

УДК 612.822.3-612.821.2.

ФИЗИОЛОГИЯ

О. Г. ЧОРАЯН

## ИЗБИТОЧНОСТЬ В ИМПУЛЬСНЫХ ПОТОКАХ НЕЙРОННЫХ АНСАМБЛЕЙ ЗРИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА ЛЯГУШКИ

(Представлено академиком Е. М. Крепом 31 VII 1969)

Наличие в центральных структурах анализаторных систем групп нейронов с однотипной функцией (<sup>4-5</sup>) указывает на избыточность в организации центральных механизмов нервной деятельности. Вариабильность в сериях нервных импульсов, генерируемых центральным нейроном на однотипное раздражение, также, очевидно, следует рассматривать как проявление избыточности в вызванных импульсных разрядах нейронов. В работах ряда авторов отмечено наличие статистической зависимости последовательных межимпульсных интервалов (<sup>6-9</sup>). Как известно, максимальную энтропию имеют независимые сигналы, в случае же статистической зависимости между сигналами, генерируемыми источником, энтропия сигналов уменьшается параллельно с повышением связи между ними. Количественная оценка избыточности сигналов в генерируемых нервными клетками импульсных потоках наряду с характеристикой эффективности использования кода может оказаться полезной при изучении физиологических механизмов обеспечения высокой надежности функционирования структур мозга на клеточном уровне.

Целью настоящей работы было определение избыточности в импульсных потоках клеток центрального отдела зрительного анализатора лягушки. Имело определенный смысл сравнение избыточности в импульсных потоках нервных клеток одного нейронного ансамбля в разных условиях их функционирования.

Импульсные потоки 2 одновременно зарегистрированных нейронов ( $X$  и  $Y$ ) представляются в виде последовательности чисел 0 и 1 (0 — состояние отсутствия импульса, 1 — наличия импульса) в квантованных по времени равных отрезках. Определим избыточность импульсации 2 нейронов крыши среднего мозга, расположенных на расстоянии около 150  $\mu$  и дающих однотипные «on-off»-возбудительные реакции на длительный засвет. Находим 2 полные вероятности ( $P(i)$  и  $P(j)$ ) и 4 условные вероятности ( $P(i, j)$ ) для каждого из нейронов.  $P_X(i)$  дает вероятность состояния отсутствия импульса,  $P_X(j)$  — наличия импульса. Аналогично:  $P_Y(i)$  и  $P_Y(j)$ . В данном случае  $P_Y(j) = 0,21$ ;  $P_Y(i) = 0,79$ ;  $P_X(j) = 0,16$ ;  $P_X(i) = 0,84$ . Находим условные вероятности следования определенных событий в потоках  $X$  и  $Y$ . Для импульсного потока  $X$  они равны:  $P_X(i|i) = 0,74$ ;  $P_X(j|i) = 0,10$ ;  $P_X(i|j) = 0,10$ ;  $P_X(j|j) = 0,06$ . Для потока  $Y$ :  $P_Y(i|i) = 0,71$ ;  $P_Y(j|i) = 0,08$ ;  $P_Y(i|j) = 0,10$ ;  $P_Y(j|j) = 0,11$ .

Энтропия потока  $X$ , по определению Шеннона (<sup>10</sup>), равна:

$$H_X = -\{P_X(i)[P_X(i|i) \log_2 P_X(i|i) + P_X(j|i) \log_2 P_X(j|i)] + P_X(j)[P_X(i|j) \log_2 P_X(i|j) + P_X(j|j) \log_2 P_X(j|j)]\}.$$

Подставив значения, получим:

$$H_X = 0,666 \text{ дв. ед. на позицию.}$$

Энтропия потока  $Y$  равна:

$$H_Y = -\{P_Y(i)[P_Y(i|i) \log_2 P_Y(i|i) + P_Y(j|i) \log_2 P_Y(j|i)] + P_Y(j)[P_Y(i|j) \log_2 P_Y(i|j) + P_Y(j|j) \log_2 P_Y(j|j)]\}.$$

Подставив значения, получим:

$$H_X = 0,6481 \text{ дв. ед. над позицию.}$$

Максимальная энтропия равна:

$$H_0 = \log_2 n = 1 \text{ дв. ед. на позицию } (n = 2).$$

Определим избыточность по формуле:

$$D = 1 - H/H_0,$$

где  $H$  — эмпирически найденная величина энтропии,  $H_0$  — максимальная энтропия.

Подставим значения:

$$D_X = 1 - \frac{0,666}{1,0} = 0,334,$$

$$D_Y = 1 - \frac{0,6481}{1,0} = 0,3519.$$

Как видно из приведенных расчетов, избыточность обоих взаимосвязанных импульсных потоков клеток одного нейронного ансамбля близка друг к другу (для потока  $X$  она составляет 33,4%, для потока  $Y$  35,19%).

Сравнительно высокие значения избыточности (>50%) свойственны фоновым импульсным потокам нейронов. Избыточность на единицу времени (на 1 позицию) уменьшается при действии адекватных световых раздражений (табл. 1). Обращает на себя внимание факт уменьшения избыточности в реакциях нервных клеток на повторные раздражения.

Уменьшение удельного веса избыточности в импульсной активности по мере повторения адекватных световых раздражений указывает на формирование экономичной реакции нервных клеток. Очевидно, двоичная система в условиях адекватных раздражений постепенно приближается к оптимальному способу кодирования информации клетками центрального отдела зрительного анализатора по мере многократного повторения аналогичной ситуации (одинакового раздражения). Вместе с тем наличие определенной избыточности в импульсных потоках наряду со структурной избыточностью (наличие группы однотипно реагирующих нейронов — основы нейронного ансамбля (<sup>9, 11</sup>)) является одной из форм обеспечения высокой надежности функционирования клеток центральных нервных структур.

Ростовский государственный университет

Поступило  
15 VII 1969

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> V. B. Mountcastle, J. Neurophysiol., 20, 408 (1957). <sup>2</sup> V. B. Mountcastle, T. P. S. Powell, Bull. John Hopkins Hospital, 105, 4, 201 (1959). <sup>3</sup> А. Б. Коган, В сборн. Рефлексы головного мозга, «Наука», 1965, стр. 103. <sup>4</sup> О. Г. Чораян, Физиол. журн. СССР, 51, 9, 1050 (1965). <sup>5</sup> D. H. Hubel, T. N. Wiesel, J. Physiol., 195, 1, 215 (1968). <sup>6</sup> R. W. Rodieck, S. Kiang, G. L. Gerstein, Biophys. J., 4, 351, 368 (1962). <sup>7</sup> M. Biederman-Thorson, J. Gen. Physiol., 49, 4, 597 (1966). <sup>8</sup> H. Nakahama, S. Nishioki, J. Theoret. Biol., 12, 140 (1966). <sup>9</sup> О. Г. Чораян, Материалы к нейронной организации центрального отдела зрительного анализатора лягушки. Автореф. докторской диссертации, Ростов-на-Дону, 1968. <sup>10</sup> К. Е. Шеннон, В сборн. Работы по теории информации и кибернетике, ИЛ, 1963, стр. 243. <sup>11</sup> А. Б. Коган, ДАН, 181, № 4, 1021 (1968).

Т а б л и ц а 1

Изменение избыточности в импульсных потоках нервных клеток в разных условиях функционирования (дв. ед. на позицию)

№ нейрона	Избыточность в фоновой активности	Избыточность в вызванной активности	
		1-е раздражение	11-е раздражение
1	0,83	0,33	0,25
2	0,48	0,35	0,15
3	0,72	0,52	0,43
4	0,59	0,34	0,28
5	0,64	0,37	0,32