЭДС служит и то, что изменение направления ориентирующего поля вызывает и изменение направления генерируемого тока, что непосредственно связано с изменением направления ориентации полярных групп молекул фосфолипида в БФС.

Таким образом, генерация ЭДС при гидратации ориентированной фосфолипидной пленки связана с возникновением структурной асимметрии гидрофильных зон фосфолипидных ламелл, что зависит от соответствующей ориентации полярных групп молекул фосфолипида в ламеллах. С другой стороны, так как контакт между электродами осуществляется гидрофильными зонами ламелл, то можно утверждать, что при генерации ЭДС разделение и перенос заряда осуществляются в гидрофильной зоне фосфолипидных ламелл.

Институт экспериментальной биологии
АН АрмССР

Поступило 28.II 1978 г.

ՏԱՐԱՆԱԿԱՆՈՐԵՆ ԿՈՂՄՆՈՐՈՇՎԱԾ ՖՈՍՖՈԼԻՊԻԴԱՅԻՆ ԹԱՂԱՆԹԻՄ ՀԻԴՐԱՏԱՑՄԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՄԲ ԷԼԵԿՏՐԱՇԱՐԺ ՈՒԺԻ ԱՌԱՋԱՑՈՒՄԸ

Ա. Ա. ՇԱՀԻՆՅԱՆ, Խ. Վ. ՍՏԱՄՈՒԼՅԱՆ

Ինչպես ինքնաբերաբար, այնպես էլ հատուցուն էլեկտրական դաշտի ներգործությամբ կողմնորոշված ֆոսֆոլիպիդային թաղանթում, հիդրատացման ազդեցությամբ, առաջ է գալիս էլեկտրաշարժ ուժ։ Էլեկտրաշարժ ուժի առաջացումը պայմանավորված է ֆոսֆոլիպիդային լամելների ջրասեր մասերի կառուցվածքային անհամաչափությամբ, որն իր հերթին հետևանք է լամելներում ֆոսֆոլիպիդային մոլեկուլների բևեռային խմբերի որոշակի տարածական կողմնորոշման։

THE GENERATION OF ELECTROMOVING FORCE IN THE ORIENTED PHOSPHOLIPID FILMS UNDER THE INFLUENCE OF HYDRATION

A. A. SHAHINIAN, Kh. V. STAMBOLTSIAN

In the phospholipid films oriented spontaneously or under the influence of constant electrical field, the electromoving force is generated during hydration. Its rise is connected with the structural asymmetry of hydrophilic zones of phospholipid lamells, which is the consequence of the corresponding orientation of phospholipid molecule polar groups in lamells.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кейт М.* Техника липидологии. М., 1975.
2. *Stein R. S.* J. Polymer Sci., *24*, 383, 1957.
3. *Черкасов А. Н., Витовская М. Г., Бушин С. В.* Высокомол. соединения, *18*, 1628, 1976.
4. *Tardieu A., Luzzati V., Reman F. C.* J. Mol. Biol., *75*, 711, 1973.