

doi 10.18699/vjgb-24-108

Ассоциация аутистических личностных черт у неклинических испытуемых с показателями ЭЭГ в условиях просмотра видеозаписей лица

А.Н. Савостьянов ^{1, 2, 3} , Д.А. Кулешов ^{1, 4, 5}, Д.И. Клемешова^{1, 2}, М.С. Власов ⁶, А.Е. Сапрыгин ^{1, 2}¹ Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия² Научно-исследовательский институт нейронаук и медицины, Новосибирск, Россия³ Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Новосибирск, Россия⁴ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия⁵ Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Новосибирск, Россия⁶ Бийский филиал им. В.М. Шукшина Алтайского государственного педагогического университета, Бийск, Россия a-sav@mail.ru

Аннотация. В рамках проводимого исследования разработан и апробирован программно-информационный модуль экспериментально-компьютерной платформы “EEG_Self-Construct”, позволяющий выявлять нейрофизиологические маркеры самореферентных процессов на основе совместного использования ЭЭГ и регистрации видеозаписей лица для индукции функциональных состояний головного мозга, ассоциированных с личностными особенностями участников. Этот модуль был апробирован на группе неклинических участников с разной степенью выраженности аутистических личностных черт (АЛЧ), измеренных с помощью опросника расширенного фенотипа аутизма. Степень индивидуальной выраженности АЛЧ – это количественный показатель, который характеризует затруднения, возникающие у человека при коммуникации с другими людьми. У каждого человека имеется некоторая индивидуальная степень выраженности таких черт. Высокие значения аутистических черт определяются у пациентов с аутизмом. Однако существуют также люди, у которых высокие значения АЛЧ не сопровождаются клинической симптоматикой. Разработанный нами модуль дает возможность индуцировать функциональные состояния головного мозга, в которых ЭЭГ-показатели людей с разным уровнем АЛЧ достоверно различаются. Кроме того, модуль включает комплект программного обеспечения для регистрации и анализа индексов мозговой активности. Нами установлено, что зависимости между мозговой активностью и индивидуальным уровнем выраженности АЛЧ у неклинических испытуемых могут быть выявлены в условиях функционального покоя, следующих за распознаванием самоотнесенной информации, тогда как распознавание социально нейтральной информации не индуцирует процессы, связанные с аутистичностью. Показано, что у людей с высокими значениями АЛЧ наблюдаются повышенные показатели спектральной плотности в диапазонах дельта- и тета-ритмов в лобных отделах обоих полушарий в сравнении с людьми с низкой степенью аутистичности. Это может быть гипотетически интерпретировано как индекс сниженной мозговой активности, ассоциированной с распознаванием самоотнесенной информации у людей с высокой аутистичностью. Разрабатываемый нами программный модуль может быть интегрирован с модулями, позволяющими выявлять молекулярно-генетические маркеры личностных черт, включая черты, определяющие предрасположенность к психиатрическим патологиям.

Ключевые слова: информационно-цифровые платформы в медицине; нейровычислительные технологии; ЭЭГ покоя; аутистические черты; расширенный аутистический фенотип; самореферентия; дефолт-система мозга.

Для цитирования: Савостьянов А.Н., Кулешов Д.А., Клемешова Д.И., Власов М.С., Сапрыгин А.Е. Ассоциация аутистических личностных черт у неклинических испытуемых с показателями ЭЭГ в условиях просмотра видеозаписей лица. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2024;28(8):1018-1024. doi 10.18699/vjgb-24-108

Финансирование. Часть исследования, касающаяся подготовки психологических тестов, подбора экспериментальных групп и регистрации ЭЭГ, выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, научный проект № 22-15-00142: «фМРТ и ЭЭГ корреляты фокуса внимания на собственной персоне как фактора предрасположенности к аффективным расстройствам».

Благодарности. Разработка программно-аппаратного модуля проведена в рамках бюджетного проекта ИЦИГ СО РАН № FWNR-2022-0020.

Association of autistic personality traits with the EEG scores in non-clinical subjects during the facial video viewing

A.N. Savostyanov ^{1, 2, 3} , D.A. Kuleshov ^{1, 4, 5}, D.I. Klemeshova^{1, 2}, M.S. Vlasov ⁶, A.E. Saprygin ^{1, 2}¹ Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia² Scientific Research Institute of Neurosciences and Medicine, Novosibirsk, Russia³ Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia⁴ Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia⁵ Siberian State University of Telecommunications and Informatics, Novosibirsk, Russia⁶ Altai State Pedagogical University, Biysk Branch named after V.M. Shukshin, Biysk, Russia a-sav@mail.ru

Abstract. A software information module of the experimental computer platform “EEG_Self-Construct” was developed and tested in the framework of this study. This module can be applied for identification of neurophysiological markers of self-referential processes based on the joint use of EEG and facial video recording to induce the brain's functional states associated with participants' personality traits. This module was tested on a group of non-clinical participants with varying degrees of severity of autistic personality traits (APT) according to the Broad Autism Phenotype Questionnaire. The degree of individual severity of APT is a quantitative characteristic of difficulties that a person has when communicating with other people. Each person has some individual degree of severity of such traits. Patients with autism are found to have high rates of autistic traits. However, some individuals with high rates of autistic traits are not accompanied by clinical symptoms. Our module allows inducing the brain's functional states, in which the EEG indicators of people with different levels of APT significantly differ. In addition, the module includes a set of software tools for recording and analyzing brain activity indices. We have found that relationships between brain activity and the individual level of severity of APT in non-clinical subjects can be identified in resting-state conditions following recognition of self-referential information, while recognition of socially neutral information does not induce processes associated with APT. It has been shown that people with high scores of APT have increased spectral density in the delta and theta ranges of rhythms in the frontal cortical areas of both hemispheres compared to people with lower scores of APT. This could hypothetically be interpreted as an index of reduced brain activity associated with recognition of self-referential information in people with higher scores of autistic traits. The software module we are developing can be integrated with modules that allow identifying molecular genetic markers of personality traits, including traits that determine the predisposition to mental pathologies.

Key words: information-digital platforms in medicine; neurocomputation technologies; resting-state EEG; autistic personality traits; Broad Autism Phenotype; self-referential processing; default-mode network.

For citation: Savostyanov A.N., Kuleshov D.A., Klemeshova D.I., Vlasov M.S., Saprygin A.E. Association of autistic personality traits with the EEG scores in non-clinical subjects during the facial video viewing. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2024;28(8):1018-1024. doi 10.18699/vjgb-24-108

Введение

Разработка новых подходов выявления предрасположенности к определенным типам поведения, включая повышенный риск развития психических заболеваний, основана на обследовании людей при помощи генетических, нейрофизиологических и поведенческих методик, накоплении экспериментальной информации в базах данных и ее анализе с использованием широкого круга информационных технологий (Ivanov et al., 2022; Lin et al., 2022).

Согласно современным представлениям, аутизм – это заболевание, которое связано с нарушениями в работе мозга и проявляется в социальной сфере (Baron-Cohen, 2002; Lavenne-Collot et al., 2023). Это заболевание обнаруживается в трех сферах: социальном взаимодействии, коммуникации (использовании вербальных и невербальных стимулов), а также ограниченными и повторяющимися моделями в поведении, интересах и деятельности (Baron-Cohen, 2009; Murray et al., 2017). В 1980-х годах аутизм был признан спектром состояний (нарушений), который может быть индивидуальным для каждого пациента (Lovaas, 1987).

Жесткой границы между «здоровым человеком» и «аутистом» не существует, так как каждому человеку можно присвоить определенную величину некоторых аутистических личностных черт (АЛЧ) (Piven et al., 1997). Чем выше их уровень, тем больше поведение субъекта напоминает поведение аутиста. Известно, что АЛЧ может приводить к клиническим нарушениям в поведении, если их величина превышает некоторый порог. Однако существует феномен «неклинического аутизма», когда человек с сильно выраженными АЛЧ не обращается за врачебной помощью. При этом значительная часть таких «неклинических аутистов» в ходе своей жизни демонстрируют уровень социальной успешности, не отличающийся от людей с низкой степенью выраженности аутистичности.

Предполагается, что имеются некие компенсаторные механизмы, которые, возможно, формируются в зависимости от влияния окружающей среды и могут как ослаблять, так и усиливать проявление АЛЧ субъектов (Frith, 1991; Georgiades et al., 2017).

Поскольку аутизм и АЛЧ ассоциированы с поведенческими затруднениями в социальной коммуникации, в большинстве нейрофизиологических (Tsai et al., 2013; Tseng et al., 2015) и генетических (Genovese, Butler, 2023) исследований проводится сравнение мозговых реакций людей с разной степенью аутистичности на предъявление им внешних стимулов, распознавание которых существенно для регуляции межличностной коммуникации. Для экспериментального исследования феномена аутизма применяются такие подходы, как психологическое тестирование при помощи опросников, запись и анализ ЭЭГ в условиях стимуляции. В качестве таких стимулов обычно используются либо фотографии человеческих лиц (Harms et al., 2010; Tseng et al., 2015), либо речевые задания (Tsai et al., 2013). Однако существуют также исследования, согласно которым выраженность аутизма ассоциирована с мозговой активностью в условиях функционального покоя без распознавания внешних стимулов (Harikumar et al., 2021).

Один из эффективных методов – регистрация видеозаписей лиц для индукции психологических состояний, различающихся у участников обследования с разной степенью выраженности личностных черт (Сы и др., 2024).

Применяется также подход, при котором ЭЭГ записывается без какой-либо дополнительной стимуляции. В его основе лежит гипотеза о функциональной роли дефолт-системы головного мозга в организации процессов самореференции. Дефолт-система – это совокупность участков коры, которые демонстрируют повышенную активацию в условиях покоя, но снижают уровень активации при

выполнении заданий, связанных с вниманием к внешней стимуляции. Дефолт-система рассматривается как мозговая структура, вовлеченная в оценку социально значимых стимулов, которые субъект относит к собственной личности (Northoff et al., 2005). Предполагается, что клинические формы аутизма сопровождаются снижением активности дефолт-системы (Ronde et al., 2024). Функции дефолт-системы могут быть ассоциированы не только с особенностями социального поведения людей, но и с особенностями их генома (Fanelli et al., 2024).

Ранее мы предложили подход для совместной регистрации и обработки ЭЭГ и видеозаписей лица, позволяющий совмещать анализ мозговой активности с оценкой динамики мимических мышц (Савостьянов и др., 2022). В этом исследовании мы предлагаем методику, которая предполагает использование фрагментов видеозаписей, полученных на первом этапе обследования, для стимуляции участников на более поздних этапах обследования. Как показано ниже, такой подход дает полезную информацию для выявления маркеров аутистических черт у неклинических испытуемых.

Для информационной поддержки проводимых исследований нами разрабатывается информационно-программный блок “EEG_AutisticTrait”, представляющий собой важную компоненту экспериментально-компьютерного модуля “EEG_Self-Construct”. Он обеспечивает полный цикл информационной поддержки исследований, включая: (а) накопление и хранение результатов обследования людей при помощи психологических, нейрофизиологических и генетических методик, позволяющих обнаружить индивидуальные особенности социальных коммуникаций, ассоциированных с аутизмом; (б) компьютерную обработку экспериментальных данных с применением методов регрессионного, корреляционного и факторного анализа,

сопоставляющих поведенческие и нейрофизиологические показатели (Сы и др., 2024); (в) визуализацию первичных экспериментальных данных и результатов анализа.

Принципиальная новизна предлагаемого подхода состоит в том, что для выявления нейрофизиологических маркеров АЛЧ используются временные интервалы ЭЭГ-записей в условиях покоя в промежутках между распознаванием самоотнесенных или несамотнесенных стимулов. Такой подход дает возможность индуцировать состояния психики, связанные с самореференцией, в интервалах функционального покоя.

Материалы и методы

Последовательность этапов работы экспериментально-компьютерного модуля “EEG_Self-Construct” и перечень необходимого для реализации этих этапов программного обеспечения представлены в табл. 1. Модуль содержит как программные продукты, разработанные сотрудниками Института цитологии и генетики СО РАН, так и программы, взятые из открытых источников. Все блоки модуля позволяют осуществлять полный цикл сбора и обработки данных, необходимых для установления маркеров аутистических личностных черт.

Испытуемые. В исследовании принимали участие добровольцы, которые в большинстве были студентами Новосибирского государственного университета. Экспериментальная выборка включала 43 участника, возраст которых варьировал от 18 до 48 лет (19 мужчин и 24 женщины). Все участники на момент обследования не имели неврологических или психических заболеваний и не использовали никаких психоактивных веществ или фармакологических препаратов. Участники давали информированное согласие на прохождение экспериментального обследования в соответствии с Хельсинкской деклара-

Таблица 1. Перечень этапов работы модуля и программных средств, необходимых для их выполнения

Название этапа работы модуля	Программные пакеты, необходимые для реализации этапа	Результат прохождения этапа работы модуля
Этап 1. Извлечение списков генов-кандидатов и мозговых структур, ассоциированных с личностными особенностями из текстов на естественном языке	ANDSystem Software	Перечень генов-кандидатов для психогенетических исследований, списки мозговых структур для нейрофизиологических исследований
Этап 2. Планирование экспериментального дизайна и обработки данных	EventIDE	Протоколы поведенческих и нейрофизиологических экспериментов, протоколы обработки данных
Этап 3. Разработка экспериментальных парадигм психофизиологического обследования	EventIDE, Millisecond Software	Программные скрипты для проведения экспериментов
Этап 4. Регистрация ЭЭГ/ЭКГ-сигналов	NeoRec System	Записи ЭЭГ- и ЭКГ-сигналов с расстановкой меток событий
Этап 5. Разработка базы экспериментальных данных	ICBrainDB	Сетевая база психологических, нейрофизиологических и генетических данных
Этап 6. Предобработка ЭЭГ/ЭКГ-сигналов	EEGLab_toolbox	Нейрофизиологические сигналы, очищенные от нерелевантного шума
Этап 7. Локализация источников сигналов на поверхности коры головного мозга	EEGLab_toolbox, eLoreta	Карты локализации источников мозговой активности
Этап 8. Статистическая обработка поведенческих, физиологических и генетических данных	IBM SPSS Statistics, GNU PSPP	Результаты статистических сравнений экспериментальных выборок, перечень нейрофизиологических и генетических маркеров личностных черт

цией по биомедицинской этике. Протокол эксперимента был одобрен этическим комитетом НИИ нейронаук и медицины.

Психологическое тестирование выполнено при помощи специальной интернет-формы, реализованной на платформе Яндекс сотрудниками ИЦиГ СО РАН. Все участники заполняли русскоязычную версию теста VARQ для оценки выраженности аутистических черт (Hurley et al., 2007; перевод М.С. Власова). Этот тест включает 36 вопросов, касающихся способности человека контролировать свое поведение в ситуациях социального общения. Кроме того, участники заполняли психологические опросники на личностную и ситуативную тревожность Ч. Спилбергера (Spielberger, 1970; русскоязычная адаптация (Ханин, 1976)), опросник для оценки личностных черт Л. Голдберга «Маркеры факторов “Большой пятерки”» (перевод и валидация Г.Г. Князева с соавторами (2010)), опросник на аффилиацию со своей семьей (Cross et al., 2000), опросник на эмоциональный интеллект (Князев и др., 2012).

Экспериментальный метод. Программа для проведения эксперимента реализована на платформе Inquisit (<https://www.millisecond.com/>). В эксперименте участники выполняли три условия. В первом условии ЭЭГ регистрировали 12 мин без функциональной нагрузки. У испытуемого регистрировали три интервала по 2 мин с закрытыми глазами и три интервала по 2 мин с открытыми глазами. В интервалах, когда испытуемый открывал глаза, он/она видели черный экран монитора компьютера. В этот период у испытуемого совместно с ЭЭГ записывалось видеозображение лица в течение всех 12 минут. Второе и третье условие отличались от первого тем, что при втором условии при открытых глазах испытуемый наблюдал видеозапись своего собственного лица, полученную при выполнении первого фонового задания, а при третьем условии ему/ей предъявлялась видеозапись лица незнакомого человека (всегда мужчины для испытуемого-мужчины, и женщины – для испытуемой-женщины). Порядок второго и третьего заданий менялся случайно.

Регистрация и обработка ЭЭГ. Для регистрации нейрофизиологических данных использовалась программа NeoResc, разработанная компанией «Медицинские компьютерные системы» (<https://mks.ru/>). ЭЭГ регистрировалась при помощи 130-канального усилителя NVX-132, Россия, 128 каналов ЭЭГ, расположенных по международной схеме 5-5 % с референтным электродом Cz, заземляющим электродом AFz; полоса пропускания 0.1–100 Гц, частота дискретизации сигнала 1000 Гц. Кроме ЭЭГ, дополнительно регистрировались ЭОГ и ЭКГ.

Мышечные и иные артефакты были удалены из ЭЭГ при помощи анализа независимых компонент с использованием программного пакета EEGLAB_toolbox (Delorme, Makeig, 2004; <https://sccn.ucsd.edu/eeglab/index.php>). Затем из записей ЭЭГ извлекались фрагменты, соответствующие периодам, когда участник сидел с закрытыми глазами. Анализ далее проводился только для тех интервалов ЭЭГ-записей, в которых участник не видел ни видеозаписей, ни пустого экрана, но которые были записаны непосредственно после наблюдения соответствующих стимулов. После извлечения этих фрагментов ЭЭГ они

разделялись на двухсекундные временные интервалы. Дальнейший анализ проводился с помощью программного пакета eLoreta (Pascual-Margui, 2002; <https://www.uzh.ch/keyinst/loreta.htm>).

В нашем случае выявленные при использовании eLoreta нейрофизиологические состояния сопоставлялись с психологическими особенностями испытуемых для определения маркеров АЛЧ. Для каждого двухсекундного интервала вычислялись значения спектральной плотности в частотных диапазонах дельта (2–4 Гц), тета (4–8 Гц), альфа-1 (8–10 Гц), альфа-2 (10–12 Гц), бета-1 (12–16 Гц), бета-2 (16–20 Гц), бета-3 (20–25 Гц) и гамма (25–35 Гц) ритмов. Далее для каждого участника вычислялся показатель суммарного спектра на всем интервале ЭЭГ-тестирования отдельно для каждого из трех экспериментальных условий (у каждого участника для этого использовалось от 150 до 170 двухсекундных интервалов). Спектры считались независимо для каждого из 128 каналов ЭЭГ, включенных в обработку данных. Отрезок записи ЭЭГ с частотой дискретизации 1000 Гц длительностью 3000 мс после появления блока был использован для расчета спектральной плотности источников в программе eLoreta (Pascual-Margui, 2002).

Статистический анализ. Оценку валидности психологических тестов проводили при помощи программного пакета IBM SPSS software, IBM, <https://www.ibm.com/spss>. Регрессионный анализ был выполнен в пакете eLoreta для поиска зависимости спектральной плотности от показателей индивидуальной выраженности аутистических черт независимо для каждого из трех экспериментальных условий. Дополнительную поправку на множественные сравнения не проводили.

Результаты

Результаты психологического тестирования

Для установления валидности русской версии теста VARQ мы определили согласованность ответов на 36 вопросов этого теста по критерию Кронбаха. Значение альфа Кронбаха составило 0.838, что указывает на достаточно высокую согласованность разных пунктов опросника между собой. Кроме того, мы провели анализ корреляции индивидуальной выраженности АЛЧ с оценками по различным шкалам хорошо валидизированных психологических тестов. В табл. 2 представлена соотнесенность результатов теста VARQ с другими рассмотренными в этом исследовании личностными чертами. Выраженность АЛЧ достоверно положительно коррелирует с тревожностью и отрицательно – с экстраверсией, способностью выражать позитивные эмоции и аффилиацию с семьей.

Результаты eLoreta

при выявлении эффектов аутистических черт

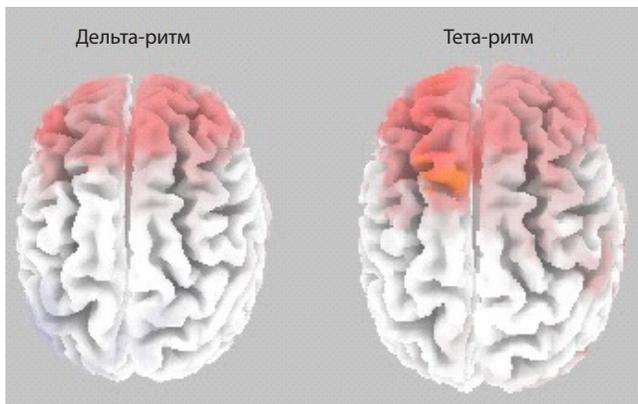
Корреляция между показателем АЛЧ по тесту VARQ были статистически достоверны только для условия «свое лицо» ($p = 0.0340$) в частотных диапазонах дельта (2–4 Гц) и тета (4–8 Гц) ритмов (см. рисунок). Для обоих частотных диапазонов eLoreta выявила положительную ассоциацию между показателями спектральной плотности и индивидуальной выраженностью аутистических черт

Таблица 2. Коэффициенты корреляции Пирсона между значениями по тесту VAPQ и шкалами других личностных опросников

VAPQ	Личностная тревожность	Экстраверсия	Семейные ценности	Способность выражать положительные эмоции
Корреляция Пирсона	0.407**	-0.524**	-0.351**	-0.278*
Достоверность (двухсторонняя)	0.002	0.003	0.007	0.036
N	43	43	43	43

* Корреляция значима на уровне 0.05 (двухсторонняя).

** Корреляция значима на уровне 0.01 (двухсторонняя).



Корреляция спектральной плотности в диапазоне дельта (2–4 Гц), и тета (4–8 Гц) ритмов с выраженностью аутистических черт (VAPQ) в группе из 43 участников для ЭЭГ-интервалов с закрытыми глазами между наблюдением своего лица.

Области коры, в которых найдены положительные корреляции АЛЧ со спектральной плотностью ($p < 0.04$), отмечены красным цветом. Наблюдается достоверно положительная ассоциация между АЛЧ и спектральной плотностью в лобных отделах обоих полушарий.

в лобных отделах коры обоих полушарий, т. е. более высокие значения АЛЧ соответствовали большим показателям спектральной плотности. Для условия «пустой экран» достоверность отсутствовала ($p = 0.28640$). Для условия «чужое лицо» ($p = 0.0932$) p -уровень был близок к достоверному значению, но не достигал его.

Обсуждение

Выявление нейрофизиологических маркеров личностных черт, включая черты, ассоциированные с предрасположенностью к болезням, предполагает использование сложного многокомпонентного инструментария для планирования экспериментов, сбора, хранения и анализа данных, сопоставления результатов разных исследований и организацию доступа к разным программам и полученным при их помощи данным. Важная составляющая такого инструментария – возможность разрабатывать и реализовывать новые парадигмы проведения нейрофизиологических исследований. Например, Ц. Сы с коллегами (2024) разработали программный модуль для выявления межнациональных особенностей в процессах самоотношения информации к самому испытуемому или другим людям, имеющих существенное значение для поиска маркеров депрессии.

В рамках поиска маркеров предрасположенности к психиатрическим расстройствам важными задачами являются реконструкция и анализ генных сетей, лежащих в основе

регуляции психоэмоциональных состояний у человека и животных (Savostyanov, Makarova, 2024). Пример модуля, нацеленного на реконструкцию и сопоставление генных сетей личностной тревожности у мышей и человека, описан в статье В.А. Савостьянова и А.А. Макаровой (Savostyanov, Makarova, 2024). Благодаря этому модулю могут быть выявлены структуры головного мозга, в которых обнаруживается дифференциальная экспрессия генов у животных, различающихся по своему уровню личностной тревожности. В дальнейшем такие структуры могут быть рассмотрены в качестве областей интереса для нахождения нейрофизиологических маркеров тревожного расстройства у человека.

Была проведена апробация информационно-программного блока “EEG_AutisticTrait” для выявления нейрофизиологических маркеров аутистических личностных черт. При использовании специальной платформы Yandex было осуществлено комплексное тестирование участников с помощью нескольких опросников, включая тесты на индивидуальную выраженность АЛЧ (русская версия теста VAPQ). Значение альфа Кронбаха для разных вопросов теста VAPQ оказалось равным 0.83, что говорит о достаточно высокой внутренней согласованности этого теста. Также были найдены отрицательные корреляции АЛЧ с экстраверсией, эмоциональным интеллектом и важностью семейных ценностей и положительные корреляции между АЛЧ и тревожностью, что хорошо согласуется с общим представлением психологов об аутистических чертах.

На нейрофизиологическом уровне были обнаружены положительные корреляции между АЛЧ и спектральной плотностью в диапазонах дельта- и тета-ритма для экспериментального условия, ассоциированного с самореференцией визуальной информации, но не было установлено достоверных взаимосвязей при условиях, следующих за просмотром социально нейтрального стимула (пустой экран), или информации, отнесенной к другим людям. Согласно литературным данным (Кнуязев, 2007), высокие фоновые значения спектральной плотности дельта- и тета-ритма чаще всего интерпретируются как индикатор сниженной функциональной активности мозга. При таком подходе наши результаты могут быть гипотетически объяснены как коррелят пониженной активности мозга в условиях, следующих за предъявлением самоотнесенной информации, у людей с высокими аутистическими чертами в сравнении с людьми с низким уровнем аутистичности.

Существенно, что мы выявили нейрофизиологические корреляты АЛЧ только для самореферентного условия. В социально нейтральном условии какие-либо тенденции к зависимости между АЛЧ и мозговой активностью полностью отсутствовали, тогда как для условия «чужое лицо»

наблюдалась маргинальная статистическая тенденция к достоверности результата. Можно допустить, что ЭЭГ-активность покоя у неклинических испытуемых слабо ассоциирована с их уровнем аутистичности, что объясняет неудачу предыдущих попыток найти какие-либо взаимосвязи АЛЧ с фоновой ЭЭГ у таких участников. Однако просмотр видеозаписей, отнесенных к самому участнику (и в меньшей степени к другим людям), активирует в головном мозге процессы, связанные с распознаванием социально значимой информации, что делает ЭЭГ-показатели более зависимыми от АЛЧ, чем в случае просмотра социально нейтральных стимулов.

Заключение

Предлагаемый нами подход основан на интеграции психологических и нейрофизиологических методов сбора и анализе данных. В дальнейшем предполагается провести исследование зависимости АЛЧ от генетических особенностей испытуемых. Также желательно изучить влияние уровня экспрессии различных генов в головном мозге на выраженность личностных черт. Строгая количественная оценка уровня экспрессии генов в головном мозге не может быть выполнена на живом человеке, что предполагает необходимость совмещения данных, полученных на людях и на экспериментальных животных (Savostyanov, Makarova, 2024). Такое исследование требует разработки особого инструментария для накопления, хранения и анализа данных, который будет создан на базе платформы «Биоинформатика и системная компьютерная биология». В дальнейшем этот инструментарий может быть применен для изучения нейрофизиологических коррелятов различных личностных черт у людей без клинических нарушений и при патологиях, что даст возможность проводить новые комплексные исследования в рамках системной нейробиологии.

Список литературы / References

Князев Г.Г., Митрофанова Л.Г., Бочаров А.В. Валидизация русскоязычной версии опросника Л. Голдберга «Маркеры факторов “Большой пятерки”» *Психол. журнал.* 2010;31(5): 100-110 [Knyazev G.G., Mitrofanova L.G., Bocharov A.V. Validation of Russian version of Goldberg’s “Big-five factor markers” inventory. *Psikhologicheskii Zhurnal.* 2010;31(5):100-110 (in Russian)]

Князев Г.Г., Митрофанова Л.Г., Разумникова О.М., Барчард К. Адаптация русскоязычной версии «Опросника эмоционального интеллекта» К. Барчард. *Психол. журнал.* 2012;33(4): 112-120 [Knyazev G.G., Mitrofanova L.G., Razumnikova O.M., Barchard K. Adaptation of Russian language version of K. Barchard’s Emotional Intelligence Questionnaire. *Psikhologicheskii Zhurnal.* 2012;33(4): 112-120 (in Russian)]

Савостьянов А.Н., Вергунов Е.Г., Сапрыгин А.Е., Лебедкин Д.А. Апробация технологии оценки мимики лиц для изучения динамики функциональных состояний человека в ЭЭГ-парадигме покоя. *Вавиловский журнал генетики и селекции.* 2022;26(8): 765-772. doi 10.18699/VJGB-22-92 [Savostyanov A.N., Vergunov E.G., Saprygin A.E., Lebedkin D.A. Validation of a face image assessment technology to study the dynamics of human functional states in the EEG resting-state paradigm. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding.* 2022;26(8):765-772. doi 10.18699/VJGB-22-92]

Сы Ц., Тянь Ц., Савостьянов В.А., Лебедкин Д.А., Бочаров А.В., Савостьянов А.Н. Сопоставление показателей мозговой актив-

ности у китайских и российских студентов в условиях распознавания информации, отнесенной к себе и другим людям. *Вавиловский журнал генетики и селекции.* 2024;28(8):982-992. doi 10.18699/vjgb-24-105 [Si Q., Tian J., Savostyanov V.A., Lebedkin D.A., Bocharov A.V., Savostyanov A.N. Comparison of brain activity indexes in the Chinese and Russian students under recognition of self- and other-related information. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding.* 2024;28(8):982-992. doi 10.18699/vjgb-24-105]

Ханин Ю.Л. Краткое руководство к шкале реактивной и личностной тревожности Ч.Д. Спилберга. Л.: ЛНИИФК, 1976 [Khanin Yu.L. Quick Guide to C.D. Spielberger’s Scale of State and Trait Anxiety. Leningrad, 1976. (in Russian)]

Baron-Cohen S. The extreme male brain theory of autism. *Trends Cogn. Sci.* 2002;6(6):248-254. doi 10.1016/s1364-6613(02)01904-6

Baron-Cohen S. Autism: the empathizing-systemizing (E-S) theory. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 2009;1156:68-80. doi 10.1111/j.1749-6632.2009.04467.x

Cross S.E., Bacon P.L., Morris M.L. The relational-interdependent self-construal and relationships. *J. Pers. Soc. Psychol.* 2000;78(4): 791-808

Delorme A., Makeig S. EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *J. Neurosci. Methods.* 2004;134(1):9-21. doi 10.1016/j.jneumeth.2003.10.009

Fanelli G., Robinson J., Fabbri C., Bralten J., Mota N.R., Arenella M., Sprooten E., Franke B., Kas M., Andlauer T.F., Serretti A. Shared genetics linking sociability with the brain’s default mode network. *medRxiv.* [Preprint]. 2024. May 25:2024.05.24.24307883. doi 10.1101/2024.05.24.24307883

Frith U. Asperger and his syndrome. In: Frith U. (Ed.). *Autism and Asperger Syndrome.* Cambridge University Press, 1991;1-36

Genovese A., Butler M.G. The autism spectrum: behavioral, psychiatric and genetic associations. *Genes (Basel).* 2023;14(3):677. doi 10.3390/genes14030677

Georgiades S., Bishop S.L., Frazier T. Editorial perspective: longitudinal research in autism – introducing the concept of ‘chronogeneity’. *J. Child Psychol. Psychiatry.* 2017;58:634-636. doi 10.1111/jcpp.12690

Harikumar A., Evans D.W., Dougherty C.C., Carpenter K.L.H., Michael A.M. A review of the default mode network in autism spectrum disorders and attention deficit hyperactivity disorder. *Brain Connect.* 2021;11(4):253-263. doi 10.1089/brain.2020.0865

Harms M.B., Martin A., Wallace G.L. Facial emotion recognition in autism spectrum disorders: a review of behavioral and neuroimaging studies. *Neuropsychol. Rev.* 2010;20(3):290-322. doi 10.1007/s11065-010-9138-6

Hurley L., Parlier M., Reznick J., Piven J. The broad autism phenotype questionnaire. *J. Autism Dev. Disord.* 2007;37(9):1679-1690. doi 10.1007/s10803-006-0299-3

Ivanov R., Kazantsev F., Zavarzin E., Klimenko A., Milakhina N., Matushkin Y.G., Savostyanov A., Lashin S. ICBRAINDB: An integrated database for finding associations between genetic factors and EEG markers of depressive disorders. *J. Pers. Med.* 2022;12(1):53. doi 10.3390/jpm12010053

Knyazev G.G. Motivation, emotion, and their inhibitory control mirrored in brain oscillations. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2007;31(3): 377-395. doi 10.1016/j.neubiorev.2006.10.004

Lavenne-Collet N., Tersiguel M., Dissaux N., Degrez C., Bronsard G., Botbol M., Berthoz A. Self/other distinction in adolescents with autism spectrum disorder (ASD) assessed with a double mirror paradigm. *PLoS One.* 2023;18(3):e0275018. doi 10.1371/journal.pone.0275018

Lin M., Wang Y., Lopez-Naranjo C., Hu S., Reyes R.C.G., Paz-Linares D., Arecas-Gonzalez A., Hamid A.I.A., Evans A.C., Savostyanov A.N., Calzada-Reyes A., Villringer A., Tobon-Quinero C.A., Garcia-Agustin D., Yao D., Dong L., Aubet-Vazquez E., Reza F.,

- Razzaq F.A., Omar H., Abdullah J.M., Galler J.R., Ochoa-Gomez J.F., Prichep L.S., Galan-Garcia L., Morales-Chacon L., Valdes-Sosa M.J., Trondle M., Zulkifly M.F.M., Rahman M.R.B.A., Milakhina N.S., Langer N., Rudych P., Koenig T., Virues-Alba T.A., Lei X., Bringas-Vega M.L., Bosch-Bayard J.F., Valdes-Sosa P.A. Harmonized-Multinational qEEG norms (HarMNqEEG). *NeuroImage*. 2022;256:119190. doi 10.1016/j.neuroimage.2022.119190
- Lovaas O.I. Behavioral treatment and normal educational and intellectual functioning in young autistic children. *J. Consult. Clin. Psychol.* 1987;55(1):3-9. doi 10.1037/0022-006x.55.1.3
- Murray K., Johnston K., Cunnane H., Kerr Ch., Spain D., Gillan N., Hammond N., Murphy D., Happe F. A new test of advanced theory of mind: The "Strange Stories Film Task" captures social processing differences in adults with autism spectrum disorders. *Autism Res.* 2017;10(6):1120-1132. doi 10.1002/aur.1744
- Northoff G., Heinzl A., De Greck M., Bempohl F., Dobrowolny H., Panksepp J. Self-referential processing in our brain – a meta-analysis of imaging studies on the self. *NeuroImage*. 2005;31(1):440-457. doi 10.1016/j.neuroimage.2005.12.002
- Pascual-Margui R.D. Standardized low-resolution brain electromagnetic tomography (sLORETA). Technical details. *Methods Find. Exp. Clin. Pharmacol.* 2002;24(Suppl. D):5-12
- Piven J., Palmer P., Jacobi D., Childress D., Arndt S. Broader autism phenotype: evidence from a family history study of multiple-incidence autism families. *Am. J. Psychiatry*. 1997;154(2):185-190. doi 10.1176/ajp.154.2.185
- Ronde M., van der Zee E.A., Kas M.J.H. Default mode network dynamics: an integrated neurocircuitry perspective on social dysfunction in human brain disorders. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2024;164:105839. doi 10.1016/j.neubiorev.2024.105839
- Savostyanov V.A., Makarova A.A. Reconstruction and analysis of the gene network for regulation of trait anxiety level in mice by means of ANDSystem software. In: IEEE 25th International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM), Altai, Russian Federation, 2024;2340-2343. doi 10.1109/EDM61683.2024.10615053
- Spielberger C.D., Gorsuch R.L., Lushene R.E. Manual for the State-Trait Anxiety Inventory. Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press, 1970
- Tsai A.C., Savostyanov A.N., Wu A., Evans J.P., Chien V.S.C., Yang H.-H., Yang D.-Y., Liou M. Recognizing syntactic errors in Chinese and English sentences: brain electrical activity in Asperger's syndrome. *Res. Autism Spectr. Disord.* 2013;7(7):889-905. doi 10.1016/j.rasd.2013.02.001
- Tseng Y.L., Yang H.H., Savostyanov A.N., Chien V.S., Liou M. Voluntary attention in Asperger's syndrome: brain electrical oscillation and phase-synchronization during facial emotion recognition. *Res. Autism Spectr. Disord.* 2015;13-14:32-51. doi 10.1016/j.rasd.2015.01.003

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 28.10.2024. После доработки 12.11.2024. Принята к публикации 13.11.2024.