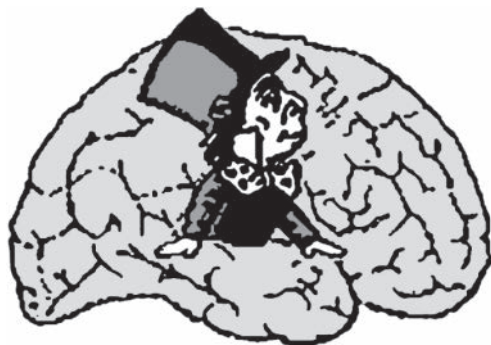


КОГНИТИВНАЯ НАУКА В МОСКВЕ  
**НОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**



**МАТЕРИАЛЫ  
КОНФЕРЕНЦИИ  
2017**

ПОД РЕД. Е.В. ПЕЧЕНКОВОЙ, М.В. ФАЛИКМАН

УДК 159.9

ББК 81.002

К57

К57 Коллективный

Когнитивная наука в Москве: новые исследования. Материалы конференции 15 июня 2017 г.

Под ред. Е.В. Печенковой, М.В. Фаликман. – М.: ООО «Буки Веди», ИППИП. 2017 г. – 596 стр.

Электронная версия

ISBN 978-5-4465-1509-7

УДК 159.9

ББК 81.002

ISBN 978-5-4465-1509-7

© Авторы статей, 2017

## НЕЙРОННАЯ АКТИВНОСТЬ ПРИ УСПЕШНОЙ И НЕУСПЕШНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАВЫКОВ ЖИВОТНЫМ

Д. А. Вожаков\* (1), О. Е. Сварник (2)

[dmitry.vozhakov@gmail.com](mailto:dmitry.vozhakov@gmail.com)

1 – МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва; 2 – НИЦ «Курчатовский институт»

**Аннотация.** Нейроны ретроспленальной коры (РСК) обычно связываются с функциями пространственной ориентации. В данной работе, на модели пищедобывательного поведения в проблемной клетке, мы обнаружили значительное количество (35.9%) нейронов в области RSC, активность которых менялась в зависимости от результата поведения – наличия или отсутствия пищевого подкрепления. Эти виды поведения были названы «успешными» и «неуспешными». Анализ поведенческих маркеров показал, что изменение паттернов активности нейронов не связано с пространственными функциями: 2 вида внешне и пространственно одинакового поведения различались только по содержанию. Снижение частоты спайковой активности наблюдалось только при реализации «успешных» поведенческих актов и не наблюдалось при реализации «неуспешных».

**Ключевые слова:** ретроспленальная кора, успешное поведение, нейронная активность, мозг, крыса

*Тематика работы:* функциональная специализация нервных клеток относительно элементов субъективного опыта.

Поведенческая специализация нейронов является широко обсуждаемой темой в системной нейрофизиологии. Важность и актуальность данного направления исследований подчеркивается значением не только для нейронами, но и для психологии (Швырков, 1995).

В данной работе проведен анализ паттернов активности нервных клеток крысы в ситуации «успешной» и «неуспешной» реализации выученных инструментальных навыков животным (Narayanan, 2008). В результате обработки были обнаружены нейроны, активность которых была связана с «успешной» реализацией навыка. Данные клетки обнаружены в ретроспленальной коре (RSC). Ранее сообщалось, что клетки RSC имеют тесную функциональную связь с пространственной ориентацией животного, а также участвуют в установлении связей между сигналами среды (Cho, Sharp, 2001).

### Методика

Крысам ( $n=4$ ) породы Long Evans были имплантированы 16 платино-иридиевых электродов ( $d=15$  мкм), закрепленных в единый микродрайвер

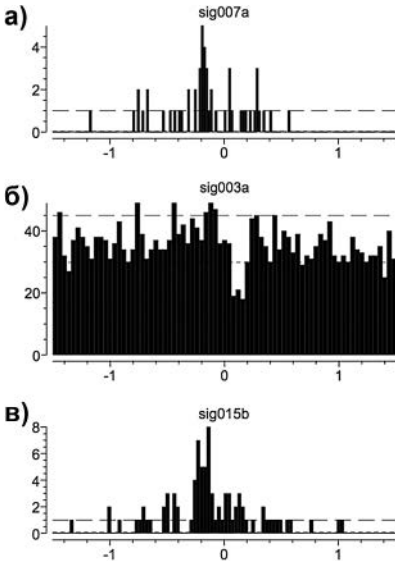
(Korav, Hungary), который позволяет варьировать глубину их введения. Имплантация микроэлектродов проводилась под общей анестезией до начала обучения. В качестве общего анестетика при проведении эксперимента мы использовали Золетил 100 (50 мг/кг), разведенный в NaCl 0.9% (0.2 мл) с Рометаром 2% (0.45 мл/кг). В ходе операции по имплантации электродов осуществлялось поддержание постоянной температуры тела ( $37^{\circ}\text{C} \pm 38^{\circ}\text{C}$ ) наркотизированного животного. База с микродрайвером устанавливалась в области ретроспленальной коры ( $P 4.5$ ;  $L 1.0$ ) и фиксировалась зубным цементирующим раствором (Stoetling). Было осуществлено общее заземление для системы электродов, и электрический сигнал дифференцированно фильтровался для получения активности единичных нейронов ( $154\text{ Hz} \div 8.8\text{ kHz}$ ). Усиленный сигнал с каждого электрода оцифровывался ( $40\text{ kHz}$ ) и обрабатывался с помощью многоканальной установки MAP (Plexon, USA). Единичные нейроны выделялись с использованием программного пакета Offline Sorter (Plexon, USA) в процессе визуализации комбинаций паттернов потенциалов действия на основании их свойств (метод главных компонент). Правильность сортировки единичных нейронов верифицировалась при построении гистограмм распределения межспайковых интервалов, которые при верном разделении не содержали последовательных потенциалов действия в течение рефрактерного периода 2 мс. Времена потенциалов действия единичных нейронов и выделенных поведенческих актов импортировались для дальнейшего анализа в программу NeuroExplorer (Plexon, USA).

После имплантации электродов крысы обучались реализации инструментального навыка «подхода к левой педали» в проблемной клетке (Med Associate, St Albans, VT); в процессе обучения велась электрофизиологическая регистрация активности нейронов и видеозапись поведения.

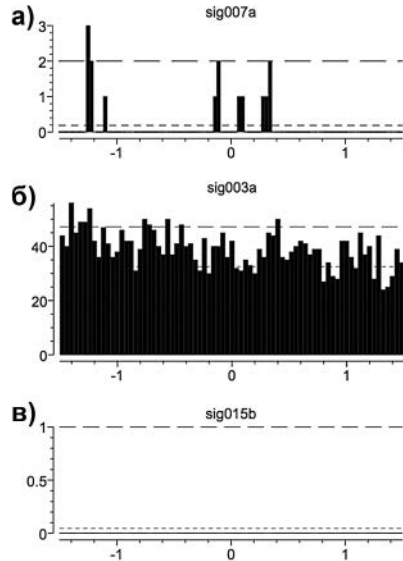
Для обозначения «успешного» поведения применялся маркер «левая\_педаль\_кормушка\_1», маркирующий событие подхода крысы от левой педали к кормушке после падения корма в кормушку. В случае «неуспешного» поведенческого акта он маркировался как «левая\_педаль\_кормушка\_0» и обозначал подход от левой педали к кормушке при отсутствии звука падения корма в кормушку (отсутствие пищевого подкрепления).

## Результаты

В ходе обработки электрофизиологических записей были обнаружены 39 нейронов. В анализе поведения суммарно участвовали 274 «успешных» поведенческих акта, которые заканчивались пищевым подкреплением, и 204 «неуспешных», которые не приводили к пищевому подкреплению. 14 нейронов из 39 (35.9%) были так или иначе связаны с реализацией «успешного» поведения. Нейрон считался связанным с поведением, если его активность менялась более чем на 30% относительно средней активности по всей записи. На рис. 1 приведены примеры паттернов резкого снижения частоты генерации потенциалов действия в точке «0», обозначающей начало подхода от левой педали к кормушке, после падения корма с характерным звуком. В табл. 1 приведены количественные оценки импульсной активности нескольких нейронов относительно точки «0».



**Рисунок 1.** Peri-event time histogram (PETH) частоты генерации потенциалов действия для поведенческого маркера «левая\_педаль\_кормушка\_1»: а) крыса А, б) крыса С, в) крыса D



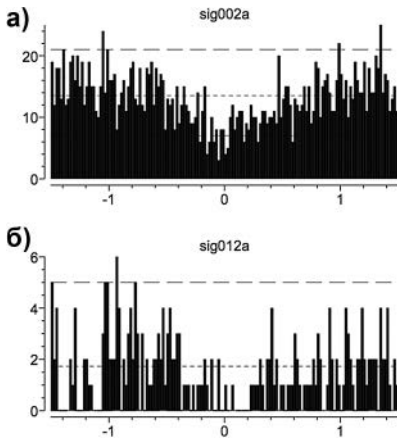
**Рисунок 2.** PETH частоты генерации потенциалов действия для поведенческого маркера «левая\_педаль\_кормушка\_0»: а) крыса А, б) крыса С, в) крыса D. Гистограммы построены для тех же нейронов, что и на рис. 1

На рис.2 показано, что для поведенческого маркера «левая\_педаль\_кормушка\_0» феномены урежения импульсной активности не наблюдаются.

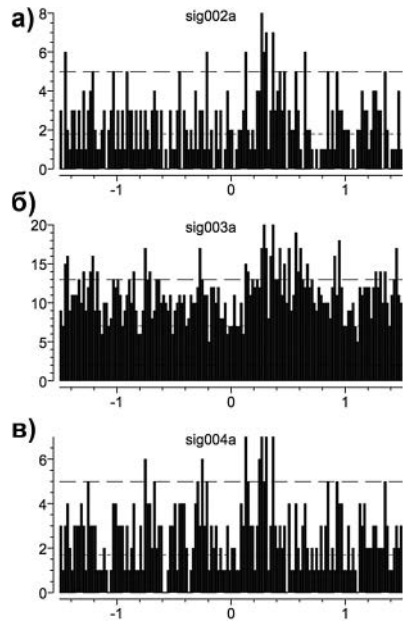
Несколько других нейронов демонстрировали изменения активности, связанные с другим поведением: нахождение возле кормушки и захват пищи (см. рис. 3), небольшое увеличение частоты при подходе к правой педали (см. рис. 4).

### Обсуждение и выводы

На рис. 1 и 2 отчетливо видна разница в паттернах реакции одних и тех же нервных клеток в процессе реализации внешне одинакового, но разного по содержанию поведения. В обоих случаях внешне наблюдаемое поведение обладает одинаковой структурой – подход крысы от кормушки к левой педали; нахождение возле педали; разворот и подход от левой педали к кормушке. Однако в одном случае звук падения пищи совершенно точно сообщает крысе, что корм теперь находится в кормушке, соответственно, поведенческий акт оказался «успешным» (Donahue, 2013). В другом случае подход к левой педали и нахождение возле нее не заканчивается пищевым подкреплением с характерным звуком падения пищевой капсулы в кормушку. В связи с этим поведенческий акт оказывается «неуспешным». Стоит отметить, что все внешние динамические характеристики *успешных* и *неуспешных* поведенческих актов остаются схожими, однако мы видим



**Рисунок 3.** РЕТН частоты генерации потенциалов действия для поведенческого маркера «кормушка\_захват\_пищи»; крыса А



**Рисунок 4.** РЕТН частоты генерации потенциалов действия для поведенческого маркера «кормушка\_правая\_педаль\_0»; крыса С

**Таблица 1.** Изменение частоты спайковой активности для события «левая\_педаль\_кормушка\_1» (тест Вилкоксона,  $p < .05$ ).

Номер нейрона	Средняя частота по всей записи (спайк/сек.)	За 1.5 секунды до события	В точке «0» – начало события
sig003a	15.24	21.12	8.32
sig004a	3.85	5.84	1.73
sig007a	0.046	2.81	0
sig013b	0.042	1.625	0.722
sig015b	0.062	2.91	1.428

различие в паттернах активации нервных клеток, которые вовлечены в это поведение. Отдельного внимания заслуживает направленность изменения активности нейронов – мы наблюдаем резкое снижение частоты активности, торможение (Pregau, 2014). Хотя торможение активности нейронов может быть связано как с репрезентацией самих пищевых капсул (Yuan, 2015), так и с некоторыми элементами пищевого поведения, не исключено, что обнаруженные 14 из 39 клеток могут участвовать в кодировании информации об успешности/результативности поведения. Таким образом, нейроны РСК могут оказаться не только «поставщиками» сенсорной информации, но и важным звеном в цепи принятия решений, наряду с такими структурами, как миндалина, лобные области коры и другими.

## Литература

Швырков В.Б. Введение в объективную психологию // Нейрональные основы психики. М.: Институт психологии РАН, 1995.

Cho J., Sharp P.E. Head direction, place, and movement correlates for cells in the rat retrosplenial cortex // Behavioral Neuroscience. 2001. Vol.115. No.1. P.3–25. doi:10.1037/0735-7044.115.1.3

Donahue C.H., Seo H., Lee D. Cortical signals for rewarded actions and strategic exploration // Neuron. 2013. Vol.80. No.1. P.223–234. doi:10.1016/j.neuron.2013.07.040

Narayanan N.S., Laubach M. Neuronal correlates of post-error slowing in the rat dorso-medial prefrontal cortex // Journal of Neurophysiology. 2008. Vol.100. No.1. P.520–525. doi:10.1152/jn.00035.2008

Prerau M.J., Lipton P.A., Eichenbaum H.B., Eden U.T. Characterizing context-dependent differential firing activity in the hippocampus and entorhinal cortex // Hippocampus. 2014. Vol.24. No.4. P.476–492. doi:10.1002/hipo.22243

Yuan Y., Mao H., Si J. Cortical neural responses to previous trial outcome during learning of a directional choice task // Journal of Neurophysiology. 2014. Vol.113. No.7. P.1963–1976. doi:10.1152/jn.00238.2014

## Neural Activity with Successful and Unsuccessful Implementation of Instrumental Skills in Rats

Vozhakov D.A.\* (1) & Svarnik O.E. (2)

[dmitry.vozhakov@gmail.com](mailto:dmitry.vozhakov@gmail.com)

1 – MSU, Moscow; 2 – NRC Kurchatov Institute

**Abstract.** Neurons of the retrosplenial cortex (RSC) are strongly connected with spatial information processing. In this work, using an experimental model of feeding behavior, we found that 35.9% of neurons in the RSC of rats altered their pattern of activity depending on the results of the animal's behavior – specifically, the presence or absence of reinforcement. These two types of behavior were labeled “successful” or “unsuccessful”, respectively. Behavioral markers analysis showed that the alternation of neuronal activity was not related to spatial signaling; these two types of behavior were identical when compared by spatial and dynamic characteristics. The only difference between them was the result of implementation. The activity of these cells was inhibited by “successful” but not “unsuccessful” implementation of instrumental skills.

**Keywords:** retrosplenial cortex, successful behavior, neural activity, brain, rat