

ЭЭГ-КОРРЕЛЯТЫ ОСОБЕННОСТЕЙ ВОСПРИЯТИЯ ТАКТИЛЬНЫХ СТИМУЛОВ У ДЕТЕЙ С РАССТРОЙСТВАМИ АУТИСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА

DOI: 10.17691/stm2019.11.1.20

УДК 616.896–053.2–073.7

Поступила 22.12.2018 г.

© **Г.В. Портнова**, к.б.н., старший научный сотрудник лаборатории высшей нервной деятельности человека¹;
F.P. McGlone, Professor of the School of Natural Sciences and Psychology²;
О.А. Танькина, нейропсихолог³;
И.В. Скороходов, зав. лабораторией нейрочувствительных исследований⁴;
И.Л. Шпицберг, руководитель по научно-методической работе⁴;
А.А. Варламов, к.б.н., руководитель Центра нейрореконструктивных исследований⁵

¹Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, ул. Бултерова, 5а, Москва, 117485;

²Liverpool John Moores University, Tithebarn St., Liverpool, L2 2QP, United Kingdom;

³Научно-практический центр психического здоровья детей и подростков им. Г.Е. Сухаревой, 5-й Донской проезд, 21а, Москва, 119334;

⁴Автономная некоммерческая организация «Центр реабилитации инвалидов детства «Наш солнечный мир», Горлов тупик, 11а, Москва, 127055;

⁵Государственный институт русского языка им. А.С. Пушкина, ул. Академика Волгина, 6, Москва, 117485

Цель исследования — изучить изменение мощности ЭЭГ и поведенческих реакций при предъявлении С-тактильной стимуляции у типично развивающихся детей (ТР) и детей с расстройством аутистического спектра (РАС).

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 79 детей (39 с диагнозом РАС и 40 — ТР) в возрасте от 5 до 10 лет. Предварительно все участники прошли психометрическую оценку по шкале CARS. Исследование включало в себя регистрацию фоновой ЭЭГ при открытых глазах в течение 1–2 мин, а также после предъявления тактильной стимуляции трех видов в псевдо-рандомизированной последовательности (поглаживание мягкой кистью, поглаживание жесткой щеточкой и стимуляция игольчатым валиком) с постоянной скоростью 2–5 мм/с на внешней поверхности правого предплечья. Анализировали поведенческие реакции в ответ на предъявление стимуляции с помощью видеорегистрации во время проведения эксперимента. Были отобраны 5 видов поведенческих реакций: 1) расслабление лицевой мимики и позы; 2) сопротивление стимуляции и попытка отдернуть руку; 3) негативные эмоции, плач, крик; 4) положительные эмоции, смех, улыбка; 5) наблюдение за процессом стимуляции. Оценивались показатели спектральной мощности ЭЭГ в 18 поддиапазонах с шириной полосы 1 Гц (2–20 Гц).

Результаты. Исследование позволило выявить два типа реакции на тактильную стимуляцию: первый тип не является специфичным для типа тактильной стимуляции, сопровождается увеличением мощности бета-ритма (16–20 Гц) преимущественно в левом полушарии и характерен больше для детей с РАС; второй тип реакции сопровождается увеличением мощности тета-ритма (4–6 Гц) во фронтальных областях в ответ на стимуляцию С-тактильной системы мягкой кистью и наблюдается только у детей ТР. Первый тип реакции сопровождался негативными эмоциями и попытками отдернуть руку, тогда как второй тип — расслаблением.

Заключение. Реакция детей с РАС на все типы тактильной стимуляции, сопровождаемая увеличением мощности бета-ритма, может быть связана как с их гиперсенситивностью, так и со стрессовой реакцией на экспериментальную ситуацию. Избирательная реакция на стимуляцию С-тактильной системы, сопровождаемая увеличением мощности тета-ритма во фронтальных областях, была выявлена только у контрольной группы (ТР). Результаты данного исследования могут быть использованы для расширения понимания гиперсенситивности у детей с РАС, а также пролить свет на механизмы возникновения данного заболевания.

Ключевые слова: аутизм; С-тактильная система; электроэнцефалография; ЭЭГ; тактильное восприятие; эмоциональная реакция.

Как цитировать: Portnova G.V., McGlone F.P., Tankina O.A., Skorokhodov I.V., Shpitsberg I.L., Varlamov A.A. EEG correlates of tactile perception abnormalities in children with autism spectrum disorder. *Sovremennye tehnologii v medicine* 2019; 11(1): 169–176, <https://doi.org/10.17691/stm2019.11.1.20>

Для контактов: Портнова Галина Владимировна, e-mail: caviter@list.ru

EEG Correlates of Tactile Perception Abnormalities in Children with Autism Spectrum Disorder

G.V. Portnova, PhD, Senior Researcher, Human Higher Nervous Activity Laboratory¹;

F.P. McGlone, Professor of the School of Natural Sciences and Psychology²;

O.A. Tankina, Neuropsychologist³;

I.V. Skorokhodov, Head of the Neurocognitive Research Laboratory⁴;

I.L. Shpitsberg, Head on Research and Methodological Work⁴;

A.A. Varlamov, PhD, Head of the Neurocommunicative Research Center⁵

¹Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology, Russian Academy of Sciences, 5A Butlerova St., Moscow, 117485, Russia;

²Liverpool John Moores University, Tithebarn St., Liverpool, L2 2QP, United Kingdom;

³Scientific and Practical Center for Mental Health of Children and Adolescents named after G.E. Sukhareva, 21A, 5th Donskoy Proezd, Moscow, 119334, Russia;

⁴Rehabilitation Center for Children with Autistic Spectrum Disorders "OUR SUNNY WORLD" (Non-Government, Non-Profit Organization), 11A Gorlov Tupik, Moscow, 127055, Russia;

⁵Pushkin State Russian Language Institute, 6 Akademika Volgina St., Moscow, 117485, Russia

The aim of the investigation was to study the changes in EEG power and behavioral responses to C-tactile stimulation in typically developing (TD) children and children with autism spectrum disorder (ASD).

Materials and Methods. EEG to manually delivered tactile stimuli was recorded for 79 children (ASD=39, TD=40) aged 5 to 10 years. CARS scores were obtained for each participant immediately before the recording session. The study involved recording resting EEG in eyes open condition within 1–2 min and collecting EEG response to tactile stimuli delivered pseudo-randomly for 3 experimental conditions (stroking with a soft brush, stroking with a harsh brush, and stimulation with a spiked roller delivered to the outer side of right forearm, stroking velocity was within 2–5 cm/s). Behavioral responses obtained by video recording during the experiment were assessed and coded. Behavioral responses were classified into 5 patterns: 1) signs of relaxation (facial gesture and body posture); 2) signs of resistance, attempts to withdraw the hand; 3) negative emotions, crying, shouting; 4) positive emotions, smile, laughter; 5) looking at the hand being stimulated. EEG power in 18 narrow frequency bands with a bandwidth of 1 Hz in a range of 2–20 Hz was analyzed.

Results. The study revealed two types of response to tactile stimulation. The first type was not specific for particular tactile stimulation type, was accompanied by an increase in beta power (16–20 Hz) mainly in the left hemisphere and was more common in children with ASD. The second type of response was accompanied by an increase in frontal theta power (4–6 Hz) due to C-tactile system stimulation with a soft brush and was observed only in the TD children. The first type of response was accompanied by negative emotions and attempts to withdraw the hand, while the second type was characterized by relaxation.

Conclusion. The response of children with ASD to all types of tactile stimulation accompanied by an increase in beta power can be associated with both hypersensitivity and stress reaction of these children to the experimental situation. Selective response to C-tactile stimulation accompanied by an increase in frontal theta power has been found in the control group (TD) only. The results of this study can be useful for better understanding of hypersensitivity in children with ASD and gaining insight into the mechanisms of the disease.

Key words: autism; C-tactile system; EEG; tactile perception; emotional reaction.

Введение

Расстройства аутистического спектра (РАС) — одно из самых распространенных психиатрических заболеваний детского возраста. Хотя аутизм обычно рассматривается в первую очередь как нарушение коммуникации и поведения, для него также характерны нарушения сенсорного восприятия [1]. В настоящее время этот аспект приобретает все большую значимость, так как этиологические и патогенетические механизмы РАС до сих пор остаются неустановленными. Особый интерес вызывают нарушения тактильного восприятия, так как они одновременно широко распространены (до 65% родителей детей с аутизмом

сообщают о тактильной гиперчувствительности [2]) и сравнительно мало изучены [3].

Первой причиной развития аутизма у детей считался недостаток внимания со стороны матери (теория «мать-холодильник») [4]. Эта теория была опровергнута, но в последнее время интерес к ней возобновляется в новом ключе. В 1988 г. было установлено существование С-тактильной системы у человека [5]. Эта система представлена медленными немиелинизированными волокнами, окончания которых реагируют на мягкое прикосновение и медленное поглаживание, и обрабатывает эмоционально значимые прикосновения, в том числе — социальные тактильные контакты [6]. Известно, что лица

с РАС зачастую находят подобного рода ощущения неприятными и избегают их [7], поэтому некоторые исследователи предпринимают попытки к установлению связи между функционированием С-тактильной системы и аутичным поведением у животных и людей [6].

Существуют также теория о роли задней порции верхней височной борозды (pSTS) как единого субстрата для психических функций, которые бывают нарушены у людей с РАС (социальное восприятие, наблюдение действия), и теория психического (Theory of Mind) [8]. pSTS также вовлечена в обработку С-тактильной стимуляции [9], но ее активация при медленном поглаживании значительно менее выражена у лиц с РАС [10]. Эти данные подтверждают теорию о нарушении функционирования С-тактильной системы как потенциального звена патогенетического механизма РАС [9].

Цель исследования — изучить изменение мощности ЭЭГ и поведенческих реакций при предъявлении С-тактильной стимуляции у типично развивающихся детей и детей с расстройством аутистического спектра.

Материалы и методы

Для изучения особенностей функционирования С-тактильной системы у детей с аутизмом выбран метод ЭЭГ. Неинвазивность и низкая степень ограничения мобильности делают его предпочтительным при проведении исследования с участием детей или других лиц с ослабленным контролем поведения. В аспекте поставленных целей были отобраны три вида стимулов, соответствующих различным типам тактильного воздействия: мягкая кисть для стимуляции С-тактильной системы [11], а также жесткая щеточка и роллер в качестве контрольных стимулов. При помощи метода видеорегистрации подробно изучена поведенческая реакция детей на данные стимулы.

Участники исследования. В исследовании были задействованы 79 детей, 39 из них (29 мальчиков, 10 девочек) имели диагноз «расстройство аутистического спектра» (РАС, F84), возраст составил $6,8 \pm 2,6$ года. Диагноз был установлен в Научно-практическом центре психического здоровья детей и подростков им. Г.Е. Сухаревой. Перед исследованием испытуемым с РАС выполнена психометрическая оценка по шкале CARS [12], средний балл — 37,3; SD=5,9. Контрольную группу (типично развивающиеся, TP) составили 40 детей (24 мальчика, 16 девочек) в возрасте $7,2 \pm 2,9$ года. Для оценки уровня умственного развития была использована невербальная шкала теста Векслера (WPPSI) [13] в связи с тем, что большинство детей в группе РАС не имели достаточного уровня речевого развития для проведения полной версии теста. Средняя оценка невербального интеллекта в группе РАС — $102,9 \pm 2,8$ балла, в группе TP — $106,0 \pm 2,5$ балла.

Критерий исключения — наличие сопутствующих

неврологических и психических заболеваний в анамнезе. Родители или законные представители каждого ребенка подписали информированное согласие на проведение исследования. Работа была одобрена этическим комитетом Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН.

Регистрация ЭЭГ. Все записи были выполнены на базе центра практической психологии «Эквалайс» (Москва). До начала эксперимента детям предоставлялось время на то, чтобы познакомиться с кабинетом и процедурой. Запись ЭЭГ осуществляли на ноутбуке с предустановленным программно-методическим обеспечением «Энцефалан» («Медиком МТД», Россия) по 19 электродам, расположенным в соответствии с международной системой 10–20% (Fp1, Fp2, F7, F3, Fz, F4, F8, T3, C3, Cz, C4, T4, T5, P3, Pz, P4, T6, O1, O2) [14]. Сопротивление электродов было менее 10 кОм. Для отслеживания артефактов проводили также регистрацию электроокулограммы.

Процедура эксперимента. Исследование включало в себя регистрацию фоновой ЭЭГ с открытыми (по возможности) глазами в течение 1–2 мин, а также после предъявления тактильной стимуляции. Дети получали три вида тактильной стимуляции: поглаживание мягкой кисточкой («кисть»), поглаживание жесткой щеточкой («щеточка») и стимуляция игольчатым валиком («роллер»). Стимуляцию проводил специально обученный сотрудник с постоянной скоростью (около 2–5 мм/с) на внешней поверхности правого предплечья в течение 10–15 с. Каждый тип стимуляции в псевдорандомизированной последовательности предъявлялся 3–4 раза.

Анализ данных ЭЭГ. На этапе предварительной обработки данных глазодвигательные артефакты были удалены программным обеспечением «Энцефалан» в соответствии с данными электроокулограммы. Участки с мышечными и другими артефактами были удалены вручную после экспертной оценки.

После устранения артефактов ЭЭГ была разделена на 18 поддиапазонов с шириной полосы 1 Гц (от 2–3 до 19–20 Гц). Спектральная мощность была определена с помощью быстрого преобразования Фурье для каждого поддиапазона, каждого электрода при трех типах тактильной стимуляции и фоновой записи (состояние покоя с открытыми глазами).

Анализ поведенческих реакций. В процессе записи ЭЭГ при помощи видеокамеры регистрировали реакцию детей на стимуляцию. При анализе данных были отобраны 5 видов поведенческих реакций: 1) расслабление лицевой мимики и позы; 2) сопротивление стимуляции и попытка отдернуть руку; 3) негативные эмоции, плач, крик; 4) положительные эмоции, смех, улыбка; 5) наблюдение за процессом стимуляции — данная поведенческая характеристика рассчитывалась как процентное соотношение между длительностью обращения взора на свою руку во время стимуляции и общим временем стимуляции. Для пунктов 1–4 считалось количество дан-

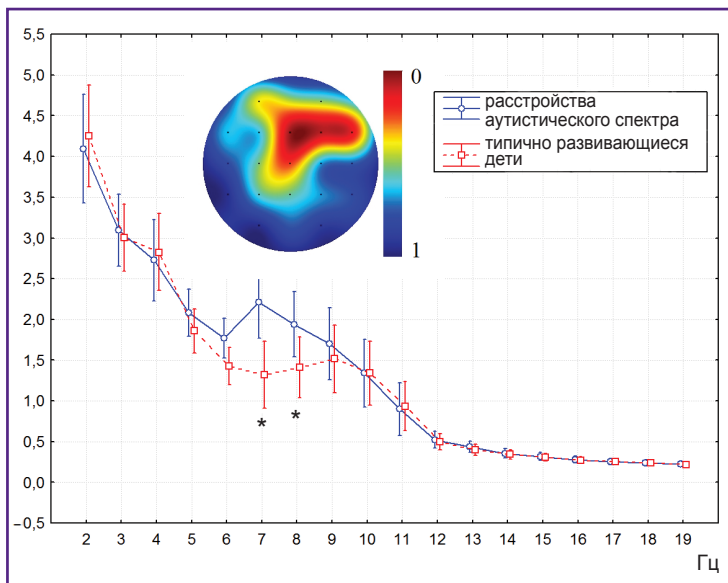


Рис. 1. Нормированные показатели спектральной мощности в диапазоне от 2 до 20 Гц у детей с расстройством аутистического спектра и контрольной группы

* — значимые межгрупповые различия в диапазонах 7–8 и 8–9 Гц. Показана топография показателей значимости межгрупповых различий (Fz, F4, F8, Cz); ось Y — нормированный показатель мощности ЭЭГ, усл. ед.

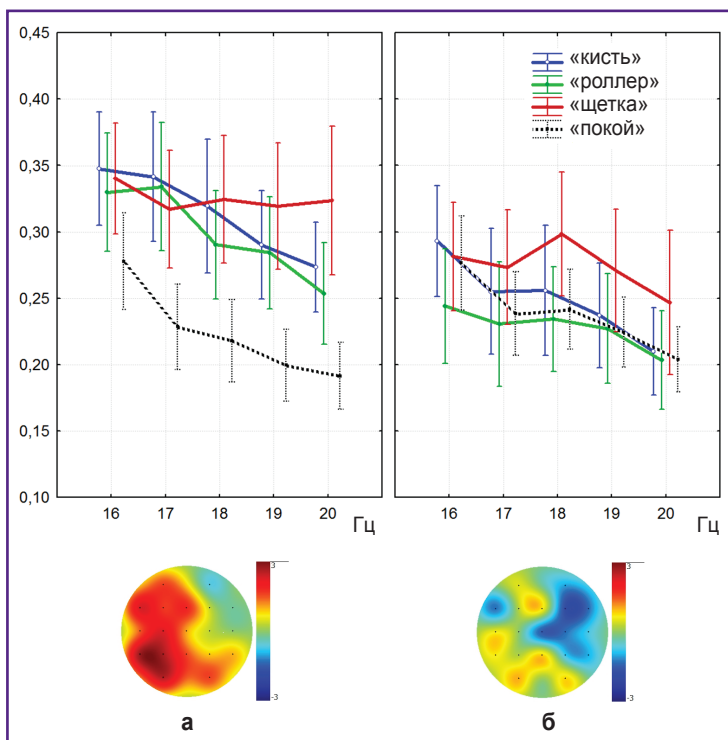


Рис. 2. Показатели нормированной спектральной мощности в состоянии покоя и при предъявлении трех видов тактильных стимулов у детей с расстройством аутистического спектра (а) и контрольной группы (б)

Указана топография различий между стимулом и фоном (t-значения) на примере стимула «роллер»; ось Y — нормированный показатель мощности ЭЭГ, усл. ед.

ных поведенческих реакций во время той или иной стимуляции.

Статистический анализ данных был выполнен с помощью программы Statistica 8.011. Использовали нормированные показатели спектральной мощности ЭЭГ. Для анализа межгрупповых различий и исследования применяли дисперсионный анализ (ANOVA).

Результаты

Спектральная мощность в состоянии покоя. Нормированные показатели спектральной мощности ЭЭГ в диапазоне от 2 до 20 Гц в состоянии покоя с открытыми глазами в группах ТР и РАС не различались ни в одном из анализируемых диапазонов, за исключением диапазона 7–9 Гц в центрально-лобных отведениях, где показатели мощности были значимо больше у детей с РАС ($F(1, 79)=5,6854$; $p=0,0200$; рис. 1).

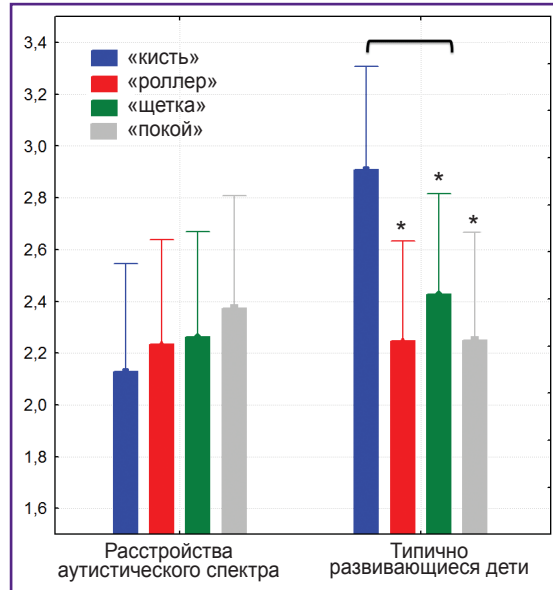
Спектральная мощность во время тактильной стимуляции. Во время тактильной стимуляции для всех видов стимулов у детей с РАС отмечалось значимое увеличение мощности бета-ритма в диапазоне 16–20 Гц в левых теменно-височно-затылочных областях (рис. 2), при этом у контрольной группы подобного увеличения не обнаружено ($F(3, 237)=12,9401$; $p=0,0039$).

При стимуляции кисточкой у детей контрольной группы в отличие от детей с РАС обнаружено значимое увеличение мощности тета-ритма в диапазоне 4–6 Гц во фронтальных областях, больше слева ($F(3, 237)=4,9105$; $p=0,0025$). При других видах тактильной стимуляции подобного увеличения не обнаружено (рис. 3).

Поведенческая реакция детей при тактильной стимуляции. При стимуляции мягкой кистью дети с РАС значимо чаще демонстрировали яркие негативные эмоции, пытались избежать стимуляции. Дети контрольной группы значимо чаще положительно реагировали на данный тип стимуляции. Стимуляция щеткой также воспринималась детьми с РАС скорее негативно, однако они проявляли к ней значимо более выраженный интерес по сравнению со стимуляцией кистью, а также более пристально наблюдали за процедурой по сравнению с группой ТР. Иные результаты установлены при стимуляции роллером. Дети с РАС обнаруживали более выраженный интерес к стимуляции роликом, могли испытывать положительные эмоции, чего не наблюдалось в группе ТР (см. таблицу).

Рис. 3. Межгрупповые различия нормированных показателей спектральной мощности в диапазоне 4–6 Гц, усредненные по отведениям Fz, F3, для трех типов стимуляции и в состоянии покоя

* — сравнивается «кисть» с остальными стимулами и фоном и везде отмечены значимые различия



Различия в поведенческом ответе во время разных типов тактильной стимуляции (M±SD)

Вид стимуляции	Реакция	ТР (n=40)	РАС (n=39)	p
Кисть	Расслабление лицевой мимики и позы, абс. число	1,50±0,98	0	<0,0000
	Соппротивление, попытка отдернуть руку, абс. число	0,11±0,32	2,20±1,67	<0,0000
	Наблюдение за стимуляцией, %	19,50±7,13	85,56±11,92	<0,0000
	Негативные эмоции, плач, крик, абс. число	0	2,0±1,5	<0,0000
	Положительные эмоции, смех, улыбка, абс. число	0,89±0,83	0,10±0,30	0,0003
Щетка	Расслабление лицевой мимики и позы, абс. число	0,39±0,60	0	0,007
	Соппротивление, попытка отдернуть руку, абс. число	0,17±0,38	2,10±1,33	<0,0000
	Наблюдение за стимуляцией, %	19,90±7,30	85,70±12,68	<0,0000
	Негативные эмоции, плач, крик, абс. число	0,05±0,23	2,35±1,66	<0,0000
	Положительные эмоции, смех, улыбка, абс. число	0,22±0,42	0	0,025
Роллер	Расслабление лицевой мимики и позы, абс. число	0	0	—
	Соппротивление, попытка отдернуть руку, абс. число	0,94±0,99	2,20±1,50	0,006
	Наблюдение за стимуляцией, %	41,17±15,79	87,30±10,68	<0,0000
	Негативные эмоции, плач, крик, абс. число	1,0±0,84	2,45±1,50	0,0009
	Положительные эмоции, смех, улыбка, абс. число	0	0,05±0,22	0,34

Примечание. Сравнение проводилось при помощи критерия Манна–Уитни.

Корреляция поведенческих ответов с ЭЭГ. Корреляционный анализ между поведенческими показателями и изменениями мощности электрической активности при предъявлении того или иного вида тактильной стимуляции, проведенный по всем испытуемым, позволил выявить ряд значимых результатов.

Так, в группе РАС разница мощности бета-ритма (16–20 Гц) в левых отведениях Fp1, F3, Fz, P3, С3 при стимуляции мягкой кистью («кисть»–«фон») коррели-

ровала с количеством вскрикиваний (вскрикивания, негативные эмоции, плач, хныканье) во время прикосновения ($r>0,45$; $p<0,05$) и обратно коррелировала с расслаблением мимики и позы ($r<-0,41$; $p<0,05$). Подобная корреляционная связь была обнаружена также для условий «роллер»–«фон» (разница мощности бета-ритма 16–20 Гц в левых отведениях Fp1, F3, P3, С3, О1 коррелировала с количеством вскрикиваний во время прикосновения ($r>0,42$; $p<0,05$)) и для условий «щетка»–«фон» (разница мощности бета-ритма

16–20 Гц коррелировала с количеством вскрикиваний во время прикосновения в отведениях Fp1, F3, Fz, T3, P3, T5, C3, Pz, O1 и с попыткой отдернуть руку в отведениях F3, Fz, T3, P3, C3, Pz) ($r>0,42$; $p<0,05$). Разница мощности тета-ритма 4–6 Гц в отведениях F3, Fz при стимуляции мягкой кистью («кисть»–«фон») коррелировала с расслаблением лицевой мимики и позы ($r>0,48$; $p<0,05$) и проявлениями положительных эмоций ($r>0,41$; $p<0,05$).

Обсуждение

Полученные результаты позволили подтвердить известные ранее представления об особенностях энцефалограммы в состоянии покоя у лиц с РАС. В частности, выявленные нами групповые различия фоновой электрической активности мозга в диапазоне 7–9 Гц подтверждают данные об относительном увеличении мощности ритма в этом диапазоне у лиц с РАС [15]. Отсутствие других значимых межгрупповых различий фоновой ЭЭГ свидетельствует о соответствии исследуемых групп детей по возрасту [16] и уровню интеллектуального развития [17] и позволяет судить о достоверности полученных групповых различий при предъявлении тактильной стимуляции.

Применение предложенной в исследовании парадигмы предъявления тактильной стимуляции позволило выявить ряд особенностей тактильного восприятия у детей с РАС. Так, было установлено, что у этих детей при предъявлении всех видов тактильных стимулов отмечалось значимое увеличение мощности бета-ритма в левом полушарии, в то время как у контрольной группы данные изменения были значительно менее выражены. Поведенческие реакции также подтверждают полученные на ЭЭГ различия между детьми. В частности, дети контрольной группы демонстрировали положительные эмоции при предъявлении кисточки с мягкой щетиной и роллера, а нейтральные или даже отрицательные — при предъявлении жесткой щетки. У детей с РАС поведенческие реакции практически не отличались в зависимости от типа стимула и были ориентировочными, нейтральными или отрицательными.

Согласно литературным данным, увеличение мощности бета-ритма служит универсальным показателем сенсомоторной активации и интенции к движению [18, 19], что является ожидаемой реакцией при тактильном прикосновении, особенно неожиданном. При этом увеличение мощности бета-ритма также может свидетельствовать о негативной эмоциональной реакции в ответ на воздействие [20]. Таким образом, выявленная нами реакция у детей с РАС на тактильную стимуляцию может быть проявлением защитной реакции.

Данное объяснение тем не менее является не единственным: в частности, анализируя видеоролики, мы заметили, что дети с РАС склонны фиксировать свой взор на своем предплечье во время его стиму-

ляции, и предположили, что увеличение мощности бета-ритма, как это было отмечено и в других исследованиях [21], может свидетельствовать об усилении когнитивной активности у детей с аутизмом. Тем более есть данные, что увеличение мощности бета-ритма также является показателем внимания и концентрации у детей с РАС [22].

Таким образом, полученные нами результаты позволяют предположить, что установленные межгрупповые различия изменения мощности бета-ритма обусловлены выраженным эмоциональным и когнитивным ответом на тактильную стимуляцию у детей с РАС. Эти результаты согласуются с информацией о наличии более выраженной реакции лиц с РАС на неприятную тактильную стимуляцию, а также о гиперсенситивности к тактильным стимулам, предъявление которых вызывает негативные эмоции [23–25]. Кроме того, исследователи, изучающие эмоциональную реакцию в ответ на тактильную стимуляцию, обнаружили, что значимые изменения спектральной мощности ЭЭГ на частоте бета-ритма соответствуют выраженности эмоционального ответа на стимул [26].

Помимо неспецифической реакции на С-тактильную стимуляцию, которую мы наблюдали преимущественно у детей с РАС, у детей контрольной группы была обнаружена специфическая реакция на стимуляцию мягкой кистью. Изменения ЭЭГ при данном виде стимуляции проявлялись в увеличении мощности тета-ритма во фронтальных областях мозга и сочетались с поведенческой реакцией расслабления. Регистрируемая реакция в ответ на приятный тактильный стимул соответствует полученным ранее данным о том, что изменение электрической активности на частоте тета-ритма можно рассматривать в качестве ЭЭГ-коррелята приятного тактильного ощущения [27]. Более того, увеличение мощности тета-ритма во фронтальных областях при предъявлении тактильной стимуляции также описывалось и другими исследователями [28].

Отсутствие реакции, сопровождаемой приятными ощущениями, в ответ на стимуляцию С-тактильной системы у детей с аутизмом может быть связано с различными факторами. В частности, у людей с РАС отмечают выраженную вариабельность нарушений сенсорного восприятия, в частности гиперсенситивности [29], что затрудняет сравнение результатов различных исследований и генерализацию выводов. Кроме того, изучение С-тактильной системы свидетельствует о различной скорости созревания реакции префронтальной коры на С-тактильную стимуляцию [30], что приводит к трудностям распознавания приятного тактильного стимула. Другой причиной отсутствия увеличения тета-ритма у детей с РАС может служить их защитная ориентировочная реакция на все виды тактильных стимулов, связанная с повышенной к ним чувствительностью, а также невозможностью расслабиться в потенциально «угрожающей» экспериментальной ситуации.

Заключение

Избирательная реакция на стимуляцию С-тактильной системы, наблюдаемая только у контрольной группы детей, проявилась на ЭЭГ увеличением мощности тета-ритма во фронтальных областях и сопровождалась положительными эмоциями. Увеличение мощности бета-ритма, сопровождаемое негативными эмоциями у детей с РАС при предъявлении всех видов тактильной стимуляции, может быть связано как с их гиперсенситивностью, так и со стрессовой реакцией на экспериментальную ситуацию. Результаты данного исследования могут быть использованы для расширения понимания гиперсенситивности у детей с РАС, а также пролить свет на механизмы возникновения данного заболевания.

Финансирование исследования. Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного задания, проект 25.9502.2017/БЧ «Кросс-культурное исследование тактильной коммуникации: лингвистические, социальные и психоэмоциональные аспекты».

Конфликт интересов отсутствует.

Литература/References

- DiCicco-Bloom E., Lord C., Zwaigenbaum L., Courchesne E., Dager S.R., Schmitz C., Schultz R.T., Crawley J., Young L.J. The developmental neurobiology of autism spectrum disorder. *J Neurosci* 2006; 26(26): 6897–6906, <https://doi.org/10.1523/jneurosci.1712-06.2006>.
- Tomchek S.D., Dunn W. Sensory processing in children with and without autism: a comparative study using the short sensory profile. *Am J Occup Ther* 2007; 61(2): 190–200, <https://doi.org/10.5014/ajot.61.2.190>.
- Marco E.J., Hinkley L.B.N., Hill S.S., Nagarajan S.S. Sensory processing in autism: a review of neurophysiologic findings. *Pediatric Research* 2011; 69(5 Part 2): 48R–54R, <https://doi.org/10.1203/PDR.0b013e3182130c54>.
- Kanner L. Problems of nosology and psychodynamics of early infantile autism. *Am J Orthopsychiatry* 1949; 19(3): 416–426, <https://doi.org/10.1111/j.1939-0025.1949.tb05441.x>.
- Johansson R.S., Trulsson M., Olsson K.Å., Westberg K.-G. Mechanoreceptor activity from the human face and oral mucosa. *Exp Brain Res* 1988; 72(1): 204–208, <https://doi.org/10.1007/bf00248518>.
- McGlone F., Wessberg J., Olausson H. Discriminative and affective touch: sensing and feeling. *Neuron* 2014; 82(4): 737–755, <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2014.05.001>.
- Baranek G.T. Autism during infancy: a retrospective video analysis of sensory-motor and social behaviors at 9–12 months of age. *J Autism Dev Disord* 1999; 29(3): 213–224, <https://doi.org/10.1023/a:1023080005650>.
- Yang D.Y., Rosenblau G., Keifer C., Pelphrey K.A. An integrative neural model of social perception, action observation, and theory of mind. *Neurosci Biobehav Rev* 2015; 51(8): 263–275, <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2015.01.020>.
- Kaiser M.D., Yang D.Y., Voos A.C., Bennett R.H., Gordon I., Pretzsch C., Beam D., Keifer C., Eilbott J., McGlone F., Pelphrey K.A. Brain mechanisms for processing affective (and nonaffective) touch are atypical in autism. *Cereb Cortex* 2016; 26(6): 2705–2714, <https://doi.org/10.1093/cercor/bhv125>.
- Bennett R.H., Bolling D.Z., Anderson L.C., Pelphrey K.A., Kaiser M.D. fNIRS detects temporal lobe response to affective touch. *Soc Cogn Affect Neurosci* 2014; 9(4): 470–476, <https://doi.org/10.1093/scan/nst008>.
- Löken L.S., Wessberg J., Morrison I., McGlone F., Olausson H. Coding of pleasant touch by unmyelinated afferents in humans. *Nat Neurosci* 2009; 12(5): 547–548, <https://doi.org/10.1038/nn.2312>.
- Schopler E., Reichler R.J., DeVellis R.F., Daly K. Toward objective classification of childhood autism: Childhood Autism Rating Scale (CARS). *J Autism Dev Disord* 1980; 10(1): 91–103, <https://doi.org/10.1007/bf02408436>.
- Wechsler D. *Wechsler Intelligence Scale for Children: third edition manual*. San Antonio, TX: The Psychological Corporation; 1991.
- Klem G.H., Lüders H.O., Jasper H.H., Elger C. The ten-twenty electrode system of the International Federation. The International Federation of Clinical Neurophysiology. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol Suppl* 1999; 52: 3–6.
- Murias M., Webb S.J., Greenson J., Dawson G. Resting state cortical connectivity reflected in EEG coherence in individuals with autism. *Biol Psychiatry* 2007; 62(3): 270–273, <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2006.11.012>.
- Gasser T., Verleger R., Bächer P., Sroka L. Development of the EEG of school-age children and adolescents. I. Analysis of band power. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1988; 69(29): 91–99, [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(88\)90204-0](https://doi.org/10.1016/0013-4694(88)90204-0).
- Fraga González G., Van der Molen M.J.W., Žarić G., Bonte M., Tijms J., Blomert L., Stam C.J., Van der Molen M.W. Graph analysis of EEG resting state functional networks in dyslexic readers. *Clin Neurophysiol* 2016; 127(9): 3165–3175, <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2016.06.023>.
- Szurhaj W., Derambure P., Labyt E., Cassim F., Bourriez J.L., Isnard J., Guieu J.D., Mauguière F. Basic mechanisms of central rhythms reactivity to preparation and execution of a voluntary movement: a stereoelectroencephalographic study. *Clin Neurophysiol* 2003; 114(1): 107–119, [https://doi.org/10.1016/s1388-2457\(02\)00333-4](https://doi.org/10.1016/s1388-2457(02)00333-4).
- Ohara S., Ikeda A., Kunieda T., Yazawa S., Baba K., Nagamine T., Taki W., Hashimoto N., Mihara T., Shibasaki H. Movement-related change of electrocorticographic activity in human supplementary motor area proper. *Brain* 2000; 123(6): 1203–1215, <https://doi.org/10.1093/brain/123.6.1203>.
- Güntekin B., Başar E. Event-related beta oscillations are affected by emotional eliciting stimuli. *Neurosci Lett* 2010; 483(3): 173–178, <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2010.08.002>.
- Roohi-Azizi M., Azimi L., Heysieattalab S., Aamidfar M. Changes of the brain's bioelectrical activity in cognition, consciousness, and some mental disorders. *Med J Islam Repub Iran* 2017; 31(1): 307–312, <https://doi.org/10.14196/mjiri.31.53>.
- Cowan J., Markham L. EEG biofeedback for the attention problems of autism: a case study. In: *25th annual meeting of the Association for Applied Psychophysiology and Biofeedback*. 1994; p. 12–13.
- Cascio C.J., Moana-Filho E.J., Guest S., Nebel M.B., Weisner J., Baranek G.T., Essick G.K. Perceptual and neural

response to affective tactile texture stimulation in adults with autism spectrum disorders. *Autism Res* 2012; 5(4): 231–244, <https://doi.org/10.1002/aur.1224>.

24. Cascio C.J. Somatosensory processing in neurodevelopmental disorders. *J Neurodev Disord* 2010; 2(2): 62–69, <https://doi.org/10.1007/s11689-010-9046-3>.

25. Guclu B., Tanidir C., Mukaddes N.M. Tactile sensitivity of normal and autistic children. *Somatosens Mot Res* 2007; 24(1–2): 21–33, <https://doi.org/10.1080/08990220601179418>.

26. Singh H., Bauer M., Chowanski W., Sui Y., Atkinson D., Baurley S., Fry M., Evans J., Bianchi-Berthouze N. The brain's response to pleasant touch: an EEG investigation of tactile caressing. *Front Hum Neurosci* 2014; 8: 893, <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00893>.

27. von Mohr M., Crowley M.J., Walthall J., Mayes L.C.,

Pelphrey K.A., Rutherford H.J.V. EEG captures affective touch: CT-optimal touch and neural oscillations. *Cogn Affect Behav Neurosci* 2018; 18(1): 155–166, <https://doi.org/10.3758/s13415-017-0560-6>.

28. Ackerley R., Eriksson E., Wessberg J. Ultra-late EEG potential evoked by preferential activation of unmyelinated tactile afferents in human hairy skin. *Neurosci Lett* 2013; 535: 62–66, <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2013.01.004>.

29. Crane L., Goddard L., Pring L. Sensory processing in adults with autism spectrum disorders. *Autism* 2009; 13(3): 215–228, <https://doi.org/10.1177/1362361309103794>.

30. Björnsdotter M., Gordon I., Pelphrey K.A., Olausson H., Kaiser M.D. Development of brain mechanisms for processing affective touch. *Front Behav Neurosci* 2014; 8: 24, <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2014.00024>.