

5. Лапин В. И. Вызванная электрическая активность головного мозга под влиянием местного и общего воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты: Автореф. ... канд. мед. наук.— Ставрополь, 1970.— 20 с.
6. Сердюк А. М. Взаимодействие организма с электромагнитными полями как с фактором окружающей среды.— Киев : Наукова думка, 1977.— 227 с.
7. Толгская М. С., Гордон З. В. Морфофизиологические изменения при действии электромагнитных волн радиочастот.— М. : Медицина, 1971. 136 с.
8. Холодов Ю. А. Реакции нервной системы на электромагнитные поля.— М. : Наука, 1975.— 207 с.

Кафедра патологической физиологии и биофизики
Одесского сельскохозяйственного института

Поступила в редакцию
26.XII 1977 г.

УДК 612.261.273.2

Ю. М. Алферов

ДИФфуЗИОННОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ БИСЛОЙНОЙ ЛИПИДНОЙ МЕМБРАНЫ ПОТОКУ КИСЛОРОДА

В ряде недавно опубликованных работ высказано предположение о том, что транспорт кислорода через клеточные мембраны осуществляется не только за счет диффузии, но и за счет других процессов, возникающих на границе раздела фаз [1, 2]. Для выяснения возможности участия таких процессов в массопереносе кислорода представляет интерес исследовать диффузионное сопротивление кислороду со стороны искусственных липидных мембран. Точных сведений о величине такого сопротивления потоку кислорода нет.

Мы измеряли величину диффузионного сопротивления бислойной липидной мембраны (БЛМ) потоку кислорода с помощью специальной полярографической ячейки.

Конструкция предлагаемой нами ячейки предусматривает наличие двух камер одинакового диаметра, разделенных плоской перегородкой с центрально расположенным отверстием. Ячейка изготавливалась из тефлона при наружном диаметре 50 мм. Емкость нижней камеры — 50 мл. Диаметр отверстия в горизонтально расположенной перегородке 1 мм. Липидную мембрану высаживали в отверстие между верхней и нижней камерами. Нижнюю камеру заполняли 0,1 М раствором хлористого калия, парциальное давление кислорода в котором доводили до практически нулевых величин 20 мин барботированием аргона. Объем верхней камеры 25 мл. Боковая стенка нижней камеры содержит поршневое устройство, позволяющее изменять объем нижней камеры на 0,1 мл (рис. 1).

Профиль напряжений кислорода на отверстии снимали с использованием рабочих микроэлектродов. Микроэлектроды изготавливали из платинового микропровода диаметром 30 мкм в стеклянной изоляции. Необходимая прочность микроэлектрода достигалась введением микропровода в стеклянную пипетку с последующим оплавлением. Кончик его электрически затачивали под визуальным контролем до получения точечного электрода и подвергали стабилизации чувствительности к кислороду путем электрохимического состаривания [3]. Для того, чтобы электрод не вызывал возмущений диффузионного потока, длина его тонкой части была значительно больше, а толщина — значительно меньше диаметра отверстия. Используемые рабочие электроды имели длину тонкой части 15 мм. В качестве вспомогательного электрода использовали выносные стандартные хлорсеребряные полуэлементы ЭВЛ-1-М2, расположенные в верхней и нижней камерах. Вспомогательные электроды соединяли параллельно. Измерения диффузионного тока производили с применением электрометрического усилителя, выполненного на МОП транзисторах с последующей регистрацией на самопишущем приборе Н-373. Подачу электрода осуществляли с помощью микроманипулятора с шагом поддачи 5 мкм.

Мембранный раствор готовили из общих липидов мозга крупного рогатого скота по стандартной методике [6]. Бислойную липидную мембрану формировали в отверстии

между верхней и нижней камерами. Время формирования бислоя 5—10 мин. Образование бислоя обнаруживалось с помощью микроскопа по появлению цветных интерферирующих пятен в отраженном от поверхности мембраны свете. В окончательной стадии «черная пленка» появлялась по всей площади мембраны [4]. Контроль производили с помощью оптической схемы, состоящей из осветителя ОИ-19 и микроскопа МБС-2 (рис. 1). Угол наклона осветителя и микроскопа к плоскости БЛМ выбирали таким образом, чтобы одновременно контролировать расположение рабочего электрода и состояние формирования БЛМ.

В части опытов измеряли также проводимость бислоя. Для этого вспомогательные электроды соответствующим образом коммутировали с электрометром. Проводимость БЛМ не превышала $10^{-7} \cdot \text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$.

Ячейку заполняли в следующей последовательности. Вначале через патрубок в нижней части камеры подавался раствор, уравновешенный с атмосферой аргона. Рас-

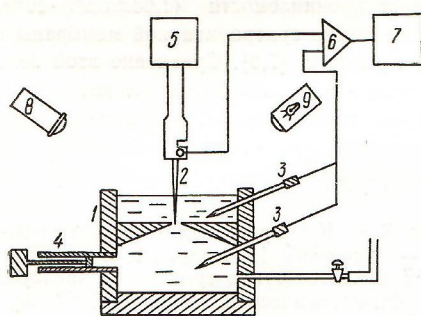


Рис. 1. Схема установки для определения диффузионного сопротивления.
1 — ячейка; 2 — микроэлектрод; 3 — вспомогательные электроды; 4 — поршневое устройство; 5 — микроманипулятор; 6 — электрометр; 7 — регистратор; 8 — осветитель; 9 — микроскоп.

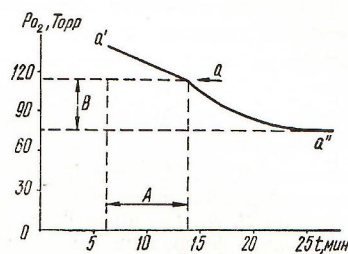


Рис. 2. Типичная хроноамперограмма.

Точка *a* соответствует моменту встречи электрода с поверхностью мембраны.

твор заполнял обе камеры и его подача прекращалась. После этого формировали мембрану и замещали раствор в верхней камере раствором, уравновешенным с атмосферой воздуха. По истечении 10—15 мин на отверстии устанавливался профиль напряжений кислорода, близкий к стационарному.

После сформирования мембраны и установления стационарной диффузии рабочий электрод погружался от поверхности до соприкосновения с БЛМ со средней скоростью 2 мкм/с. При этом регистрировался профиль P_{O_2} , представленный на рис. 2 (участок А). Верхняя и нижняя камеры заполнены раствором с одинаковым электролитным составом. В этих условиях P_{O_2} было пропорционально концентрации кислорода. При погружении электрода регистрируется линейное снижение P_{O_2} , свидетельствующее о том, что происходит процесс массопереноса кислорода из верхней камеры через БЛМ в нижнюю. Точка *a* (рис. 2) соответствует моменту встречи рабочего электрода с мембраной и разрушению БЛМ. В этот момент подачу электрода прекращали. После переходного процесса (участок В, рис. 2) над плоскостью отверстия устанавливался новый стационарный уровень напряжения кислорода, который был значительно более низким, чем в момент *a*, что свидетельствует о возникновении более интенсивного массопереноса кислорода.

Для определения диффузионного сопротивления без измерения напряжения кислорода ниже плоскости мембраны использовали следующую систему уравнений (линейное приближение):

$$\frac{P'_{O_2}}{P_{O_2}} = \frac{R_1 + R_m}{R + R_m} \quad (1), \quad \frac{P''_{O_2}}{P_{O_2}} = \frac{R_1}{R} \quad (2),$$

где P_{O_2} — напряжение кислорода в растворе, уравновешенном с атмосферой воздуха, P'_{O_2} — напряжение кислорода над плоскостью мембраны до ее разрушения, P''_{O_2} — напряжение кислорода над плоскостью мембраны после ее разрушения, R — диффузионное сопротивление отверстия, R_m — диффузионное сопротивление мембраны, R_1 — диффузионное сопротивление слоев раствора, расположенных ниже плоскости мембраны.

Как известно [5], диффузионное сопротивление отверстия определяется: $R = \frac{\pi d}{4D}$ (3), где d — диаметр отверстия, D — коэффициент диффузии.

Используя выражения (1), (2), (3), получаем:

$$R_m = \frac{\pi d (P'_{O_2} - P''_{O_2})}{4D (P_{O_2} - P'_{O_2})}.$$

Определенное таким образом диффузионное сопротивление липидного бислоя составило $(0,75 \pm 0,13) \cdot 10^3$ с/см, что соответствует проницаемости $(1,63 \pm 0,28) \cdot 10^{-3}$ см/с.

Как установлено ранее, величина проницаемости эритроцитарной мембраны к кислороду по порядку величины приближается к 0,1 см/с [7,8]. Сравнение этой величины с полученными данными свидетельствуют в пользу того, что транспорт кислорода через эритроцитарную мембрану осуществляется не только путем физической диффузии.

Л и т е р а т у р а

1. Березовский В. А., Петунин Ю. И., Сушко Б. С. К вопросу о механизмах транспорта кислорода через биологические мембраны. — Цитология, 1976, 18, № 1, с. 53—57.
2. Березовский В. А., Горчаков В. Ю., Сушко Б. С. Кинетика транспорта кислорода через осадочные фосфолипидные пленки. — Физиологический журнал, 1977, 23, № 5, с. 641—644.
3. Сушко Б. С. К методике изготовления открытых платиновых микроэлектродов для хроноамперометрического определения кислорода в клетках и тканях. — В кн.: Полярнографическое определение кислорода в биологических объектах. Киев, 1972, с. 108.
4. Россельс А. Н. Фосфолипидные модели клеточных мембран. — В кн.: Структура и функция биологических мембран. М., 1971, с. 312.
5. Хил О. Фотосинтез. — М.: Мир, 1972. 314 с.
6. Mueller P., Rubin D. O., Tien H. T., Wescott W. S. Methods for the formation of single bimolecular lipid membranes in aqueous solution. — J. Phys. Chem., 1963, 67, p. 534—535.
7. Roughton F. J. W. Progress in Biophysics. — London, 1959, 9 chap. 2, p. 56—103.
8. Franco F., Hershey D. Membrane resistance and diffusion coefficients: the intact red cell. In: Blood oxygenation. N. Y. 1970, p. 62.

Отдел физиологии дыхания
Института физиологии им. А. А. Богомольца
АН УССР, Киев

Поступила в редакцию
8.XII 1977 г.

УДК 612.745.5

В. М. Прудников, А. М. Бахарев

ИЗМЕНЕНИЕ КАЛОРИЧЕСКОГО ЭКВИВАЛЕНТА РАБОТЫ ПРИ УТОМЛЕНИИ ИЗОЛИРОВАННОЙ СКЕЛЕТНОЙ МЫШЦЫ

Установлено, что при утомлении изолированной скелетной мышцы изменяется соотношение между выделенным мышцей теплом и выполненной работой [1, 3, 5, 10—12]. Среди возможных причин, обуславливающих такое явление, выделяют нарушение эффективности анаэробного ресинтеза АТФ [13], дискоординацию процессов затраты и ресинтеза макроэргов [3], разобщение окислительного фосфорилирования [5]. Однако