

ТРАНСФОРМАЦИЯ ИНФОРМАЦИИ О ДВИЖУЩИХСЯ ЗРИТЕЛЬНЫХ СТИМУЛАХ НЕЙРОНАМИ ЛАТЕРАЛЬНОГО КОЛЕНЧАТОГО ТЕЛА КОШКИ

В.М. КОЗАК*, Б.А. АРУТЮНЯН-КОЗАК**, А.А. ЭКИМЯН**,
Г.Г. ГРИГОРЯН**, Г.А. ОРБЕЛЯН**

**Университет Карнеги-Меллон, Питтсбург, США*

***Институт прикладных проблем физики НАН Армении, 375014, Ереван*

Были исследованы ответы нейронов латерального коленчатого тела (ЛКТ) на движущиеся зрительные стимулы с отдельной регистрацией синаптических и спайковых потенциалов. Показано, что паттерны ответов синаптических потенциалов на разные формы движущегося зрительного стимула, а также разные скорости паттернов движения стимулов существенно отличаются от таковых спайковых потенциалов того же нейрона, причем приходящая к нейрону информация, как правило, менее дифференцирована. Установлено, что нейроны ЛКТ, обладая собственными механизмами обработки приходящей к ним информации, определенным образом модулируют входную зрительную информацию.

Հետազոտվել են կողմնային ծնկածև մարմնի (ԿԾՄ) նեյրոնների պատասխանները շարժվող գրգռիչներին: Նույն նեյրոնի մոտ առաձիճ գրանցվել են սինապտիկ պոտենցիալները, որպես մուտքային ինֆորմացիա և առանձին սպայկային պոտենցիալները, որպես ելքային ինֆորմացիա: Ցույց է տրվել, որ նեյրոնի պատասխանների մեջ գոյություն ունեն էական տարբերություններ շարժվող գրգռիչների դեմ, երբ համեմատվում են սինապտիկ և սպայկային պոտենցիալները: Ընդ որում, մուտքային ինֆորմացիան, որպես օրենք, համեմատաբար ավելի քիչ դիֆերենցված է: Փորձերի արդյունքները ցույց են տալիս, որ ԿԾՄ-ի նեյրոնները ունեն սեփական մեխանիզմներ, որոնց շնորհիվ արդյունավետ կերպով վերափոխում են մուտքային տեսողական ինֆորմացիան:

Responses of lateral geniculate nucleus (LGN) neurons to moving visual stimuli have been investigated using separate recordings of synaptic and spike activity of the same neuron. Results of experiments indicate essential differences in patterns of responses between synaptic and spike potentials. As a rule the input information of the neuron is less differentiated in comparison with that of output information. It has been found that LGN neurons possessing their own mechanisms of elaboration of input visual information definitely modulate it.

*Движущиеся стимулы - ЛКТ - трансформация информации -
рецептивное поле*

Исследования, проведенные рядом авторов [3, 5, 8, 9, 11], свидетельствуют о том, что нейроны латерального коленчатого тела (ЛКТ) обладают механизмом модуляции и дифференциации приходящей к ним зрительной информации, в результате чего переданная этими нейронами в зрительную кору информация является в определенной степени уже обработанной на уровне ЛКТ. Наибольший интерес в процессах центральной обработки зрительной информации представляют особенности обработки информации о конкретных движущихся объектах в поле зрения. Козак с соавт. [11] показали, что нейроны ЛКТ довольно разнообразны и отличаются друг

от друга характеристиками своих ответов на изменение величины, формы и скорости движения движущихся стимулов в рецептивном поле (РП) нейронов. В дальнейшем эти данные были подтверждены рядом исследований [1, 2, 6, 13, 14]. Таким образом, в настоящее время не подлежит сомнению тот факт, что нейроны ЛКТ обладают механизмом специализированной обработки приходящей из сетчатки зрительной информации.

Целью наших исследований являлось выяснение вопроса, какие характеристики имеет информация о движущихся предметах, передающаяся из сетчатки в ЛКТ, и каковы возможности переработки этой информации нейронами ЛКТ для передачи в зрительную кору свойств предметов, движущихся в поле зрения. Выяснение этого вопроса в первую очередь требует сопоставления входящей и выходящей от нейрона ЛКТ зрительной информации и установления разницы между их паттернами. Используя методику одновременной регистрации синаптических и спайковых потенциалов одного и того же нейрона в ЛКТ, нам удалось провести сравнительный анализ уровня обработки зрительной информации о движущихся стимулах нейронами ЛКТ.

Материал и методика. Опыты проведены на взрослых кошках массой 2,5-3,5 кг. После фиксации головы животного в стереотаксическом аппарате производили претригеминальное сечение ствола мозга для устранения болевой чувствительности. Часть животных обезболивали нембуталом (40мг/кг). Для регистрации синаптической и спайковой активности отдельных нейронов были использованы тонкие вольфрамовые микроэлектроды с диаметром кончика до 1 мкм [4]. Благодаря разным уровням запуска стандартного импульса от триггера Шмитта, мы имели возможность отдельно регистрировать постстимульные гистограммы (ПСТГ) ответов на движущиеся стимулы синаптических и спайковых потенциалов нейрона. В качестве движущихся стимулов использовали темные и светлые полосы величиной $2,5^{\circ} \times 10^{\circ}$, темные треугольники $3 \times 3^{\circ}$ и темные кружки величиной 2° . Использовали также разные скорости движения стимула по РП нейрона: $2,5^{\circ}/с$, $8^{\circ}/с$, $25^{\circ}/с$. В ряде случаев для выяснения степени участия разных областей сетчатки, лежащих вне РП данного нейрона, движущийся стимул применяли ступенчато - вход в РП, задержка его в центре, выход и задержка вне РП. Такое применение движущихся стимулов позволяло исключить фактор световой адаптации как дополнительно модулирующий зрительную информацию элемент. Данные анализировали на анализаторе АНОПС-101 по программе постстимульных гистограмм. После опыта производили гистологическую верификацию местонахождения микроэлектрода.

Результаты и обсуждение. Всего было исследовано 58 нейронов ЛКТ. Регистрировали паттерны ответов нейрона на предъявление стимулов, движущихся с разной скоростью в виде синаптических потенциалов, затем на то же самое зрительное раздражение – спайковые потенциалы того же нейрона, что дало бы понятие о возможностях нейрона ЛКТ трансформировать информацию о скорости движения стимула по РП. Результаты опытов показали, что движение зрительных стимулов по РП вызывает порою существенно отличающиеся друг от друга паттерны ответов синаптических потенциалов по сравнению со спайковыми потенциалами нейрона. В первой

серии опытов использовали разные скорости движения одного и того же зрительного стимула. На рис.1 представлены ответы нейрона на движение темного треугольника по его РП с разными скоростями. Стимул вызывает интенсивные разряды как синаптических (рис. 1 А, В, Д), так и спайковых потенциалов (рис.1 Б, Г, Е) нейрона, которые определенным образом отличаются друг от друга. Например, ПСТГ синаптических потенциалов не имеет того интенсивного пика при входе стимула в РП (рис.1 А, В), который характерен для спайков (рис.1 Б, Г) при скорости движения стимула 2,5°/с и 8°/с. При изменении скорости движения такой характер соотношения паттернов синаптических и спайковых потенциалов в целом остается стабильным. Можно предположить, что данный нейрон существенно модулирует скорости движения зрительных стимулов. Около 10% исследованных нейронов имели такие характеристики. Наряду с этим, наблюдались нейроны с иными характеристиками, например, нейрон, представленный на рис.2 А-Е, резко меняет паттерны ПСТГ спайковых потен-

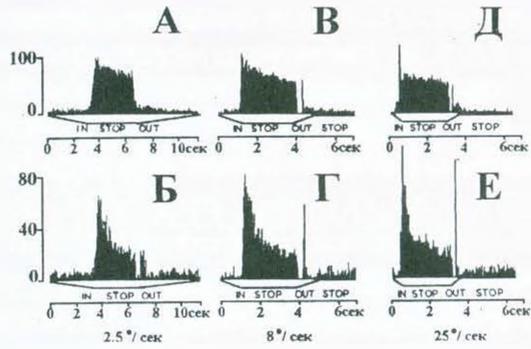


Рис. 1. Синаптические и спайковые ответы нейрона ЛКТ на разные скорости движения. А, В, Д – ПСТГ синаптических потенциалов нейрона ЛКТ, вызванных входением в РП темного треугольника (задержка в центре РП – 3с). Б, Г, Е – ПСТГ спайковых потенциалов того же нейрона на движение темного треугольника через РП. Условия раздражения те же, что и в А, В, Д. (Ось абсцисс – время раздражения, сек, ось ординат – число импульсов в бинах. На остальных рисунках обозначения те же).

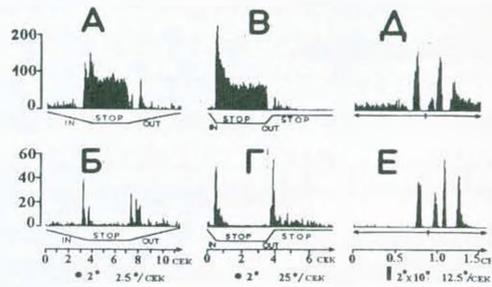


Рис.2. Анализ синаптической передачи в ЛКТ. А, В – ПСТГ синаптических потенциалов нейрона на движение темного пятна величиной 2°. Ответ тонический и сохраняется при задержке стимула в центре РП. Д – ПСТГ синаптических потенциалов на движение темного прямоугольника через РП. Б, Г, Е – ПСТГ спайковых потенциалов нейрона на движение темного пятна величиной 2° (Б, Г) и темного прямоугольника (Е) через РП нейрона.

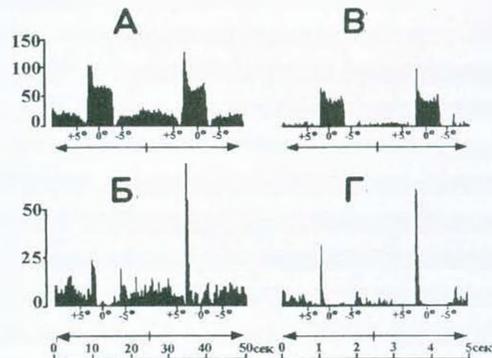


Рис.3. Ответы нейрона ЛКТ на движение светлого прямоугольника через РП. А, В – ПСТГ синаптических потенциалов на движение светлого прямоугольника через РП. Б, Г – ПСТГ спайковых потенциалов того же нейрона на движение светлого прямоугольника через РП. Ответ нейрона дирекциональный.

циалов (рис. 2 Б, Г, Е) по сравнению с таковыми синаптических потенциалов (рис. 2 А, В, Д). Как видно из рисунка, движение темного кружка (величиной 2°) через РП нейрона вызывает интенсивный поток синаптических потенциалов (рис. 2 А, В), тогда как спайки нейрона распределяются с совершенно другой закономерностью, реагируя только на вход и выход стимула из РП (рис. 2 Б, Г). Причем, когда стимул задерживается в центре РП, спайки тормозятся полностью в противоположность синаптическим потенциалам. Таким образом, данный нейрон четко трансформирует приходящую информацию в определенный паттерн импульсов, в котором кодирована информация о моментах входа и выхода стимула из РП, а также скорость его движения. Последнее видно в разнице паттернов ответов на разные скорости движения стимула $2,5^\circ/\text{с}$ (рис. 2 А, Б) и $25^\circ/\text{с}$ (рис. 2 В, Г). Этот же нейрон отвечает совершенно иным паттерном распределения как синаптических, так и спайковых потенциалов при изменении формы движущегося стимула на темный прямоугольник величиной 2×10 (рис. 2 Д, Е).

Однако наибольший интерес представляют нейроны, которые специфически реагируют на направление движения стимула по РП (дирекциональные нейроны). Например, нейрон, представленный на рис. 3, реагирует интенсивным залпом синаптических потенциалов как на движение слева направо, так и на обратное направление движения, т.е. ответ является недирекциональным (рис. 3 А, В). Тогда как спайки того же нейрона проявляют асимметричный ответ, интенсивно реагируя на направление движения стимула в РП слева направо (рис. 3 Б, Г), причем реакция на движение слева направо в несколько раз превышает интенсивностью реакцию нейрона на движение справа налево. Таким образом, нейрон из недирекциональной информации, переданной из сетчатки в виде синаптических потенциалов, формирует четкий дирекциональный ответ, который и передает в зрительную кору.

Согласно существующему до недавнего времени мнению исследователей, специфические реакции нейронов ЛКТ во многом обусловлены вторичными влияниями из зрительной коры, где формируются специфические реакции на зрительные стимулы [6, 7, 12]. Однако позднее опыты, проведенные на кошках с удаленной зрительной корой [13, 14], показали, что нейроны ЛКТ обладают специализированными ответами на зрительные раздражения и при отсутствии влияний из зрительной коры. Наши данные скорее всего подтверждают данные Томсона с соавт. [13, 14]. Результаты наших опытов позволяют предположить, что приходящая из сетчатки довольно интенсивная, но менее дифференцированная информация трансформируется и модулируется нейронами ЛКТ в выборочном ключе, благодаря чему нейрон передает в зрительную кору дискретную информацию о параметрах и свойствах зрительного стимула.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арутюнян-Козак Б.А., Экимян А.А., Казарян А.Л., Дец К., Григорян Г.Г., Козак А.Ю. *Нейрофизиология*, 3, 5, 413-420, 1995.
2. Арутюнян-Козак Б.А., Экимян А.А., Казарян А.Л., Козак А.Ю., Григорян Г.Г. *Нейрофизиология*, 4, 1, 77-81, 1996.
3. Козак В.М., Арутюнян-Козак Б.А., Экимян А.А., Орбелян Г.А. *Биолог. журн. Армении*, 3-4, 52, 1999.
4. Bishop P.O., Burke W., Davis R. *J. Physiol.*, 162, 1, 451-472, 1962.
5. Cleland B.G., Morstyn R., Wagner H.G., Levick W.R. *Brain Res.*, 91, 306-310, 1975.
6. Dreher B., Sanderson K.J. *J. Physiol.*, 234, 1, 95-118, 1973.
7. Jones H.E., Sillito A.M. *J. Physiol.*, 479, 475-486, 1994.
8. Kirk D.L., Levick W.R., Cleland B.G., Wassle H. *Vis. Res.* 16, 225-231, 1976.
9. Kirk D.L., Levick W.R., Cleland B.G. *Vis. Res.*, 16, 233-236, 1976.
10. Kozak W., Rodieck R.W., Bishop P.O. *J. Neurophysiol.*, 28, 1, 19-47, 1965.
11. Levick W.R., Dyster C.N., Takahashi E. *Science*, 165, 712-714, 1969.
12. Murphy P.C., Sillito A.M. *Nature*, 329, 5, 727-729, 1987.
13. Thompson K.G., Leventhal A.G., Zhou Y., Liu D. *Vis. Neurosci.*, 11, 939-951, 1994.
14. Thompson K.G., Zhou Y., Leventhal A.G. *Vis. Neurosci.*, 11, 927-938, 1994.

Поступила 18.IV.1999