

DOI: <https://doi.org/10.17816/gc623327>

# Нейрофизиологические механизмы стратегий использования и исследования при высокофункциональном аутизме: магнитоэнцефалографическое исследование

Б.В. Чернышев<sup>1,2\*</sup>, К.И. Пульцина<sup>1</sup>, В.Д. Третьякова<sup>1</sup>, А.С. Мясникова<sup>1</sup>, А.О. Прокофьев<sup>1</sup>, Г.Л. Козунова<sup>1</sup>, Т.А. Строганова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный психолого-педагогический университет, Москва, Российская Федерация;

<sup>2</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация

## АННОТАЦИЯ

Нетерпимость к неопределённости и высокую чувствительностью к угрозе неудачи рассматривают как один из факторов, поддерживающих хроническое беспокойство у пациентов с высокофункциональным аутизмом. Мы исследовали, каким образом эти личностные черты у пациентов с аутизмом сказываются на мозговых процессах, обеспечивающих стратегии выбора в вероятностной среде.

21 участник эксперимента от 19 до 46 лет с высокофункциональным аутизмом и высоким уровнем нетерпимости к неопределённости в возрасте и 21 нейротипичный доброволец того же возраста выполняли задачу вероятностного выбора из двух альтернатив, одна из которых приносила денежный выигрыш в 70% случаев, а другая — только в 30% случаев. После каждого выбора испытуемые получали обратную связь, и методом проб и ошибок они обучались предпочтению более выгодного стимула. С этого момента мы рассматривали частые выборы выгодного стимула как следование внутренней ценностной модели, то есть как стратегию использования, а редкие выборы невыгодного стимула — как следование стратегии исследования (которая невыгодна в постоянной среде, но позволяет адаптировать поведение к её неожиданным изменениям). Мы предположили, что характерные различия между группами в активности мозга, отражающей стратегии использования и исследования, проявятся в периоде принятия решения, а также после внутренней оценки поступившей обратной связи о результатах выгодного и невыгодного выбора [1]. Мы анализировали бета-осцилляции (16–30 Гц) в записи магнитоэнцефалограммы. Подавление мощности бета-осцилляций ниже фонового уровня в период времени между предъявлением стимулов и ответом испытуемого рассматривали как показатель активации областей мозга, участвующих в принятии решения о стратегии выбора, а повышение мощности бета-осцилляций после сигнала обратной связи о проигрыше при невыгодном выборе — как отражение работы механизма, закрепляющего внутреннюю ценностную модель применительно к текущей задаче [1]. Мощность корковых источников бета-осцилляций в 448 областях коры больших полушарий оценивали с помощью метода sLoreta на уровне отдельных реализаций. Статистический анализ осуществляли с помощью смешанных линейных моделей (LMM), поправку на множественные сравнения выполняли с помощью метода FDR на число анализируемых областей коры больших полушарий. Анализ был направлен на интервал принятия решения (–900...–300 мс перед моторным действием выбора) и интервал после обратной связи (500–900 мс после начала предъявления обратной связи) [1].

Согласно результатам опросников, участники эксперимента с высокофункциональным аутизмом имели достоверно более низкую терпимость к неопределённости и более высокую нетерпимость к неопределённости по сравнению с нейротипичными испытуемыми.

Исследование принесло два основных результата. Во-первых, при принятии решения уровень активации областей мозга зависел от типа выбора у контрольных испытуемых и испытуемых с аутизмом прямо противоположным образом. Принятие решения о выгодном выборе в сравнении с невыгодным сопровождалось меньшей активацией нижневисочных, теменных и медиальных лобных областей коры у контрольных испытуемых и большей активацией этих зон у испытуемых с расстройствами аутистического спектра. Эти данные указывают на то, что нейротипичные испытуемые при принятии выгодного для них решения тратят меньше ресурсов мозга и испытывают меньше эмоций, чем в случае исследовательского выбора, который, исходя из их прошлого опыта, с высокой вероятностью принесёт неудачу. Напротив, люди с аутизмом расходуют аномально много ресурсов внимания и эмоций при планировании относительно безопасных для них действий, исход которых сулит вероятную (но не гарантированную) выгоду, тогда как угроза высоковероятной неудачи активирует их мозг в меньшей степени.

Рукопись получена: 15.05.2023

Рукопись одобрена: 26.11.2023

Опубликована online: 20.01.2024

Во-вторых, внутренняя оценка поступившей обратной связи была связана с различиями между людьми с аутизмом и контрольными испытуемыми в функциональной активности орбитофронтальных и латеральных префронтальных областей коры при исследовательском (невыгодном) выборе. Как и в нашем предыдущем исследовании, у нейротипичных испытуемых наблюдалась сильная бета-синхронизация после отрицательной обратной связи после невыгодного выбора [1]. В отличие от контрольных испытуемых, у испытуемых с расстройствами аутистического спектра отсутствовала синхронизация фронтальных бета-осцилляций после проигрыша в результате невыгодного выбора. Этот факт может означать слабое закрепление внутренней ценностной модели, которое в норме возникает после совпадения прогнозируемого на её основе негативного исхода действия с его реальным результатом [1]. В целом, наше исследование показало, что людей с расстройствами аутистического спектра и крайней нетерпимостью к неопределённости характеризует аномально высокий уровень вовлечения мозговых систем принятия решений в относительно безопасных условиях, гарантирующих высокую вероятность благоприятного исхода планируемого действия. Эта находка проливает свет на причины парадоксального повышения уровня тревоги и вегетативной реактивности у таких людей в ситуациях ожидания награды, которые, в отличие от угрозы наказания, по своей природе не являются аверсивными [2].

**Ключевые слова:** вероятностная задача; стратегии использования и исследования; бета-осцилляции; подкрепление; расстройства аутистического спектра; высокофункциональный аутизм; магнитоэнцефалография.

**Как цитировать:**

Чернышев Б.В., Пульцина К.И., Третьякова В.Д., Мясникова А.С., Прокофьев А.О., Козунова Г.Л., Строганова Т.А. Нейрофизиологические механизмы стратегий использования и исследования при высокофункциональном аутизме: магнитоэнцефалографическое исследование // Гены и клетки. 2023. Т. 18, № 4. С. 606–609. DOI: <https://doi.org/10.17816/gc623327>

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chernyshev B.V., Pultsina K.I., Tretyakova V.D., et al. Losses resulting from deliberate exploration trigger beta oscillations in frontal cortex // *Frontiers in Neuroscience*. 2023. Vol. 17. P. 1152926. doi: 10.3389/fnins.2023.1152926
2. Tanovic E., Gee D.G., Joormann J. Intolerance of uncertainty: Neural and psychophysiological correlates of the perception of uncertainty as threatening // *Clinical psychology review*. 2018. Vol. 60. P. 87–99. doi: 10.1016/j.cpr.2018.01.001

## КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

\* Б.В. Чернышев; адрес: Российская Федерация, 127051, Москва, ул. Сретенка, д. 29; e-mail: [b\\_chernysh@mail.ru](mailto:b_chernysh@mail.ru)

DOI: <https://doi.org/10.17816/gc623327>

# Neurophysiological mechanisms of exploration and exploitation in high-functioning autism: Magnetoencephalographic study

B.V. Chernyshev<sup>1,2\*</sup>, K.I. Pultsina<sup>1</sup>, V.D. Tretyakova<sup>1</sup>, A.S. Miasnikova<sup>1</sup>, A.O. Prokofyev<sup>1</sup>, G.L. Kozunova<sup>1</sup>, T.A. Stroganova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Moscow State University of Psychology and Education, Moscow, Russian Federation;

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

## ABSTRACT

Intolerance of uncertainty and high sensitivity to the threat of failure are believed to contribute to chronic anxiety in individuals with high-functioning autism. This study examines the influence of these personality traits on the brain processes involved in decision-making in a probabilistic setting among autism patients. Furthermore, we explore the causal relationship between these personality traits and chronic anxiety in individuals with high-functioning autism.

Twenty-one high-functioning autistic individuals who are intolerant to uncertainty, aged 19 to 46, and 21 neurotypical volunteers of the same age, carried out a probabilistic choice experiment with two alternatives. One option yielded a monetary profit of 70% of the time, while the other brought only a 30% gain. Following each selection, the subjects received feedback on their decision and gradually learned, through trial and error, to prefer the more advantageous option. From this point forward, we consider frequent selections of a beneficial stimulus to align with the internal utility model, specifically the exploitation strategy. On the other hand, sporadic choices of a detrimental stimulus correspond to an exploration strategy, which may prove disadvantageous in a stable environment but enables adaptation to unforeseen changes in the surroundings.

We hypothesized that there are characteristic differences in brain activity reflecting exploration and exploitation strategies between groups, which would emerge during the decision-making period and after internal feedback evaluation regarding advantageous and disadvantageous choices [1]. Beta oscillations (16–30 Hz) were analyzed in the magnetoencephalographic recordings. The decrease in beta oscillation power below baseline during the period between stimulus presentation and subjects' response indicates activation in brain regions related to decision-making strategy. Conversely, an increase in beta oscillation power following feedback signaling a disadvantageous choice reflects a mechanism that reinforces internal value models in current task conditions [1]. The cortical sources of beta oscillations in 448 cortical areas were estimated using the sLoreta technique at the single-trial level. Mixed linear models (LMM) were used for statistical analysis with correction for multiple comparisons via the FDR method for the number of cortical areas analyzed. The study concentrated on the time interval for decision-making (–900 to –300 ms prior to the motor action of choice) and the post-feedback period (500 to 900 ms after the commencement of the feedback presentation) [1].

Based on questionnaire results, individuals with high-functioning autism exhibited a significantly lower tolerance for uncertainty and a greater intolerance for uncertainty when compared to neurotypical participants.

The study generated two primary findings. Initially, the extent of brain activity during decision-making differed in control subjects and subjects with autism based on the type of choice, with exact opposition. Opting for an advantageous vs. disadvantageous choice was linked with reduced activation of the inferior temporal, parietal, and medial frontal cortex regions in control subjects and elevated activation in these regions for subjects with autism spectrum disorder. These findings suggest that neurotypical individuals utilize fewer neural resources and exhibit decreased emotional response while deciding in favor of a known profitable outcome compared to opting for an uncertain choice — one that is more likely to result in a negative outcome based on previous experiences. Individuals with autism allocate disproportionate amounts of attention and emotional resources towards planning actions that are deemed safe and offer only a probable (though not definite) advantage. Conversely, the prospect of failure due to risky behavior induces a comparatively muted response in their brains.

Second, our internal evaluation of feedback focused on variations in functional activity within the orbitofrontal and lateral prefrontal cortical areas during exploratory (disadvantageous) choices between individuals with autism and control subjects. As previously reported, neurotypical subjects demonstrated significant beta synchronization following negative feedback after disadvantageous choices [1]. Contrary to control participants, individuals with autism spectrum disorder exhibited a lack of synchronization in frontal beta oscillations following losses incurred from unfavorable selections. This observation may indicate insufficient reinforcement of the internal utility model, which typically strengthens in response to negative outcomes that align with predicted results [1].

**Received:** 15.05.2023

**Accepted:** 26.11.2023

**Published online:** 20.01.2024

Overall, our study found that individuals on the autism spectrum with a high intolerance for uncertainty exhibit significantly increased activation of brain decision-making systems in situations that are perceived to be low-risk and with a high probability of a successful outcome. These findings clarify the reasons behind the puzzling rise in anxiety and autonomic reactivity among individuals in situations where they anticipate rewards, which are not inherently aversive unlike fear of punishment [2].

**Keywords:** probabilistic task; exploration and exploitation; beta oscillations; reinforcement; autism spectrum disorders; high-functioning autism; magnetoencephalography.

**To cite this article:**

Chernyshev BV, Pultsina KI, Tretyakova VD, Miasnikova AS, Prokofyev AO, Kozunova GL, Stroganova TA. Neurophysiological mechanisms of exploration and exploitation in high-functioning autism: Magnetoencephalographic study. *Genes & Cells*. 2023;18(4):606–609. DOI: <https://doi.org/10.17816/gc623327>

## REFERENCES

1. Chernyshev BV, Pultsina KI, Tretyakova VD, et al. Losses resulting from deliberate exploration trigger beta oscillations in frontal cortex. *Frontiers in Neuroscience*. 2023;17:1152926. doi: 10.3389/fnins.2023.1152926
2. Tanovic E, Gee DG, Joormann J. Intolerance of uncertainty: Neural and psychophysiological correlates of the perception of uncertainty as threatening. *Clinical psychology review*. 2018;60:87–99. doi: 10.1016/j.cpr.2018.01.001

## AUTHORS' CONTACT INFO

\* B.V. Chernyshev; address: 29 Sretenka street, 127051 Moscow, Russian Federation; e-mail: [b\\_chernysh@mail.ru](mailto:b_chernysh@mail.ru)