

УДК 612.8

ОСОБЕННОСТИ ПОНИМАНИЯ РЕЧИ У МЛАДШИХ ШКОЛЬНИКОВ С РАС И ИХ СВЯЗЬ С ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ЭЭГ. ЧАСТЬ I

© 2023 г. Е. Ю. Давыдова^{1, 2}, К. Р. Салимова¹ *, Д. В. Давыдов¹, Д. С. Переверзева¹, У. А. Мамохина¹, К. К. Данилина¹, С. А. Тюшкевич¹, Н. Л. Горбачевская¹

¹Федеральный ресурсный центр по организации комплексного сопровождения детей с расстройствами аутистического спектра ФГБОУ ВО МГППУ, Москва, Россия

²ФГБОУ ВО Московский государственный психолого-педагогический университет, Москва, Россия

*E-mail: salimovakr@mgppu.ru

Поступила в редакцию 15.11.2022 г.

После доработки 22.01.2023 г.

Принята к публикации 06.02.2023 г.

Обсуждается проблема гетерогенности расстройства аутистического спектра (РАС) в плане выраженности аутистических проявлений, когнитивных и речевых способностей у детей с различным уровнем функционирования. Представлены результаты комплексного исследования понимания речи на уровне фонологии, лексики, морфосинтаксиса и дискурса у младших школьников с РАС. Выявлена связь выраженности аутистических проявлений социально-коммуникативного характера и невербального IQ с различными аспектами понимания речи. Сравнение структуры выявленных связей в подгруппах детей с разным уровнем функционирования выявило различия между подгруппами, свидетельствующие о различных механизмах нарушений. Показаны особенности спектральных характеристик электроэнцефалограммы (ЭЭГ) у детей с РАС по сравнению с возрастной нормой, и особенности этих характеристик у исследованных подгрупп. Выявлены различия спектральных характеристик ЭЭГ между подгруппами с РАС с разным уровнем функционирования: для подгруппы с менее выраженными нарушениями наблюдается более высокий индекс β_2 -активности, в подгруппе с более выраженными нарушениями — увеличение медленноволновой активности.

Ключевые слова: речевые нарушения, аутизм, расстройства аутистического спектра, ЭЭГ, вербальная коммуникация.

DOI: 10.31857/S0131164622600860, **EDN:** GDDUAN

Понимание речи при РАС. Несмотря на то, что языковые и когнитивные нарушения не являются диагностическими признаками расстройства аутистического спектра (РАС) и могут проявляться в различной степени, исследования речи имеют важное практическое и теоретическое значение. Около 60% детей с РАС имеют сопутствующие языковые нарушения [1] и до 30% детей остаются невербальными или минимально вербальными в дошкольном возрасте [2, 3]. Спектр речевых нарушений при РАС чрезвычайно широк и изучен неравномерно. Большое количество исследований посвящено изучению довербальных коммуникативных аспектов поведения и предикторов речевого развития [4–6]. Другим хорошо разработанным направлением является исследование различных аспектов речи у высокофункциональных лиц с аутизмом [7]. Недостаточная изученность речевых особенностей детей младшего и среднего школьного возраста с выраженными аутистическими проявлениями обусловлена, в

первую очередь, тем, что процесс тестирования осложнен из-за нарушений социального взаимодействия, недостаточного понимания инструкций, характерных для этой категории детей [8, 9]. Вместе с тем, именно трудности восприятия и понимания речи часто регистрируются у детей с РАС. И речь идет не только о задержке развития речи, но и о качественном своеобразии различных аспектов речи. Было показано, что характерное для детей с типичным развитием преобладание навыков рецептивной речи над экспрессивной у детей с РАС выражено гораздо меньше [5, 10]. По данным А. Goodwin, РАС является одной из причин медленного расширения речевого репертуара у детей [11]. Исследование пассивного словарного запаса у детей до 5 лет выявило наличие группы слов, которые лучше понимаются детьми с РАС и группы слов, в понимании которых имеют преимущество дети с типичным развитием [12], что еще раз подчеркивает важность изучения понимания речи, как фактора, влияющего на резуль-

таты оценки большинства проб. Гетерогенность проявлений речевых нарушений свидетельствует об актуальности комплексного исследования особенностей понимания речи у детей с различным уровнем функционирования и степенью выраженности проявлений аутизма.

Нейрофизиологические исследования речи в норме и при РАС. Данные многочисленных исследований отдельных компонентов речевой функции нейрофизиологическими методами свидетельствуют об отличиях практически на каждом уровне анализа: от обнаружения и различения отдельных звуков речи до понимания слов и предложений. Так в исследованиях характеристик связанных с событиями потенциалов с использованием парадигмы пассивного прослушивания было выявлено замедление дифференциации речевых стимулов у детей с РАС относительно нормы. Однако специфика выявленных различий варьировала в зависимости от задач и характеристик группы, причем наибольшая выраженность различий в показателях мозговой активности наблюдалась у детей младшего возраста и при более сложных формах речи [13]. Анализ лингвистической информации — сложный процесс, нейрофизиологические исследования особенностей понимания и порождения речи показывают, что во время речевой деятельности активируются как сенсорные, так и моторные области головного мозга [14]. В этом контексте информативными для исследования восприятия речи на электроэнцефалограмме (ЭЭГ) могут быть параметры сенсомоторного ритма [15].

В группе РАС речевые нарушения возникают на этапах раннего развития ребенка и затрагивают различные уровни речевого взаимодействия: прелингвистическое взаимодействие, понимание обращенной речи, этап звуковой имитации, развитие речевого гнозиса и др. [16]. Имеются данные, что при типичном развитии онтогенез речевой системы связан с развитием системы зеркальных нейронов [15]. Поскольку показано, что при РАС может быть нарушена работа системы зеркальных нейронов, которая на ЭЭГ проявляется в виде измененных характеристик μ -ритма [17], речевые нарушения в этой группе также могут проявляться в том числе измененными характеристиками μ -ритма, в частности отсутствии десинхронизации или изменениями частоты/локализации.

В исследовании *Y. Xiao et al.* оценивали восприятие эмоционально окрашенной речи у младенцев с РАС и типично развивающихся детей совместно с регистрацией функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) [18]. Было показано снижение реактивности височных зон коры головного мозга у детей с РАС при предъявлении речевых стимулов. Авторы предположили, что нарушение развития височных корковых си-

стем, которые в норме реагируют на аффективную речь родителей, а также дефицит социальных и коммуникативных особенностей у детей с РАС обуславливали снижение поведенческого предпочтения речи матери. Эти данные могут быть важны в понимании нейробиологической основы ранних речевых нарушений в этой группе.

Исследования вызванных потенциалов у детей с РАС выявили, что нарушения в нейронных системах, которые отвечают за произвольную ориентацию на изменения звуков, могут быть специфическими для обработки речевых стимулов у детей с РАС [19]. Также было показано, что речевые нарушения у детей с РАС могут быть связаны со сниженным уровнем обработки эмоционально окрашенной речи [20].

В литературе имеется достаточное количество работ, посвященное исследованиям речи с помощью электроэнцефалограммы (ЭЭГ), однако в большинстве из них нейрофизиологическая основа речевого взаимодействия изучается с помощью вызванных потенциалов. В настоящей работе использовали количественную оценку параметров электроэнцефалограммы совместно с оценкой речевых навыков у детей с РАС.

Целью настоящей работы было изучение особенностей понимания речи у младших школьников с РАС. Учитывая выраженную гетерогенность группы РАС по комплексу параметров была выдвинута гипотеза о наличии подгрупп, отличающихся по комплексу показателей когнитивного развития и параметрам биоэлектрической активности головного мозга внутри исследуемой группы. Работа включала задачи: оценку уровня понимания речи у младших школьников с РАС по фонологическому, лексическому, морфосинтаксическому и дискурсивному параметрам в целом и в подгруппах с разным уровнем функционирования; сопоставление показателей понимания речи с данными обследования интеллекта и выраженностью и спецификой аутистических проявлений; анализ показателей биоэлектрической активности мозга, характерных для подгрупп детей с РАС в сравнении с возрастной нормой.

МЕТОДИКА

В исследовании принимали участие 45 детей (37 мальчиков, 8 девочек), обучающихся в начальной школе для детей с РАС (школа ФРЦ МГППУ “РАССВЕТ”, г. Москва) по адаптированным основным образовательным программам (АООП) 8.1 и 8.2. Выборка была разделена на две подгруппы в соответствии с вариантом образовательной программы, рекомендованным психолого-медико-педагогическим консилиумом (ПМПК). Группа 8.1 (рекомендована детям с РАС, достигающим к началу обучения возрастных показателей развития),

Таблица 1. Распределение участников исследования по диагностическим группам в экспериментальных подгруппах

Программа обучения диагн. группа (по <i>ADOS-2</i>)	8.1 (средний возраст 10.42 станд. откл. 0, 746)	8.2 (средний возраст 10.30 станд. откл. 1, 225)	Всего
Аутизм	16	21	37
Спектр	4	4	8
Всего	20	25	45

группа 8.2 (рекомендована детям с РАС, не достигающим к началу обучения возрастных показателей развития).

Распределение в группы 8.1. и 8.2 осуществлялось на основании рекомендаций ПМПК и соответствовало реализуемой программе. Возраст испытуемых составлял 8–12 лет (табл. 1), у всех детей диагноз “аутизм” был подтвержден врачом-психиатром. Степень выраженности аутистических проявлений оценивали при помощи Плана диагностического обследования при аутизме (*ADOS-2*), в соответствии с алгоритмом которого был определен вариант диагностической группы для каждого учащегося: “аутизм” или “спектр аутизма”. При обработке данных вся группа детей была разделена на подгруппы по программам (8.1, 8.2) или диагностической группе *ADOS-2* (аутизм, спектр).

Методы исследования. Оценка уровня понимания речи проводили при помощи батареи тестов КОРАБЛИК (“Клиническая оценка развития базовых лингвистических компетенций”) [21]. Процедура оценки реализуется индивидуально с использованием звуковых и зрительных стимулов, предъявляемых при помощи планшета. Объективизация результатов обеспечивается не только инвариантностью процедуры, но и наличием полуавтоматической обработки данных — программа автоматически подсчитывает результаты отдельных субтестов. Это снижает вероятность ошибки при обработке данных. Анализировали результаты выполнения 5 субтестов, включающих от 16–24 проб: “Различение звуков” (фонология) — определение идентичности или не идентичности псевдослов в паре при предъявлении на слух; “Понимание существительных” и “Понимание глаголов” (лексика) — выбор изображения соответствующее предъявленному слову; “Понимание предложений” (морфосинтаксис) — выбор сюжетной картинки, соответствующей услышанному предложению; “Понимание текста” (дискурс) — прослушивание текста с последующим ответом на вопросы посредством выбора кнопки “да”, “нет”. Количественный результат оценки представлял процент успешно выполненных проб по каждому субтесту и блоку “понимание речи” в целом.

Для оценки невербального интеллекта (*NVIQ*) использовали соответствующие субтесты из батареи тестов Кауфманов (*KABC-II*) и теста Векслера (*WISC-III*).

Степень выраженности аутистических проявлений оценивали при помощи методики “План диагностического обследования при аутизме” (*ADOS-2*). *ADOS-2* — структурированный протокол наблюдения, направленный на выявление особенностей поведения, характерных для расстройств аутистического спектра: оценивается общение, социальное взаимодействие, игра и воображение, наличие стереотипных форм поведения и ограниченных интересов. Результатом *ADOS-2* является отнесение испытуемого к одной из трех диагностических групп: “аутизм”, “спектр аутизма” или “вне спектра аутизма”. Также по десятибалльной шкале рассчитывается сравнительный балл, отражающий степень выраженности аутистических проявлений по сравнению с другими испытуемыми с РАС того же возраста и уровня владения речью [22, 23]. Для статистического анализа результатов использовали суммарный сырой балл по шкалам “Социальный аффект” и “Ограниченные и стереотипные формы поведения”.

Нейрофизиологическую оценку проводили с помощью ЭЭГ-мониторинга. Запись ЭЭГ осуществляли с помощью 16-канального электроэнцефалографа (“Нейро-КМ”, Россия) в состоянии покоя (с закрытыми и открытыми глазами), а также при функциональных пробах (наблюдение за движением, сжатие руки в кулак). Использовали международную систему “10–20%”, электроды располагали в следующих отведениях: F_3 , F_4 , F_7 , F_8 , C_3 , C_2 , C_4 , P_3 , P_2 , P_4 , O_1 , O_2 , T_3 , T_4 , T_5 , T_6 , в качестве референтных использовали объединенные ушные электроды. Во время регистрации ЭЭГ дети находились в затемненной комнате в положении сидя. Частота оцифровки составляла 128 Гц, полоса пропускания — от 0.5 до 30 Гц. Для последующего анализа была взята только проба в состоянии спокойного бодрствования при закрытых глазах. Компьютерную обработку полученных данных осуществляли методом быстрого преобразования Фурье при помощи систем картирования электрической активности головного мозга аппаратно-программного комплекса

“*Brainsys*” [24]. В анализ включали не менее 20 безартефактных отрезков длиной в 4 с записи ЭЭГ с предварительно удаленными артефактами. Определяли спектральную мощность для стандартных полос частот (δ 1–4 Гц, θ 4–7 Гц, α 8–13 Гц, β_1 13–20 Гц и β_2 20–30 Гц) и узких частотных полос (1 Гц).

Для сравнения детей с диагностической группой “Аутизм” с возрастной нормой производили статистические вычисления при помощи *Z*-статистики, встроенной в программу “*Brainsys*” [24]. Данное программное обеспечение включает непараметрические банки данных спектральных параметров ЭЭГ 900 испытуемых, учитывающие пол и возраст обследуемых детей, подростков и взрослых. Сопоставление с нормативными ЭЭГ-данными проводится при помощи “*Z*-критерия”, в котором величина *Z* определяется как степень отклонения от среднего по нормативной группе в единицах стандартного отклонения (*SD*). Статистический расчет *Z*-критерия включает в себя поправку на множественные сравнения. Результаты представлены в виде цветовых карт значений логарифма мощности автоспектра.

Для сравнения ЭЭГ-записей детей из подгрупп 8.1 и 8.2 использовали статистический критерий Манна–Уитни. Для этого также в программе “*Brainsys*” производили построение автоспектров, которые сравнивали между собой с помощью непараметрического критерия Манна–Уитни. Результат сравнения представлял собой величину *p*-значения. В случае, когда *p*-значение меньше 0.05, различия между автоспектрами и, следовательно, между ЭЭГ-записями считали достоверными. Результаты представлены в виде “карт *p*-значений”, на которых цветом обозначена величина *p*-значения в каждом отведении. Таким образом, производится сравнение автоспектра, построенного по одной ЭЭГ-записи, с автоспектром, построенным по другой ЭЭГ-записи, в заданном частотном диапазоне в каждом отведении. В случае, если значения автоспектра, построенного по первой ЭЭГ-записи, больше, чем значения автоспектра, построенного по второй ЭЭГ-записи (т.е., если в первой ЭЭГ-записи суммарная амплитуда колебаний в данном частотном диапазоне превышает таковую во второй ЭЭГ-записи), *p*-значению приписывают знак “+”. В обратном случае, *p*-значению присваивают знак “–”.

Для корреляции ЭЭГ-записей детей из подгрупп 8.1 и 8.2 с параметром “Понимание текста” в программе “*Brainsys*” рассчитывали коэффициент корреляции Спирмена. Результаты представлены в виде цветовых карт *p*-значений спектра мощности.

При статистической обработке данных были использованы методы описательной статистики, определение значимости различий по критерию

Манна–Уитни, корреляционный анализ по Пирсону и однофакторный дисперсионный анализ (*ANOVA*). Статистическую обработку данных проводили в программной среде *SPSS*.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценка речевых навыков. В целом, дети лучше справились с заданиями на понимание существительных и глаголов, при этом анализ оценки результатов выполнения заданий на понимание речи выявил выраженную неравномерность показателей как по отдельным субтестам, так и профилю успешности для большинства детей, что оценивалось дополнительной переменной “Неравномерность профиля понимания речи”, которая рассчитывалась как сумма квадратов разностей между каждой парой переменных.

Анализ корреляционных связей между параметрами оценки понимания речи, невербальным *IQ* и степенью выраженности аутистических проявлений (по *ADOS-I*) выявил достоверные корреляции между параметрами: сырой балл по *ADOS-II* и параметрами: “понимание глаголов” ($r = -0.523$ $p = 0.001$), “понимание предложений” ($r = -0.303$ $p = 0.043$), “понимание текста” ($r = -0.474$ $p = 0.001$), суммарный балл “понимание речи” ($r = -0.518$ $p = 0.001$) и “неравномерность профиля развития речи” ($r = 0.451$ $p < 0.002$), “невербальный *IQ*” ($r = 0.387$ $p = 0.022$). Для показателя невербального *IQ* были выявлены связи с параметрами: “понимание глаголов” ($r = 0.336$ $p = 0.042$), “понимание текста” ($r = 0.476$ $p = 0.004$), суммарный балл “понимание речи” ($r = 0.456$ $p = 0.004$) и “неравномерность профиля развития речи” ($r = -0.389$ $p = 0.021$), также с баллом по шкале “Социальный аффект” (по *ADOS-II*) ($r = 0.879$ $p = 0.001$). Эти результаты согласуются с полученными ранее данными [25], однако разделение выборки позволило выявить значительные различия в подгруппах с разным уровнем функционирования.

Анализ тех же параметров в подгруппах, показал, что результаты, характерные для общей выборки обусловлены преимущественно эффектом большей выраженности нарушений в подгруппе 8.2, тогда как в подгруппе 8.1 лишь параметры “понимание глаголов” и “сумма понимание” оказались достоверно связаны с большей выраженностью аутистических проявлений, относящихся к категории нарушений социально-коммуникативного аспекта поведения (табл. 2).

Анализ внутренних корреляций между речевыми параметрами также выявил различия между подгруппами. Так для подгруппы 8.1 показатель “различение звуков” коррелировал с “пониманием существительных” и “пониманием предложений” ($r = 0.53$ $p = 0.02$ и $r = 0.54$ $p = 0.018$ соот-

Таблица 2. Достоверные корреляции между параметрами понимания речи, выраженности аутистических проявлений (по *ADOS-II*) и невербальным *IQ* для подгрупп 8.1 и 8.2

Вариант АООП	8.1			8.2		
параметры	сум. <i>ADOS</i>	соц. аффект <i>ADOS</i>	<i>NV IQ</i>	сум. <i>ADOS</i>	соц. аффект <i>ADOS</i>	<i>NV IQ</i>
Различение звуков				−0.487*		
Понимание глаголов	−0.649**	−0.639*		−0.576**	−0.645*	0.434*
Понимание предложений				−0.527**		0.497*
Понимание текста				−0.688**	−0.735**	0.471*
Сумма “понимание”	−0.445*	−0.631*		−0.730**	−0.714**	0.520*
Неравномерность профиля				0.622**	0.754**	−0.435*

Примечание: АООП – адаптированная основная общеобразовательная программа. * – $p < 0.05$; ** – $p < 0.01$.

ветственно)). “Понимание предложений” умеренно коррелировало с “пониманием текста” ($r = 0.47$, $p = 0.037$). Для группы 8.2 были выявлены значимые корреляционные связи практически между всеми параметрами: различение звуков – понимание глаголов ($r = 0.56$, $p = 0.003$), понимание предложений ($r = 0.469$, $p = 0.016$), понимание текста ($r = 0.619$, $p = 0.001$). Понимание существительных – понимание глаголов ($r = 0.602$, $p = 0.001$), понимание предложений ($r = 0.524$, $p = 0.002$), понимание текста ($r = 0.422$, $p = 0.025$). Понимание глаголов – понимание предложений ($r = 0.528$, $p = 0.002$), понимание текста ($r = 0.485$, $p = 0.009$). Понимание предложения – понимание текста ($r = 0.48$, $p = 0.01$). Сравнение групп 8.1 и 8.2 при помощи однофакторного дисперсионного анализа *ANOVA* и непараметрического критерия Манна-Уитни выявили согласованные достоверные различия между группами практически по всем речевым параметрам (рис. 1). По выраженности аутистических проявлений (сырой балл по *ADOS* и балл по шкале “Социальный аффект”) а также по невербальному *IQ* различий не выявлено.

Нейрофизиологическая оценка. На этапе нейрофизиологического анализа сначала проводилось сравнение данных ЭЭГ-картирования в группе “Аутизм” с возрастной нормой. На рис. 2 представлены спектральные карты логарифма мощности с шагом 1 Гц для всех частотных диапазонов; δ , θ , α , β_1 , β_2 . Максимальное значение *SD* зарегистрировано для δ -диапазона частот в лобно-центральных отведениях (2–3 Гц, $\max SD = +2.2$) и для β_2 полосы частот в центрально-лобных отведениях (23–30 Гц, $\max SD = +1.3$).

После этого проводилось сравнение спектральных характеристик ЭЭГ между группами, обучающимися по программам 8.1 и 8.2 с помощью непараметрического критерия Манна-Уитни. На рис. 3 представлены карты p -значений спектральной мощности автоспектра в диапазонах по 1 Гц в интервале от 0.5 до 30 Гц. Цветовая шкала справа отражает величину p -значения:

если мощность автоспектров для подгруппы 8.1 меньше таковой для подгруппы 8.2 при $p < 0.05$, различия показаны синим цветом, при обратной ситуации – розовым цветом. При $p < 0.05$ выявлены отличия группы 8.2 от 8.1 в виде более высокого индекса β_1 -активности в теменно-центральных и лобных отведениях в полосе 12–18 Гц, а также увеличения индекса медленноволновой δ - и θ -активности в центрально-лобных отведениях в полосе 1–3 и 4–7 Гц.

Корреляции спектральных характеристик ЭЭГ с показателем “понимание текста” в группах детей с РАС, обучающихся по программам 8.1 и 8.2 вычисляли с помощью критерия Спирмена. На рис. 4 представлены карты p -значений спектральной мощности в диапазонах по 1 Гц в интервале от 0.5 до 30 Гц. В группе 8.1 выявлена отрицательная корреляция этого параметра с уровнем β_2 -активности в полосе 22–27 Гц в центральных отведениях ($r = -0.51$, $p = 0.045$), а в группе 8.2 – с уровнем δ -активности в центрально-лобных отведениях ($r = -0.36$, $p = 0.026$).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Гетерогенность проявлений РАС описывается в современной научной литературе с различных сторон и исследователи приходят к выводу, что индивидуальная картина определяется комплексом факторов, относящимся к различным аспектам психической деятельности ребенка [26]. Описаны как случаи достаточно успешного функционирования при значительном нарушении одних функций и сохранности других, так и случаи относительно равномерно распределенных умеренных нарушений, приводящих в совокупности к тяжелым ограничениям. Не являясь диагностическим критерием аутизма, уровень развития речи, тем не менее, является надежным предиктором успешности адаптации и его динамика может рассматриваться как один из показателей эффективности вмешательств. Вместе с тем нарушения социального взаимодействия, наблюдающиеся

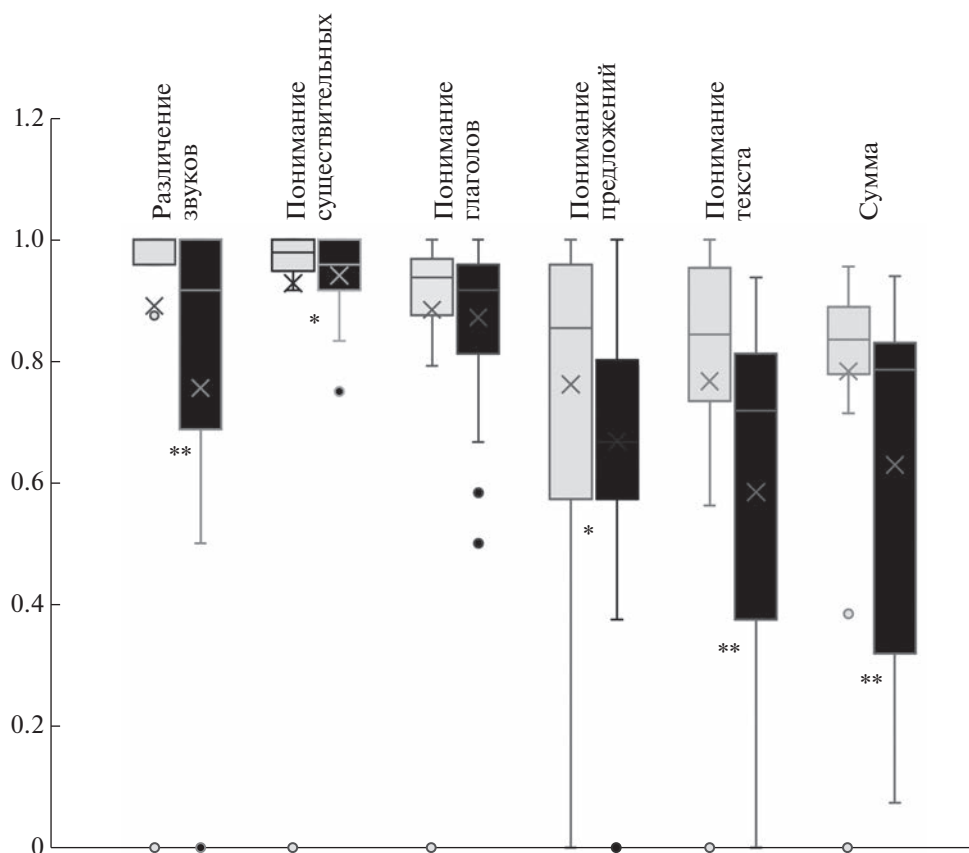


Рис. 1. Сравнение параметров понимания речи у младших школьников, обучающихся по программе 8.1 (светлые столбики) и 8.2 (черные столбики).

Достоверность различий по критерию Манна–Уитни: * — $p < 0.05$, ** — $p < 0.01$. По шкале ординат представлены относительные баллы для подгрупп 8.1 и 8.2, по шкале абсцисс — исследуемые субтесты, слева направо: различение звуков, понимание существительных, понимание глаголов, понимание предложений, понимание текста, суммарный балл понимания.

при РАС, могут быть обусловлены также недостаточным уровнем понимания речи [9], что подтверждается полученными нами данными о связи показателей понимания речи с выраженностью аутистических проявлений и невербальным IQ у детей нуждающихся в более серьезной адаптации образовательной программы для обучения. С другой стороны, выраженная неравномерность профиля понимания речи, зафиксированная у детей именно этой подгруппы, может как раз и отражать гетерогенность этиологии наблюдаемых нарушений. Для уточнения этого предположения необходимо комплексное исследование показателей функционирования в сопоставлении с параметрами биоэлектрической активности мозга.

В комплексных исследованиях гетерогенности РАС важное место занимает оценка биоэлектрической активности головного мозга. В проведенном исследовании были выявлены отклонения амплитудно-частотных характеристик ЭЭГ у детей с диагностической группой “аутизм” от нормативных показателей: увеличение индекса β_2 -ак-

тивности в лобно-центральных и теменных областях, а также медленноволновой активности в лобно-центральных областях. Увеличение индекса β_2 -активности у детей с диагностической группой “аутизм” согласуется с имеющимися литературными данными о том, что повышение уровня β -активности при РАС объясняется дисбалансом процессов возбуждения и торможения, в сторону преобладания процессов возбуждения [27]. Такой дисбаланс авторы связывают, в том числе, с нарушением работы ГАМК-эргической системы нейронов. В других исследованиях было показано, что ЭЭГ детей с недифференцированной формой РАС характеризуется более высокой мощностью θ - и β -ритмов [28], что также отражает дисбаланс процессов возбуждения–торможения.

В понимании характера нарушений при РАС важное место занимает теория нарушения работы зеркальных нейронов. Имеются данные, что система зеркальных нейронов является нейробиологической основой подражания [17]. На ЭЭГ косвенным показателем активности зеркальных

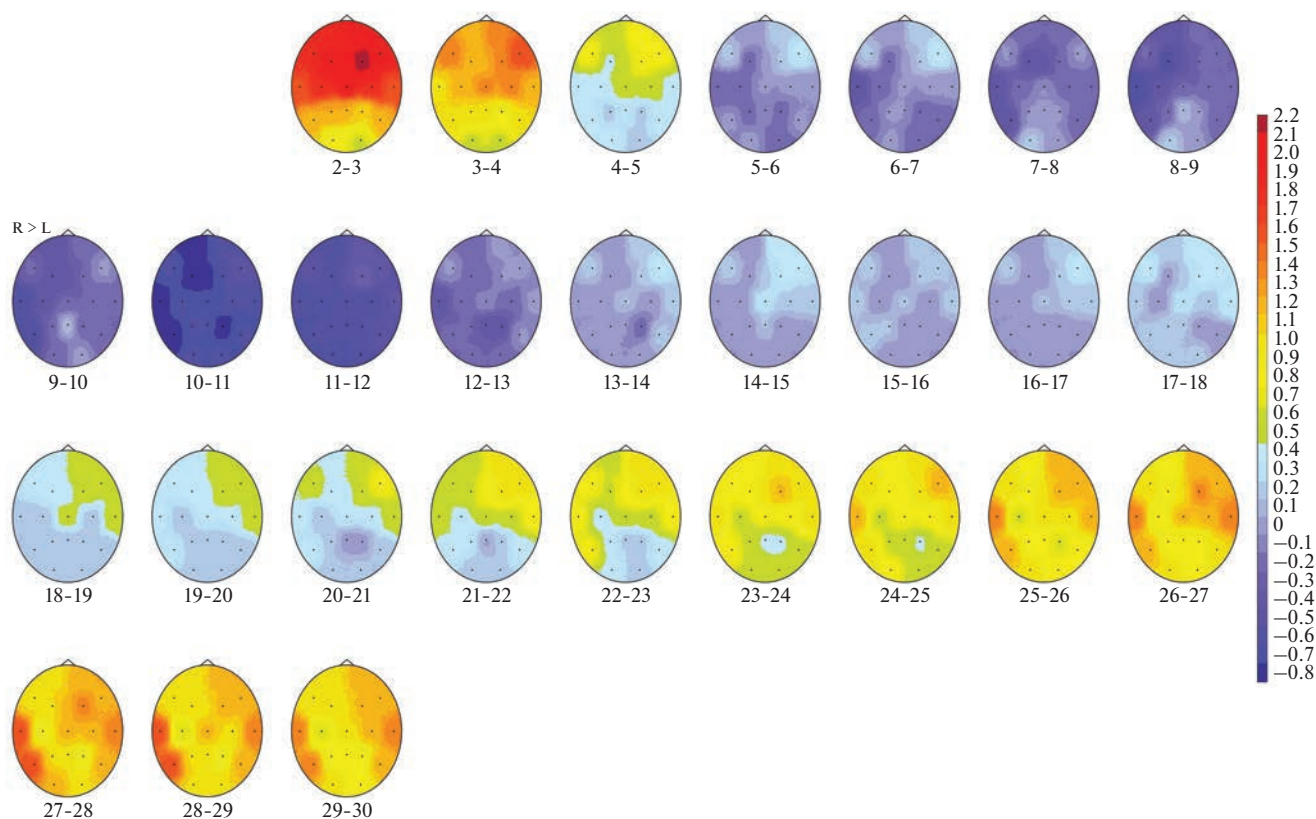


Рис. 2. Спектральные карты логарифма мощности автоспектра при сравнении ЭЭГ-записей группы “Аутизм” в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами с возрастной нормой с помощью Z-статистики. Частотные диапазоны представлены в интервале 2–30 Гц с шагом 1 Гц (2–3, 3–4 Гц и т.д.). Шкала справа отражает величину SD ($SD > 0$ соответствует отличиям выше возрастной нормы, $SD < 0$ – отличиям ниже возрастной нормы). Максимальное значение SD составляет (+2.2), минимальное – (–0.8). Различия представлены для уровня значимости $p < 0.05$.

нейронов считается μ -ритм. Относительно РАС, показано, что социально-коммуникативные особенности этой группы могут быть обусловлены нарушением работы системы зеркальных нейронов, которое коррелирует с отсутствием десинхронизации μ -ритма при выполнении моторных проб [29]. Помимо нарушения десинхронизации μ -ритма, имеются данные, что у некоторых людей с РАС μ -ритм регистрируется в β_1 полосе частот (12–15 Гц) при сохранении остальных его характеристик (локализация, десинхронизация при движении) [17, 29]. В этом аспекте интерес представляют полученные в настоящем исследовании данные о более высоком индексе β_1 -активности в группе 8.2 по сравнению с группой 8.1, особенно на частотах 12–15 Гц. С одной стороны, эти данные могут говорить о более выраженных процессах возбуждения в этой группе по сравнению с детьми с более высоким уровнем функционирования [27]. С другой стороны, учитывая данные об атипичных характеристиках μ -ритма в группе РАС, необходимо проверить, насколько β_1 -диапазон может отражать нарушения подражатель-

ного поведения в этой группе, и, следовательно, потенциальные нарушения работы зеркальных нейронов.

Увеличение индекса медленноволновой активности в группе РАС представляет не меньший интерес, чем другие особенности ЭЭГ. В нашем исследовании эти изменения наблюдались при отсутствии знаков локальной органической патологии. По данным некоторых авторов наличие диффузной медленной активности в ЭЭГ детей с психической патологией может свидетельствовать об органических нарушениях, возникших на ранних этапах онтогенеза [30, 31]. С другой стороны, показано, что при РАС нарушаются нормальные онтогенетические закономерности формирования ЭЭГ [31]. Она отличается от нормативной не только по показателям спектральной плотности в разных зонах коры, но и по закономерностям их возрастной динамики. Так при нормотипичном онтогенезе индекс диффузной медленной активности снижается к 7–8 годам [31], что не всегда наблюдается при РАС. Увеличение индекса диффузной медленной активности мо-

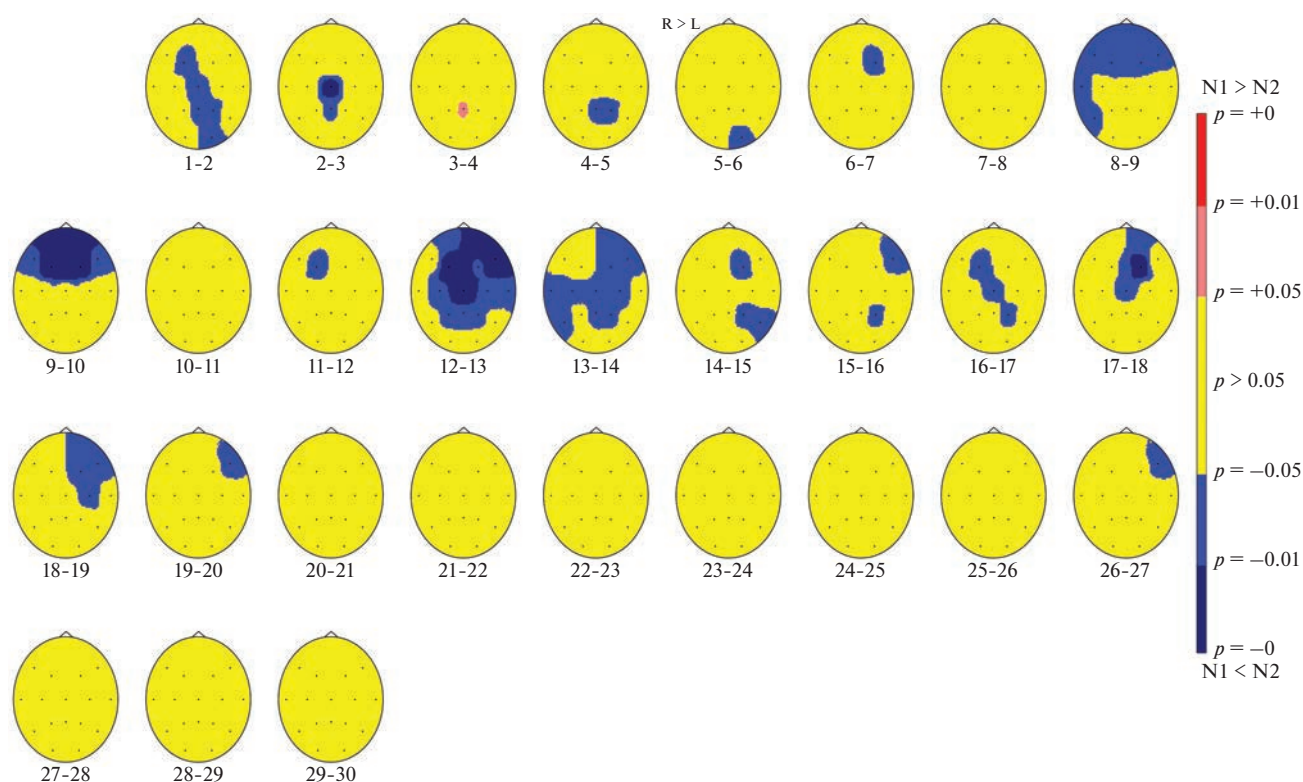


Рис. 3. Карты p -значений в диапазонах по 1 Гц в интервале от 0.5 до 30 Гц, полученные в результате сравнения по критерию Манна–Уитни ЭЭГ-записей ЭЭГ групп, обучающихся по программам 8.1 (N1) и 8.2 (N2). Шкала справа отражает величину p -значения: для $N1 < N2$ p -значения приведены со знаком (–), для $N1 > N2$ – со знаком (+).

жет быть связано с повышенной активностью гипоталамо-гипофизарного комплекса и, с другой стороны, со снижением регулирующего влияния корковых структур [30]. В нашей работе интерес представляет группа 8.2 с более низким уровнем функционирования, в которой лучше понимали текст дети с более низким индексом медленной активности. В контексте вышеприведенных данных можно предполагать наличие в этой группе определенных структурных нарушений, которые требуют более подробных исследований в будущем с расширением применяемых методик.

Понимание текста в группе с более высоким уровнем функционирования отрицательно коррелировало с индексом β_2 -активности. Амплитудно-частотные характеристики ЭЭГ отражают процессы корково-подкоркового взаимодействия, в этом смысле доминирование высокочастотной β -активности при РАС может свидетельствовать о дисбалансе нейромедиаторных систем мозга, что было показано разными авторами [27, 28, 31]. В связи с этим в этой группе трудности понимания речи могут объясняться другими причинами, чем в группе 8.2.

Таким образом, при разделении гетерогенной группы РАС по критерию уровня функциониро-

вания были выделены подгруппы, отличающиеся по параметрам понимания речи, и имеющие разные особенности биоэлектрической активности головного мозга. Дальнейшее исследование этих подгрупп требует расширения перечня анализируемых параметров и методик в рамках концепции многопараметрической типологизации РАС.

ВЫВОДЫ

1. Для детей с РАС с большей выраженностью аутистических проявлений социально-коммуникативного характера и более низкими показателями невербального интеллекта характерно снижение уровня понимания речи.
2. Уровень понимания речи является ключевым фактором, обуславливающим необходимость адаптации образовательной программы для младших школьников с РАС.
3. Для детей с диагностической группой “Аутизм” (по *ADOS-2*) характерно отклонение показателей ЭЭГ от нормативных: в этой группе наблюдается увеличение индекса β_2 -активности, а также индекса медленноволновой активности.
4. В группе с менее выраженными нарушениями функционирования при РАС более высокий

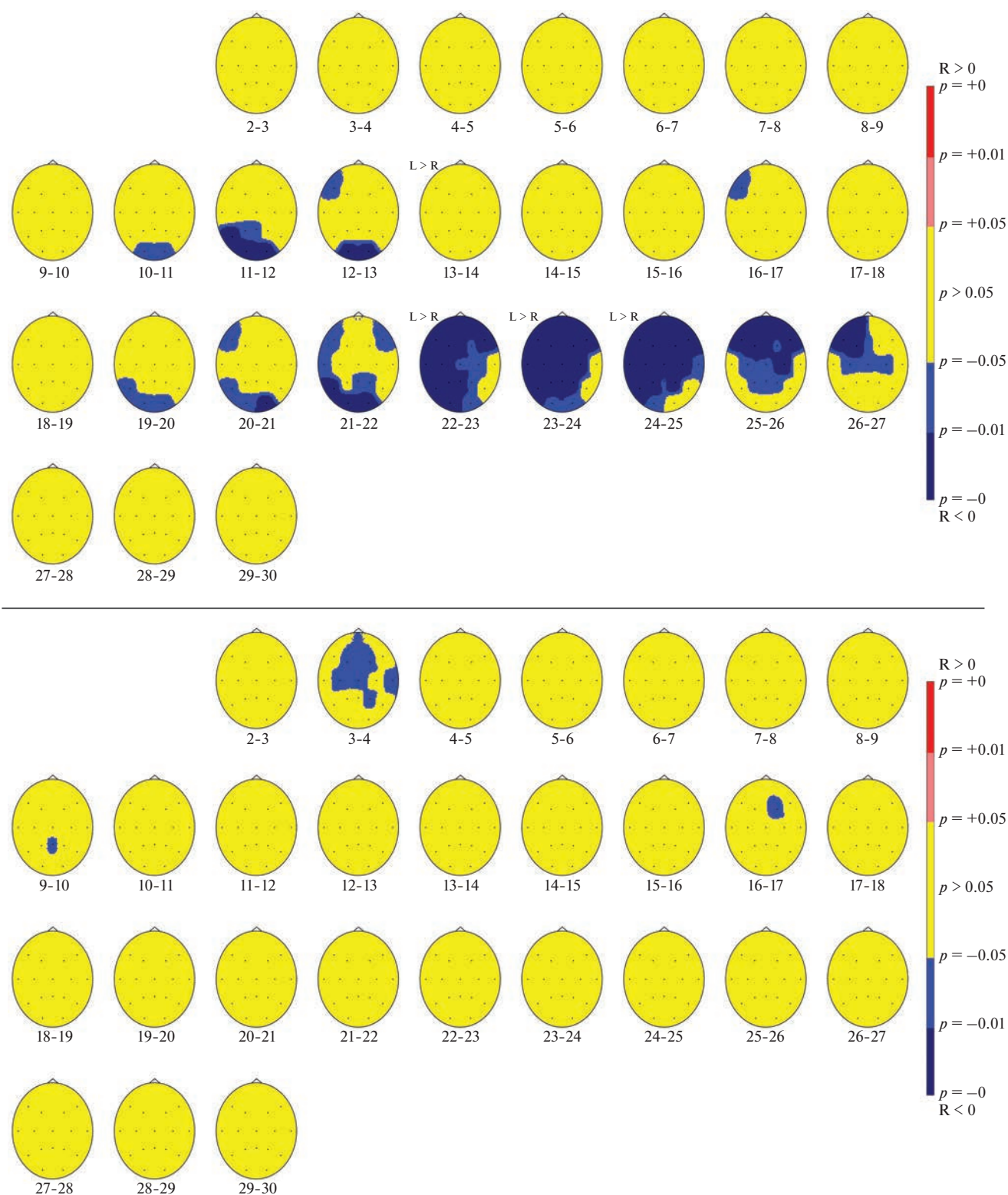


Рис. 4. Корреляция спектральных характеристик ЭЭГ (проба закрытые глаза) с параметром “Понимание текста”. Представлены карты p -значений спектральной мощности в диапазонах по 1 Гц в интервале от 0.5 до 30 Гц. Шкала справа отражает величину p -значения и знак корреляции: для $R < 0$ p -значения приведены со знаком (–), для $R > 0$ – со знаком (+). Данные сверху вниз: группа 8.1, группа 8.2.

уровень понимания речи связан с меньшим индексом β_2 -активности, а в группе с более выраженными — с меньшим индексом медленноволновой активности.

5. В группе младших школьников с РАС выделяются подгруппы, различающиеся как по уровню понимания речи, так и по особенностям биоэлектрической активности головного мозга.

Этические нормы. Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях, и одобрены локальным этическим комитетом Московского государственного психолого-педагогического университета (Москвы).

Информированное согласие. Каждый участник исследования представил добровольное письменное информированное согласие, подписанное им после разъяснения ему потенциальных рисков и преимуществ, а также характера предстоящего исследования.

Финансирование работы. Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства просвещения РФ № 073-00110-22-06 от 12.12.2022 г.

Благодарности. Авторы выражают благодарность всем участникам исследования.

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

Вклад авторов в публикацию. Все авторы внесли равный вклад в подготовку данной публикации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Levy S.E., Giarelli E., Lee L.C. et al. Autism spectrum disorder and co-occurring developmental, psychiatric, and medical conditions among children in multiple populations of the United States // J. Dev. Behav. Pediatr. 2010. V. 31. № 4. P. 267.
2. Norrelgen F., Fernell E., Eriksson M. et al. Children with autism spectrum disorders who do not develop phrase speech in the preschool years // Autism. 2015. V. 19. № 8. P. 934.
3. Tager-Flusberg H., Kasari C. Minimally verbal school-aged children with autism spectrum disorder: the neglected end of the spectrum // Autism Res. 2013. V. 6. № 6. P. 468.
4. Su P.L., Rogers S.J., Estes A., Yoder P. The role of early social motivation in explaining variability in functional language in toddlers with autism spectrum disorder // Autism. 2020. V. 25. № 1. P. 244.
5. Weismer E.S., Lord C., Esler A. Early language patterns of toddlers on the autism spectrum compared to toddlers with developmental delay // J. Autism Dev. Disord. 2010. V. 40. № 10. P. 1259.
6. Thurm A., Manwaring S.S., Swineford L., Farmer C. Longitudinal study of symptom severity and language in minimally verbal children with autism // J. Child Psychol. Psychiatry. 2015. V. 56. № 1. P. 97.
7. Broome K., McCabe P., Docking K. et al. Speech Abilities in a Heterogeneous Group of Children With Autism // J. Speech Lang. Hear. Res. 2021. V. 64. № 12. P. 4599.
8. Charman T., Taylor E., Drew A. et al. Outcome at 7 years of children diagnosed with autism at age 2: Predictive validity of assessments conducted at 2 and 3 years of age and pattern of symptom change over time // J. Child Psychol. Psychiatry. 2005. V. 46. № 5. P. 500.
9. Skwerer D., Jordan S.E., Brukilacchio B.H., Tager-Flusberg H. Comparing methods for assessing receptive language skills in minimally verbal children and adolescents with autism spectrum disorders // Autism. 2016. V. 20. № 5. P. 591.
10. Gernsbacher M.A., Morson E.M., Grace E.J. Language development in autism / Neurobiology Language. Publisher: Elsevier, 2015. P. 879.
11. Goodwin A., Fein D., Naigles L.R. Comprehension of wh-questions precedes their production in typical development and autism spectrum disorders // Autism Res. 2012. V. 5. № 2. P. 109.
12. Виноградова К.Н. Речь и коммуникация при расстройствах аутистического спектра // Аутизм и нарушения развития. 2015. Т. 47. № 2. С. 17.
13. Key A.P., D'Ambrose S.K. Speech Processing in Autism Spectrum Disorder: An Integrative Review of Auditory Neurophysiology Findings // J. Speech Lang. Hear. Res. 2021. V. 64. № 11. P. 4192.
14. Möttönen R., Adank P., Skipper J.I. Sensorimotor Speech Processing: A Brief Introduction to the Special Issue // Brain Lang. 2018. V. 187. P. 18.
15. Saltuklaroglu T., Bowers A., Harkrider A.W. et al. EEG mu rhythms: Rich sources of sensorimotor information in speech processing // Brain Lang. 2018. V. 187. P. 41.
16. Мамохина У.А. Особенности речи при расстройствах аутистического спектра // Аутизм и нарушения развития. 2017. Т. 15. № 3. С. 24.
17. Салимова К.Р. Нейрофизиологические корреляты нарушения развития при расстройствах аутистического спектра (РАС) // Успехи современной биологии. 2021. Т. 141. № 6. С. 557.
18. Xiao Y., Wen T.H., Kupis L. et al. Neural responses to affective speech, including motherese, map onto clinical and social eye tracking profiles in toddlers with ASD // Nat. Hum. Behav. 2022. V. 6. № 3. P. 443.
19. Kujala T., Lepistö T., Näätänen R. The neural basis of aberrant speech and audition in autism spectrum disorders // Neurosci. Biobehav. Rev. 2013. V. 37. № 4. P. 697.
20. Galilee A., Stefanidou C., McCleery J.P. Atypical speech versus non-speech detection and discrimination in 4- to 6- yr old children with autism spectrum disorder: An ERP study // PLoS One. 2017. V. 12. № 7. P. e0181354.
21. Lopukhina A., Chrabaszcz, A., Khudyakova et al. Test for assessment of language development in Russian "KORABLIK" / Proceedings of the Satellite of

- AMLaP conference "Typical and Atypical Language Development Symposium". Moscow: HSE University, 2019. P. 30.
22. Лорд К., Раттер М., ДиЛаворе П. и др. ADOS-2: План диагностического обследования при аутизме, 2-я версия: Руководство / Пер. с англ. Сорокина А.Б., Давыдовой Е.Ю., Салимовой К.Р., Пшеничной Е. [Б.м.]: Western Psychological Services: Giunti O.S., 2016. 446 с.
Lord K., Ratter M., DiLavore P. et al. ADOS-2: Plan diagnosticheskogo obsledovaniya pri autizme, 2-ya versiya: Rukovodstvo [The Autism Diagnostic Observation Schedule. 2nd Edition: Manual]. Western Psychological Services: Giunti O.S., 2016. 446 p.
 23. Сорокин А.Б., Давыдова Е.Ю., Самарина Л.В. и др. Стандартизированные методы диагностики аутизма: опыт использования ADOS-2 и ADI-R // Аутизм и нарушения развития. 2021. Т. 19. № 1. С. 12.
 24. Горбачевская Н.Л., Митрофанов А.А. Роль количественных методов анализа электроэнцефалограммы в детской психиатрии // Медицинский алфавит. 2008. Т. 4. № 17. С. 13.
 25. Переверзева Д.С., Мамохина У.А., Давыдова Е.Ю. и др. Особенности понимания речи у детей с расстройствами аутистического спектра младшего школьного возраста [Электронный ресурс] // Клиническая и специальная психология. 2021. Т. 10. № 4. С. 137.
 26. Masi A., DeMayo M.M., Glozier N., Guastella A.J. An Overview of Autism Spectrum Disorder. Heterogeneity and Treatment Options // *Neurosci. Bull.* 2017. V. 33. № 2. P. 183.
 27. Marotta R., Risoleo M.C., Messina G. et al. The Neurochemistry of Autism // *Brain Sci.* 2020. V. 10. № 3. P. 163.
 28. Kozhushko N.J., Nagornova Z.V., Evdokimov S.A. et al. Specificity of spontaneous EEG associated with different levels of cognitive and communicative dysfunctions in children // *Int. J. Psychophysiol.* 2018. V. 128. P. 22.
 29. Bernier R., Dawson G., Webb S. et al. EEG mu rhythm and imitation impairments in individuals with autism spectrum disorder // *Brain Cogn.* 2007. V. 64. № 3. P. 228.
 30. Благодосклонова Н.К., Новикова Л.А. Детская клиническая электроэнцефалография. М.: Медицина, 1994. 204 с.
 31. Горбачевская Н.Л. Особенности формирования ЭЭГ у детей в норме и при разных типах общих (первазивных) расстройств развития. Автореф. дис. ... докт. биол. наук. М.: МГУ, 2000. 43 с.

Speech Understanding in Primary Schoolchildren with Autism Spectrum Disorders and Its Relationship with EEG Characteristics. Part I

E. Yu. Davydova^{a, b}, K. R. Salimova^{a, *}, D. V. Davydov^a, D. S. Pereverzeva^a, U. A. Mamokhina^a, K. K. Danilina^a, S. A. Tyushkevich^a, N. L. Gorbachevskaya^a

^aFederal Resource Center for Comprehensive Support for Children with Autism Spectrum Disorders, Moscow, Russia

^bMoscow State University of Psychology and Education, Moscow, Russia

*E-mail: salimovakr@mgppu.ru

The article discussed ASD heterogeneity in terms of the severity of autistic manifestations, cognitive and speech abilities in children with different levels of functioning. We present results of a study of speech understanding at the level of phonology, vocabulary, morphosyntax and discourse in primary schoolchildren with ASD. The study revealed correlations between the severity of autistic manifestations of a socio-communicative nature and non-verbal IQ with various aspects of speech understanding. Comparison of the correlations in the subgroups of children with different levels of functioning revealed differences between the subgroups, indicating different mechanisms of disorders. The differences of the spectral characteristics of the EEG in children with ASD compared with the age norm, and characteristics in the studied subgroups are shown. We revealed differences in EEG spectral characteristics between subgroups with ASD with different levels of functioning: the subgroup with less pronounced disorders is characterized by a higher index of β_2 -activity, while the subgroup with more pronounced disorders – by a higher index of slow-wave activity.

Keywords: speech disorders, autism, autism spectrum disorders, EEG, verbal communication.