

ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОСКИХ БИСЛОЙНЫХ ЛИПИДНЫХ МЕМБРАН, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДНЫМИ ПОЛИ-НИПАА, ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Розенцвейг Н.В., Хмельницкий А.И.

Белорусский Государственный Университет, г. Минск, Беларусь

Транспорт ионов через биологические мембраны играет важную роль в жизнедеятельности клеток. Удобной моделью для изучения ионного транспорта является плоская бислойная липидная мембрана (ПБЛМ). Модификация мембранного ионного транспорта может осуществляться физическими факторами и химическими агентами. Перспективными модификаторами ионного транспорта через липидные бислои являются поли-N-изопропилакриламид (поли-НИПАА) и его сополимеры с гептадецилвинилкетонем, который играет роль углеводородного якоря и способен удерживать всю молекулу в связанном с мембраной состоянии. При нагревании выше определенной температуры молекулы поли-N-изопропилакриламида и его сополимеров с гептадецилвинилкетонем, растворенные в водной среде, претерпевают конформационный переход [1]. Конформационный переход сопровождается уменьшением размера и формированием гидрофобной поверхности молекулы, что способствует встраиванию модификатора в липидную мембрану.

Показано, что поли-НИПАА и его сополимеры могут выполнять функцию каналоформеров в липидных бислоях [2]. Ионные каналы, образованные молекулами модификатора, характеризуются ионной специфичностью, при этом эффективность изменения проводимости и других электрофизических характеристик зависит как от размера катиона, так и от типа модификатора и его концентрации.

Вольт-амперные характеристики (ВАХ) ПБЛМ, сформированных из смеси суммарной фракции фосфолипидов яичного желтка и холестерина в весовом соотношении 2,6: 1 и модифицированных сополимерами поли-N-изопропилакриламида и гептадецилвинилкетона, исследовали в соответствии с методикой, описанной в работе [3]. ВАХ немодифицированной мембраны характеризуется наличием трёх областей: линейной с проводимостью $\sim 5 \cdot 10^{-10}$ См; области одиночных бросков тока и пробоя мембраны [3].

ВАХ модифицированной сополимерами поли-НИПАА мембраны существенно отличается от ВАХ немодифицированной мембраны наличием

нелинейного участка при температурах, превышающих некоторое критическое значение T_2 , что, вероятно, связано с открытием в мембране каналов ионной проводимости [2].

Изменение электрической проводимости модифицированной мембраны является потенциалзависимым: при значениях напряжения меньше порогового $U_{\text{пор}}$ проводимость модифицированной и немодифицированной мембран одинакова, однако при напряжениях выше порогового наблюдается резкое возрастание количества заряда, переносимого через модифицированную мембрану. На рисунке 1 изображена зависимость величины $U_{\text{пор}}$ модифицированной сополимерами поли-НИПАА мембраны от температуры. Как следует из рисунка, с увеличением температуры величина $U_{\text{пор}}$ на участке a'b' уменьшается, на участке b'c' возрастает и на участке c'd' не изменяет своего значения.

На рисунке 2 представлена зависимость проводимости G ПБЛМ, модифицированной сополимерами поли-НИПАА, от температуры. Данная зависимость имеет колоколообразную форму, что указывает на протекание в исследуемой системе двух процессов, противоположным образом влияющих на проводимость модифицированной мембраны.

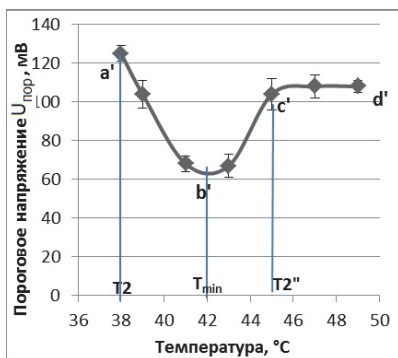


Рисунок 1 – Зависимость порогового напряжения ПБЛМ, модифицированных поли-НИПАА, от температуры

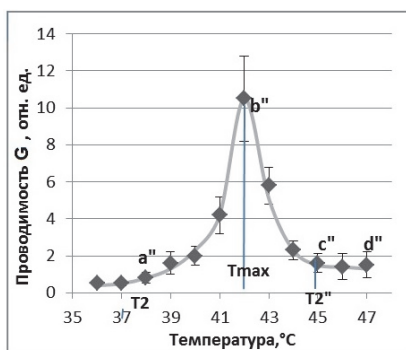


Рисунок 2 – Зависимость проводимости G ПБЛМ, модифицированных поли-НИПАА, от температуры

Вид зависимостей $U_{\text{пор}}(T)$ и $G(T)$ при температурах, превышающих критическую температуру T_2 , по всей видимости, связан с тем, что в данной температурной области происходит конформационный переход молекул поли-НИПАА, сопровождающийся уменьшением размера молекулы и формированием у нее гидрофобной поверхности. Повышение гидрофобности поверхности молекулы поли-НИПАА обуславливает понижение величины энергетического барьера встраивания молекулы модификатора в мембрану, что приводит к увеличению числа молекул модификатора в мембране. Снижение энергетического барьера обеспечивает уменьшение величины $U_{\text{пор}}$ при повышении температуры, а увеличение числа молекул модификатора, встроенных в мембрану, приводит к росту числа ионных каналов и, как следствие, к увеличению проводимости модифицированной мембраны. Если предположить, что размер ионных каналов прямо пропорционален размеру молекулы модификатора [2], то уменьшение размера молекулы модификатора при превышении критической температуры приводит к уменьшению размера ионных каналов, что затрудняет прохождение ионов через мембрану и объясняет как повышение величины $U_{\text{пор}}$, так и снижение проводимости мембраны с увеличением температуры. Наличие горизонтальных участков на графиках $U_{\text{пор}}(T)$ и $G(T)$ при температурах, превышающих T_2 , по всей видимости, связано с завершением конформационного перехода молекул поли-НИПАА.

Таким образом, показано, что электрофизические характеристики мембран, модифицированных производными поли-N-изопропилакриламида, зависят от величины приложенного напряжения, при этом пороговое напряжение и проводимость являются немонотонными функциями температуры.

Литература

1. Сидерко, В.М. Фазовые переходы в водных и водно-органических растворах сополимеров N-изопропилакриламида с винилгептадецилкетон / В.М. Сидерко, О.Л. Эпштейн, А.И. Хмельницкий, О.Г. Кулинкович // Высокомолекулярные соединения. – 2000. – Т.42Б. – №9. – с.1598 – 1601.
2. Василевская, Н.В. Моделирование транспорта ионов через модифицированные N-изопропилакриламидом липидные бислои / Н.В. Василевская, А.И. Хмельницкий, С.Н. Черенкевич // Вестник БГУ. Сер.1. – 2005. – №2. – с.11-15.
3. Черенкевич, С.Н. Одиночные ионные каналы и макроскопическая проводимость мембран / С.Н. Черенкевич, А.И. Хмельницкий, А.И. Драпеза, И.И. Бакович // Биофизика. – 1989. – Т. 34.– № 1. – с.45-48.