

РАЗДЕЛЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАЗНОСТНЫХ ПОТОКОВ НА ОДНОНАПРАВЛЕННЫЕ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Т. Г. АМБАРЦУМЯН

При изучении потоков ионов, проходящих через мышечную мембрану, часто приходится иметь дело с разностными потоками, представляющими собой сумму двух потоков, направленных в противоположные стороны. Изучение таких потоков, с одной стороны, позволяет исключить обменные потоки, идущие в соотношении один к одному, а с другой стороны, возникает сложность при разделении их на однонаправленные компоненты. Поэтому необходимо создание способа разделения разностных потоков на поток, направленный в клетку, и поток, направленный из клетки в наружную среду. В данной работе предлагается метод для подобного разделения потоков. В качестве примера рассматриваются натриевые потоки, однако предлагаемый метод с одинаковым успехом может применяться для потоков любого другого иона.

Поток натрия, направленный внутрь клетки (входящий поток J_{ax}^{Na}), является функцией наружной концентрации натрия Na_0 и обозначается $f(Na_0)$.

Поток натрия, направленный из клетки наружу (выходящий поток $J_{вых}^{Na}$), — функция внутренней концентрации Na_{in} , он обозначается $f(Na_{in})$. Очевидно, что концентрация Na_{in} сама является функцией Na_0 . Вид функциональной зависимости между Na_{in} и Na_0 неизвестен, однако экспериментально можно установить дискретные значения Na_{in} , соответствующие различным значениям наружной концентрации Na_0 . Эти значения приводятся в таблице. Можно ввести обозначение $Na_i = kNa_0$, где k — переменная величина, зависящая от Na_0 . Тогда $f(Na_{in})$ можно отождествить с $f(kNa_0)$.

Разностный поток (рис.) ионов натрия можно записать в виде функционального уравнения:

$$f(Na_0) - af(kNa_0) = \psi(Na_0). \quad (1)$$

Здесь $\psi(Na_0)$ — экспериментальный разностный поток ионов натрия, который следует разделить на входящий и выходящий; a — пере-

Т а б л и ц а
Зависимость внутриклеточной концентрации натрия от концентрации
натрия в растворе

Na_{in} , mM	Na , mM	$k = Na/Na_0$
2	29	14,5
10	35	3,5
30	46	1,5
50	57	1,1
70	60	0,9
90	68	0,8
120	55	0,5

Мышцы, предварительно обогащенные натрием, инкубировались в течение 5 ч. в бескальевом растворе Рингера с уабаином.

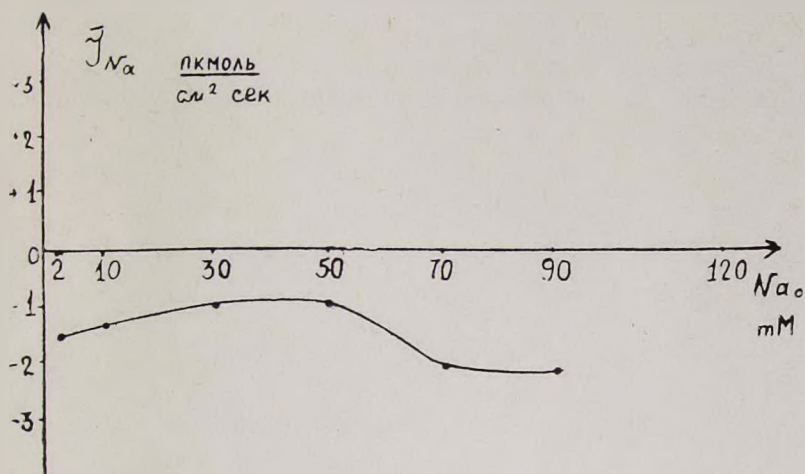


Рис. Зависимость не диффузионного разностного потока натрия от наружной концентрации Na_0 в бескальевом растворе Рингера с уабаином (10^{-4} M), где NaCl заменен эквивалентным количеством $ChCl \cdot t = 22^\circ$.

менный коэффициент, устанавливающий связь между ними и получаемый экспериментально в каждом конкретном случае. Необходимость его введения связана с тем, что нами предполагается подобие функций $i(Na_0)$ и $i(Na_{in})$. Однако за каждый из описываемых этими функциями потоков ответственны различные механизмы, функциональный вид которых неизвестен. Поэтому мы вводим коэффициент a , который, являясь функцией Na_0 , не зависит от вида функции $i(Na_0)$ и «включает» в себя функциональное различие между входом и выходом.

Решение уравнения (1) имеет следующий вид*:

$$i(Na_0) = \sum_{n=0}^{\infty} a^n \psi(k^n Na_0) = \psi(Na_0) + a \psi(k Na_0) + a^2 \psi(k^2 Na_0) + \dots \quad (2)$$

* Черный Г. Г. Течение газа с большой сверхзвуковой скоростью. М., 1959 г.

Соответственно

$$af(kNa_0) = \sum_{n=0}^{\infty} a^{n+1} \psi(k^{n+1}Na_0) = a\psi(kNa_0) + a^2\psi(k^2Na_0) + \dots \quad (3)$$

Экспериментальный разностный поток $\psi(Na_0)$ можно аппроксимировать одной или несколькими прямыми линиями $\psi(Na_0) = cNa_0 + b$, и, подставляя $\psi(Na_0)$, можно вычислить суммы рядов (2) и (3):

$$f(Na_0) = \sum_{n=0}^{\infty} a^n (ck^nNa_0 + b) = \sum_{n=0}^{\infty} (ak)^n cNa_0 + \sum_{n=0}^{\infty} a^n b = \frac{cNa_0}{1-ak} + \frac{b}{1-a}$$

$$af(kNa_0) = \sum_{n=0}^{\infty} a^{n+1} (ck^{n+1}Na_0 + b) = \sum_{n=0}^{\infty} (ak)^{n+1} cNa_0 +$$

$$+ \sum_{n=0}^{\infty} a^{n+1} b = \frac{ackNa_0}{1-ak} + \frac{ab}{1-a}$$

при $a < 1$, $ak < 1$.

Таким образом, входящий поток ионов натрия определяется как

$$J_{вх}^{Na} = \frac{cNa_0}{1-ak} + \frac{b}{1-a},$$

а выходящий поток как

$$J_{вых}^{Na} = \frac{ackNa_0}{1-ak} + \frac{ab}{1-a}.$$

Если $a > 1$, $k > 1$, то, произведя замену переменных $k' = \frac{1}{k}$, которое < 1 , $\frac{1}{a} = a_1 < 1$, $Na_{01} = kNa_0$, получим соответствующие значения потоков:

$$J_{вх}^{Na} = \frac{-a_1^2 ck_1^2 Na_{01}}{1-a_1 k_1} - \frac{a_1^2 b}{1-a_1},$$

$$J_{вых}^{Na} = \frac{-a_1 ck_1 Na_{01}}{1-a_1 k_1} - \frac{a_1 b}{1-a_1}.$$

Таким образом, предложенный метод дает возможность «увидеть» в отдельности составляющие двустороннего процесса. Этот метод может применяться не только для разностных потоков, но и для суммарных. В случае суммарного потока решением функционального уравнения $\psi(Na_0) = f(Na_0) + af(Na_1)$ будет:

$$f(Na_0) = \sum_{n=0}^{\infty} a^n \psi(k^n Na_0) (-1)^n.$$

Предлагаемый метод имеет важное значение для понимания механизмов, лежащих в основе транспорта ионов через клеточные мембраны.

Ереванский физический институт ГКИАЭ

Поступило 5.X 1979 г.

ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ԱՆԱԼԻԶԻ ՄԵԹՈԴՈՎ ԷՔՍՊԵՐԻՄԵՆՏԱԼ
ԴՈՒՄԱՐԱՅԻՆ ՀՈՍՔԵՐԻ ԲԱԺԱՆՈՒՄԸ ՄԻԱԿՈՂՄԱՆԻ ՀՈՍՔԵՐԻ

Տ. Գ. ՀԱՄԲԱՐՁՈՒՄՅԱՆ

Մաթեմատիկական անալիզի օգնությունը առաջարկվում է էքսպերիմենտալ գումարային իրական հոսքերը միակողմանի կոմպոնենտների զատելու մեթոդ:

Առաջարկվող մեթոդն ունի կարևոր նշանակություն թաղանթի միջով իոնների տրանսպորտի հիմքում ընկած մեխանիզմների հասկացության համար: