

## Фіксування напруги у місці розташування кінцевої пластинки під час її активації

І. С. Магура, М. Т. Пархоменко

Лабораторії загальної фізіології і електрофізіології  
Інституту фізіології ім. О. О. Богомольця Академії наук УРСР, Київ

Метод фіксації напруги широко використовують під час дослідження іонних струмів через електрично збуджувані мембрани при швидкому зміщенні мембранного потенціалу в напрямку деполяризації. Це дає можливість вивчати механізми, відповідальні за генерацію потенціалу дії. При дослідженні особливостей синаптичної передачі цей метод, незважаючи на його ефективність, досі не дістав значного застосування. Так, при вивченні механізмів виникнення потенціалів кінцевої пластинки (ПКП) методом фіксації напруги скористалися лише Такеучі і Такеучі [5, 6, 7], хоч це питання вивчають у багатьох лабораторіях світу.

Добре відомо, що ПКП виникає внаслідок проходження короткочасного іонного струму через активовану субсинаптичну мембрану [3]. Тривалість ПКП і особливості його перебігу істотно відрізняються від таких же характеристик субсинаптичного струму. Це зумовлено особливостями електротонічного розповсюдження електричних зарядів вздовж кабельної структури м'язового волокна. Визначити особливості перебігу субсинаптичного струму на підставі розрахунків, як це роблять при вивченні синаптичних потенціалів нервових клітин [2],— досить складна справа в зв'язку з особливостями будови м'язового волокна. Розрахунки зміни заряду на електричній ємності мембрани [3] дозволяють лише приблизно оцінювати процес активації кінцевої пластинки.

Найбільш зручним і точним для оцінки активної фази ПКП є метод фіксації напруги у місці розташування кінцевої пластинки. При цьому активація кінцевої пластинки не веде до електротонічного перерозподілу зарядів вздовж кабельної структури волокна, а інтенсивність струму зворотного зв'язку через активовану мембрану визначається рівнем потенціалу спокою і тими змінами провідності та електрорушійної сили мембрани, які зумовлені її активацією. За характером зміни струму зворотного зв'язку можна мати точну уяву про перебіг активної фази ПКП. Якщо відомі потенціал рівноваги для струму кінцевої пластинки і потенціал спокою м'язового волокна, можна на основі характеристики струму зворотного зв'язку безпосередньо розрахувати іонну провідність активованої мембрани, що дуже важливо при кількісному вивченні іонних механізмів синаптичної передачі.

Висока ефективність методу фіксації напруги заохотила нас використати його при вивченні нервово-м'язової передачі.

Досліди провадили на кураризованому кравецькому м'язі жаби (*Rana ridibunda*). Був використаний розчин Д-тубокурарину хлориду концентрації  $3 \cdot 10^{-6}$  у розчині Рінгера такого складу (в мМ на 1 л): NaCl — 115; KCl — 2,5; CaCl<sub>2</sub> — 2,0; NaHCO<sub>3</sub> — 2,4.

Щоб знайти кінцеву пластинку, ми подразнювали нерв і під контролем бінокулярного мікроскопа знаходили на м'язовому волокні те місце, де швидкість зростання і амплітуда ПКП були максимальні. У м'язове волокно вводили два скляних мікроелектроди, заповнені 3 М розчином KCl. Один з мікроелектродів був поляризованим, а дру-

гий відвідним. Для поляризуючого електрода наша система підсилювача зворотного зв'язку для вимірювання струму нашої системи фіксації напруги приблизно дорівнює системі істотно не відрізняється від тих, що вже описані в літературі [1, 4, 5, 8].

У наших дослідах для ПКП варіювала від 15 мв. Найчастіше варіювала 6—10 мв. І хоча не досягав максимуму при напрузі тязі 1,0—1,5 мсек, але не повільніше зменшення від максимуму ловини цієї величини становив 4 мсек (див. рис. 1).

На рисунку (згорі) показані результати при фіксації напруги кінцевої пластинки. Активна фаза активної фази струму зворотного зв'язку від максимуму до по-

Ми використали ваги для струму кінцевої пластинки на основі даного розрахунку максимуму пластинки. На кураризованому м'язі  $1 \cdot 10^{-6}$  ом<sup>-1</sup>. ПКП у вигляді, показаному на рис. 1.

Таким чином, ми отримали кількісну оцінку

1. Araki T., Terzuolo C.
2. Curtis D. R., Eccles J. C.
3. Fatt P., Katz B.—J.
4. Hodgkin A. L., Huxley A. F.
5. Takeuchi A., Takeuchi K.
6. Takeuchi A., Takeuchi K.
7. Takeuchi A., Takeuchi K.
8. Tasaki I., Nagaiwa T.

гий відвідним. Для успішної фіксації було необхідно, щоб опір поляризуючого електрода не перевищував 10 мом.

Наша система фіксації напруги складалася з вхідного каскаду, підсилювача зворотного зв'язку, симетричного катодного повторювача для вимірювання струму зворотного зв'язку. Максимальне посилення нашої системи фіксації напруги приблизно дорівнювало 5000. Ця система істотно не відрізнялась від тих, що вже описані у літературі [1, 4, 5, 8].

У наших дослідах амплітуда ПКП варіювала від 3 до 15 мв. Найчастіше вона дорівнювала 6—10 мв. ПКП звичайно досягав максимуму на протязі 1,0—1,5 мсек, а потім значно повільніше зменшувався. Час зменшення від максимуму до половини цієї величини приблизно становив 4 мсек (див. рисунок).

На рисунку (знизу) наведена крива струму зворотного зв'язку при фіксації напруги на рівні потенціалу спокою під час активації кінцевої пластинки. Добре видно, як істотно відрізняється процес активації кінцевої пластинки від перебігу ПКП. У наших дослідах тривалість активної фази ПКП становила 4,5—6,0 мсек. Наростаюча фаза струму зворотного зв'язку тривала близько 0,8—1,0 мсек, а час спаду від максимуму до половини цієї величини 1,2—1,5 мсек.

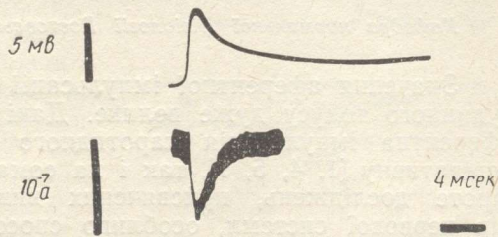
Ми використали літературні дані [5] і прийняли потенціал рівноваги для струму кінцевої пластинки за 15 мв. Це дало нам можливість на основі даних, що характеризують струм зворотного зв'язку, розрахувати максимальну провідність активованої мембрани кінцевої пластинки. На кураризованому волокні вона дорівнювала близько  $1 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1}$ . ПКП цього волокна і струму зворотного зв'язку показані на рис. 1.

Таким чином, метод фіксації напруги дозволяє безпосередньо робити кількісну оцінку активної фази ПКП.

### Література

1. Araki T., Terzuolo C. A.—J. Neurophysiol., 1962, 25, 772.
2. Curtis D. R., Eccles J. C.—J. Physiol., 1959, 145, 529.
3. Fatt P., Katz B.—J. Physiol., 1951, 115, 320.
4. Hodgkin A. L., Huxley A. F., Katz B.—J. Physiol., 1952, 116, 429.
5. Takeuchi A., Takeuchi N.—J. Neurophysiol., 1959, 22, 395.
6. Takeuchi A., Takeuchi N.—J. Physiol., 1960, 23, 397.
7. Takeuchi A., Takeuchi N.—J. Physiol., 1960, 154, 52.
8. Tasaki I., Hagiwara S.—J. Gen. Physiol., 1957, 40, 859.

Надійшла до редакції  
12.IV 1966 р.



Потенціал кінцевої пластинки (зверху) і струму зворотного зв'язку (знизу) при фіксації напруги на рівні потенціалу спокою. (Відхилення променя вниз відповідає струму, що надходить через мембрану зовні всередину волокна).