

DOI: <https://doi.org/10.17816/gc623340>

Динамика кодирования пространства нейронами поля СА1 гиппокампа мышей в задаче свободной навигации в различных обстановках

В.П. Сотсков^{1*}, В.В. Плюснин¹, Н.В. Докукин¹, Н.А. Поспелов¹, К.В. Анохин^{1, 2}¹ Институт перспективных исследований мозга Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация;² Научно-исследовательский институт нормальной физиологии им. П.К. Анохина, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Формирование устойчивых когнитивных специализаций нейронов находится в центре внимания современной нейронауки. Важным примером таких специализаций являются пространственные специализации нейронов места, имеющих одно или несколько пространственно-рецептивных полей (полей места) [1].

В предыдущих исследованиях нами была подробно проанализирована динамика формирования полей места в нейронах гранулярного слоя поля СА1 гиппокампа мышей в задаче произвольной свободной навигации в кольцевом треке [2]. В качестве основного параметра стабильности пространственной специализации нейронов места нами была предложена динамическая селективность, позволяющая отслеживать латенцию формирования каждого из полей места, а также динамику селективности нейронов места по отношению к соответствующим полям места как в течение одной сессии съёмки, так и между разными сессиями. Однако в одномерных средах, таких как упомянутый выше кольцевой трек, поля места могут проявлять специфичность относительно направления движения животного [3], что существенно усложняет анализ в случае произвольности траектории движения. В связи с этим нами были проведены дополнительные эксперименты по съёмке нейронной активности мышей в двухмерных средах: в прямоугольном открытом поле с объектами, а также в круглой арене с изменяемым количеством препятствий.

В настоящей работе проведён сравнительный анализ основных параметров динамики формирования пространственных специализаций (латенция специализации, средняя динамическая селективность, начальный прирост селективности, доля «немедленных» полей места, т.е. стабильных с самого первого их посещения животным) в одномерном кольцевом треке и в двухмерных аренах. Обнаружено, что средняя селективность полей места возрастала во всех сессиях, достигая больших значений в повторных сессиях по сравнению с первой сессией в новой для животного обстановке. При этом доля «немедленных» полей места оставалась значительной, изменяясь от 11% всех полей места в круглой арене с препятствиями до 25% всех полей места в кольцевом треке.

Кроме того, нами был проведён популяционный анализ нейронной активности для первой сессии в кольцевом треке и в круглой арене с препятствиями. В результате понижения размерности популяционных векторов при помощи лапласовых собственных карт была реконструирована траектория животных, причём точность такой реконструкции находилась в согласовании со средней динамической селективностью для каждого из животных, взятых в анализ. Тем самым была проведена верификация динамической селективности как меры качества кодирования пространства всей зарегистрированной популяции нейронов.

Ключевые слова: нейроны места; поля места; пространственная навигация; гиппокамп; когнитивная специализация нейронов.

Как цитировать:

Сотсков В.П., Плюснин В.В., Докукин Н.В., Поспелов Н.А., Анохин К.В. Динамика кодирования пространства нейронами поля СА1 гиппокампа мышей в задаче свободной навигации в различных обстановках // Гены и клетки. 2023. Т. 18, № 4. С. 778–781. DOI: <https://doi.org/10.17816/gc623340>

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Рукопись получена: 16.05.2023

Рукопись одобрена: 26.11.2023

Опубликована online: 20.01.2024

Источник финансирования. Исследование выполнено при финансовой поддержке Некоммерческого Фонда развития науки и образования «Интеллект», а также Междисциплинарной научно-образовательной школы МГУ имени М.В. Ломоносова «Мозг, когнитивные системы, искусственный интеллект».

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. O'Keefe J., Dostrovsky J. The hippocampus as a spatial map. Preliminary evidence from unit activity in the freely-moving rat // *Brain Res.* 1971. Vol. 34, N 1. P. 171–175. doi: 10.1016/0006-8993(71)90358-1
2. Sotskov V.P., Pospelov N.A., Plusnin V.V., Anokhin K.V. Calcium imaging reveals fast tuning dynamics of hippocampal place cells and ca_1 population activity during free exploration task in mice // *Int J Mol Sci.* 2022. Vol. 23, N 2. P. 638. doi: 10.3390/ijms23020638
3. McNaughton B.L., Barnes C.A., O'Keefe J. The contributions of position, direction, and velocity to single unit activity in the hippocampus of freely-moving rats // *Exp Brain Res.* 1983. Vol. 52, N 1. P. 41–49. doi: 10.1007/BF00237147

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

* В.П. Сотсков; адрес: Российская Федерация, 119234, Москва, Ломоносовский проспект, д. 27, корп. 1; e-mail: vsotskov@list.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/gc623340>

Dynamics of space coding by mouse hippocampal CA1 field neurons in a free navigation task in different environments

V.P. Sotskov^{1*}, V.V. Plyusnin¹, N.V. Dokukin¹, N.A. Pospelov¹, K.V. Anokhin^{1,2}¹ Institute for Advanced Brain Studies, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation;² Research Institute of Normal Physiology named after P.K. Anokhin, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

The development of persistent cognitive adaptations in neurons is a key area of focus in contemporary neuroscience. A significant illustration of such adaptations occurs through spatial specializations in place cells with one or more receptive fields that are sensitive to spatial cues (place fields) [1].

In prior research, we extensively examined the dynamics of place field formation in granular layer neurons of the CA1 field in the hippocampus of mice during arbitrary free navigation in a circular track [2]. As the primary factor for maintaining stability in the spatial specialization of place cells, we have introduced dynamic selectivity. This approach enables us to monitor the latency of each place field's formation and the selectivity dynamics of place cells to their respective fields throughout one or multiple shooting sessions. However, in one-dimensional settings, like the circular track referenced previously, place fields can demonstrate direction-specificity with regards to animal movement [3]. This factor considerably complicates the analysis for arbitrary movement trajectories of animals. In this study, additional experiments were conducted to capture the neural activity of mice in two-dimensional environments. The experiments were conducted in both a rectangular field with objects and a circular arena with a varying number of obstacles.

In this paper, we conduct a comparative analysis to examine the critical parameters governing the development of spatial specializations in a one-dimensional circle track and two-dimensional arenas. These parameters include specialization latency, average dynamic selectivity, initial increase in selectivity, and the proportion of "immediate" place fields that remain stable from the first animal visit. The study discovered that the mean selectivity of the place fields escalated in each session, with higher rates observed in subsequent sessions versus the initial session in a novel setting. Additionally, there was a significant occurrence of "immediate" place fields, representing 11% of all place fields in the rounded arena with obstacles, and 25% of all place fields in the circular track.

Additionally, a population analysis of neural activity was performed on the first session in a circular track and a round arena with obstacles. Using Laplace eigenmaps for the dimension reduction of population vectors, the trajectory of animals was reconstructed, and the accuracy of this reconstruction agreed with the average dynamic selectivity for each animal included in the analysis. Thus, dynamic selectivity was verified as a measure of the spatial coding quality of the entire registered population of neurons.

Keywords: place cells; place fields; spatial navigation; hippocampus; cognitive specialization of neurons.

To cite this article:

Sotskov VP, Plyusnin VV, Dokukin NV, Pospelov NA, Anokhin KV. Dynamics of space coding by mouse hippocampal CA1 field neurons in a free navigation task in different environments. *Genes & cells*. 2023;18(4):778–781. DOI: <https://doi.org/10.17816/gc623340>

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Funding sources. The research was carried out with the financial support of the Non-profit Foundation for the Development of Science and Education "Intellect" and the Interdisciplinary Scientific and Educational School of Lomonosov Moscow State University "Brain, Cognitive Systems, Artificial Intelligence".

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Received: 16.05.2023

Accepted: 26.11.2023

Published online: 20.01.2024

REFERENCES

1. O'Keefe J, Dostrovsky J. The hippocampus as a spatial map. Preliminary evidence from unit activity in the freely-moving rat. *Brain Res.* 1971;34(1):171–175. doi: 10.1016/0006-8993(71)90358-1
2. Sotskov VP, Pospelov NA, Plusnin VV, Anokhin KV. Calcium imaging reveals fast tuning dynamics of hippocampal place cells and CA1 population activity during free exploration task in mice. *Int J Mol Sci.* 2022;23(2):638. doi: 10.3390/ijms23020638
3. McNaughton BL, Barnes CA, O'Keefe J. The contributions of position, direction, and velocity to single unit activity in the hippocampus of freely-moving rats. *Exp Brain Res.* 1983;52(1):41–49. doi: 10.1007/BF00237147

AUTHORS' CONTACT INFO

* V.P. Sotskov; address: 27 bldg 1 Lomonosovskij avenue, 119192 Moscow, Russian Federation; e-mail: vsotskov@list.ru