

дження електричних властивостей збудливих волокон, але й для дослідження фармакологічних властивостей різних речовин. Адже досі фармакологи в більшості випадків судять про фармакологічні властивості тієї чи іншої речовини переважно на основі, наприклад, ефекту скорочення м'яза. Додавання до цього показника досліджень зміни електричних властивостей м'язових (а також нервових) волокон допоможе більш глибоко охарактеризувати фармакологічні властивості даної речовини. І це тим більше, що за певних умов дія деяких фармакологічних речовин може й не викликати специфічної реакції, наприклад, скорочення м'язових волокон, тоді як електричні потенціали цих волокон, дуже чутливі до зміни навколишнього середовища, можуть зазнати значних змін.

ЛІТЕРАТУРА

1. Голов Д. А. и Костюк П. Г., Физиол. журн. СССР, 42, 1956, с. 117.
2. Шуба М. Ф., в сб. «Электрофизиол. нервной системы», 1963, с. 443.
3. Berger W., Pflüg. Arch., 272, 1960, s. 37.
4. Burnstock G. a. Straub R. W., J. Physiol., 140, 1958, p. 156.
5. Greven K., Z. Biol., 106, 1953, S. 1.
6. Julian H. J., Moore J. W. a. Goldman D. E., Feder. Proc., 20, 1961, p. 338.
7. Kolodny R. L. a. Van der Kloot W. G., Nature, 190, 1961, p. 786.
8. König K., Pflüg. Arch., 275, 1961, S. 452.
9. Ritchie J. M., Straub R. W., J. Physiol., 134, 1956, p. 698.
10. Schmidt H., Pflüg. Arch., 274, 1962, S. 632.

Надійшла до редакції
22.XI 1963 р.

Електрометричний підсилювач при застосуванні високоомних скляних мікроелектродів

В. Ф. Нікитенко, Б. Я. П'ятигорський, З. О. Сорокіна

Лабораторія загальної фізіології Інституту фізіології ім. О. О. Богомольця
Академії наук УРСР, Київ

Дослідження природи біопотенціалів привели до необхідності вимірювання активності різних іонів всередині окремих м'язових і нервових клітин. Для цього виготовлені спеціальні мікроелектроди з катіон-селективного скла, які дозволяють проводити прямі вимірювання активності іонів водню, калію і натрію в клітинах [3, 7, 8, 10, 11].

Ці мікроелектроди мають дуже великий опір (близько 200—500 ом), що потребує створення вхідного каскаду підсилювача, струм якого не перевищує 10^{-13}а . В зв'язку з цим звичайні вхідні каскади, які застосовують для роботи з внутріклітинними мікроелектродами [1, 4, 5] не можуть бути використані. Оптимальним реєструючим пристроєм при таких дослідженнях є чорнилозаписуючий прилад з великим динамічним діапазоном, який дозволяє збільшити чутливість всієї установки в цілому [9]. Найбільш придатним з цієї точки зору є електронний самозаписуючий потенціометр типу ЕПП-09 з часом пробігу каретки 1 сек , який випускає наша промисловість. Враховуючи високу чутливість цього приладу, мета його використання при застосуванні таких мікроелектродів полягає у створенні додаткового перетворювача з достатньо високим (10^{11} — 10^{12}ом) вхідним і низьким (не більш 500 ом) вихідним опором і коефіцієнтом передачі, який приблизно дорівнює одиниці.

Як такий перетворювач в нашій лабораторії розроблений дволамповий підсилювач, який відрізняється від аналогічних приладів [2] своєю простотою і надійними експлуатаційними даними.

Вхідною лампою служить електрометричний тріод типу ЕМ-4 [6]. Його перевагою порівняно з подвійним електрометричним тетродом 2Е2П є велика економічність, висока крутість і великий коефіцієнт підсилення, що дозволяє одержувати краще відношення сигнал—перешкода.

При правильному добір режимів цього тріода досить легко вдається звести струм до значення 10^{-13}а . Як показав експеримент, такі показники сіткового струму були одержані при напрузі накалу 1,2 в , сітковому зміщенні 1,9 в і анодній напрузі

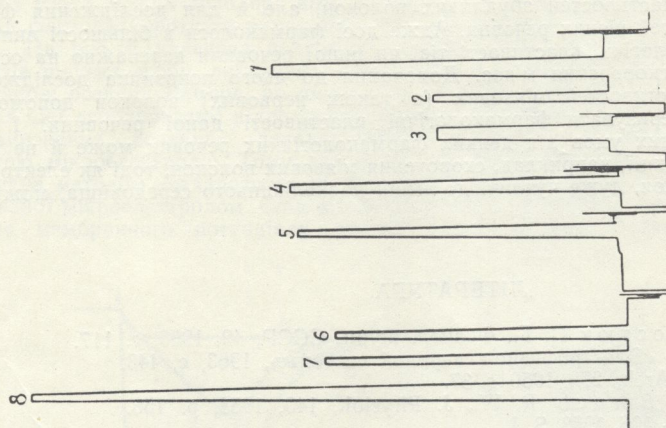


Рис. 3. Запис вимірювання внутрішньої активності іонів Na.

1 — калібратор 100 мВ, 2–5 — калібрувальні розчини: 2 — 0,1 М NaCl+0,1 М KCl, 3 — 0,1 М NaCl+0,15 М KCl, 4 — 0,01 М NaCl+0,1 М KCl, 5 — 0,01 М NaCl+0,15 М KCl, 6 — потенціал спокою, 7 — потенціал Na*, 8 — потенціал мікроелектрода, 8 — потенціал Na* — селективного мікроелектрода.

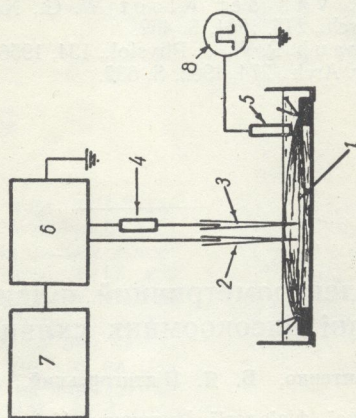


Рис. 2. Схема ланцюга для внутрішнього визначення активності іонів.

1 — м'яз, 2 — селективний мікроелектрод, 3 — звичайний мікроелектрод з 3 М розчином KCl, 4 — каломельний електрод, 5 — каломельний електрод, занурений у розчин Рінгера, 6 — електрометричний підсилювач, 7 — самозаписуючий потенціометр, 8 — калібратор.

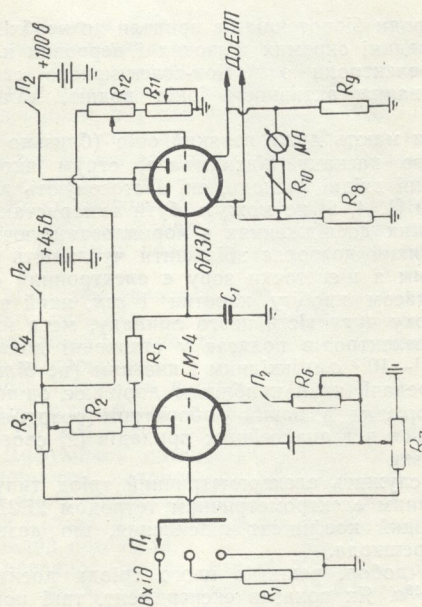


Рис. 1. Принципова схема приладу.

$R_1=1000 \text{ мВ}$, $R_2=150 \text{ ком}$, $R_3=20 \text{ ком}$, $R_4=12 \text{ ком}$, $R_5=100 \text{ ком}$, $R_6=3 \text{ ом}$, $R_7=4,7 \text{ ком}$, $R_8=4,7 \text{ ком}$, $R_9=33 \text{ ком}$, $R_{10}=33 \text{ ком}$, $R_{11}=220 \text{ ком}$, $R_{12}=2,2 \text{ ком}$, $C=0,5 \text{ мф}$.

8 в, що прибі
відно підбир:

Другим
Для роботи
ковий прила
ром R_{10} . Бал
ладу провади
між першим
струму здійс
можна підкл
нях приладу
опору, дає п

Слід заз
перемикач П
ким опором
тись від вкл

Чутливі
ладу. Стабіл

Об'єкто
вещьких м'яз
зове волокно
звичайний ві
KCl. Звичай
для каломел
няння) і для
при вимірюв
розчином Рін

Після в
цю потенціал
були введені
електродом в
мірювання в
кою волокна
електродом
вила суму
ваного іона.

Слід ві
з яких не пе
потенціал сп

Для іл
Криву слід

Дослід
NaCl різної
графіка зале
ного іона. Д
7,4. Для виз
тенціал селе
тивності виз

1. Голов
2. Вороб
3. Лев А.
4. Магур
5. Пятиг
6. Санін
7. Сорок
8. Caldwe
9. Нааре
10. Hinke
11. Hinke

8 в, що приблизно відповідає паспортним даним на цю лампу. Вказані напруги відповідно підбирають потенціометрами R_6 , R_7 , R_3 (рис. 1).

Другим каскадом є балансний катодний повторювач, зібраний на лампі 6НЗП. Для роботи з підсилювачем без електронного потенціометра в схему введено стрілковий прилад типу М-265 (0—50 мка), чутливість якого регулюється потенціометром R_{10} . Балансування катодного повторювача і відповідно установка на нуль приладу провадиться потенціометрами R_{12} (плавко) і R_{11} (грубо). Для усунення наводки між першим та другим каскадом включено низькочастотний RC фільтр (R_5C_1). Контроль струму здійснюється за допомогою перемикача Π_1 . Цим перемикачем на сітку лампи можна підключати електрод, або еталонний опір, або заземляти її. Різниця в показаннях приладу при другому та третьому положеннях перемикача, віднесена до величини опору, дає показники струму мережі.

Слід зазначити, що вхідні ланцюги повинні мати мінімальні витіки. Для цього перемикач Π_1 забезпечується керамічною основою, а вхідні дроти вибираються з високим опором ізоляції. Електрометрична лампа вміщується в корпусі і повинна оберігатись від впливу світла, різких змін температури та вологості.

Чутливість всієї установки становить 0,25 мВ/діл по шкалі самозаписуючого приладу. Стабільність після півгодинного прогрівання не менше 0,1—0,15 мВ/год.

Об'єктом для проведення досліджень з описаним приладом були волокна кравецьких м'язів жаби, всередині яких визначали активність іонів K^+ і Na^+ . В одне м'язове волокно вводили одночасно запаяний на кінчику селективний мікроелектрод та звичайний відкритий мікроелектрод із скла «пірекс», який заповнювали 3 М розчином KCl. Звичайний мікроелектрод застосовували одночасно як електрометричний ключ для каломельного електрода, з яким його з'єднано агаровим містком (електрод порівняння) і для внутріклітинного вимірювання потенціалу спокою. Відносним електродом при вимірюванні потенціалу спокою був другий каломельний електрод, з'єднаний з розчином Рінгера (рис. 2).

Після введення мікроелектродів в клітину реєстрували такі параметри: 1) різницю потенціалів між селективним мікроелектродом і звичайним мікроелектродом, які були введені в те саме м'язове волокно, 2) різницю потенціалів між звичайним мікроелектродом всередині волокна і каломельним електродом в розчині Рінгера. Перше вимірювання визначало активність іона в протоплазмі волокна, а друге — потенціал спокою волокна. Для контролю вимірювали також різницю потенціалів між селективним електродом і каломельним електродом, зануреним у розчин Рінгера; вона становила суму потенціалу спокою та потенціалу, який відповідає активності вимірюваного іона.

Слід відзначити, що введення у волокно двох мікроелектродів, діаметр кожного з яких не перевищував 0,5 мк, помітно не впливало на такі властивості клітин, як їх потенціал спокою і активність іонів, які довгий час залишались без істотних змін.

Для ілюстрації наводимо рис. 3, на якому представлено запис одного з дослідів. Криву слід читати справа наліво.

Дослід починали з калібрування селективних мікроелектродів в розчинах KCl і NaCl різної активності (рис. 3, 2, 3, 4, 5). Калібрування провадили для одержання графіка залежності потенціалу селективного мікроелектрода від активності відповідного іона. Для цього застосовували 1,0; 0,1 і 0,01 *м* розчини KCl або NaCl при pH 7,0—7,4. Для визначення активності K^+ та Na^+ всередині м'язових волокон вимірювали потенціал селективного мікроелектрода у волокну (рис. 3, 7), а відповідні показники активності визначали за зазначеним графіком.

ЛІТЕРАТУРА

1. Голов Д. А. и Костюк П. Г., Физиол. журн. СССР, 42, 1, 1956, с. 114.
2. Воробьев Л. Н., Курелла Г. А., Попов Г. А., Биофизика, 6, 1961, с. 582.
3. Лев А. А. и Бужинский Э. П., Цитология, 3, 1961, с. 614.
4. Магура Н. С., Физиол. журн. АН УРСР, 7, 1961, с. 215.
5. Пятигорский Б. Я., Биофизика, 2, 1962, с. 235.
6. Санин А. А., Электронные приборы ядерной физики, Физматгиз, Москва, 1961.
7. Сорокина З. А., Цитология, 3, 1961, с. 48.
8. Caldwell P. C., J. Physiol., 142, 1958, p. 22.
9. Naapen L., Kolmodin G. M., Scoglund C. R., Acta physiol. Scand., 43, 1958, p. 315.
10. Hinke J., Nature, 184, 1959, p. 1257.
11. Hinke J., J. Physiol., 156, 1961, p. 314.

Надійшла до редакції
20.XII 1963 р.

3 — звичайний мікроелектрод з 3 М розчином KCl, 4 — каломельний електрод, 5 — каломельний електрод, занурений у розчин Рінгера, 6 — електрометричний підсилювач, 7 — самозаписуючий потенціометр, 8 — калібратор.

3 — звичайний мікроелектрод з 3 М розчином KCl, 4 — каломельний електрод, 5 — каломельний електрод, занурений у розчин Рінгера, 6 — електрометричний підсилювач, 7 — самозаписуючий потенціометр, 8 — калібратор.