ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՌ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

Կենսաբանական գիտ. XVIII, № 5, 1965 Биологические науки

КРАТКИЕ НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

С. М. МАРТИРОСОВ

ЗАВИСИМОСТЬ МЕМБРАННОГО ПОТЕНЦИАЛА МЫШЕЧНЫХ ВОЛОКОН ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ ИОНОВ КАЛИЯ В СРЕДЕ

В настоящее время накопились доказательства, что процессы, связанные с прохождением ионов калия через мембраны мышечных волокон, имеют более сложную природу, чем такие же процессы, исследованные на мембранах нервных волокон [1, 2, 3, 4].

Для правильного понимания электрохимических свойств мембраны мышечного волокна при различных процессах мы должны прежде всего изучить зависимость мембранного потенциала (МП) от концентрации калия в клетке $[K_{вн}]$ и в среде $[K_н]$ для квазистационарных условий. Зависимость МП от $[K_н]$ для мышц с нормальной внутриклеточной концентрацией калия была изучена рядом авторов [5, 2]. В настоящее время основным дискутируемым в литературе вопросом является характер этой зависимости при пониженной внутриклеточной концентрации калия [6, 7]. Поэтому данная работа была проведена с целью изучить зависимость МП от $[K_н]$ при пониженной $[K_{вн}]$.

Методика. Опыты проводились на портняжных мышцах (Sartorius) травяной лягушки (Rana temporaria). Мышцы выдерживались в 112 мМ растворе сахарозы 3 часа при температуре 22°С, затем переносились в экспериментальные растворы (табл. 1), где измерялись МП мышечных волокон [6]. МП измерялись с помощью стеклянных пирексовых микроэлектродов, заполненных раствором 3 М KCl, с диаметром кончика, равным $0{,}5 \div 0{,}7\mu$ [7]. Анализ внутриклеточной концентрации калия производился на пламенном фотометре. Концентрация калия в клетке рассчитывалась в мМ/кг вкв (внутриклеточной воды).

Результаты. Портняжные мышцы лягушки выдерживались в 112 мМ растворе сахарозы 3 часа при температуре 22°С. Концентрация калия в них уменьшалась до 40 мМ/кг вкв, т. е. на 70% от своего исходного уровня, принятого равным 140 мМ/кг вкв.

Измерение МП таких мышц производилось в сахарозно-сульфатных растворах с половинной тоничностью относительно нормального раствора Рингера (табл. 1, раствор 1). Концентрация калия в экспериментальных растворах изменялась от 2,5 мМ до 75 мМ (табл. 1, растворы $2 \div 7$). Электрохимическая схема в этом случае может быть представлена следующим образом: по обе стороны клеточной мембраны находятся хорошо проникающие катионы калия и плохо проникающие анионы (SO_4^{-2} и органические анионы) [7].

Результаты этих опытов в виде зависимости МП от lg [$K_н$] при [$K_{вн}$], равной 40 мМ/кг вкв, даны на рис. 1. Там же пунктирной линией дана теоретическая зависимость МП от lg [$K_н$], полученная по формуле Нернста:

$$E = \frac{RT}{F} \ln \frac{[K_н]}{[K_{вн}]} \quad (1),$$

где E — мембранный потенциал; R — универсальная газовая постоянная; T — абсолютная температура.

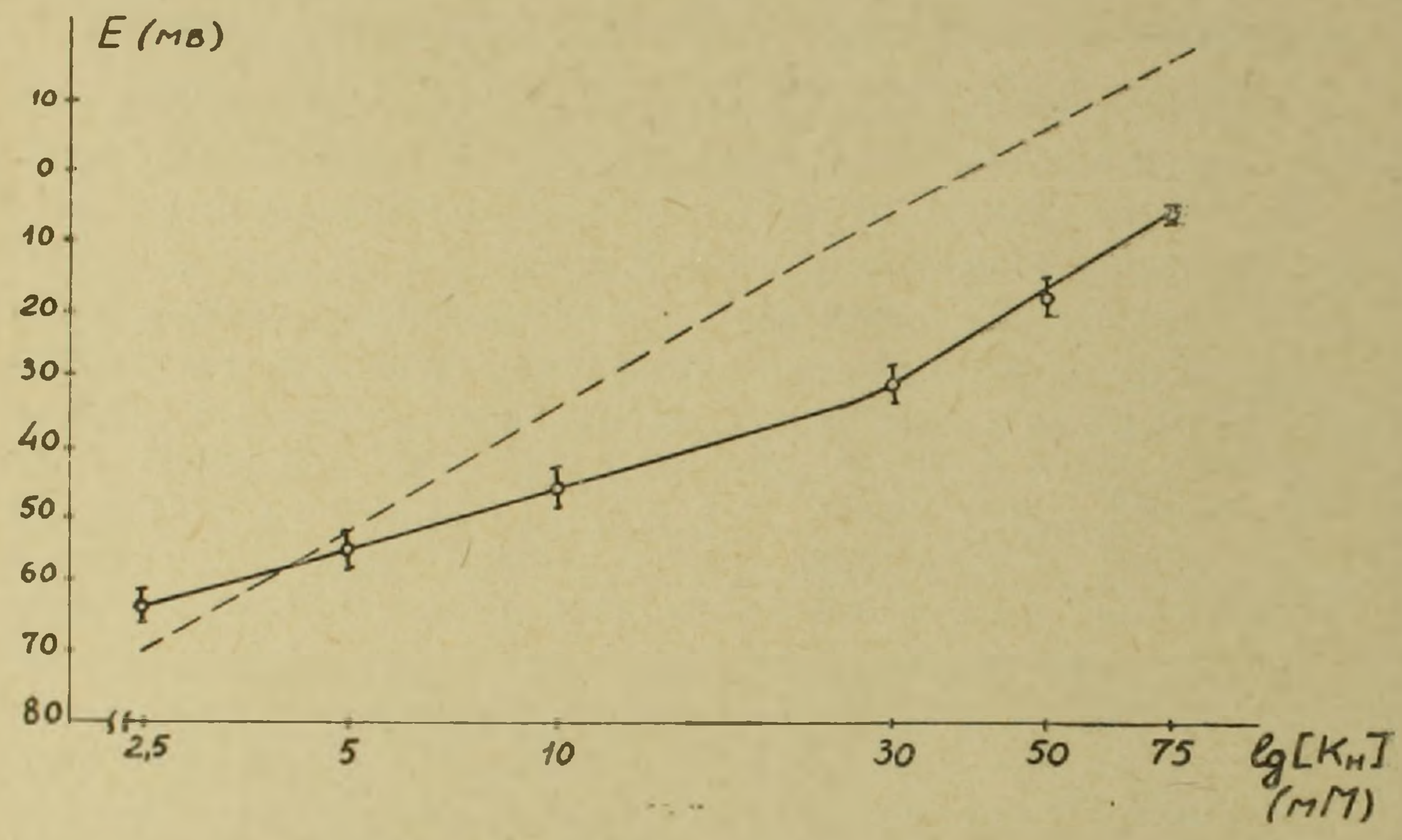

Рис. 1. Зависимость мембранного потенциала от концентрации калия в среде [$K_н$], когда внутриклеточная концентрация калия [$K_{вн}$] равна 40 мМ кг вкв. Значками ϕ даны среднеквадратичные отклонения. Пояснение в тексте.

Таблица 1

Составы растворов

Единицы измерения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
K^+ мг—ион/л	2,5	2,5	5	10	30	50	75	2,5	5	20	30
Na^+ мг—ион/л	120	—	—	—	—	—	—	80	78	62	52
Cl^- мг—ион/л	120	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SO_4^{-2} мг—ион/л	—	8	9	16	22	34	46	48	48	48	48
Ca^{+2} мг—ион/л	1,8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
$H_2PO_4^{-2}$ мг—ион/л	0,85	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43
HPO_4^- мг—ион/л	2,15	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08
Сахароза мМ	—	113	109	101	70	40	—	—	—	—	—
Относительная тоничность	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Из этих опытов можно констатировать следующее:

1. При [$K_{вн}$], равной 40 мМ/кг вкв, наклон графика зависимости E от lg [$K_н$] при изменении [$K_н$] от 2,5 мМ и до 30 мМ равен 28 мв. что более чем в 2 раза ниже термодинамического наклона 58 мв для десятикратного изменения [$K_н$] в логарифмической шкале при 20°С.

2. При всех экспериментальных значениях $[K_н] > 4$ мМ измеренный МП по абсолютной величине становится выше теоретически рассчитанного по формуле (1), и с увеличением $[K_н]$ разность между измеренным мембранным потенциалом ($E_{изм.}$) и теоретическим ($E_{теор.}$) растет по абсолютной величине приблизительно до точки $[K_н]$, равной 30 мМ, и достигает значения:

$$E_{изм.} - E_{теор.} \approx -25 \text{ мв}$$

При дальнейшем изменении $[K_н]$ от 30 мМ и до 75 мМ эта разность остается постоянной.

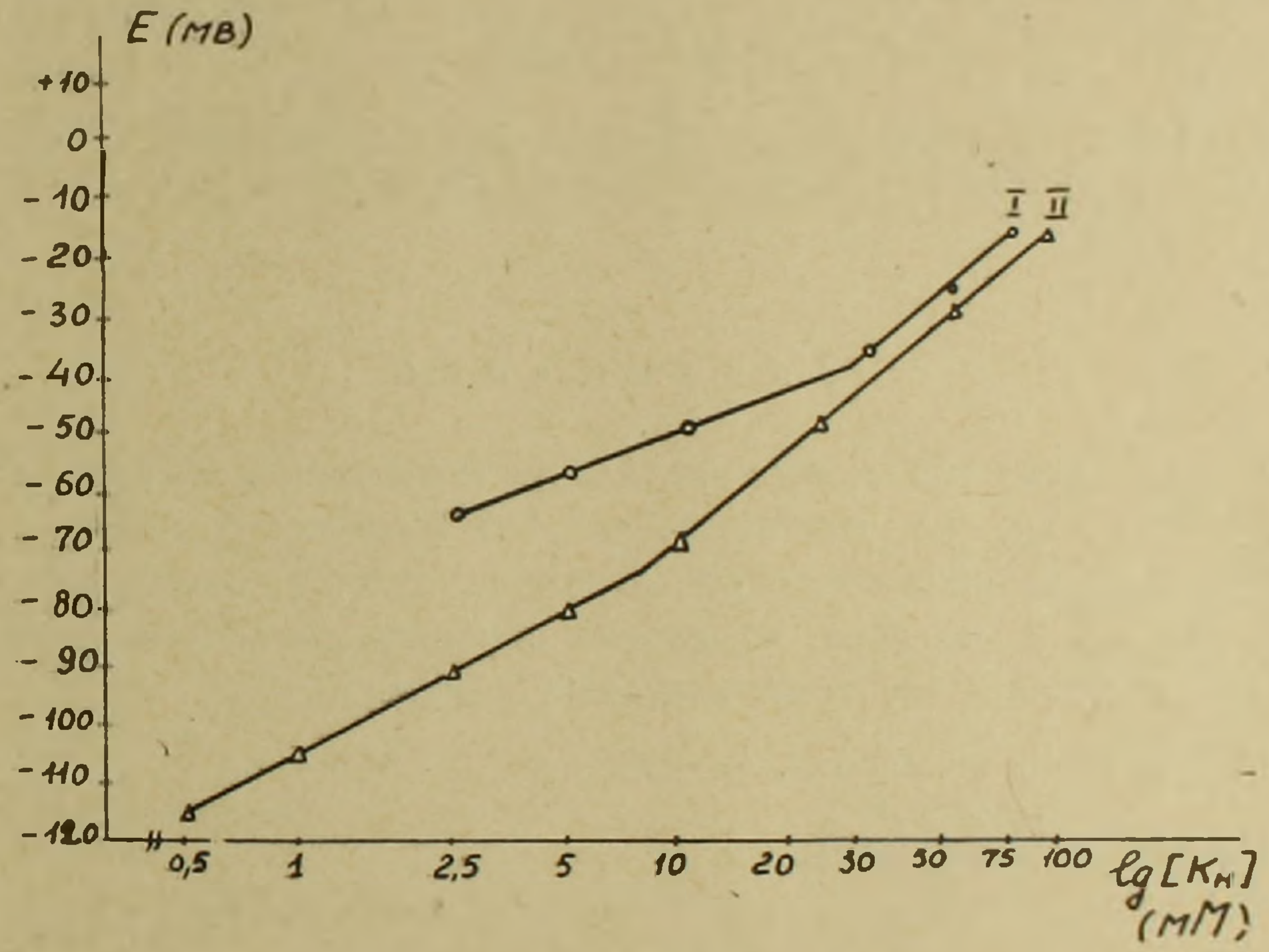

Рис. 2. Зависимость мембранного потенциала от концентрации калия в среде $[K_н]$ при различных $[K_{вн}]$. Кружками даны результаты наших экспериментов, треугольниками — данные Эдриана [6]. Линия 1 — при $[K_{вн}]$, равной 40 мМ/кг вкв. Линия 11 — при $[K_{вн}]$, равной 140 мМ/кг вкв.

3. В области изменений $[K_н]$ от 30 мМ и до 75 мМ наклон графика зависимости E от lg $[K_н]$ равен 58 мв, но величины МП не подчиняются формуле (1) для известных $[K_{вн}]$ и $[K_н]$. Замена в наружном растворе сахарозы на изотоничное количество Na_2SO_4 (табл. 1, растворы 8–11) не изменила ни характера наклона зависимости E от lg $[K_н]$, ни величины МП.

Обсуждение. Экспериментальные данные, изложенные в настоящей работе, дали нам основание не придерживаться интерпретации результатов, данных Ходжкиным и Горовицем [2]. Изучая экспериментальный материал, изложенный в работах Эдриана [5] и Ходжкина и Горовица [2], мы пришли к выводу, что через экспериментальные точки, полученные этими авторами, лучше провести две прямые линии, которые пересекаются в точке $[K_н]$, равной 8 мМ. На рис. 2 это

построение графика зависимости E от lg $[K_н]$ дается линией постоянной внутриклеточной концентрации калия, равной 140 мМ/кг вкв. Там же, на рис. 2, даны результаты наших опытов линией $[K_{вн}] = 40$ мМ/кг вкв=const, которая имеет перелом при $[K_н]$, равной 28 мМ. Сравнивая эти две линии, можно констатировать факт: чем меньше $[K_{вн}]$, тем при большем значении $[K_н]$ находится точка перелома зависимости E от lg $[K_н]$.

Простой расчет показывает, что для указанных кривых (рис. 2) произведение внутриклеточной концентрации калия $[K_{вн}]$ на концентрацию калия среды $[K_{вн}]$ в точке перелома зависимости E от lg $[K_{вн}]$ есть величина постоянная:

$$[K_{вн}] \cdot [K_н] = \text{const.} \qquad (4)$$

Однако обобщение выражения (4) на иные значения $[K_{вн}]$ требует дополнительных экспериментальных данных.

Заключение

Полученная нами экспериментальная зависимость МП от $[K_н]$ при пониженной $[K_{вн}]$ не соответствует той физической картине, которая основана на широкораспространенной теории постоянного поля Гольдмана [8], и которая, во многих случаях, достаточно удовлетворительно объясняет экспериментальные факты.

Институт физиологии им. акад. Л. А. Орбели
АН АрмССР
Институт цитологии АН СССР

Поступило 25.II 1965 г.

Ս. Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՈՎ

ՄԿԱՆԱԹԵԼԻ ԹԱՂԱՆԹԱՅԻՆ ՊՈՏԵՆՑԻԱԼԻ ԿԱԽՈՒՄԸ ՄԻՋԱՎԱՅՐԻ ԿԱԼԻՈՒՄԻ ԽՏՈՒԹՅՈՒՆԻՑ

Ա մ փ ո փ ո ւ մ

Այս աշխատության մեջ միկրոէլեկտրոդային տեխնիկայի օգնությամբ ուսումնասիրվել է մկանաթելերի թաղանթային պոտենցիալների (ԹՊ) կախումը միջավայրի կալիումի խտությունից $[K_ա]$, այն դեպքում, երբ կալիումի ներբջջային խտությունը $[K_ն]$ հավասարվել է ներբջջային ջրի 40 մմ/կգ-ին։ ԹՊ-ի մեր ստացած փորձարարական կախումը $[K_ա]$-ից իջնցված $[K_ն]$-ի ժամանակ միանգամայն չի համընկել այն ֆիզիկական պատկերի հետ, որը հիմնված է Գոլդմանի [8] լայն տարածում գտած հաստատուն էլեկտրական դաշտի տեսության վրա և որը շատ դեպքերում բավարար կերպով բացատրում է փորձարարական փաստերը։

ЛИТЕРАТУРА

1. Katz B. Arch. Sci. physiol., 3, 285, 1949.
2. Hodgkin A. L., & Horowicz P. J. Physiol., 148, 127, 1959.
3. Adrian R. H. J. Physiol., 151, 154, 1960.
4. Adrian R. H., & Freygang W. H. J. Physiol., 163, 61, 1962.
5. Adrian R. H. J. Physiol., 133, 631, 1956.
6. Koketsu K., & Kimura Y. J. cell. comp. physiol., 3, 239, 1960.
7. Мартиросов С. М. и Лев А. А. Цитология, 2, 181, 1965.
8. Goldman D. E. J. Gen. Physiol., 27, 37, 1943.