

УДК 612.8.52—50

ФИЗИОЛОГИЯ

А. Р. Саркисян

Идентификация нейрона с различными параметрами синаптических входов

(Представлено академиком НАН Армении В. В. Фанарджяном 26 IV 1994)

Исследование кабельных свойств мембраны имеет важное значение для понимания процессов синаптической интеграции в нервных клетках. Общепринятым математическим подходом стало использование моделей с распределенными параметрами, применение которых к нейронам со сложной дендритной конфигурацией основывается на конкретных биофизических и морфологических данных о моделируемых структурах [1—3]. В частности, на основе модели Ролла и ее модификаций исследованы вопросы расчета электрических параметров руброспинальных нейронов [4]. Однако отмеченный подход применим лишь для условий стимуляции нейрона по одному входу.

В данной работе впервые предлагается методика построения и идентификации компартментальной двухвходовой модели нейрона по экспериментальным кривым постсинаптического потенциала (ПСП) при стимуляции аксо-соматического и аксо-дендритного входов нейронов красного ядра.

Обычно при моделировании нейрона дендрит замещается эквивалентным электрическим линейным кабелем с распределенными по длине параметрами, а тело клетки представляется некоторой электрической цепочкой с сосредоточенными параметрами, которыми могут быть как пассивные, так и активные элементы (индуктивности, отрицательные сопротивления или источники э. д. с.). В данной работе в качестве модели тела клетки также вводится система с распределенными параметрами, чем унифицируется подход к идентификации модели по аксо-дендритному и аксо-соматическому входу.

Исследованы две модификации модели.

В первом случае весь нейрон — и сома, и дендрит — соответствует единой системе с распределенными параметрами, а именно — кабелю, нагруженному на волновое сопротивление. Параметрами этой модели являются электротоническая длина L , постоянная времени кабеля T и характеристическое сопротивление R . Различие между аксо-соматическим и аксо-дендритным ПСП состоит в том, что входное воздей-

вне подается на разном расстоянии от точки регистрации потенциала (т. е. от конца кабеля).

Принимается, что на вход модели подается дельта-импульс тока, а на выходе регистрируется напряжение. Поэтому в качестве уравнения модели рассматривается выражение для передаточного сопротивления кабеля (т. е. отношения напряжения на конце кабеля к току на входе).

Параметры модели должны быть подобраны таким образом, чтобы при подаче дельта-импульса тока на одном определенном расстоянии от конца кабеля на конце (на нагрузке) получалось напряжение, совпадающее с аксо-соматическим ПСП, а на каком-то другом расстоянии — с аксо-дендритным ПСП. Расстояние от конца кабеля до места подачи тока характеризуется параметром L (электро-тонической длиной). В такой модели значения параметра L различны для аксо-соматического и аксо-дендритного входов.

Таким образом, модель описывается двумя идентичными уравнениями для передаточного сопротивления, в которых отличаются только параметры L .

Идентификация параметров модели проводится следующим образом. Сначала по частным характеристикам экспериментальных кривых аксо-соматического и аксо-дендритного ПСП по разработанной нами методике определяется первоначальный набор параметров. Затем методом оптимального поиска определяется окончательный набор параметров. При этом в качестве критерия используется среднеквадратичное отклонение значений аксо-соматического и аксо-дендритного ПСП, рассчитанных одновременно по обоим уравнениям модели, от экспериментальных значений аксо-соматического и аксо-дендритного ПСП.

Во втором варианте модели нейрон представляется в виде двух последовательно соединенных систем с распределенными параметрами, одна из которых моделирует сому, а другая — дендрит. При подаче дельта-импульса тока на вход модели сомы на ее выходе должно получаться напряжение, совпадающее с аксо-соматическим ПСП. При подаче дельта-импульса тока на вход модели дендрита, на выходе которой в качестве нагрузки подсоединена модель сомы, на выходе модели сомы должно получаться напряжение, совпадающее с аксо-дендритным ПСП.

При таком представлении идентификация параметров моделей сомы и дендрита производится отдельно в следующей последовательности. Первоначально по кривой аксо-соматического ПСП идентифицируются параметры модели сомы, при этом в качестве уравнения модели, как и в первом случае, выступает выражение для передаточного сопротивления кабеля. Для идентификации параметров дендрита по аксо-дендритному ПСП и уже известному передаточному сопротивлению модели сомы рассчитывается ток на входе модели сомы или, что то же самое, на входе модели дендрита. Поскольку на вход модели дендрита также подается ток (дельта-импульс), то для

идентификации модели дендрита в качестве ее уравнения берется выражение для коэффициента передачи по току линейного кабеля (т. е. отношения тока на выходе к току на входе), сопротивлением нагрузки для которого является входное сопротивление модели сомы.

Как и в первом варианте, определение параметров начинается с предварительного расчета параметров по частотным характеристикам экспериментальных кривых ПСП с последующим уточнением их с помощью процедуры оптимизации. В результате получается два набора параметров—соответственно для модели сомы и для модели дендрита.

Вычислительные эксперименты, проведенные с использованием в качестве исходных данных аксо-соматического и аксо-дендритного ПСП, записанных из одного и того же нейрона красного ядра кошки, показали, что модель с высокой точностью описывает экспериментальные данные. Полученные при этом параметры, а именно, электротонические длины и постоянные времени, хорошо согласуются с литературными данными для данного типа нейронов.

Следует отметить, что благодаря адекватности модели весь процесс идентификации параметров, включая также расчет частотных характеристик экспериментальных ПСП и расчет обратного преобразования Фурье для получения модельных ПСП, занимает 1—2 мин на ЭВМ типа РС АТ 286. Это делает возможным определение параметров нейрона (а следовательно, и локализацию его синаптических входов) в режиме реального времени непосредственно в ходе эксперимента.

Институт физиологии им. Л. А. Орбели
НАН Армении

Ա. Ի. ՍԱՐԳՍՅԱՆ

Տարբեր պարամետրերով սինապտիկ մուտքեր ունեցող նեյրոնի իդենտիֆիկացիա

Առաջարկված է նեյրոնի երկմուտքային մոդելի կառուցման և իդենտիֆիկացիայի մեթոդիկա միևնույն նեյրոնից գրանցված աքսո-սոմատիկ և աքսո-դենդրիտային պոստսինապտիկ պոտենցիալների հիման վրա: Մոդելի մուտքերը համապատասխանաբար ներկայացնում են նեյրոնի աքսո-սոմատիկ և աքսո-դենդրիտային մուտքերը: Որպես նեյրոնի մոդել օգտագործված են պասիվ կարելի հավասարումները:

ЛИТЕРАТУРА—ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. S. Deutsch, IEEE Trans. Syst., Man, and Cybern., v. 13, № 5, p. 1007—1010 (1983).
2. M. Kawato, J. theor. Biol., v. 111, p. 149—169 (1984).
3. C. Koch, Biol. Cybern., v. 50, p. 15—33 (1984).
4. N. Tsukahara, Adv. Biophys., v. 15, p. 131—172 (1982).