

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 577.352.4

ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДИФFUЗИОННОЙ
ПРОНИЦАЕМОСТИ ИОНОВ НАТРИЯ ОТ ИХ КОНЦЕНТРАЦИИ
МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛЕНИЯ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ПОТОКОВ

Т. Г. АМБАРЦУМЯН

Ключевые слова: диффузионная проницаемость, математический метод.

Экспериментальные данные, полученные при изучении концентрационных зависимостей диффузионной проницаемости ионов натрия, свидетельствуют о том, что при увеличении концентрации ионов натрия может уменьшаться проницаемость мембраны для этих ионов [1—3]. Общепринятая прямолинейная зависимость диффузионного потока ионов натрия от концентрации этого иона представляется некорректной. Экспериментально очень трудно выделить чистый диффузионный поток на клетках. Для этого необходимо ингибировать все другие системы, транспортирующие ионы, но использование ингибиторов может влиять и на диффузионные потоки. Поэтому до сих пор нет достаточно надежных экспериментальных данных о функциональной зависимости диффузионной проницаемости, а следовательно и диффузионного потока от концентрации иона. Однако знание такой зависимости необходимо при изучении потоков ионов, состоящих из диффузионных и недиффузионных компонентов: $J_{\text{эксп}} = J_d + J_{\text{нед}}$.

Обрабатываемые в данной работе экспериментальные данные были получены на портняжных мышцах лягушки *Rana ridibunda*. Изучалась зависимость разностных потоков ионов натрия от концентрации натрия в наружной среде Na_0 в бескальциевом растворе Рингера с убаином, где $NaCl$ заменялся эквивалентным количеством $MgCl_2$ при комнатной температуре. Подробно методика эксперимента дана в работе Адамьян и др. [4].

Целью данной работы было разделение экспериментального потока ионов натрия на диффузионный и недиффузионный и выяснение характера зависимости диффузионного потока ионов натрия или диффузионной проницаемости от наружной концентрации натрия.

В работе Амбарцумян [5] предлагалось функциональное уравнение, с помощью которого можно описать экспериментальный разностный поток ионов натрия:

$$f_1(Na_0) + af_1(kNa_0) = \psi_1(Na_0). \quad (1)$$

Здесь $f_1(\text{Na}_0)$ — диффузионный поток ионов натрия;

$af_1(k\text{Na}_0)$ — недиффузионный поток тех же ионов;

a — переменный коэффициент, зависящий от наружной концентрации Na_0 , включающий функциональное различие между диффузионным и недиффузионным потоками;

k — переменный коэффициент, зависящий от Na_0 ; принимается, что $\text{Na}_i = k\text{Na}_0$.

$\psi_1(\text{Na}_0)$ — экспериментальный разностный поток ионов натрия.

Наблюдения показали, что опыты, проведенные в разное время года (осень — I сезон, весна — II сезон), дают неодинаковые результаты (табл. 1). Эти сезонные различия, по всей видимости, связаны с гормональными перестройками организма в период размножения. Экспери-

Таблица 1

Экспериментальный поток Na_i и внутриклеточная концентрация Na в зависимости от Na_0

Na_0 , мМ	I сезон		II сезон	
	Na_i , мМ	$J_{\text{эксп}}$, пМ/см ² сек	Na_i , мМ	$J_{\text{эксп}}$, пМ/см ² сек
2	40	-2,3	40	-1,72
10	40	-0,3	40	-1,63
30	45	0,82	45	-0,64
40	50	0,8	45	-0,5
50	50	0,56	45	-0,4
60	50	0,7	50	-0,4
70	55	0,68	50	-0,47
80	55	1,4	50	-0,2
90	55	2,2	50	0,3
100	60	2,7	50	1,5
110	60	3,1	55	1,5
120	60	3,4	55	1,96

ментальные потоки во II сезоне можно описать уравнением такого же типа, как (1).

$$f_2(\text{Na}_0) + af_2(k\text{Na}_0) = \psi_2(\text{Na}_0). \quad (2)$$

Фигурирующие здесь новые функции имеют тот же смысл, что и в уравнении (1).

Функциональный вид диффузионного потока известен:

$$J_d = \frac{VF}{RT} P(\text{Na}_0) \frac{\text{Na}_0 - \text{Na}_i e^{-VF/RT}}{1 - e^{-VF/RT}}.$$

Здесь $V=0,127\text{В}$, F , R , T — имеют обычные значения.

Нами вводится предположение, что $P_1(\text{Na}_0) - P_2(\text{Na}_0) = \Delta P = \text{Const}$. Это означает, что хотя проницаемость ионов натрия в каждом сезоне является величиной переменной, зависящей от Na_0 , разность этих проницаемостей — постоянна, иными словами характер изменения проницаемости от Na_0 не зависит от сезона.

Тогда можно записать:

$$f_1(\text{Na}_0) - f_2(\text{Na}_0) = \frac{VF}{RT} \Delta P \frac{\text{Na}_0}{1 - e^{-VF/RT}} = A\text{Na}_0, \quad (3)$$

предполагая, что член $Na_i e^{-VF/RT}$ — пренебрежимо мал по сравнению с Na_0 .

Соответственно

$$i_1(kNa_0) - i_2(kNa_0) = \frac{VF}{RT} \Delta P \frac{kNa_0}{1 - e^{-VF/RT}} = AkNa_0. \quad (4)$$

Имея систему уравнений (1—4), получим решение относительно $i_1(Na_0)$

$$i_1(Na_0) AkNa_0 + i_1(kNa_0) (\psi_2 + ANa_0 - \psi_1) = -\psi_1 AkNa_0. \quad (5)$$

Если подставить в (5) численные значения, взятые из эксперимента Амбарцумян и др. [6] и приведенные в табл. 1, то получим систему уравнений, каждое из которых будет соответствовать определенной концентрации Na_0 .

Экспериментально получено численное значение диффузионной проницаемости ионов натрия при концентрации $Na_0 = 120$ мМ [6]:

$P_1 = 1,3 \cdot 10^{-8}$ см/сек для I сезона,

$P_2 = 0,9 \cdot 10^{-8}$ см/сек для II сезона.

Тогда $\Delta P = 0,4 \cdot 10^{-8}$ см/сек, это значение и подставляется в (5).

Из табл. 1 видно, что имеется точка, в данном случае $Na_0 = 50$ мМ, где Na_0 и $Na_i = kNa_0$ совпадают. Эта точка является отправной для вычислений всех значений

$$i_1(Na_0), i_1(kNa_0), i_2(Na_0) \text{ и } i_2(kNa_0)$$

последовательными подстановками. Результаты вычислений приводятся в табл. 2. Через вычисленные точки можно провести кривую зави-

Таблица 2
Расчеты и диффузионный и недиффузионный потоки Na в зависимости от Na_0

Na_0 , мМ	$i_1(Na_0)$, нМ/см ² сек	$ai_1(kNa_0)$, нМ/см ² сек	$i_2(Na_0)$, нМ/см ² сек	$ai_2(kNa_0)$, нМ/см ² сек
2	0,01	-2,3	0,001	-1,72
10	0,05	-0,25	0,1	-1,73
30	0,85	-0,03	0,25	-0,85
40	1,2	-0,4	0,4	-0,9
50	1,7	-1,14	0,7	-1,1
60	2,07	-1,37	0,87	-1,27
70	2,21	-1,53	0,89	-1,36
80	2,64	-1,24	1,04	-1,24
90	3,0	-0,8	1,2	-0,9
100	3,7	-1,0	1,54	-0,54
110	4,9	-1,8	2,3	-0,8
120	4,9	-1,5	2,3	-0,34

симости диффузионных потоков от концентрации Na_0 для обоих сезонов. Как видно из табл. 2, диффузионный поток изменяется почти линейно в довольно широком интервале изменения Na_0 (от 0 до 100 мМ). При более высокой концентрации диффузионный поток теряет линейность. Это, очевидно, связано с тем, что в этой области концентраций проницаемость ионов снижается.

Таким образом, предложенный способ обработки экспериментальных результатов позволяет вычленить диффузионный компонент из экспериментального потока и выявляет нелинейный характер зависимости диффузионного потока натрия от его концентрации.

Ереванский физический институт ГКИАЭ

Поступило 22.VIII 1980 г.

**ԷՔՍՊԵՐԻՄԵՆՏԱԼ ՀՈՍՔԵՐԻ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ԲԱԺԱՆՄԱՆ
ՄԵԹՈԴՈՎ ՆԱՏՐԻՈՒՄԻ ԻՈՆՆԵՐԻ ԴԻՖՈՒԶԻՈՆ ԹԱՓԱՆՑԵԼԻՈՒԹՅԱՆ
ԿԱԽՎԱՆՈՒԹՅԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ՆՐԱՆՑ ԿՈՆՑԵՆՏՐԱՑԻԱՅԻՑ**

Տ. Դ. ՀԱՄԲԱՐՇՈՒՄՅԱՆ

Նատրիումի իոնների արտաքին կոնցենտրացիայի փոփոխության ժամանակ թաղանթի դիֆուզիոն թափանցելիության փոփոխությանը անտեղյակ լինելը բարդացնում է էքսպերիմենտալ հոսքերի բաժանումը դիֆուզիոն և ոչ-դիֆուզիոն հոսքերի: Տվյալ հոդվածում առաջարկվում է նման բաժանման մաթեմատիկական մոտեցում: Այդ բաժանման արդյունքները ցույց են տալիս, որ դիֆուզիոն հոսքը, կախված իոնի կոնցենտրացիայից, փոփոխվում է ոչ գծային ձևով:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Абраменко Ю. М. Цитология, 14, 1972.
2. Абраменко Ю. М. Цитология, 15, 1973.
3. Абраменко Ю. М. Цитология, 15, 1973.
4. Адамян С. Я., Амбарцумян Т. Г., Марибян Г. Г. Биофинизка, 24, 6, 1979.
5. Амбарцумян Т. Г. Биолог. ж. Армении, 32, 11, 1979.
6. Амбарцумян Т. Г., Марибян Г. Г., Адамян С. Я. Биофизика, 25, 1980.