

УДК 577.352.5:612.822

БИОФИЗИКА

М. А. Сулейманян

О действии осмотического давления на электрическую активность мембраны гигантского нейрона улитки

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР В. В. Фанарджяном 19/IV 1979)

В предыдущих наших работах было показано, что объем гигантского нейрона улитки регулируется работой электрогенного натриевого насоса (Na-насос) (1). Активация работы Na-насоса приводит к уменьшению, а инактивация — к увеличению объема клетки. Известно, что живые клетки ведут себя как своего рода осмометры (2). Клетки, находившиеся в гипертонической среде, теряют воду и уменьшаются в размере, а клетки, находившиеся в гипотонической среде, наоборот, поглощая воду, набухают.

Исследование электрических характеристик мембраны в условиях различного осмотического давления наружного раствора позволит понять физиологическое значение насос-вызванного изменения объема клетки в ее нормальной жизнедеятельности. Указанный вопрос и служил предметом исследования в данной работе.

Опыты проводили на гигантских нейронах виноградной улитки в зимние месяцы, когда животные находились в анабиотическом состоянии. Исходный физиологический раствор имел следующий состав в миллимолях: Na⁺ — 80, K⁺ — 4, Ca⁺⁺ — 7, Mg⁺ — 13, трис-HCl (pH 8) — 10, глюкоза — 10. Растворы с различными осмотическими давлениями приготавливали, заменяя 40 мМ NaCl на 0,52, 104 мМ сахарозы для гипотонического, нормального и гипертонического растворов соответственно. Для исследования мембранных токов и снятия вольт-амперных характеристик мембраны была применена длительная фиксация напряжения на мембране, в основе которой лежит автоматическое поддержание мембранного потенциала (МП) на исследуемом уровне. Для этого в нейроны были введены два независимых микроэлектрода — один для регистрации МП, а другой для поддержания МП на желаемом уровне (токовый электрод). Микроэлектроды были заполнены 2,5 М KCl и имели сопротивление около 10 МОм.

В нашей лаборатории разработана схема фиксации потенциала на мембране гигантского нейрона улитки, блок-схема которой показана на рис. 1.

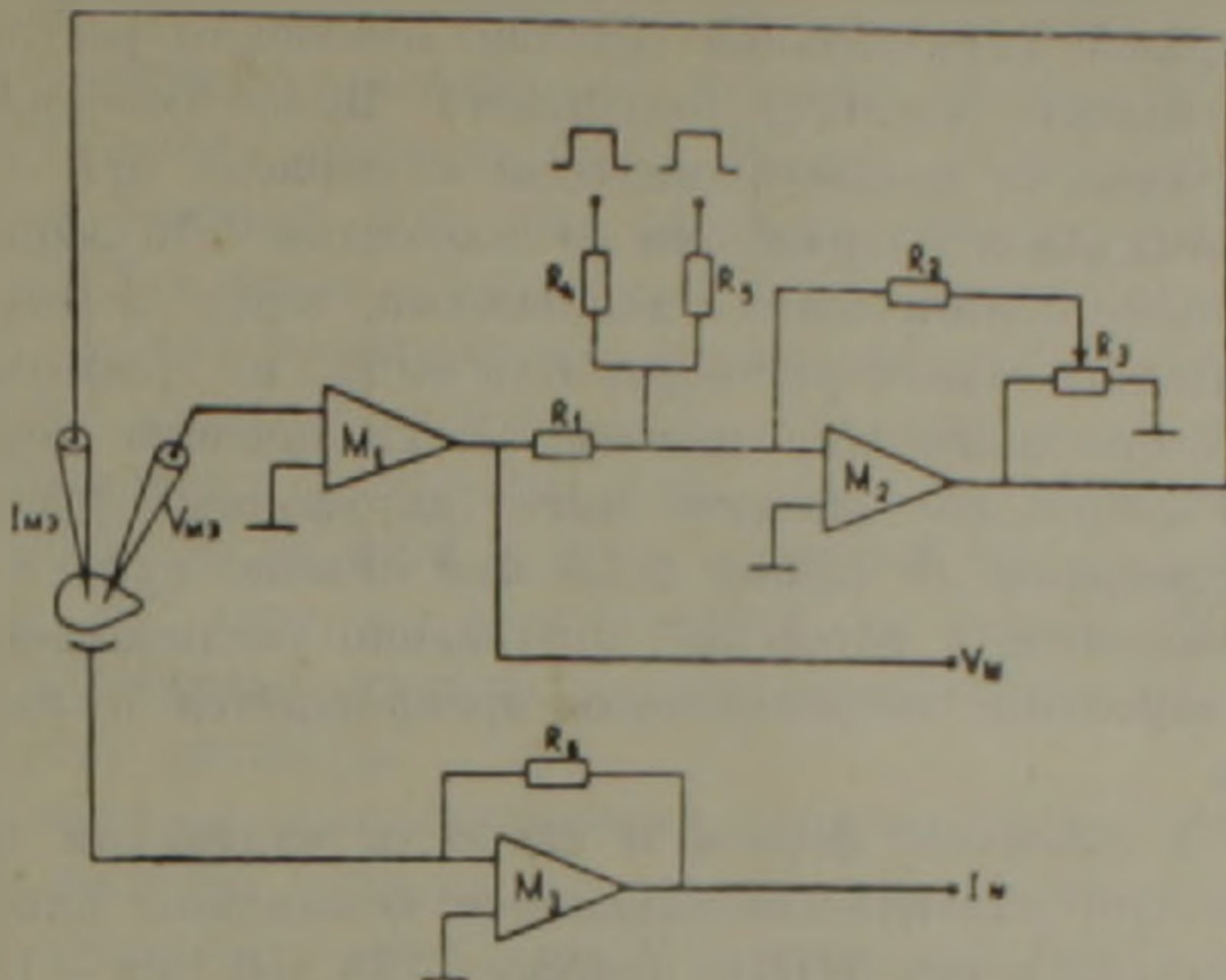


Рис 1. Блок-схема установки для фиксации напряжения на мембране M_1 — входное устройство для регистрации мембранного потенциала (V_m); M_2 — усилитель для фиксации потенциала; M_3 — усилитель для регистрации ионного мембранного тока (I_m), V_m — потенциальный микроэлектрод, I_m — токовый микроэлектрод. Прямоугольные знаки представляют командные напряжения

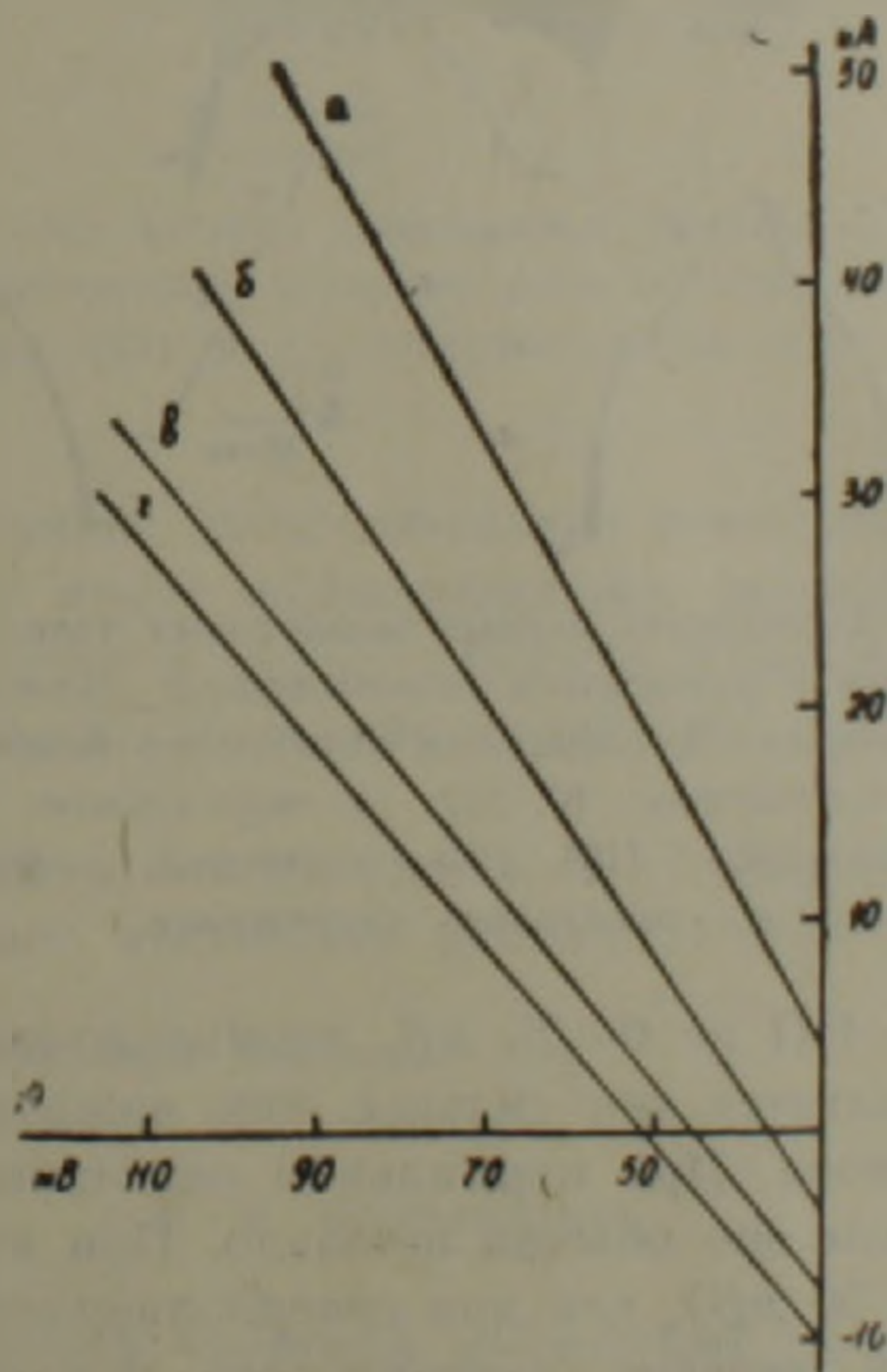


Рис 2. Вольт-амперные характеристики мембраны ритмически активного нейрона (beating pacemaker) в растворах с различными осмотическими давлениями а — в гипотоническом (0), б — нормальном (52) и в, г — гипертоническом (104, 156) растворах. Цифры в скобках обозначают концентрацию сахарозы в мМолях взамен 40 мМ NaCl

На рис. 2 изображены вольт-амперные характеристики мембраны нейрона из правой паризтальной ганглии, имеющего регулярную ритмическую активность (beating pacemaker). Вольт-амперные характеристики получены на двухкоординатном самописце при линейно-возрастающем командном напряжении со скоростью $0,75 \text{ мВ/с}$, в растворах с различными осмотическими давлениями, через 15 мин после воздействия соответствующего раствора. Как видно из графиков, увеличение осмотического давления приводит к увеличению сопротивления мембраны. Осмотическое давление имеет двухфазный эффект на сопротивление мембраны. В первые 2—3 мин обычно происходит уменьшение сопротивления, а потом оно постепенно увеличивается, и через 10—20 мин изменение сопротивления прекращается и наступает его стабилизация.

На рис. 3 показаны формы и скорость изменения мембранных ионных токов при линейно-изменяющемся командном напряжении от уровня потенциала покоя (ПП), равного -35 мВ , до -110 мВ . Как видно из рисунка, при линейно-возрастающем командном напряжении

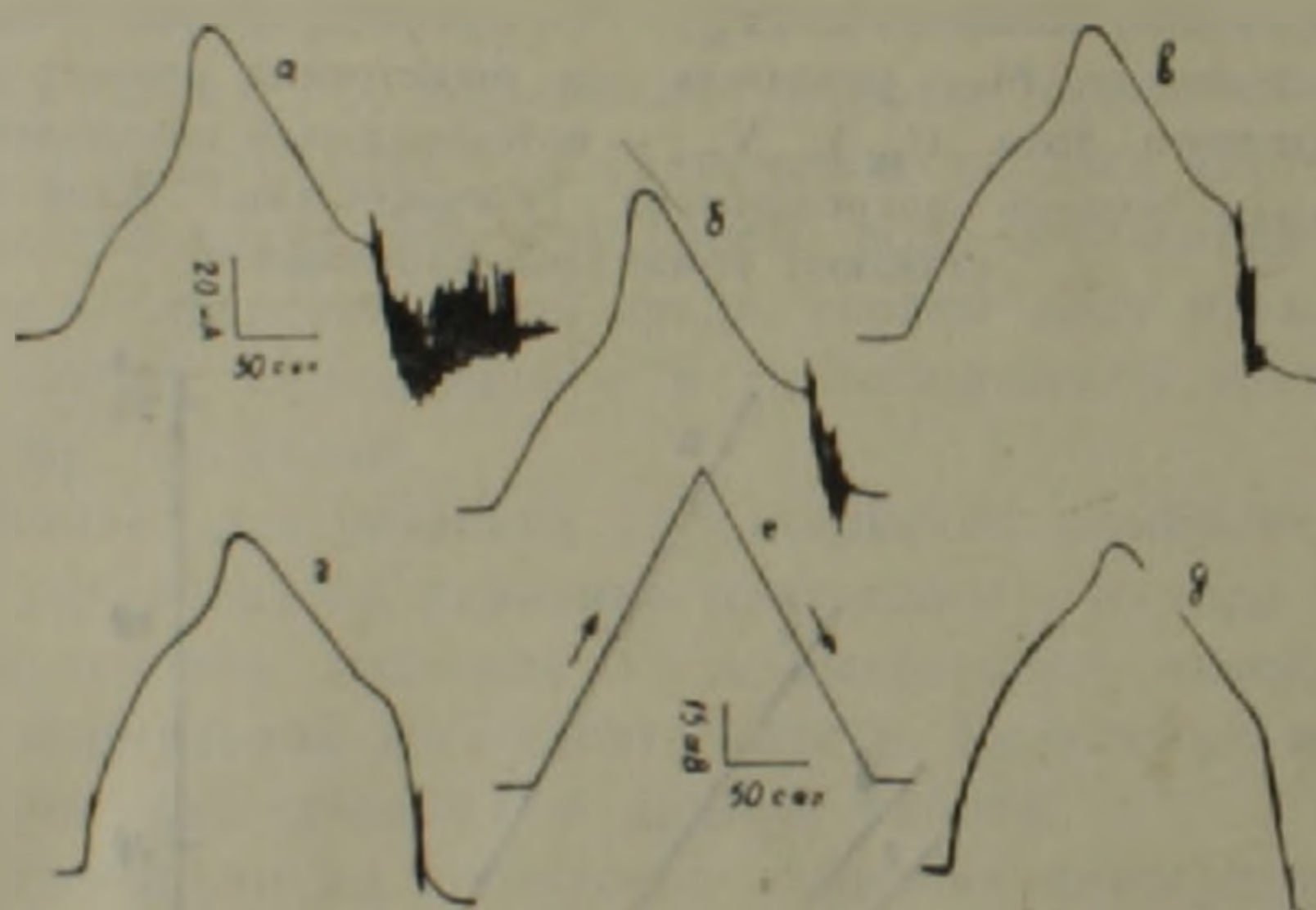


Рис. 3. Зависимость ионных мембранных токов от времени в растворах с различными осмотическими давлениями при подаче линейно-изменяющегося командного напряжения: а, б— в гипотоническом (0, 26); в— нормальном (52) и г, д— гипертоническом (104, 156) растворах; е— форма линейно-изменяющегося командного напряжения

в области выше ПП на $0-25 \text{ мВ}$, аномально-выпрямляющее свойство мембраны проявляется тем сильнее, чем ниже осмотическое давление наружного раствора. При нормальном осмотическом давлении в присутствии сахарозы оно обычно исчезало. При высоких значениях МП (больше ПП на 50 мВ), как при гиперполяризационной, так и при деполяризационной линейно-изменяющейся команде, форма изменения мембранных токов одинакова, и они различаются только скоростью изменения. При деполяризационной линейно-изменяющейся команде МП, при котором происходит выпрямление, не зависит от осмотического давления.

Обычно в нормальных условиях ритмически активные клетки после сдвига с гиперполяризационного уровня к уровню ПП отвечают генерацией потенциала действия (ПД). Из рис. 3 видно, что по мере увеличения осмотического давления раствора уменьшается число вышеупомянутых ПД и они возникают при более низких значениях командного тока, т. е. при более деполяризационном уровне МП, в результате увеличения порога генерации ПД. Аналогичное повышение возбудимости наблюдается, когда МП фиксирован на уровне ПП. На рис. 4 показаны мембранные токи в цепи обратной связи, соответствующие ПД нейрона, МП которого фиксировался на уровне ПП. Из записи видно, что количество ответов в пачке уменьшается по мере увеличения тоничности раствора.

Таким образом, при повышении тоничности раствора, т. е. при уменьшении размера нейрона, происходит уменьшение как проводимости, так и возбудимости мембраны. Что позволяет прийти к заключению

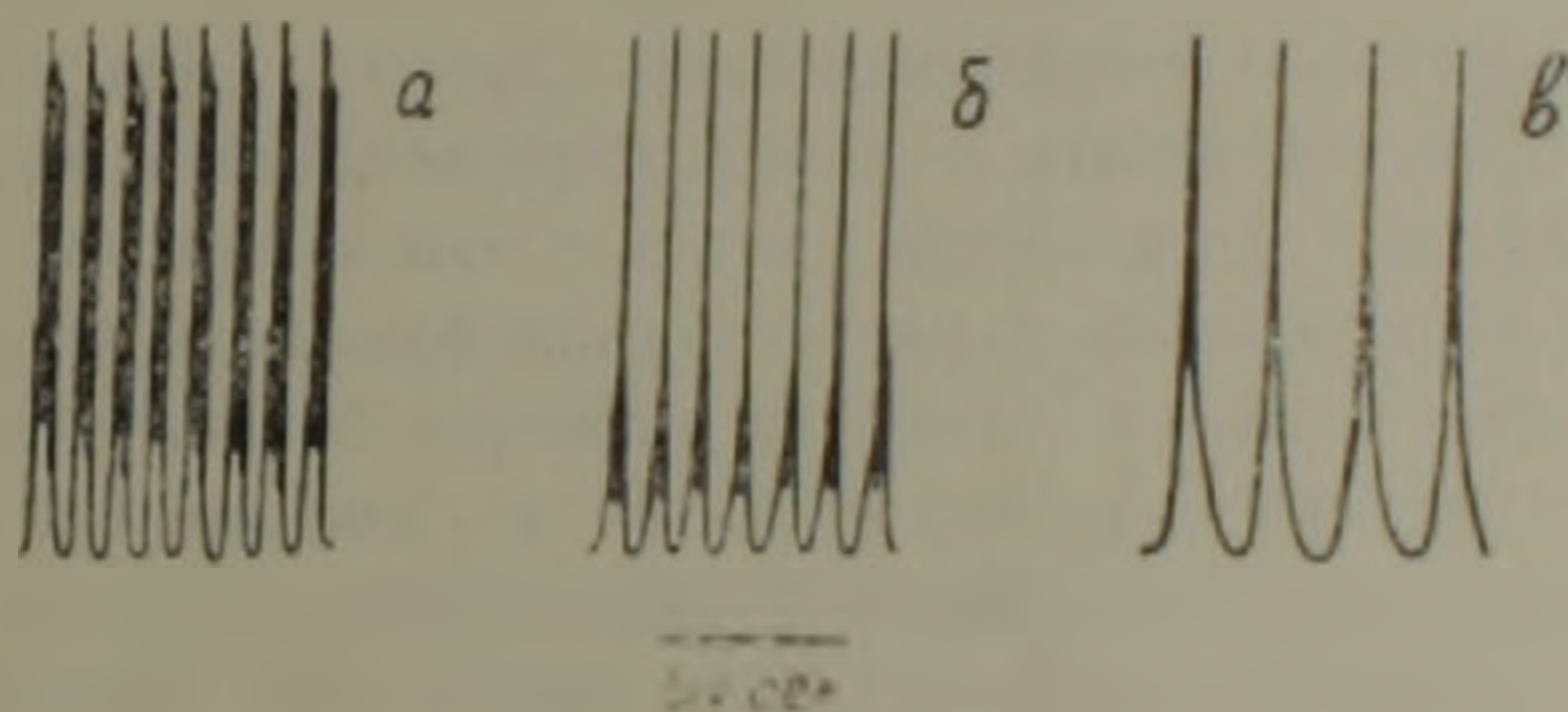


Рис. 4. Изменение частоты потенциалов действия в зависимости от осмотического давления а—в гипотоническом (0); б—нормальном (52) и в—гипертоническом (104) растворах

что ранее нами показанное насос-вызванное изменение объема гигантского нейрона улитки имеет функциональное значение в нормальной жизнедеятельности клетки и может служить одним из метаболических механизмов, лежащих в основе регуляции адаптивных свойств нейрона.

Выражаю искреннюю благодарность С. Н. Айрапетяну, под руководством которого была выполнена данная работа.

Институт экспериментальной биологии
Академии наук Армянской ССР

Խ. Ա. ՍՈՒՆՅՄԱՆՅԱՆ

Խիսունջի գիգանտ նեյրոնի մեմբրանի էլեկտրական ակտիվության վրա
օսմոտիկ ճնշման ազդեցության մասին

Այս աշխատանքում ուսումնասիրվել է օսմոտիկ ճնշման ազդեցությունը
խիսունջի գիգանտ նեյրոնի մեմբրանի էլեկտրական ակտիվության վրա: Ցույց
է տրվել, որ օսմոտիկ ճնշման մեծացման ժամանակ մեծանում է մեմբրանի

դիմադրությունը և փոքրանում նրա գրգռողականությունը Օսմոտիկ ճնշման փոքրացման ժամանակ մեմբրանի հանդստի պոտենցիալից 0—25 մվ բարձր տիրույթում հոսանքի մեծացումը լարման դժույին մեծացման ժամանակ դանդաղում է և այնքան ավելի շատ, որքան փոքր է օսմոտիկ ճնշումը, իսկ պրակտիկ ավելի բարձր տիրույթում հոսանքի փոփոխման վարքը մնում է հիմնականում նույնը կիրառված բոլոր օսմոտիկ ճնշումների դեպքում: Այս տվյալներից եզրակացություն է արվում, որ էլեկտրոզեն նատրիումական պոմպը պայմանավորված խիունջի գիգանտ նեյրոնի ծավալի փոփոխությունը ունի ֆունկցիոնալ նշանակություն բջջի նորմալ կենսագործունեության ընթացքում և կարող է ծառայել որպես նյութափոխանակային մեխանիզմներից մեկը, որը ընկած է նեյրոնի ադապտացիոն հատկությունների կանոնավորման հիմքում:

ЛИТЕРАТУРА — ՓՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ С. Н. Айрапетян, М. А. Сулейманян, Биофизика, 3, 1979. ² Х. Ност, в кн.: Физология клетки, «Мир», М., 1975.