

Чтобы «припасовать» решения $\psi_{i+1}(x)$ и $\psi_i(x)$ в точке x_i , потребуем выполнения условия

$$\psi_i(x_i) = \frac{a_{i+1}}{2} x_i + b_{i+1} + \frac{C_i}{x_i},$$

откуда постоянная интегрирования

$$C_i = [\psi_i(x_i) - \psi_{i+1}^*(x_i)] x_i, \quad (4)$$

где $\psi_{i+1}^*(x_i)$ — значение $\psi_{i+1}(x)$ в точке x_i при $C_i = 0$ легко находится по заданному $\varphi_{i+1}(x)$.

Значение $\psi_i(x_i)$, как нетрудно убедиться, можно вычислить при заданных $\varphi(x_i)$ x по формуле приближенного интегрирования

$$\psi_i(x_i) = \frac{1}{2x_i} \left\{ \sum_{k=1}^{i-1} x_k [\varphi(x_{k-1}) - \varphi(x_{k+1})] + x_i [\varphi(x_{i-1}) + \varphi(x_i)] \right\} \quad (5)$$

с погрешностью, определяемой обычным для этого случая образом. Следовательно, когда применяются численные методы, значение $\psi_{i+1}(x)$ при кусочно-линейной аппроксимации $\varphi(x_i)$ выражается рекуррентным соотношением

$$\begin{aligned} \psi_{i+1}(x) = & -\frac{1}{2x} \left\{ \sum_{k=1}^{i-1} x_k [\varphi(x_{k-1}) - \varphi(x_{k+1})] + x_i [\varphi(x_{i-1}) + \varphi(x_i)] \right\} - \\ & - \frac{x_i}{x} \psi_{i+1}^*(x_i) + \psi_{i+1}^*(x), \quad x_i \leq x \leq x_{i+1}, \end{aligned} \quad (6)$$

для любой точки отрезка $[x_i, x_{i+1}]$.

Поступила в редакцию
23 ноября 1966 г.

УДК 620.1.088.328 : 612.822.3

A. N. ПОКРОВСКИЙ
(Новосибирск)

**К ВОПРОСУ ОБ ИЗМЕРЕНИИ ЛАТЕНТНОГО ПЕРИОДА
ОТВЕТА НА РАЗДРАЖЕНИЕ
ПРИ МИКРОЭЛЕКТРОДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ НЕИРОНОВ ЦНС**

Спонтанную активность нейрона часто можно рассматривать как стационарный случайный поток; поток этот всегда ординарный (вследствие рефрактерности нейрона) и, вообще говоря, с последействием. Кратковременное раздражение какой-либо структуры, прямо или косвенно связанной с данным нейроном, вызывает изменение активности нейрона либо в виде более или менее выраженного залпа импульсов, либо в виде прекращения активности нейрона на некоторое время с последующим восстановлением активности. Латентный период ответа нейрона определяют обычно как среднее время (по нескольким раздражениям) между моментом нанесения раздражения и первым из импульсов.

Такое определение латентного периода дает возможность уверенно оценивать искомую величину при хорошо выраженном ответе в виде залпа импульсов; при слабо

выраженном ответе, а также при тормозной реакции численное значение латентного периода определяется с гораздо меньшей степенью уверенности, а иногда и вообще остается неопределенным. В этих сомнительных случаях может оказаться полезным подход, развиваемый в этой статье; в случаях, не вызывающих сомнения, результаты вычисления латентного периода различными способами будут близки.

Интенсивность потока импульсов как простейшая характеристика активности нейрона

Если до нанесения раздражения поток импульсов возбуждения нейрона можно рассматривать как стационарный случайный регулярный ординарный поток, то после раздражения этот поток становится существенно нестационарным; стационарный режим работы нейрона восстанавливается через некоторое время (порядка одной или нескольких секунд). Естественно рассматривать в качестве простейшей и основной характеристики активности нейрона интенсивность потока $b(t)$, которая в силу одинарности совпадает с темпом потока. Если поток можно рассматривать как нестационарный пуассоновский, то интенсивность является единственной и исчерпывающей характеристикой потока; в остальных случаях интенсивность — это одна из наиболее важных характеристик*.

Приближенное определение интенсивности как функции времени можно произвести следующим образом. Разобьем промежуток времени, в течение которого изучается ответ нейрона, на интервалы Δt ; для определенности можно предположить, что раздражения наносятся в моменты $t=0$. Подсчитаем число импульсов, попавших в i -й интервал; пусть это будет n_i . Тогда в качестве оценки для $b(t)$ при $t=t_i = i \Delta t$ примем величину $b_i = \frac{n_i}{\Delta t}$. Если интервалы Δt малы (в обычных случаях целесообразно, по-видимому, выбирать Δt порядка 1–5 мсек), то в большинстве интервалов при малой интенсивности потока не попадет ни одного импульса. Для того, чтобы избежать этого и получить достаточно достоверные результаты, необходимо многократно повторить раздражение и наложить процессы друг на друга, совместив моменты раздражения. Тогда, если количество повторений равно N , оценку интенсивности в момент $t_i = i \Delta t$ можно вычислить по формуле $b_i = \frac{n_i}{N \Delta t}$.

Оценку доверительных границ можно произвести обычным в статистике образом, считая распределение величины b_i (или n_i) близким к пуассоновскому. Разумеется, что при этом необходимо предположить, что выполняется некоторый постулат, эквивалентный эргодичности в случае стационарных процессов.

Прикидочные оценки показывают, что при средних интенсивностях разрядов нейронов (10–50 в секунду) для получения разумной точности необходимо принять N порядка 100, что вполне достижимо в микроэлектродном эксперименте.

Автоматическое измерение интенсивности с помощью временного анализатора импульсов

Автоматическое определение интенсивности (или величин n_i) можно осуществить путем накопления импульсов на анализаторе времени поступления импульсов. Для этих целей могут быть использованы стандартные анализаторы типа АИ-100, АИ-128 или АИ-256 с небольшими дополнениями. Примерная схема установки приводится на рис. 1. Накопление импульсов производится на анализаторе импульсов АИ. Запускающий импульс, поступающий от генератора одиночных импульсов ГОИ (или от ключа вручную), открывает вентиль В, пропускающий импульсы от усилителя, связанного с микроэлектродом, к анализатору импульсов АИ. Этот же импульс, проходя через блок постоянной задержки БЗ, поступает на усилитель

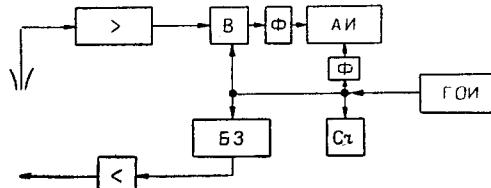


Рис. 1.

* Н. Н. Преображенский, Н. В. Яровицкий. Применение математических методов для исследования импульсной активности центральных нейронов мозга. — Биофизика, 1963, № 3.

стимулятора и далее на раздражающий электрод. Количество раздражений N фиксируется на счетчике Сч. Блок постоянной задержки введен для того, чтобы моменту раздражения всегда соответствовал один и тот же канал (не первый) анализатора импульсов, а импульсы, накопленные на предыдущих интервалах, дают возможность оценить стационарную величину интенсивности до раздражения.

Определение латентного периода

Экспериментально можно получить значения интенсивности $b(t)$ как функции времени вместе с доверительными границами. Эта функция постоянна до момента раздражения $t=0$ и может как-либо меняться при $t>0$. При $t<0$ также можно определить доверительные границы (постоянные) для $b(t)$, соответствующие заданной доверительной вероятности. Первый момент пересечения этих границ при $t>0$ будем считать величиной латентного периода. При таком определении латентного периода отвeta появляется

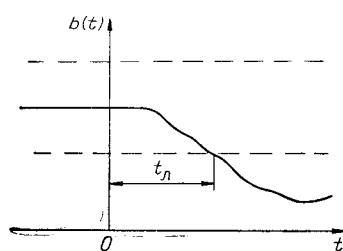


Рис. 2.

возможность определить с одинаковой точностью латентный период как при увеличении, так и при уменьшении активности нейрона в ответ на раздражение; разница между этими двумя случаями исчезает. Определение латентного периода t_l иллюстрируется рис. 2 (штриховые линии, параллельные оси абсцисс,— доверительные границы для интенсивности в стационарном режиме).

Поступила в редакцию
31 декабря 1966 г.,
окончательный вариант —
17 марта 1967 г.

УДК 612.014.422

*М. И. ВЕНСЛАУСКАС, В. К. МИЛДАЖИС
(Каунас)*

НЕКОТОРЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА РЕЦЕПТИВНЫХ ПОЛЕЙ СЕТЧАТКИ ЛЯГУШКИ, РЕАГИРУЮЩИХ НА ОТКЛЮЧЕНИЕ ВХОДНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ*

Известно, что рецептивные поля (РП) могут выполнять различные детекторные функции [1, 2], например, РП «off» типа могут служить в качестве детекторов затмения, «оп» — детекторов кривизны, «оп — off» — детекторов движения и контраста.

На рис. 1 представлена морфологическая организация РП, причем указан электрический ответ элементов поля на раздражение [3—5].

Задача нашей работы — получить количественную оценку некоторых функциональных свойств РП «off» типа. Были проведены следующие исследования: измерены величины входного участка (ВУ) рецептивного поля, площадь раздражения которого микропятнами вызывает ответ выбранной ганглиозной клетки; определена

* Редколлегия журнала считает возможным опубликовать эту статью, хотя и имеющую в основном биологический характер, полагая, что материалы, изложенные в ней, могут быть использованы при моделировании периферических органов биологических анализаторов как прототипов совершенных воспринимающих устройств измерительных систем.