ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԶԵԿՈՒՅՑՆԵՐ
ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

LII 1971 2

БИОФИЗИКА

УДК 577.3

К. В. Казарян, С. М. Маргиросов

О влиянии щелочных металлов на потенциал покоя гладкомышечных клеток желудка лягушки

(Представлено чл.-корр. АН Арм. ССР С. Л. Бакунцем 11/IX 1970)

Исследования, посвященные взаимосвязи потенциала покоя (ПП) с концентрацией различных катионов и анионов в наружной среде, позволили придти к выводу, что электрохимические свойства мембран ряда гладкомышечных клеток (ГМК) отличаются от подобных характеристик мембран скелетных мышц и нервных волокон ([1]). При этом установлено наличие высокой проницаемости мембран ГМК taenia coli морской свинки к ионам натрия. Однако, чтобы сравнить электрохимические свойства мембран ГМК с другими объектами, более целесообразно выяснить характер зависимости величины ПП применением различных металлов щелочного ряда. Именно с этой целью нами была исследована зависимость ПП от концентраций ионов калия, рубидия, цезия и натрия в наружной среде и определены их относительные проницаемости (P_{Rb}/P_K, P_{Cs}/P_K, P_{Na}/P_K).

В качестве объекта выбраны полоски кольцевых гладких мышц желудка лягушки, которые мало изучены с электрохимической точки зрения. Электрические измерения проводились методом «сахарозного мостика» ([2]). Отводимые величины потенциалов регистрировались с помощью РН-метра ЛПУ—01, работающего в режиме милливольтметра и записывались на самопишущем потенциометре ЭПП—09. Измерения потенциалов в тестирующих растворах производились относительно раствора Рингера (раств. 1, табл. 1).

Беннетом и Барнстоком на taenia coli морской свинки было показано, что ПП является линейной функцией логарифма концентрации ионов калия в наружной среде свыше 10 *мг-ион/л* ([3]). Эти авторы, проводившие исследования методом «сахарозного мостика», при сохранении условия равновесия в Доннановской системе, согласно которой произведение концентраций ионов Cl^- и K^+ остается постоянной, определили наклон данной зависимости, равный 28 *мв* на десятикратное изменение концентрации ионов K^+ в наружной среде. Полученные ре-

зультаты позволили авторам придти к выводу о том, что распределение ионов K^+ и Cl^- между ГМК и наружной средой подчиняется Доннановскому равновесию и поэтому мембраны этих клеток ведут себя подобно калиевому электроду.

Таблица 1

Составы тестующих растворов

Номера растворов	K^+	Na^+	Cl^-	Ca^{+2}	HCO_3^-	SO_4^{-2}	$C_{12}H_{22}O_{11}$	Rb^+	Cs^+
1	2,5	117,4	121,1	1,8	2,4	—	—	—	—
2	10	109,9	30,2	8	2,4	51,6	33,1	—	—
3	25	94,9	12,1	8	2,4	60,6	42	—	—
4	50	69,9	6	8	2,4	63,7	45,2	—	—
5	100	19,9	3	8	2,4	65,2	60	—	—
6	2,5	147,8	2,5	8	2,4	81,9	—	—	—
7	2,5	102,4	2,5	8	2,4	58	69,2	—	—
8	2,5	52,4	2,5	8	2,4	33	144,2	—	—
9	2,5	27,4	2,5	8	2,4	20,5	182,1	—	—
10	2,5	12,4	2,5	8	2,4	13	204,2	—	—
11	2,5	4,9	2,5	8	2,4	9,25	215,45	—	—
12	—	95	12	8	2,4	60,6	42,3	25	—
13	—	69,9	6	8	2,4	63,7	45,2	50	—
14	—	95	12	8	2,4	60,6	42,3	—	25
15	—	69,9	6	8	2,4	63,7	45,2	—	50

Для проведения соответствующих экспериментов на полосках кольцевых гладких мышц желудка лягушки нами применялись растворы, в которых произведение $|K_н^+||Cl_н^-|$ поддерживалось постоянным, где $|K_н^+|$ и $|Cl_н^-|$ — концентрации ионов K^+ и Cl^- в наружной среде.

При изменении концентрации ионов калия в наружной среде от 10 до 100 *мг-ион/л* (раств. 1—5, табл. 1) регистрируемые величины потенциалов оказались в линейной зависимости от логарифма концентрации (рис. 1). При этом наклон зависимости был равен 28 *мв* как и у вышецитированных авторов.

Отсюда следует, что для ГМК желудка лягушки также как и для taenia coli морской свинки соблюдается Доннановское равновесие ионов K^+ и Cl^- между клеткой и средой. Следовательно, подобное распределение ионов является характерным свойством не только поперечнополосатых ([4, 5]), но и гладких мышц.

Особенностью многих нервных волокон и поперечнополосатых мышц, как известно, является низкая мембранная проницаемость для ионов натрия, где $P_{Na}/P_K \approx 0{,}01$ ([3]). При этом для ГМК taenia coli P_{Na} близка к P_K ([3]), а для желудка лягушки при наложенном внешнем поле проводимости по натрию и калию составляют от суммарной 46 % и 30 % соответственно ([6]) и поэтому можно ожидать значительный вклад ионов натрия в величину ПП.

Были проведены также специальные исследования по определению зависимости величины ПП от концентрации ионов натрия в наружной среде. Для этой цели концентрация ионов калия как в тестирующих

растворах, так и в относительном растворе сохранялась постоянной и низкой по величине (2,5 *мг*-ион/*л*). Для исключения влияния ионов хлора на величину ПП в наших экспериментах использовались только суль-

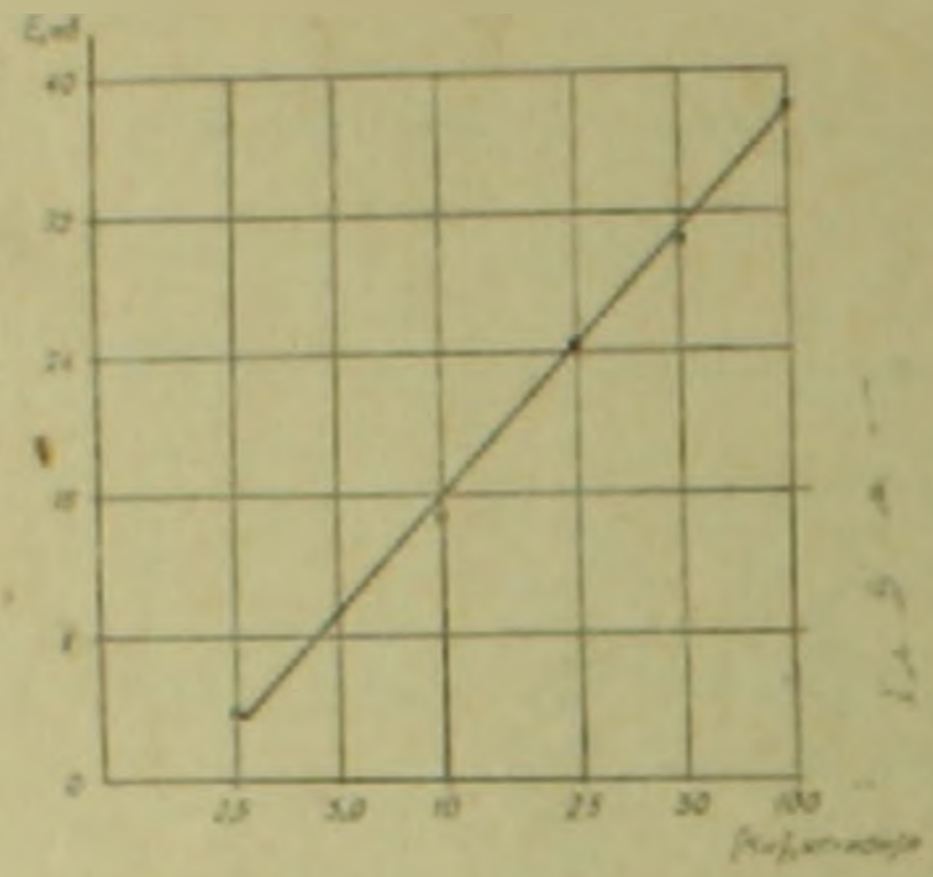

Рис. 1. Зависимость потенциала покоя от концентрации ионов калия в тестирующих растворах (раств. 1—5). Стандартная ошибка не превышает 1 *мв*

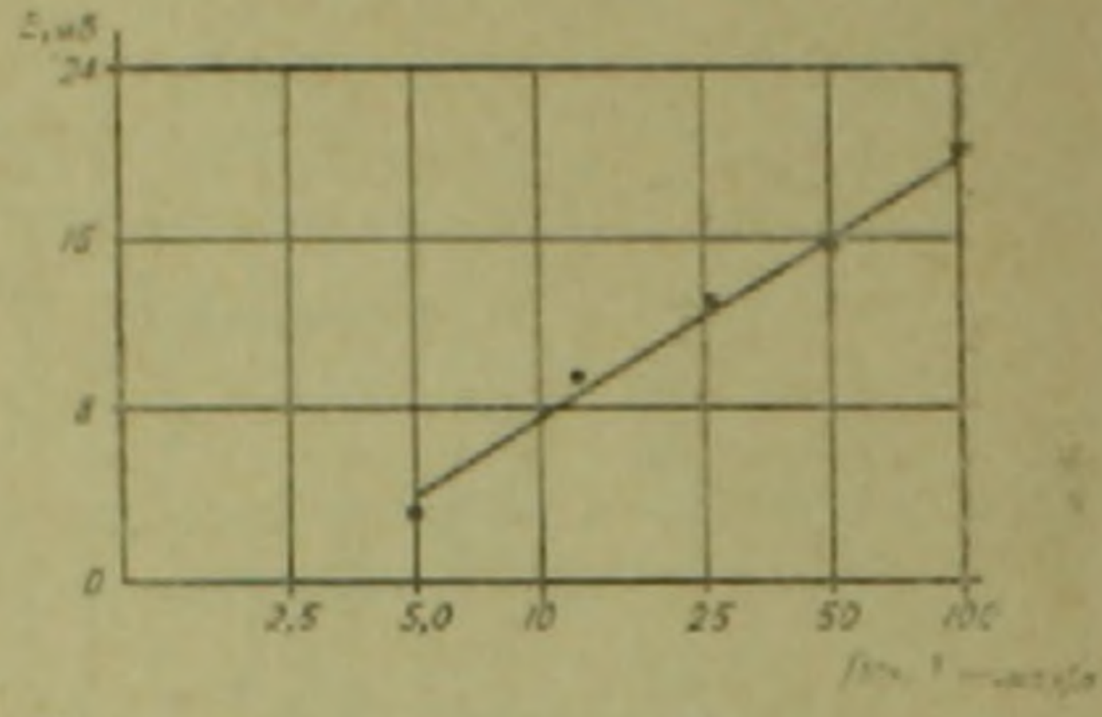

Рис. 2. Зависимость потенциала покоя от концентрации ионов натрия в тестирующих растворах (раств. 6—11). Стандартная ошибка не превышает 1 *мв*

фатные растворы (раств. 6—11, табл. 1), концентрации ионов натрия в которых изменялись от 4.9 до 147,8 *мг*-ион/*л*.

Установлено, что при десятикратном изменении концентрации ионов Na^+ в наружной среде наклон зависимости равен 8 *мв* (рис. 2). Сохранение концентрации ионов калия в среде постоянной и низкой по величине дало возможность оценить относительную проницаемость P_{Na}/P_K, которая, по всей видимости, не превышает 0,05.

Сравнивая наклон зависимости двух кривых, когда в одном случае определяется зависимость ПП от концентрации ионов калия в наружной среде (рис. 1), а в другом—от концентрации натрия в среде (рис. 2) можно констатировать, что по крайней мере для желудка лягушки относительная проницаемость P_{Na}/P_K мембраны такая же низкая, как и для поперечнополосатых мышц и нервных волокон. Однако, в этом случае мембрана может обладать высокой пассивной проницаемостью к ионам натрия, а интенсивность работы натриевого насоса у ГМК оказаться выше, чем у других объектов, что является причиной низкой относительной проницаемости. О большой интенсивности работы натриевого насоса у ГМК свидетельствуют результаты ряда работ ([1, 3, 4]), поэтому было бы необоснованным допущение существенной роли ионов натрия в создании мембранного потенциала ГМК, учитывая, что значение этих ионов в создании ПП весьма ограничено как и для поперечнополосатых мышц и нервных волокон.

По ионам натрия достаточно трудно сравнивать электрохимические свойства различных объектов, так как каждый раз необходимо учитывать работу натриевого насоса. Исходя из этого нами было изучено также влияние концентрации ионов Rb^+ и Cs^+ в наружной среде на

величину ПП. В этом случае тестирующий раствор имел концентрацию Rb^+ или Cs^+, равную ионам калия в относительном растворе (сравнить раств. 12, 13 с раств. 3,4, раств. 14,15 с раств. 3,4).

После измерения ПП были определены относительные проницаемости P_{Rb}/P_K и P_{Cs}/P_K с использованием данных пламенно-фотометрического анализа. Расчеты (табл. 2) основывались на том, что подвижности ионов K^+, Rb^+ и Cs^+ в водной фазе одинаковы и, следовательно, диффузионные потенциалы между тестирующим и относительным растворами остаются постоянными.

Таблица 2

Относительные проницаемости для рубидия и цезия

Концентрация ионов K^+ в относительных растворах в *мг*-ион/*л*	Концентрация ионов K^+, Rb^+, Cs^+ в тестирующих растворах в *мг*-ион *л*			Величина регистрируемого потенциала, *мв*	Относительная проницаемость
K^+	K^+	Rb^+	Cs^+		
50	50	—	—	0 – (—2)	1
25	25	—	—	0 – (—2)	1
50	—	50	—	—11	0,6
25	—	25	—	—11	0,6
50	—	—	50	—18	0,5
25	—	—	25	—17	0,5

Сопоставление относительных проницаемостей Rb^+ и Cs^+ для ГМК желудка лягушки с данными для поперечнополосатых мышечных волокон свидетельствует не только о том, что ряд специфичностей $K^+ > Rb^+ > Cs^+$ сохраняется, но и указанные проницаемости близки по величине.

Таким образом, обобщая результаты всех экспериментов, можно заключить, что для металлов щелочного ряда не наблюдается заметного различия их влияний на величину ПП гладкомышечных клеток в отличие от скелетных мышц и нервных волокон.

Результаты вышеприведенных данных позволяют придти к выводу о том, что в условиях сохранения Доннановской системы величина потенциала покоя, регистрируемая методом «сахарозного мостика», является линейной функцией концентрации ионов калия в наружной среде. При этом наклон зависимости равен 28 *мв* на десятикратное изменение концентрации. Далее, было обнаружено незначительное влияние ионов натрия на величину потенциала покоя при низкой концентрации ионов калия в наружной среде. Проницаемость мембраны ионами Rb^+ и Cs^+ относительно ионов K^+ оказалась равной 0,6 и 0,5.

Полученные результаты свидетельствуют об электрохимической идентичности кольцевых гладких мышц желудка с поперечнополосатыми мышцами лягушки.

Институт физиологии им. Л. А. Орбели
Академии наук Армянской ССР

Ք. Վ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Ս. Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՈՎ

Գորտի ստամոքսի հարթ մկանային բջիջների հանգստի պոտենցիալի վրա հիմնային մետաղների ազդեցության մասին

Հաստատված է, որ հարթ ու կմախքային մկանների, ինչպես և ներվային թելիկների էլեկտրաքիմիական հատկությունները միմյանցից տարբերվում են։ Ելնելով այս փաստից, մեր կողմից փորձ է արված համեմատելու գորտի ստամոքսի հարթ և ընդլայնական շերտավոր մկանների բջիջների էլեկտրաքիմիական հատկությունները։

Փորձերի արդյունքները, որոնք կատարվել են կալիի, նատրիի, ռուբիդիի և ցեզիի աղերի օգտագործմամբ, հեղինակներին բերել են այն եզրակացության, որ գորտի ստամոքսի հարթ ու ընդլայնական շերտավոր թելիկների էլեկտրաքիմիական հատկությունները լրիվ համընկնում են։

ЛИТЕРАТУРА—ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

[1] *Л. М. Чайлахян*, «Биологический журнал Армении», 12, 5, (1970). [2] *Гуцин*, Бюллетень эксперииментальной биологии и медицины, 12, 10 (1966). [3] *M. R. Bennet* and *G. Burnstock*, 183, 3 (1966) [4] *P. F. Baker*, *A. L. Hodgkin*, J. Physiology, 164, 3 (1962) [5] *A. L. Hodgkin*, *P. Horowice*, J. Physiology, 145, 405 (1959). [6] *Ф. Шуба*, Электрофизиологические свойства гладких мышц. Автореферат диссертации, 1967. [7] *Э. Бюльбринг*, Сб. Современные проблемы электробиологии, 1964. [8] *B. Buck*, *P. J. Goodford*, J. Physiology, 183, 551 (1966).